CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOTUPORANGA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANDERSON JOSÉ MARQUES JUNIOR
EDUARDO CHIQUETTO VERZOTTO

HIDROGÊNIO VERDE

Votuporanga-SP
2024

ANDERSON JOSÉ MARQUES JUNIOR
EDUARDO CHIQUETTO VERZOTTO

HIDROGÊNIO VERDE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Unifev – Centro Universitário de Votuporanga – para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica, sob a orientação do professor Dr Jahyr Gongalves Neto.

Votuporanga-SP
2024

Verzotto, Eduardo Chiquetto.
Hidrogênio Verde.. / Eduardo Chiquetto Verzotto; Anderson José Marques Junior. - Votuporanga. Ed. do Autor, 2024.
53 p., 30cm.: il., tab.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Bacharelado) - UNIFEV - Centro Universitário de Votuporanga, Curso de Engenharia Elétrica, 2024.
Orientador: Prof. Dr. Jahyr Gonçalves Neto.

1.Fontes renováveis. 2. Economia verde. 3. Transição energética. I. Marques Junior, Anderson José. II. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unifev.
Dados fornecidos pelo autor(a). Essa ficha
não pode ser modificada.
Bibliotecária Responsável: Marcia Faria Cavalcante - CRB-8/ 10706

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOTUPORANGA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANDERSON JOSÉ MARQUES JUNIOR
EDUARDO CHIQUETTO VERZOTTO

HIDROGÊNIO VERDE

Aprovado: ___/___/____

HIDROGÊNIO VERDE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Unifev – Centro Universitário de Votuporanga – para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica, sob a orientação do professor Dr Jahyr Gongalves Neto.

Primeiro examinador
Nome: Fernando Bermejo Menechelli
Instituição: Unifev – Centro Universitário de Votuporanga

Segundo examinador
Nome: Renato Ferrari da Costa
Instituição: Unifev – Centro Universitário de Votuporanga

Prof Orientador
Nome: Dr Jahyr Gonçalves Neto
Instituição: Unifev – Centro Universitário de Votuporanga

Votuporanga-SP
2024

ATA DE REUNIÃO DE ANÁLISE E PARECER DEFINITIVOS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Aos dez dias do mês de dezembro de dois mil e vinte e quatro, às dezenove horas e trinta minutos, realizou-se no local: LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA II, do Centro Universitário de Votuporanga - Unifev, nas formas e termos regulamentais desta Instituição, a reunião de análise definitiva do Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado Hidrogênio Verde de autoria de ANDERSON JOSÉ MARQUES JÚNIOR E EDUARDO CHIQUETTO VERZOTTO. A sessão de defesa do trabalho deu-se sob o julgo da Banca Examinadora composta pelos docentes: Prof. Me. FERNANDO BERMEJO MENECHELLI, Prof. Dr. JAHYR GONCALVES NETO E Prof. Especialista RENATO FERRARI DA COSTA, e presidida por Prof. Dr. JAHYR GONCALVES NETO. Leram-se, inicialmente, as normas previstas no Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso, seguida da apresentação das alterações realizadas pelo autor(a), em conformidade com as recomendações previamente apontadas pela Banca Examinadora durante a sessão pública de defesa. Em seguida, os membros realizaram a análise das correções. Concluída a revisão e após deliberação reservada, o trabalho foi considerado **APROVADO**. O parecer, registrado de forma definitiva neste documento, tem complemento o que segue: As alterações foram feitas e os alunos estão aprovados. Nada mais tendo a tratar, lavrou-se a presente ata que segue assinada pelos membros da banca e autores do trabalho.

Votuporanga, 10 de dezembro de 2024.

Assinaturas (5 pessoas)

Usuário	Função	Instituição	Lido em	Assinado em	IP
EDUARDO CHIQUETTO VERZOTTO	Aluno	UNIFEV	10/12/2024 20:59:48	10/12/2024 21:00:07	177.21.136.36
ANDERSON JOSÉ MARQUES JÚNIOR	Aluno	UNIFEV	10/12/2024 21:00:31	10/12/2024 21:01:08	170.246.184.12
Renato Ferrari da Costa	Banca	UNIFEV	10/12/2024 20:59:42	10/12/2024 20:59:52	191.26.151.96
Fernando Bermejo Menechelli	Banca	UNIFEV	10/12/2024 21:00:06	10/12/2024 21:00:38	191.26.148.69
Jahyr Goncalves Neto	Presidente	UNIFEV	10/12/2024 20:59:40	10/12/2024 20:59:47	172.225.223.48

***Banca realizada presencialmente e assinaturas coletadas via aceite eletrônico.**

Copyright © 2021-2024 - GEDEX UNIFEV - STI Unifev - Página 1 de 1

Ata criada digitalmente.
Para acessar aponte seu celular para o Código QR ao lado.

RESUMO

As estimativas energéticas apresentadas pelo Plano Energético Nacional indicam um crescimento anual de aproximadamente 3,2% na demanda por energia no Brasil. Esse aumento pode resultar em uma série de impactos ambientais, destacando-se o incremento nas emissões de gases de efeito estufa, que estão diretamente associados ao fenômeno do aquecimento global. Neste cenário, a adoção do hidrogênio verde como alternativa energética se configura como uma oportunidade promissora. O objetivo deste estudo é realizar uma análise sobre o potencial do hidrogênio verde na geração elétrica, com foco atual na utilização das células a combustível como exemplo do carro Toyota Mirai. Inicialmente, foi realizado uma pesquisa com a problemática da Guerra entre Rússia e Ucrânia onde foi um marco, onde os países da União Europeia foram atrás de novas soluções para combustíveis energéticos, juntamente com o estudo do referencial teórico abordando o conceito de sustentabilidade. Em seguida, foram analisados aspectos relevantes do uso do hidrogênio verde, tais como sua produção, armazenamento, transporte e principalmente sua utilização em células de combustível. Além disso, foi elaborada uma revisão histórica e projeções para o hidrogênio verde (H2V), identificando-se os empreendimentos voltados para a produção de eletricidade no Brasil. Conclui-se que o hidrogênio verde, além de ter o potencial energética elevado, seu foco atual está no benefício com a utilização nas células de hidrogênio, com isso apresenta a capacidade de impulsionar o surgimento de uma nova indústria, gerando empregos e novas iniciativas empresariais.

Palavras-chave: células de combustível; economia verde; fontes renováveis; hidrogênio verde; transição energética.

ABSTRACT

The energy estimates presented by the National Energy Plan indicate an annual growth of approximately 3.2% in the demand for energy in Brazil. This increase can result in a series of environmental impacts, highlighting the increase in greenhouse gas emissions, which are directly associated with the phenomenon of global warming. In this scenario, the adoption of green hydrogen as an energy alternative is a promising opportunity. The objective of this study is to carry out an analysis of the potential of green hydrogen in electricity generation, with a current focus on the use of fuel cells as an example of the Toyota Mirai car. Initially, a research was carried out with the problem of the War between Russia and Ukraine where it was a milestone, in which countries of the European Union went after new solutions for energy fuels, along with the study of the theoretical framework addressing the concept of sustainability. Then, relevant aspects of the use of green hydrogen were analyzed, such as its production, storage, transportation and especially its use in fuel cells. In addition, a historical review and projections for green hydrogen (H2V) were prepared, identifying the projects aimed at the production of electricity in Brazil. It is concluded that green hydrogen, in addition to having high energy potential, its current focus is on the benefit of using hydrogen cells in cells, thus presenting the ability to boost the emergence of a new industry, generating jobs and new business initiatives

Keywords: fuel cells; green economy; renewable sources; green hydrogen; energy transition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Maiores Reservas Provadas de Gás Natural em 2020
Figura 2 - Maiores exportadores de Gás Natural 2021
Figura 3 – Participação dos setores no perfil das Emissões brasileiras em 2021 e 2022
Figura 4 - Classes tecnológicas de produção de hidrogênio
Figura 5 – Tipos de Hidrogênio
Figura 6 - Rotas para produção e utilização do hidrogênio como vetor energético
Figura 7 – Hidrogênio verde
Figura 8 – Eletrólise da H2O
Figura 9 – Eletrolisadores
Figura 10 – Produção Mundial
Figura 11 – Transporte H2V
Figura 12 – Células de Combustível
Figura 13 – Células de Combustível
Figura 14 – Toyota Mirai
Figura 15 – Posto de Combustível a Hidrogênio
Figura 16 – Tanques Hidrogênio
Figura 17 – Célula do Toyota Mirai
Figura 18 – Capo Toyota Mirai

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Percentual de Fontes renováveis no Brasil
Quadro 2 - Crescimento de produção energética do Brasil 2016-2040
Quadro 3 - Ficha técnica do Toyota Mirai XLE

SUMÁRIO

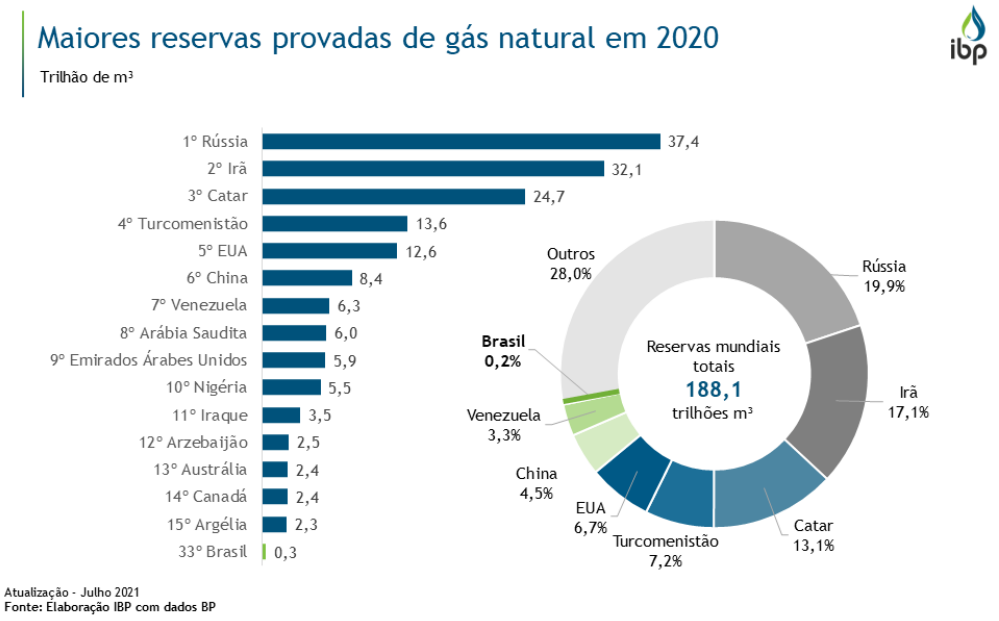
1. INTRODUÇÃO....12
1.1 Objetivo Geral 13
1.2 Objetivo Específico 13
1. 3 Justificativa 14
1.4 Metodologia 14
2. DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DA SUSTENTABILIDADE 16
3. HIDROGÊNIO....18
3.1 Armazenamento de hidrogênio....22
3.2 Vetor energético....23
4. CARACTERIZAÇÃO DO QUADRO DE ENERGIA ELÉTRICA DE FONTES RENOVÁVEIS ATUAIS NO BRASIL....26
4.1 A Produção de Hidrogênio no Brasil....29
5. MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO....31
5.1 Eletrólise....31
5.2 Eletrolisadores 32
6. HIDROGÊNIO VERDE....35
6.1 Economia verde 36
6.2 Aplicação da célula de combustível ao hidrogênio verde....40
6.3 Toyota Mirai 42
6.4 Dificuldades do mercado de Hidrogênio 48
6.5 Viabilidade econômica....49
CONCLUSÃO....50
REFERÊNCIAS....52

1. INTRODUÇÃO

Diversas regiões do mundo estão empenhadas em reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, alinhando-se às metas estabelecidas pelo Acordo de Paris, de 2015, que visa limitar o aumento da temperatura global a menos de 1,5ºC em relação aos níveis pré-industriais. A substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis, como o hidrogênio verde, surge como uma estratégia essencial para mitigar o aquecimento global e garantir um futuro sustentável. No Brasil, a demanda por energia cresce cerca de 3,2% ao ano, segundo o Plano Energético Nacional, o que reforça a necessidade de alternativas que aliem eficiência energética e redução de impactos ambientais.

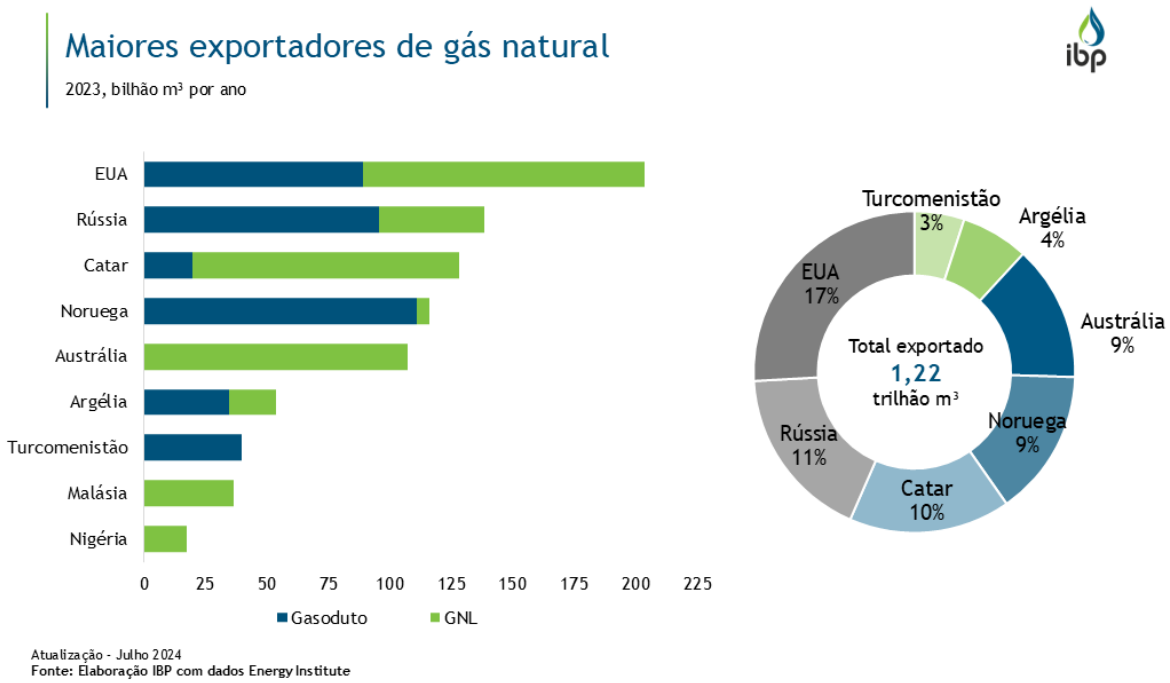
No cenário global, crises geopolíticas, como a guerra entre Rússia e Ucrânia, intensificaram a busca por soluções energéticas sustentáveis. A escassez de gás natural e petróleo evidenciada pela dependência desses recursos, conforme as figuras 1 e 2 relatam que a Rússia é um dos principais países que possuem as maiores reservas e exportações do Gás Natural para os diversos países, com isso acelerou o interesse pelo hidrogênio verde como alternativa para a geração de energia elétrica. Reconhecido por ser produzido a partir de fontes limpas e renováveis, o hidrogênio verde apresenta grande potencial, especialmente em aplicações tecnológicas como as células a combustível, utilizadas em veículos como o Toyota Mirai.

Figura 1 – Maiores Reservas Provadas de Gás Natural em 2020



Fonte: https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/maiores-reservas-provadas-de-gas-natural-em-2020 acessado em 09/12/2024

Figura 2 – Maiores exportadores de Gás Natural



Fonte: https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/maiores-exportadores-de-gas-natural/ acessado em 09/12/2024.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo é analisar o potencial do hidrogênio verde na geração de energia elétrica, com foco na utilização das células a combustível. Busca-se explorar as vantagens dessa tecnologia, compreendendo os desafios e oportunidades relacionados à sua produção, armazenamento, transporte e aplicação.

1.2 Objetivo Específico

Entre seus exemplos mais notáveis está o Toyota Mirai, um veículo movido por hidrogênio que ilustra o potencial dessa tecnologia na prática. O Mirai combina eficiência energética com sustentabilidade, oferecendo autonomia de 650 quilômetros e um processo de abastecimento rápido, em contraste com as longas recargas de veículos elétricos convencionais, além de avaliar a viabilidade técnica e econômica dessa tecnologia, o estudo analisará seu impacto na geração elétrica e nas projeções para o mercado brasileiro, que se posiciona como um potencial exportador dessa fonte limpa de energia. A relevância do tema

está associada à sua capacidade de atender às demandas por energia sustentável, promovendo inovação, geração de empregos e uma economia de baixo carbono.

1.3 Justificativa

Este trabalho se justifica pela necessidade urgente de encontrar soluções energéticas sustentáveis, impulsionada pelo aumento da demanda global por energia e pelas pressões para reduzir as emissões de carbono. Reduzir as emissões de GEE, especialmente de CO2 e CH4, é crucial para mitigar o aquecimento global e garantir um futuro sustentável para o planeta. Nesse contexto, como ilustrado na figura 3, evidencia-se a importância de substituir os combustíveis fósseis por fontes de energia renovável, sendo o hidrogênio (H2) derivado de fontes limpas e renováveis uma alternativa viável para impulsionar essa transição energética em direção a uma economia com baixas emissões de carbono (Bezerra, 2021).

Figura 3 – Participação dos setores no perfil das Emissões brasileiras em 2021 e 2022



Participação dos setores nas emissões de gases do efeito estufa no Brasil. — Foto: SEEG/Observatório do Clima

Fonte: https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2023/11/23/nivel-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-no-brasil-cai-8percent-em-2022-aponta-relatorio.ghtml acessado em 09/12/2024.

1.4 Metodologia

A metodologia empregada combina pesquisa bibliográfica e análise descritiva, estruturada em etapas sequenciais. Em princípio, foram estudados e fundamentados pelo referencial teórico os impactos das crises energéticas e as estratégias globais para a descarbonização da economia, com base em dados históricos e projeções futuras. Em seguida, foi realizada uma investigação sobre a produção, armazenamento, transporte e uso

do hidrogênio verde, com foco em suas aplicações em células a combustível. As células a combustível são fundamentais para a conversão eficiente do hidrogênio em eletricidade por meio de processos eletroquímicos, com emissões zero de carbono no uso final, além disso, sua integração em matrizes energéticas pode impulsionar economias como a brasileira, que possui alto potencial para a produção de hidrogênio verde devido à abundância de recursos renováveis, como energia solar, eólica e biomassa.

Com isso, espera-se contribuir para o entendimento do hidrogênio verde como uma solução estratégica e inovadora no enfrentamento dos desafios energéticos e ambientais contemporâneos. Depois de muitos anos sendo considerado uma fonte de energia inovadora e com grande potencial para o futuro, porém com desafios tecnológicos e comerciais significativos, o hidrogênio passou a ser um foco estratégico de governos e empresas em diversas partes do mundo.

2. DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DA SUSTENTABILIDADE

O início da sustentabilidade se dá no contexto dos efeitos da globalização, começando por propor limites e símbolos que reposicionam o processo de civilização humana para questionar a lógica e os parâmetros de sustentação e estabelecimento de um modelo único de crescimento econômico, ratificando a ecologia do processo e cultura humana.

Quando o primeiro Relatório de Desenvolvimento Humano saiu alguns anos depois, a situação era completamente diferente no início dos anos 1990. Muitos analistas passaram a entender o crescimento econômico como um elemento de um processo maior porque seus resultados não se traduzem automaticamente em lucros. O Plano de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 21 apresentado na ECO-92 identifica três áreas de desenvolvimento sustentável: econômica, social e ambiental, com o objetivo principal de construir a cidadania, criar melhores condições de vida para os seres humanos e respeitar outras formas de vida importantes.

Segundo Sandro Lira (2008) a Agenda 21, apresentada na Rio 92, é composta por 40 capítulos divididos em quatro partes, totalizando cerca de mil páginas, sendo:

A primeira parte da agenda trata de dimensões sociais e econômicas, como cooperação internacional para acelerar o desenvolvimento sustentável nos países em desenvolvimento, erradicação da pobreza, mudança nos padrões de consumo, dinâmica populacional, saúde e habitação.

A segunda parte trata da conservação e gestão dos recursos naturais para o desenvolvimento, abordando temas como proteção da atmosfera, planejamento e gestão dos solos, combate ao desmatamento em áreas florestais, gestão de ecossistemas frágeis, combate à desertificação, promoção do desenvolvimento agrícola e rural sustentável, biodiversidade conservação, biotecnologia, conservação marinha, gestão de recursos hídricos e gestão do uso de produtos químicos tóxicos e produtos radioativos.

A terceira parte trata de temas relevantes para grandes grupos sociais, como a definição de regras de atuação para minorias, mulheres, crianças e adolescentes, povos indígenas, organizações não governamentais (ONGs), governos locais, trabalhadores e sindicatos, regras para empresas e indústrias, Regras de ação para a comunidade tecnológica e agricultores.

A quarta parte trata dos meios de implementação da Agenda 21, como mecanismos e recursos financeiros, apoio e facilitação do acesso à transferência de tecnologia, ciência

para o desenvolvimento sustentável, promoção da educação ambiental, acordos de cooperação nacional e internacional para capacitação do desenvolvimento sustentável, arranjos institucionais internacionais , Mecanismos e instrumentos jurídicos internacionais e o estabelecimento de bases de informação para apoiar a tomada de decisões.

Diante dos fatos acima, fica claro que a ação de desenvolvimento sustentável continua sendo uma questão ética, e que o desenvolvimento sustentável requer, além da implementação de medidas adequadas de política ambiental, um sistema político e econômico estável que possibilite a participação. A tomada de decisão democrática em toda a sociedade, ou direitos iguais para homens e mulheres, não depende da renda.

Observar o contexto das questões ambientais que estão sendo discutidas em todas as áreas da sociedade é de interesse de todos, pois as mudanças ambientais podem ter um impacto positivo ou negativo em nossa qualidade de vida. A consciência social global dos enormes desafios que a humanidade enfrenta criou as condições para um debate vigoroso sobre o destino ambiental do nosso planeta que faz parte da Nova Ordem Mundial. As relações comerciais entre as nações são cada vez mais regidas por discussões socioambientais, e formas sistemáticas de produção e gestão ambiental buscam formas de lidar com os perigos e incertezas do futuro da humanidade.

Diante do exposto, a exploração da proteção ambiental esclareceu a necessidade de utilização integral dos recursos naturais, formando assim um padrão regional que é cada vez mais fruto da produção histórica e tende a negar a natureza. Substituído por uma natureza completamente humana. Embora a adoção de tecnologias digitais permaneça lenta, ainda há oportunidades no país. Para aproveitá-los, são necessárias mudanças no sistema de gestão. Inovação e sustentabilidade devem estar integradas em processos como gestão de riscos, desenvolvimento de produtos, gestão de fornecedores e desenvolvimento de pessoas. Fortaleça o controle do desmatamento, o rastreamento da cadeia de valor, a eficiência energética e a economia circular e melhore a utilização de recursos na gestão urbana.

3. HIDROGÊNIO

O hidrogênio foi descoberto por Henry Cavendish, físico-químico, em 1766, ao observar bolhas de ar inflamável surgindo durante um experimento com ácido e ferro. Posteriormente, Lavoisier nomeou esse elemento de hidrogênio, derivado do termo grego que significa formação de água, devido à produção de água resultante das explosões. (AZEVEDO, 2021).

O hidrogênio é um dos elementos mais abundantes na natureza, com propriedades únicas, ou seja, não se assemelha a nenhum outro elemento químico conhecido, não sendo classificado como metal ou ametal. Ele constitui cerca de 76% da massa do universo e 93% dos átomos, ainda que raramente seja encontrado em sua forma pura (H2), estando geralmente combinado com outros elementos como oxigênio, carbono, nitrogênio, entre outros. Devido a isso, o hidrogênio não pode ser considerado uma fonte primária de energia, como os combustíveis fósseis ou energia nuclear, mas sim um importante meio de armazenamento energético. Ele pode ser obtido a partir de diversas fontes, como energia solar, eólica, combustíveis fósseis (petróleo ou gás natural) ou energia nuclear, podendo ser armazenado como líquido, gás ou composto químico e posteriormente convertido em energia através de sua combustão em motores, fornos, turbinas, processos eletroquímicos, entre outros. (AZEVEDO, 2021).

O átomo de hidrogênio, representado pela letra H na química, é formado por apenas um próton e um elétron, o que o torna distinto em relação aos demais elementos. Devido à sua natureza eletropositiva, o hidrogênio é geralmente classificado no grupo I (metais alcalinos), mas em determinadas condições, seu comportamento se assemelha ao dos halogênios, podendo aceitar um segundo elétron e formar um íon mono negativo. (SILVA, 1991).

O hidrogênio é o elemento de menor peso, com o núcleo de seu isótopo principal composto por um único próton. A molécula de hidrogênio (H2) é composta por dois átomos unidos, compartilhando seus dois elétrons através de uma ligação covalente. (SILVA, 1991).

Quando mantido em condições normais de temperatura e pressão, ou seja, 0 ºC e 1 atm, o hidrogênio se apresenta como um gás altamente inflamável, inodoro, insípido e incolor, não se dissolvendo em água e sendo muito mais leve que o ar. Já no estado líquido, o hidrogênio só pode ser armazenado em temperaturas extremamente baixas, de -253 ºC, em sistemas de armazenamento conhecidos como criogênicos. Para temperaturas mais altas, o hidrogênio é armazenado como gás comprimido em cilindros de alta pressão. (CGEE, 2017).

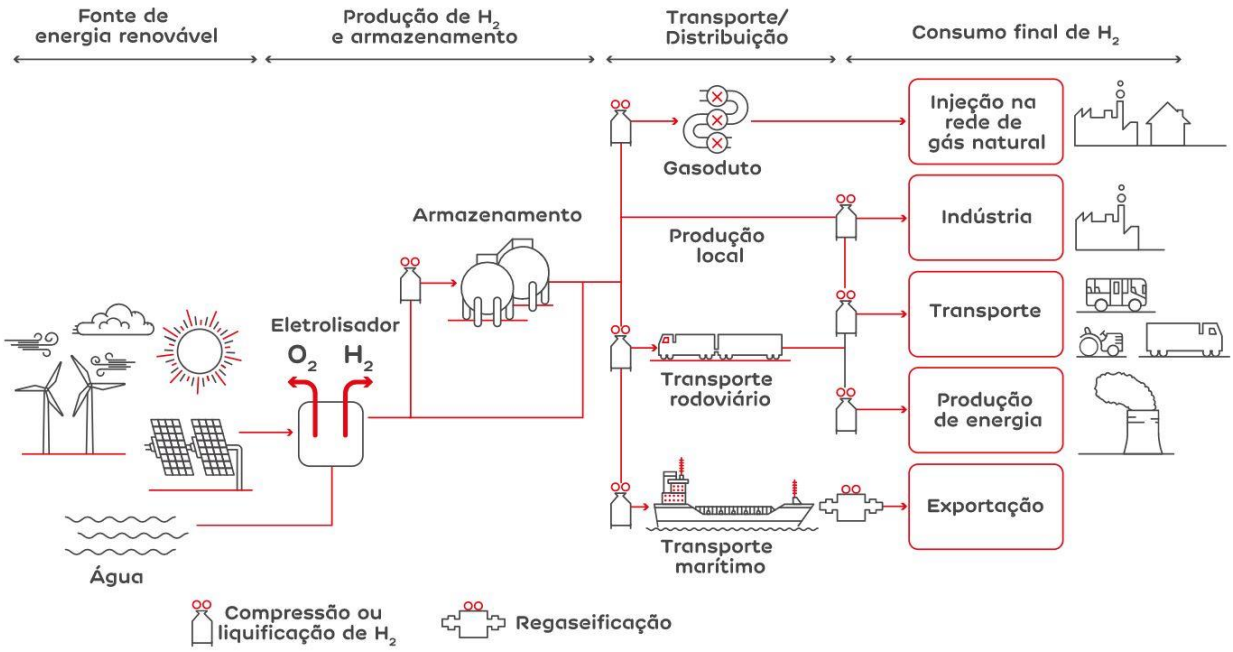
O gás hidrogênio tem um alto grau de inflamabilidade quando misturado com o ar, em concentrações que variam de 4% a 75% por volume. A quantidade mínima de energia necessária para iniciar a combustão do hidrogênio é extremamente baixa e, sob certas condições, pode ocorrer a autoinflamação. Comparado aos hidrocarbonetos, a energia necessária para iniciar a combustão de uma mistura de hidrogênio/ar é significativamente menor, com apenas 0,04 mJ. Além disso, a chama produzida pelo hidrogênio é muito quente, com uma densidade energética de 38 kWh/kg, em comparação com os 14 kWh/kg da gasolina. Essas características tornam o hidrogênio um combustível altamente eficiente, embora sua sensibilidade à ignição também traga desafios consideráveis para seu uso. (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022).

A capacidade de armazenar energia por unidade de peso do hidrogênio é a mais alta entre todos os combustíveis conhecidos: 120,7 kJ/g. A quantidade de energia presente em 1 kg de hidrogênio equivale à energia de 2,75 kg de gasolina (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022). Quando resfriado até o estado líquido, o hidrogênio ocupa apenas 1/700 do volume que ocuparia no estado gasoso, com uma densidade de 0,08967 kg/m³, enquanto o ar é 14,4 vezes mais denso, possuindo a densidade de $\rho ar = 1,2928$ kg/m³. A temperatura de transição de fase do hidrogênio de líquido para gasoso é de -252,88 ºC, e a de fusão é de -259,20 ºC (AZEVEDO, 2021). Sob pressão muito baixa, o hidrogênio existe como átomos individuais, mas, quando submetido a altas pressões, suas moléculas se alteram e o hidrogênio adquire propriedades de um líquido metálico.

Por ser altamente reativo quimicamente, o hidrogênio geralmente não é encontrado isolado como um único elemento (H2), mas sim está presente em conjunto com o petróleo, o carvão, o metano, a água, o gás natural, as proteínas, os carboidratos e em várias formas de vegetação. Portanto, é necessário separar os átomos de hidrogênio dos outros elementos com os quais está ligado, o que requer energia. Essa separação pode ser realizada por meio de processos específicos ou como um subproduto em diversas operações industriais. (BEZERRA, 2021).

Na indústria, o hidrogênio pode ser produzido a partir de uma ampla variedade de matérias-primas, o que resulta na divisão dos processos de obtenção em quatro categorias distintas, conforme representado na figura 4.

Figura 4 - Classes tecnológicas de produção de hidrogênio

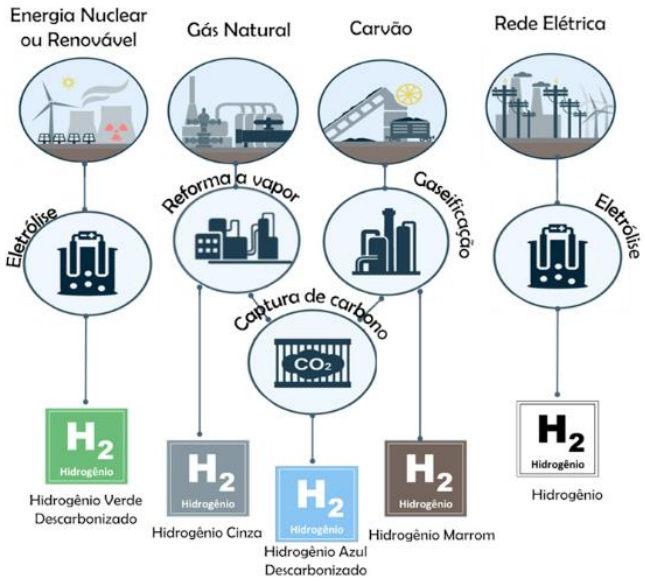


Fonte: https://www.edp.com/pt-pt/historias-edp/os-superpoderes-do-hidrogenio acessado em 09/12/2024.

A principal forma de obtenção de hidrogênio ocorre por meio de sua produção a partir de combustíveis fósseis. O gás natural representa a principal fonte utilizada, respondendo por aproximadamente 75% da produção mundial de hidrogênio, seguido pelo carvão, que contribui com 23%. O restante da produção de hidrogênio, cerca de 2%, é proveniente do petróleo, eletricidade e, em determinadas regiões, da biomassa. (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022).

Entre os diversos combustíveis fósseis mencionados e ilustrados na figura 5, o gás natural se destaca como a fonte predominante na produção de hidrogênio. Isso ocorre devido ao fato de que o gás natural possui a maior quantidade de hidrogênio em relação ao carbono, quando comparado com outros combustíveis fósseis. Como consequência, a emissão de CO2 no processo de produção de hidrogênio a partir do gás natural é consideravelmente inferior à emissão gerada pela gaseificação do carvão.

Figura 5 – Tipos de Hidrogênio



Fonte: https://mitsidi.com/as-formas-de-producao-de-hidrogenio/ acessado em 09/12/2024.

Os métodos de fabricação de hidrogênio a partir de fontes não renováveis usam substâncias como hidrocarbonetos líquidos, carvão ou gás natural como opções de matéria-prima, resultando na emissão de CO2 como subproduto do processo.

A geração de hidrogênio a partir da água engloba diversas tecnologias disponíveis, sendo a eletrólise da água a mais conhecida e amplamente utilizada; o método de eletrólise da água envolve a decomposição da água em seus componentes, hidrogênio e oxigênio, por meio de eletricidade proveniente de fontes renováveis, como energia solar ou eólica, resultando em um processo livre de carbono. Tanto a extração de hidrogênio a partir de combustíveis fósseis quanto de biomassa produz emissões de dióxido de carbono (CO2). No entanto, nas abordagens que utilizam biomassa, as plantas capturam o CO2 para seu crescimento e desenvolvimento, o que torna o processo neutro em carbono, ao contrário dos métodos que empregam combustíveis fósseis (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022).

Uma alternativa viável para reduzir a emissão de CO2 é a captura e o armazenamento do mesmo, o que poderia resultar em um impacto negativo no carbono no caso da biomassa (captura de CO2 excedendo a quantidade gerada durante todo o ciclo de vida).

Além das formas de obtenção de hidrogênio mencionadas anteriormente, vale ressaltar a identificação de depósitos naturais de hidrogênio em Mali (PRINZHOFER, 2018). Na natureza, vários processos naturais podem levar à produção geológica de hidrogênio,

como a radiólise da água, a serpentinização e a oxidação do minério de ferro (ZGONNIK, 2020). Embora exista uma quantidade significativa de estudos científicos sobre o assunto, essa alternativa é pouco divulgada devido à sua viabilidade econômica limitada.

3.1 Armazenamento de hidrogênio

O gás hidrogênio tem a capacidade de ser armazenado de diversas maneiras, incluindo comprimido, liquefeito ou através de hidretos metálicos, de acordo com (AMOS, 1998).

A fim de manter o hidrogênio em estado gasoso, a abordagem mais popular é através da compressão de gás, pois essa é a forma mais simples, requerendo apenas um compressor e um recipiente sob pressão. No entanto, a principal desvantagem desse método é a baixa densidade de armazenamento, a qual está diretamente relacionada com a pressão (AMOS, 1998). Nesse sentido, há uma relação de proporcionalidade: quanto maior a pressão de armazenamento, maiores serão os investimentos em capital, especialmente em compressores, e maiores serão os custos operacionais.

O armazenamento de gás H2 através de gasodutos pode ser uma alternativa viável. De acordo com Silva (1991), é comum o transporte de gases por meio de gasodutos. Essa rede de gasodutos atua como um grande reservatório, operando em pressões intermediárias entre os tanques de armazenamento e os cilindros pressurizados. A temperatura do gás varia de acordo com a temperatura ambiente, enquanto o volume está relacionado ao comprimento e diâmetro da tubulação. Por exemplo, um gasoduto com 1.000 km de comprimento, 0,50 m de diâmetro e operando a 20 atm pode armazenar cerca de 325 toneladas de H2 (SILVA, 1991).

No entanto, a quantidade de gás guardada muda quase que igualmente à mudança na pressão de trabalho, levando em conta seu tamanho e volume, uma pequena alteração na pressão de trabalho resultaria em uma grande mudança na quantidade de gás armazenado no sistema. Como desvantagens da utilização de gasodutos para armazenar hidrogênio, inclui-se não apenas o comprimento extenso, mas também problemas com a manutenção da rede de dutos.

Para guardar o hidrogênio como líquido, é preciso transformá-lo em líquido, os métodos de transformação em líquido envolvem o uso de compressores, trocadores de calor, expansores e válvulas para alcançar o resfriamento desejado. A principal preocupação ao armazenar hidrogênio líquido é evitar perdas devido à vaporização. Uma vez que o

hidrogênio é mantido como um líquido criogênico em sua temperatura de ebulição, qualquer transferência de calor para o líquido resulta em evaporação do hidrogênio. Os recipientes para armazenar hidrogênio líquido, em sua maioria, são em forma de esfera, já que essa forma possui a menor área de superfície para troca de calor por unidade de volume. (AMOS, 1998).

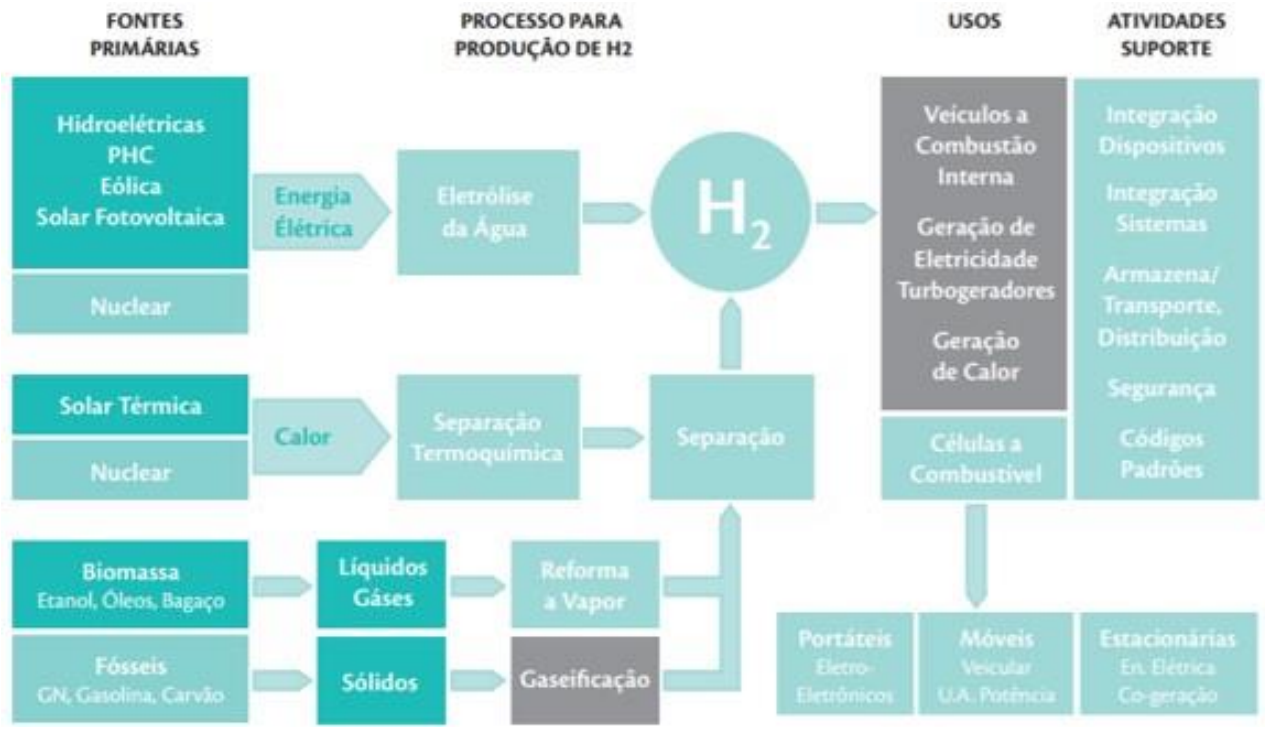
3.2 Vetor energético

De acordo com Silva (1991), apesar de ter sido utilizado como combustível para motores no século XIX, o hidrogênio ainda é pouco explorado como fonte de energia. No início do século XX, começaram a surgir os primeiros registros do uso prático do hidrogênio no campo dos transportes. Por exemplo, ele foi empregado em motores e como gás de enchimento para balões e dirigíveis, como o LZ de Ferdinand Von Zeppelin. Foi somente após a Segunda Guerra Mundial, com o avanço da tecnologia e a redução de custos, que o hidrogênio passou a ser utilizado em larga escala na indústria. Posteriormente, com a corrida espacial e os investimentos intensos em pesquisa científica e tecnológica, foram desenvolvidas as modernas tecnologias de geração de energia.

Siblerud (2001) menciona casos de utilização de energia do hidrogênio ao redor do mundo, como por exemplo a Austrália, que tem estudado o uso do hidrogênio em transportes desde 1970; a Bélgica, onde se encontra o projeto Euro Quebec Hydro Hidrogen Pilot (EQHHPP), com a finalidade de demonstrar a versatilidade do hidrogênio; o Canadá, lar da Ballard Power System, empresa que desenvolve e produz células de combustível, o Brasil com as pesquisas da Unicamp utilizando um Toyota e uma Kombi movidos a hidrogênio; a Alemanha, representada pela Mercedes Benz, que utiliza hidrogênio em automóveis; e o Japão, um dos líderes na tecnologia do hidrogênio.

Quando o hidrogênio é queimado juntamente com oxigênio puro (O2), os únicos produtos gerados são calor e água (H2O). Ao ser queimado com ar, composto principalmente por nitrogênio (N2), são produzidos alguns óxidos de nitrogênio (NOX). Mesmo assim, a queima de hidrogênio gera menos poluentes do que os combustíveis fósseis. Em um sistema de célula a combustível, a utilização do H2 traz benefícios, como a eliminação da necessidade de reformadores, que são usados para extrair o hidrogênio de uma fonte desse combustível, como o gás natural. Isso resulta em uma redução no tamanho e no custo do sistema (BEZERRA, 2021). Com isso resulta em rotas em relações as produções e utilizações do componente em virtude ao vetor energético, como descrito pela figura 6.

Figura 6 - Rotas para produção e utilização do hidrogênio como vetor energético



Fonte: https://www.portaldoagronegocio.com.br/energias-renovaveis/outros/artigos/hidrogenio-verde-o-combustivel-do-futuro acessado em 09/12/2024.

Sendo assim, o hidrogênio pode ser utilizado diretamente como fonte de energia de baixo ou nulo carbono, a depender de seu processo de produção, em setores de difícil eletrificação e como vetor para armazenamento de energia, viabilizando maior entrada de renováveis variáveis como a eólica, solar, e outras na matriz energética mundial. Analisando desse ponto de vista, o hidrogênio é visto como um recurso com plena capacidade de promover o engate dos mercados de combustíveis, elétrico, industrial e outros assim, o hidrogênio poderá não apenas contribuir para a descarbonização profunda da economia mundial, mas também promover uma maior dinâmica competitiva ampla e descentralizada ao acoplar os diferentes segmentos de mercado.

Hoje em dia, desperta-se um grande interesse em aplicações de veículos e na produção descentralizada de energia. A tecnologia de células a combustível para veículos possui vantagens significativas, devido às eficiências superiores desses sistemas, alcançadas pela combinação de célula a combustível e motor elétrico e, principalmente, pela quase inexistência de emissões locais. Células a combustível podem operar com hidrogênio, metano, gás natural ou álcoois (como metanol e etanol) para gerar potência na ordem de

watts. Até para potências em quilowatts, ainda assim as células a combustível apresentam maior eficiência do que os motores de combustão interna.

As principais responsáveis por esse crescimento são as refinarias de petróleo, que empregam o hidrogênio para a produção de combustíveis a partir do processo de hidrocraqueamento do petróleo, assim como na fabricação de fertilizantes, indústria de alimentos, na produção de semicondutores, entre outros; sendo que 95% desse hidrogênio é gerado a partir de fontes de combustíveis fósseis (BEZERRA, 2021).

Devido às projeções de expansão do setor de hidrogênio como fonte de energia, acredita-se em um considerável aumento do comércio internacional desse recurso. Países-chave da Europa já manifestaram planos para investir em instalações de produção de hidrogênio em outras nações, visando fortalecer o mercado global desse recurso para uso energético (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022).

Por último, devemos destacar que as possibilidades de utilização de energia ainda são muito restritas, devido a uma série de fatores, tais como os desafios tecnológicos associados à produção de hidrogênio com baixa emissão de carbono, os custos de fabricação, os custos dos equipamentos necessários para a utilização energética do hidrogênio (incluindo questões de segurança), os obstáculos no transporte e armazenamento, a necessidade de estabelecer estruturas institucionais, legais e regulatórias adequadas (como desenho de mercados, padronização, entre outros).

4. CARACTERIZAÇÃO DO QUADRO DE ENERGIA ELÉTRICA DE FONTES RENOVÁVEIS ATUAIS NO BRASIL

As fontes de energia limpa são originadas de processos naturais de transformação da luz solar, principal fonte de energia disponível no planeta, o que significa que são virtualmente inesgotáveis e não causam impactos no equilíbrio térmico da Terra. Por essa razão, são conhecidas como um conjunto de fontes de energia sustentáveis (PACHECO, 2006). O panorama energético do Brasil se sobressai em relação aos demais países, uma vez que, apesar do maior consumo de fontes não renováveis em comparação com as fontes renováveis, ao considerar a soma de biomassa, energia hidrelétrica, biocombustíveis e outras fontes renováveis, o país se destaca como o maior usuário de energias renováveis em nível global (EPE, 2021).

Estudos dizem que as energias renováveis correspondam a aproximadamente 80 a 85% da produção de eletricidade e cerca de 40 a 50% da oferta energética total do Brasil, devido às condições climáticas favoráveis do país. Esses aspectos posicionam o Brasil como um importante player no cenário dos recursos energéticos (EPE, 2021).

No ano de 2005, as emissões provenientes do setor elétrico atingiram a marca de 26,4 milhões de toneladas de CO2, o que representou 1,2% do total de emissões de gases de efeito estufa naquele ano no Brasil. Já em 2012, esse valor subiu para 30,7 milhões de toneladas de CO2, correspondendo a 1,9% do total de emissões no país. No ano de 2013, as emissões do setor elétrico alcançaram 75 milhões de toneladas de CO2, alcançando o recorde histórico nesse setor. Esse aumento está diretamente relacionado a dois fatores principais: a mudança no padrão hidrológico ao longo de 2012 e a entrada em operação de diversas termelétricas leiloadas nos anos de 2007 e 2008, principalmente aquelas movidas a óleo combustível e gás natural (BOTELHO, 2014). Conforme dados do SEEG, estima-se que as emissões totais em 2020 tenham atingido 1,52 bilhões de toneladas de CO2 equivalente, representando um aumento de 14% em comparação com 2019.

Conforme as diretrizes estabelecidas pela Contribuição Nacionalmente Determinada para o segmento energético, o Brasil pretende atingir a meta de 45% de fontes de energia renovável na matriz energética até o ano de 2030. Para isso, será necessário ampliar a utilização de outras formas de energia renovável, além da hidrelétrica, como é o caso do incremento da energia eólica, biomassa e solar (BRASIL, 2015).

O átomo de hidrogênio, também conhecido como prótio, é o mais simples entre todos os átomos, consistindo em um próton e um elétron. Por ser altamente reativo, é encontrado

na natureza combinado com outro átomo de hidrogênio. Quando combinado com um oxidante em quantidades adequadas, forma uma mistura combustível. Apesar de ser um dos elementos químicos mais abundantes no planeta, o hidrogênio raramente é encontrado de forma isolada na natureza, sendo necessário passar por um processo de extração para obtê-lo em sua forma pura. (RAJESHWAR, 2008).

A fabricação de hidrogênio verde (H2V) a partir de fontes de energia renovável é conhecida por sua capacidade de produzir energia limpa e sem emissão de dióxido de carbono. Dessa forma, o H2V está se destacando como uma alternativa viável aos combustíveis fósseis a longo prazo, pois pode ajudar a reduzir a poluição do ar, contribuir para a redução do aquecimento global, servir como uma possível solução para atender a demanda energética e diminuir a dependência do petróleo (FRANCO, 2021).

Segundo informações contidas no relatório "Fundamentos para a Elaboração da Estratégia Brasileira" redigido em 2021, o hidrogênio já possui ampla abrangência no mercado interno. Apenas em 2019, esse mercado movimentou aproximadamente USD 136 bilhões, sendo que as principais razões para o alto volume de investimentos nessa área são a urgência dos países em investir em fontes que contribuam para a descarbonização do setor energético, de modo a atingir as metas estabelecidas no Acordo de Paris (EPE, 2021).

O gás hidrogênio é capaz de ser gerado a partir de fontes renováveis e não renováveis e pode ser empregado como matéria-prima em diferentes áreas industriais (indústria química, alimentícia, refinaria, combustíveis, entre outras). Atualmente, existem três principais métodos de produção de hidrogênio. O primeiro é o método cinza, que é obtido através do gás natural, sem a captura dos gases liberados durante o processo, sendo este o método mais econômico e amplamente utilizado na indústria.

O segundo é o método azul, que segue a mesma linha do cinza, mas é gerado a partir do gás natural ou carvão mineral e possui a tecnologia de captura dos gases emitidos durante a produção, tornando o processo mais custoso. Por fim, temos o hidrogênio verde, que vem ganhando destaque no setor de energia por se tratar de um processo sustentável utilizando a eletrólise da água. Este método tem sido considerado uma ferramenta essencial para a redução das emissões de carbono na indústria (MME, 2021).

Ao discutir o método de obtenção do hidrogênio, é importante ter em mente que no momento da divisão das moléculas de hidrogênio e oxigênio em sua forma elementar é preciso que haja uma fonte de energia capaz de fornecer a quantidade necessária para essa separação acontecer. Por essa razão, o hidrogênio é classificado como um portador de

energia, pois sozinho ele não possui a capacidade de realizar essa divisão molecular (ANEEL, 2018).

Figura 7 – Hidrogênio verde



Fonte: https://g1.globo.com/pr/parana/especial-publicitario/fiep/sistema-fiep/noticia/2023/04/28/hidrogenio-verde-o-que-voce-deve-saber-sobre-o-combustivel-do-futuro.ghtml acesso em 09/12/2024.

O hidrogênio como a figura 7 acima, apresenta uma ampla variedade de métodos de produção. No entanto, o hidrogênio verde, chamado assim por ser gerado a partir de fontes renováveis como energia solar ou eólica, está se destacando cada vez mais nas fontes de energia em todo o mundo. Sua produção é considerada a mais limpa e sustentável em comparação com outras formas de produção de hidrogênio, pois não causa impactos ambientais quando derivado de fontes renováveis (IBERDROLA, 2021).

Para a fabricação de hidrogênio verde, é imprescindível o uso de fontes de energia limpas, o Brasil se destaca internacionalmente por sua expertise em energias sustentáveis. A energia hidráulica é gerada a partir do aproveitamento da água de rios armazenada em reservatórios, usinas hidrelétricas que utilizam a força da água para a produção de energia elétrica. Já a energia solar é obtida através da captação da radiação solar por painéis fotovoltaicos, que podem ser instalados em telhados ou em áreas sem vegetação. A energia eólica, por sua vez, é gerada por aerogeradores instalados em torres. As energias provenientes da biomassa têm como principal fonte a cana-de-açúcar. O biogás é produzido a partir da decomposição de material orgânico na ausência de oxigênio, processo conhecido como digestão anaeróbica, resultando em biogás contendo de 50% a 70% de metano. Com esses dados o quadro 1 demonstra de maneira mais precisa em formato percentual das fontes renováveis no Brasil.

Quadro 1 - Percentual de Fontes renováveis no Brasil

Fonte	%
Hidrelétricas	63,8
Eólicas	9,3
Biomassa e Biogás	8,9
Solar	1,4

Fonte: https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira acesso em 09/12/2024.

Prevê-se um aumento de 60% no consumo de energia no Brasil até 2040, juntamente com um aumento na produção de energia renovável, que passou de 40% em 2016 para 48%, de acordo com as informações do quadro 2 sobre produção de energia.

Quadro 2 - Crescimento de produção energética do Brasil 2016-2040

2016	2040
Petróleo 40%	Petróleo 31%
Hidrelétricas 29%	Hidrelétricas 24%
Fontes alternativas 13%	Fontes alternativas 24%
Gás 11%	Gás 16%
Carvão 6%	Carvão 3%
Nuclear 1%	Nuclear 2%

Fonte: https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2018/11/28/bp-energia-renovavel-brasil-dobrar.htm acesso em 09/12/2024.

4.1 A Produção de Hidrogênio no Brasil

De acordo com uma pesquisa sobre hidrogênio energético no Brasil realizada pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, - CGEE, constatou-se que a promoção e a implementação da economia do hidrogênio são de extrema importância sob a ótica econômica, tecnológica e ambiental. Além disso, foram identificadas grandes possibilidades e benefícios a serem considerados, tais como: diminuição de impactos ambientais na geração e utilização de energia; aumento da segurança energética; melhoria do aproveitamento dos recursos naturais; desenvolvimento regional; desenvolvimento de parque industrial competitivo; geração de empregos.

Embora tenha habilidade para produzir esse tipo de combustível, existem muitos obstáculos que precisam ser superados para garantir um desenvolvimento econômico, como a fabricação deste tipo de combustível no Brasil requer equipamentos que permitam disputar o mercado em igualdade com empresas estrangeiras, para elas isso ainda é um desafio, como a concorrência, políticas energéticas, regulamentos e diretrizes e as inovações tecnológicas.

Entende-se por concorrentes as empresas no Brasil, as quais enfrentam concorrentes internacionais que se beneficiam de políticas de apoio do governo em seus próprios países. Já os obstáculos em relação as políticas energéticas, conclui-se como ausência de medidas de estímulo para o avanço de tecnologias nesse setor. Os regulamentos e diretrizes são considerados uma carência de uma diretriz nacional para padronização energética do hidrogênio, especialmente em termos de segurança e operações. Tal aspecto é imprescindível para a introdução bem-sucedida de uma tecnologia inovadora no mercado. Mesmo com tentativas de adequação e tradução de normas já existentes internacionalmente, percebe-se a escassez de normas brasileiras e a pouca contribuição do país na elaboração das normas globais.

Por fim, as inovações tecnológicas, há um vasto campo para o avanço da tecnologia de itens relacionados à geração e utilização de hidrogênio, visando a diminuição de gastos e a ampliação das possibilidades de uso. Dessa forma, a evolução e aperfeiçoamento de dispositivos como células de combustível possibilitam uma expansão dos segmentos dessas tecnologias, promovendo o desenvolvimento de uma tecnologia mais acessível devido aos menores custos envolvidos.

5. MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO

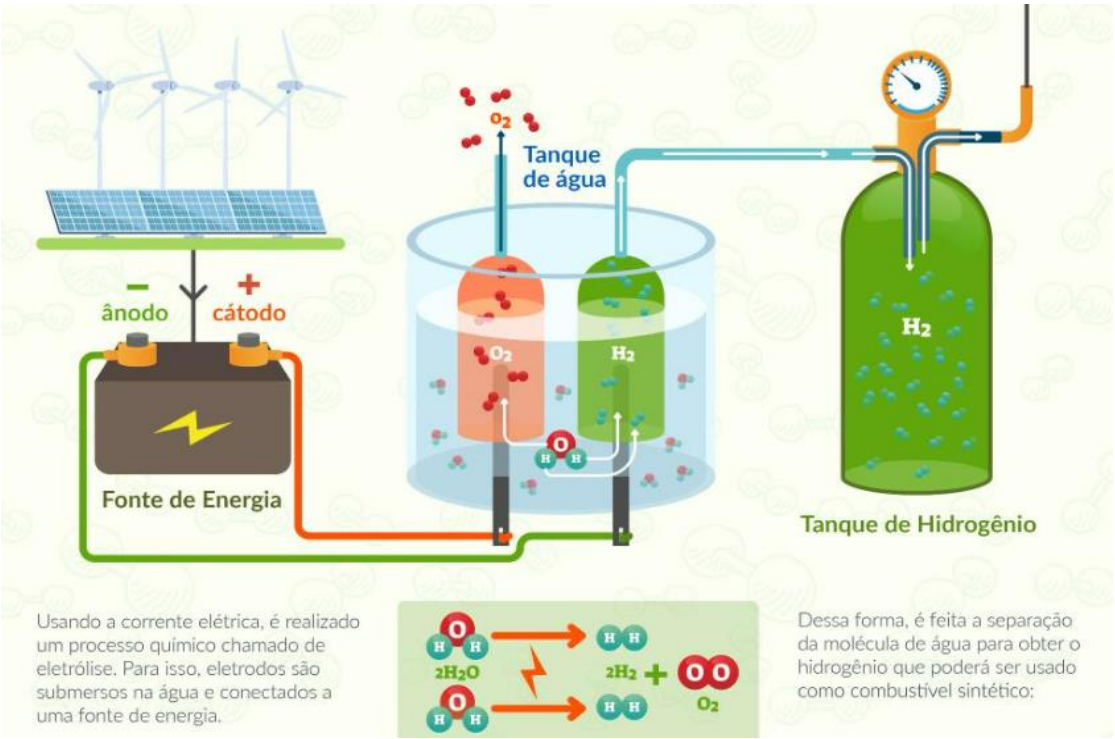
A produção de hidrogênio verde ocorre por meio de processos que utilizam fontes renováveis de energia, sendo a eletrólise da água a principal técnica. Nesse método, a molécula de água (H_2O) é dividida em hidrogênio (H_2) e oxigênio (O_2) por meio de uma corrente elétrica. Para garantir que o hidrogênio produzido seja considerado "verde", a eletricidade utilizada deve ser proveniente de fontes limpas, como energia solar, eólica ou hidráulica.

5.1 Eletrólise

A eletrólise acontece quando uma corrente elétrica é utilizada para separar as moléculas de oxigênio e hidrogênio presentes na água. Se a eletricidade vem de fontes de energia renováveis, esse processo é considerado sustentável em comparação com outras formas de produção de hidrogênio que geram dióxido de carbono na atmosfera (Iberdrola, 2021). De acordo com a Agência Internacional de Energia, esse método poderia reduzir a emissão de 830 milhões de toneladas de CO2 por ano, resultantes da produção de hidrogênio a partir de combustíveis fósseis (IEA, 2020).

Este método envolve quatro fases distintas e a substância resultante é o hidrogênio. Inicialmente, é necessário obter uma fonte de energia renovável, como a solar ou eólica, que irá gerar eletricidade. A água utilizada no processo deve conter sais e minerais para poder conduzir a eletricidade gerada pelas fontes renováveis. Conforme na figura 8, observa se que na segunda etapa, os eletrodos são submersos na água dentro do eletrolisador e conectados a uma fonte de energia que fornecerá a corrente necessária para o processo. A terceira fase envolve a decomposição das moléculas de água, resultando em hidrogênio e oxigênio elementares. Esse fenômeno ocorre quando os eletrodos atraem íons com cargas opostas, desencadeando uma reação de oxidação e redução devido à eletricidade presente no processo.

Figura 8 – Eletrólise da H2O



Fonte: https://www.neoenergia.com/w/conheca-o-hidrogenio-verde-o-combustivel-do-futuro?p_l_back_url=%2Fbusca%3Fq%3DHIDROGENIO%2BVERDE acesso em 09/12/2024.

5.2 Eletrolisadores

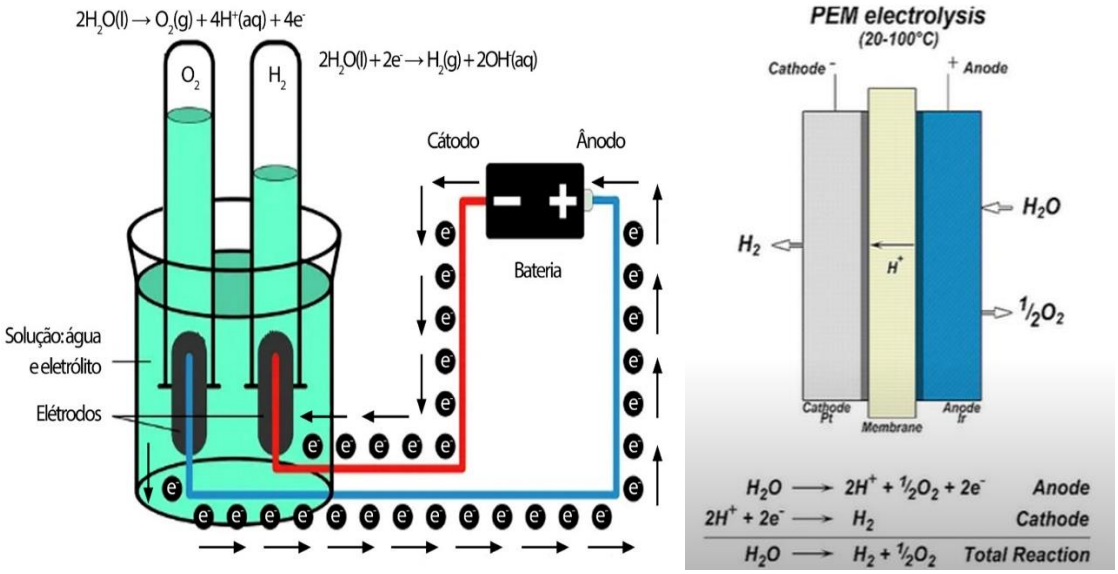
A utilização de eletrólitos na fabricação de hidrogênio tem se expandido ao longo do tempo. Essa tecnologia é capaz de ser aplicada com diversos tipos de fontes de energia, como a eletricidade, para permitir a separação das moléculas. Contudo, para o propósito desta pesquisa, é importante que essa energia elétrica provenha de fontes renováveis, como a solar e a eólica.

O dispositivo eletrolisador, por meio do método de eletrolise da água, consegue separar os elementos que formam a água, resultando na obtenção de hidrogênio e oxigênio puros como produtos secundários desse procedimento. Dentre as principais vantagens relacionadas ao emprego de eletrolisadores na produção de hidrogênio, é possível destacar sua capacidade elevada de pressurização, alcançando até 40 BAR, o que facilita a conversão de energia elétrica para a produção de hidrogênio, e o alto nível de pureza do hidrogênio gerado, chegando a 99,99% de pureza (HYTRON, 2022).

De acordo com a figura 9, tem se que um dispositivo de eletrólise é formado por diferentes elementos: (a) um recipiente que armazena a solução condutiva ou eletrólito, (b)

um reator de eletrólise composto por eletrodos e membranas ou separadores posicionados entre os eletrodos, válvulas de purga e instrumentos de medição (como voltímetro, amperímetro, pressostato, manômetro). Adicionalmente, o dispositivo de eletrólise deve incluir uma fonte de energia elétrica, com transformadores e retificadores para converter corrente alternada em corrente contínua; sistemas de resfriamento; sistemas secundários para tratamento do gás produzido, como purificação, secagem e compressão (PEREIRA, 2005).

Figura 9 – Eletrolisadores



Fonte: https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2022/025/ acesso em 09/12/2024.

Os eletrolisadores com solução alcalina como eletrólito, frequentemente utilizando hidróxido de potássio, operam em temperaturas entre 65 e 100 °C e sob pressões de 25 a 30 bar. Em eletrolisadores alcalinos industriais, a densidade de corrente varia de 1000 a 3000 A/m, porém é importante evitar densidades muito altas para não comprometer a eficiência da eletrólise devido à conversão de energia elétrica em calor.

Os eletrolisadores de membrana de troca de prótons (PEM), também conhecidos como eletrolisadores de polímero de eletrólito sólido (SPE), possuem como principal característica a presença de um eletrólito sólido. A membrana é composta por um material polimérico fino (com menos de 0,2 mm de espessura) que é impermeável ao gás e possui propriedades ácidas devido à existência de grupos ácidos sulfônicos. Estes grupos são os responsáveis pela condução dos íons H+ através de um mecanismo de troca iônica. O material usualmente empregado para a fabricação da membrana é o Nafion, um polímero

sulfonado similar ao Teflon, enquanto os eletrodos são comumente confeccionados com metais nobres, como platina e irídio (URSÚA, 2012).

O custo dessa tecnologia é elevado atualmente, e esse custo tem um impacto significativo no preço da eletricidade gerada por um eletrolisador, de acordo com informações do Centro de Desenvolvimento de Materiais Funcionais (CDMF) da Universidade de São Carlos. Uma forma de baratear e tornar a tecnologia mais competitiva seria aumentar a eficiência dos eletrolisadores. O CDMF está conduzindo pesquisas sobre materiais capazes de reduzir o consumo de energia no processo químico, especificamente na eletrólise da molécula de água. Um dos resultados mais importantes até agora foi a substituição por materiais como metais preciosos (FAPESP, 2022).

6. HIDROGÊNIO VERDE

O hidrogênio sustentável é aquele produzido por meio de fontes que podem ser renovadas, com as emissões de gases do efeito estufa ao longo de todo o ciclo de produção sendo praticamente nulas nessas condições. Isso aumenta consideravelmente a viabilidade do hidrogênio como fonte de energia no futuro. Dentre as matérias-primas renováveis das quais é possível obter hidrogênio, incluem-se a água (H2O), a biomassa, além de biocombustíveis líquidos e gasosos, como o etanol e o biogás/biometano (BEZERRA, 2021).

Considerando que a classificação do hidrogênio em tonalidades apresenta definições diversas, é relevante salientar que o hidrogênio obtido por outras vias sustentáveis não tem sido englobado no conceito de "hidrogênio verde", como, por exemplo, a obtenção por meio de eletrólise da água a partir de usinas hidrelétricas e a pirólise ou a gaseificação e biodigestão da biomassa. O mesmo se aplica ao hidrogênio gerado por processos provenientes da energia nuclear. Dado que este estudo está centrado no hidrogênio verde, isto é, produzido através de eletrólise utilizando energia proveniente de fontes eólicas ou solares, iremos nos concentrar nos principais aspectos técnicos, econômicos, logísticos e de segurança relacionados a isso. (SILVA, 1991).

A criação de hidrogênio a partir da água ocorre através do método de eletrolise, o qual é amplamente reconhecido e utilizado. Esse método envolve a separação da água em seus componentes, hidrogênio e oxigênio, por meio de eletricidade proveniente de fontes renováveis, como a energia solar ou eólica (BEERDROLA, 2022).

Quando uma corrente elétrica passa pela água, os elementos se separam, resultando em dois átomos de hidrogênio com carga positiva e um átomo de oxigênio com carga negativa. Os íons negativos do oxigênio se deslocam em direção ao eletrodo positivo (ânodo), enquanto os íons positivos de hidrogênio se dirigem ao eletrodo negativo (cátodo) (PALHARES, 2016). É necessário usar um diafragma ou separador para evitar a mistura dos gases produzidos nos eletrodos. Os eletrodos, o diafragma e o eletrólito são partes constituintes de uma célula eletrolítica (URSÚA, 2012).

Quando uma corrente elétrica passa pela água, os elementos se desdobram, criando dois átomos de hidrogênio carregados positivamente e um átomo de oxigênio carregado negativamente. Os íons negativos de oxigênio vão em direção ao eletrodo positivo (ânodo) e os íons positivos de hidrogênio vão em direção ao eletrodo negativo (cátodo). Para evitar a mistura dos gases formados nos eletrodos, é necessário usar um diafragma ou separador, os eletrodos, o diafragma e o eletrólito são partes essenciais de uma célula eletrolítica.

Diversos ciclos termodinâmicos também possibilitam a decomposição da água para obtenção de hidrogênio, sendo necessárias altas temperaturas e o uso de substâncias que podem ser regeneradas. Até o momento, as fontes de alta temperatura consideradas para esse fim são a energia nuclear e solar concentrada, porém o processo encontra-se em estágio de desenvolvimento e ainda não está disponível comercialmente.

Diante do grande potencial do hidrogênio, como mencionado anteriormente, diversas iniciativas surgiram com o intuito de viabilizar o hidrogênio verde. Essas ações têm um objetivo dual: impulsionar a recuperação econômica pós-pandemia do Covid-19 e acelerar a transição energética em setores de mercado que enfrentam desafios na descarbonização, tais como transporte de carga, aviação, navegação, indústria siderúrgica, produção de fertilizantes, entre outros (MME, 2021). Diversos países têm implementado estratégias eficazes para promover o desenvolvimento de mercados voltados ao hidrogênio verde, visando acelerar a redução de custos desta tecnologia.

6.1 Economia verde

A expressão "hidrogênio economia" tem sido empregada para representar um modelo econômico inovador centrado no hidrogênio como fonte de energia, rompendo com a dependência de recursos não renováveis, como o petróleo e seus subprodutos. (CGEE, 2010).

O uso do hidrogênio como insumo, fonte de energia e meio de armazenamento proporciona diversas oportunidades de aplicação nos segmentos industriais, de transporte e energético. Além disso, a principal vantagem é sua capacidade de não gerar CO2 e causar mínima poluição atmosférica durante sua utilização. Dessa forma, o hidrogênio surge como uma alternativa viável para a redução das emissões de carbono em processos industriais e em setores econômicos nos quais a diminuição da pegada de carbono é desafiadora.

De acordo com Mantovani (2021), o uso do hidrogênio como fonte de energia já é uma prática consolidada em nações como EUA, Rússia, China, França e Alemanha. Já no Japão, há planos ambiciosos para se tornar uma economia movida a hidrogênio.

Devido ao custo marginal de produção de energia renovável no Brasil ser um dos mais baixos, isso se torna essencial para reduzir os custos da eletrólise. Na figura 10, os recursos destinados para a implementação de unidades de produção de hidrogênio verde no Brasil ultrapassam 22 bilhões de dólares, todos direcionados para os portos - Pecém, no

Ceará; Suape, em Pernambuco; e Açu, Rio de Janeiro. Também estão sendo feitos investimentos na Bahia e no Rio Grande do Norte.

Figura 10 – Produção Mundial



Fonte: https://investnews.com.br/infograficos/hidrogenio-verde-brasil-pode-se-tornar-lider-de-producao-mundial/ acessado em 09/12/2024.

O Governo do Estado de São Paulo criou o CCD – ERCF (Centro de Ciências para o Desenvolvimento de Energias Renováveis e Combustíveis do Futuro) que ficará na IPT (instalações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas) para promover energias limpas e contribuir com o combate às mudanças climáticas. O novo centro foi criado com o propósito de impulsionar o desenvolvimento e a aplicação do hidrogênio de baixo carbono, uma solução para reduzir as GEE (Gases de Efeito Estufa).

O projeto recebeu um investimento total de R$ 32 milhões, com recursos provenientes de diferentes órgãos: R$ 9 milhões financiados pela Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), R$ 11 milhões do IPT e Semil (Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística), além de R$ 12 milhões destinados pela Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação. Segundo a Semil, o projeto avaliará diferentes aspectos da produção, armazenamento, transporte, distribuição, uso e regulamentação do

hidrogênio de baixo carbono, esse produto é apontado como umas das soluções para a descarbonização, com aplicações que vão desde a geração de eletricidade até o uso em processos industriais e no transporte.

Segundo a Secretaria de Meio Ambiente Infraestrutura e Logística, o hidrogênio de baixo carbono, considerado uma das grandes apostas para o futuro energético, será essencial para atender às metas de sustentabilidade do estado.

Os recursos serão aplicados em infraestrutura, aquisição de equipamentos, desenvolvimento de pesquisas e programas de capacitação, os países mais interessados em adotar essa nova forma de economia são aqueles com maior necessidade de energia e, consequentemente, maiores índices de emissões de gases de efeito estufa. O uso do hidrogênio também surge como uma resposta à questão da segurança energética decorrente da grande dependência desses países por combustíveis fósseis importados, tornando-se uma opção estratégica para nações com outras fontes de energia (CGEE, 2010).

Quando se busca dados sobre os custos e a competitividade de diferentes rotas tecnológicas para a produção de hidrogênio, fica evidente a necessidade de fazer uma escolha estratégica visando ao crescimento do mercado.

De um lado, a opção tecnológica que apresenta a maior capacidade de expandir em novos mercados por ser líder e mais competitiva atualmente é a conversão a vapor do metano do gás natural (hidrogênio cinza). No entanto, esse caminho poderá enfrentar desafios no futuro devido às possíveis limitações em um cenário de profunda descarbonização e à rápida redução nos custos da eletrólise da água utilizando energias renováveis intermitentes, como solar e eólica, do chamado "hidrogênio verde".

A descarbonização é um processo essencial para mitigar as mudanças climáticas, e o hidrogênio verde emerge como uma solução significativa nesse contexto. Produzido através da eletrólise da água utilizando eletricidade derivada de fontes renováveis, como solar e eólica, o hidrogênio verde não emite dióxido de carbono durante sua produção e uso, caracterizando-se como uma alternativa sustentável e ecológica, com isso na figura 11 ilustra os principais benefícios da descarbonização.

Figura 11 – Benefícios da Descarbonização



Fonte: https://blog.aevo.com.br/descarbonizacao/ acessado em 09/12/2024.

A utilização do hidrogênio verde é particularmente relevante para setores difíceis de descarbonizar, como a indústria pesada e o transporte de longo curso. Em processos industriais, como a produção de aço e cimento, e no transporte de caminhões, navios e aeronaves, o hidrogênio verde pode substituir combustíveis fósseis, reduzindo significativamente as emissões de gases de efeito estufa.

Além disso, o hidrogênio verde oferece uma solução eficaz para o armazenamento de energia renovável. Durante períodos de alta produção de energia renovável, o excesso pode ser convertido em hidrogênio, que pode ser armazenado e utilizado quando a demanda é maior, contribuindo para a estabilidade e flexibilidade das redes elétricas.

Em contrapartida, a trajetória tecnológica do hidrogênio verde ainda não é tão competitiva. No entanto, esse caminho oferece perspectivas promissoras no futuro diante de um cenário de redução acelerada dos custos de investimento em eletrólise e geração de energia por meio de fontes renováveis variáveis (como eólica e solar, principalmente). Os compromissos com a descarbonização intensa das economias também colaboram para essa perspectiva.

Em suma, o hidrogênio verde possui um potencial significativo para promover a descarbonização e integrar sistemas energéticos sustentáveis. Contudo, para alcançar esses benefícios, é necessário superar desafios técnicos e econômicos por meio de inovação e políticas estratégicas.

Realmente, os custos mais baixos de produção de hidrogênio no momento são encontrados na conversão a vapor de metano (gás natural) e na gasificação de carvão, que são rotas tecnológicas que dependem de fontes de energia fósseis. A produção de hidrogênio

por eletrólise da água usando energias renováveis (eólica e solar) geralmente é a opção mais cara disponível atualmente. No entanto, em circunstâncias e locais específicos, alguns projetos podem ser competitivos, explorando nichos específicos.

No ano de 2021, o HYDROGEN COUNCIL reiterou a possibilidade de diminuição de despesas mencionada em seu relatório de 2020, e sugeriu que ao considerar os valores de carbono (USD 50/tCO2e em 2030, USD 150/tCO2e em 2040 e USD 300/tCO2e em 2050), a paridade de preços entre o hidrogênio verde e cinza poderá ser alcançada entre 2028 e 2034.

6.2 Aplicação da célula de combustível ao hidrogênio verde

A célula de combustível é um equipamento que transforma a energia química do hidrogênio em eletricidade e água através de reações eletroquímicas. Atualmente, os combustíveis fósseis apresentam impurezas, sendo algumas delas originadas do enxofre, e as temperaturas elevadas durante a combustão levam à reação do nitrogênio presente no ar.

Adicionalmente, em algumas situações a concentração de oxigênio disponível não é o bastante para possibilitar a completa combustão do combustível, resultando na formação de partículas de carbono de grande tamanho. Esses elementos combinados contribuem significativamente para a poluição. (CEMIG, 2024).

Uma questão adicional está relacionada com a eficácia na utilização da energia armazenada no combustível. A maior parte da energia liberada durante o processo de combustão, seja na queima de combustíveis nos motores de veículos automóveis ou em usinas termoelétricas, é dissipada em forma de calor.

De forma sucinta, os principais desafios na geração de energia através da queima de combustíveis são: combustíveis fósseis são recursos não renováveis; eficiência na utilização da energia é bastante reduzida e a intensa degradação ambiental está acarretando impactos significativos na saúde e nos recursos materiais.

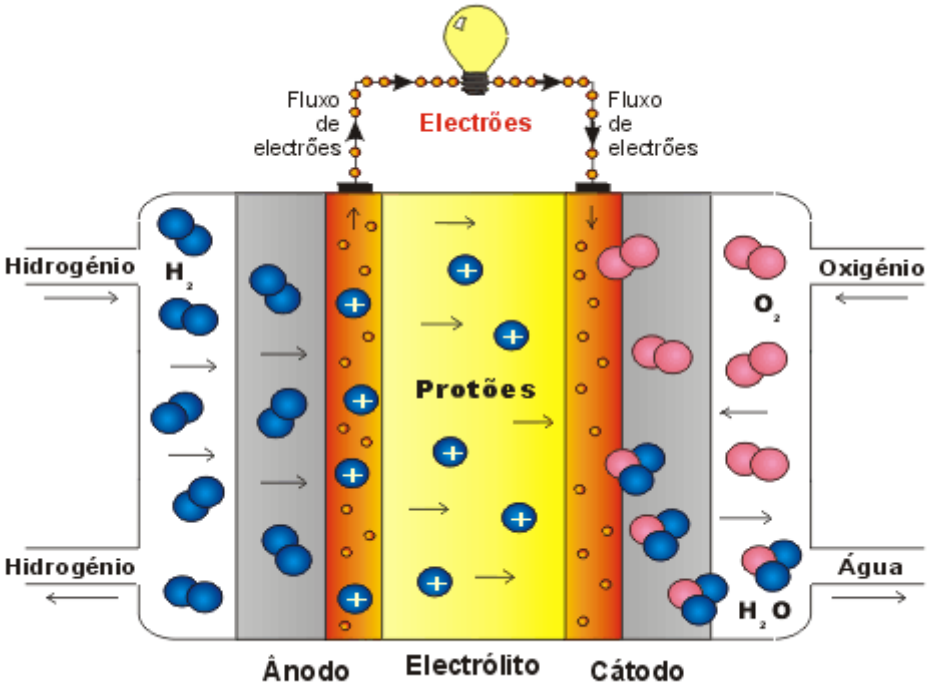
A célula de combustível é um dispositivo que promove uma reação eletroquímica entre o oxigênio e o hidrogênio, sem envolver combustão. Geralmente, esses sistemas apresentam elevada eficiência, operam de maneira silenciosa e podem ser montados de maneira modular, já que não possuem componentes móveis.

As células de energia promovem a geração de energia localizada devido à versatilidade da fonte de hidrogênio. São encontrados seis modelos de células de energia que

se distinguem principalmente pelos materiais utilizados, pela temperatura de funcionamento e pela qualidade do gás empregado. (CEMIG, 2024).

Na figura 12, demonstras as células de combustível onde a bateria de célula a combustível é um dispositivo que fornece energia de forma contínua quando alimentado com gases de forma contínua. A equação global do processo na célula a combustível usando hidrogênio é: 2H2(g) + O2(g) => 2H2O + liberação de energia. (CEMIG, 2024).

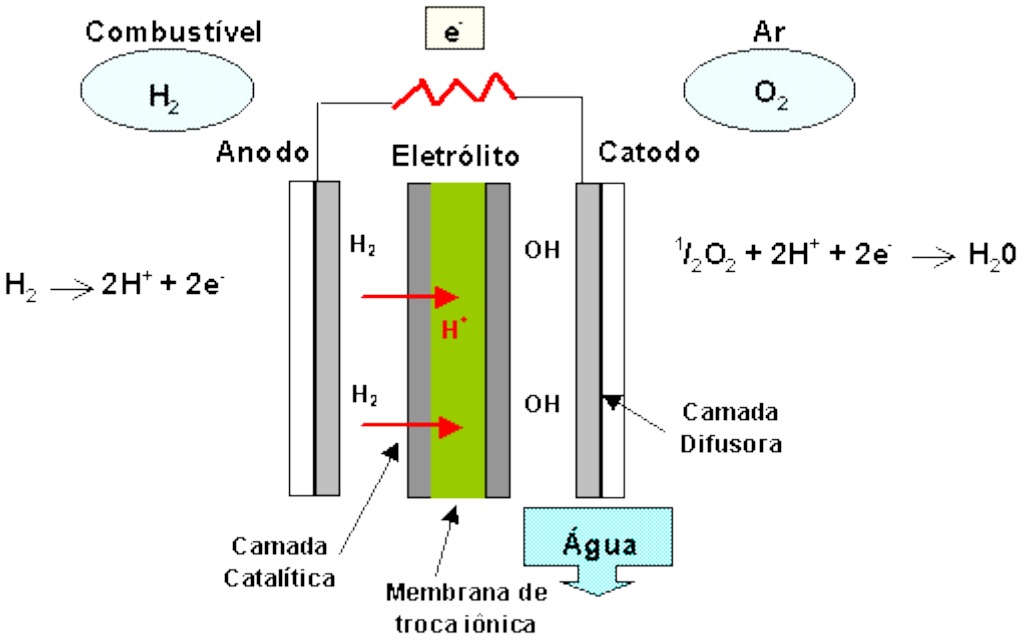
Figura 12 – Células de Combustível



Fonte: https://www.profpc.com.br/C%C3%A9lula_combust%C3%ADvel.htm acessado em 09/12/2024.

Quando o gás hidrogênio reage com um catalisador, como platina ou uma mistura de platina-rutênio, platina-irídio ou outros materiais, ele libera elétrons para o metal ou liga, resultando na formação de íons H+. Esses íons H+ são então transportados pelo eletrólito, que, no sistema de célula PEM, consiste em uma membrana polimérica, como o Nafion®. Além de conduzir os prótons, essa membrana atua como isolante elétrico. (CEMIG, 2024), conforme apresenta a figura 13.

Figura 13 – Células de Combustível



Fonte: https://www.joseclaudio.eng.br/geradores/celula_combustivel_OQ acessado em 09/12/2024.

Os elétrons são movidos através de um circuito exterior, gerando um fluxo de elétrons e, consequentemente, corrente e potência elétrica. No caso do oxigênio, que é possível obter da atmosfera, ocorre a formação de vapor de água ao receber os prótons de hidrogênio através da membrana e a movimentação dos elétrons.

6.3 Toyota Mirai

O Toyota Mirai é um veículo de passageiros movido a hidrogênio, desenvolvido pela Toyota, como ilustra a figura 14, como parte de sua estratégia para promover soluções de transporte mais sustentáveis. Lançado pela primeira vez em 2014, o Mirai é um dos modelos mais avançados e reconhecidos no mercado de veículos de célula de combustível. Utilizando tecnologia de ponta, o Mirai converte hidrogênio em eletricidade por meio de uma célula de combustível, emitindo apenas vapor d'água como subproduto, o que o torna uma alternativa ecológica aos veículos movidos a combustíveis fósseis.

Figura 14 – Toyota Mirai



Fonte: https://www.toyota.pt/mundo-toyota/noticias/toyota-mirai-2024-eletrico-a-hidrogenio-renovado acessado em 09/12/2024.

O uso do hidrogênio verde em células a combustível, exemplificado pelo Toyota Mirai, surge como uma alternativa promissora à motorização tradicional, contribuindo para a descarbonização do setor de transportes, pois é um veículo de célula de combustível movido a hidrogênio, projetado para fornecer uma condução eficiente e ambientalmente limpa. Com uma autonomia de aproximadamente 650 km com uma única carga de hidrogênio, em 2021, o sedã registrou recorde no Guiness Book após rodar mais de 1.300 km com um tanque – mesmo pesando mais de 2 toneladas. Tal como nos carros elétricos, o silêncio a bordo é total. Em relação ao desempenho, o Toyota Mirai tem 184 cv de potência, torque máximo instantâneo de 30,5 mkgf e acelera de 0 a 100 km/h em 9,2 segundos. Para que um veículo elétrico a baterias (um BEV) faça os mesmos 650 km, só as baterias pesariam cerca de 1 tonelada. O motor precisa ser mais potente para dar conta disso, o veículo deve ser maior e tempo de carregamento também aumenta; ao contrário do Mirai, que é abastecido em postos bem parecidos com os tradicionais, conforme a figura 15 representa.

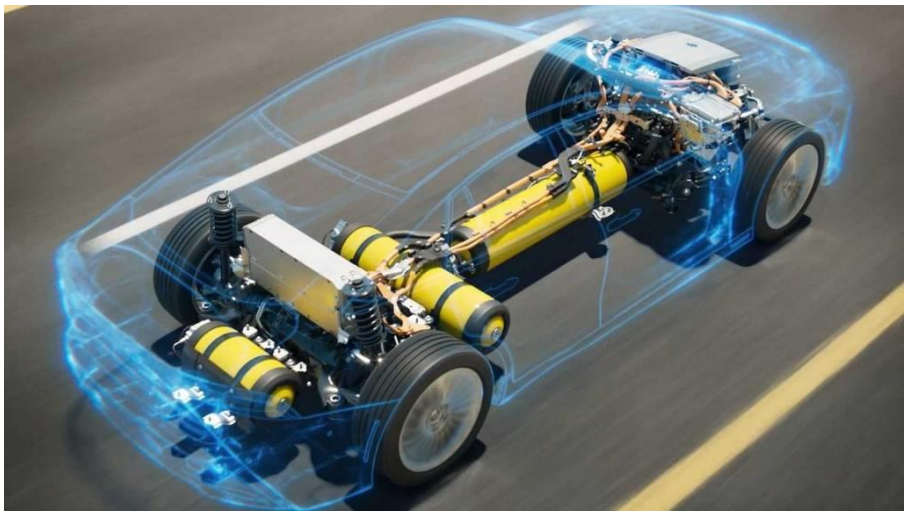
Figura 15: Posto de Combustível a Hidrogênio



Fonte: https://quatrorodas.abril.com.br/testes/toyota-mirai-e-o-carro-a-hidrogenio-que-quer-aproveitar-nosso-etanol#google_vignette acessado em 09/12/2024.

Enquanto os carros elétricos convencionais são abastecidos com eletricidade diretamente na tomada, o Mirai é abastecido com gás hidrogênio. A Toyota instalou três tanques na parte inferior do veículo, onde estariam as baterias de um carro elétrico. Ali fica armazenado o combustível do sedã de acordo com a figura 16.

Figura 16: Tanques Hidrogênio



Fonte: https://quatrorodas.abril.com.br/testes/toyota-mirai-e-o-carro-a-hidrogenio-que-quer-aproveitar-nosso-etanol#google_vignette acessado em 09/12/2024.

Dado que o gás hidrogênio é altamente inflamável, os tanques usam tecnologias de foguetes espaciais, como um enrolamento de fibra de carbono em altíssima tensão ao redor dos cilindros. A cabine é isolada para evitar que o gás penetre nela e, caso necessário, o carro consegue expelir toda a carga imediatamente.

O hidrogênio é pressurizado em um catalisador, onde seus íons e elétrons são separados. Os elétrons formam a corrente elétrica que é enviada ao motor, fazendo as rodas do carro girarem e os sistemas eletrônicos funcionarem. As moléculas de oxigênio se juntam aos íons de hidrogênio residuais, formando água.

Em comparação com carros tradicionais a gasolina ou diesel, o Toyota Mirai, por meio de suas células de combustível, reduz consideravelmente as emissões de gases poluentes, como óxidos de nitrogênio (NOx) e partículas finas, que contribuem para a poluição do ar e o aquecimento global. A célula de combustível do Mirai, apresentada na figura 17, que converte hidrogênio em eletricidade para alimentar o motor elétrico, é altamente eficiente e está em constante aprimoramento para aumentar sua durabilidade e desempenho.

Figura 17: Célula do Toyota Mirai



Fonte: https://quatrorodas.abril.com.br/testes/toyota-mirai-e-o-carro-a-hidrogenio-que-quer-aproveitar-nosso-etanol#google_vignette acessado em 09/12/2024.

A célula de combustível, que, no caso do Mirai, correspondem a 330 pilhas que funcionam juntas, em arranjo complexo. De forma simplificada, uma das placas (eletrodos) dessa pilha recebe o gás hidrogênio que vem dos tanques, A outra, conforme figura 18, recebe gás oxigênio que entra pela grade frontal na forma de ar atmosféricos. Sob capô, poeiras e outras impurezas são eliminadas e um filtro especial separa o O2 de outros gases. Com hidrogênio em um polo e oxigênio no outro, o eletrólito que compõe a célula de combustível facilita a transferência de elétrons entre as duas extremidades, gerando uma corrente elétrica. Essa eletricidade é então utilizada para alimentar o motor elétrico, localizado na parte traseira do veículo.

Figura 18: Capo Toyota Mirai



Fonte: https://quatrorodas.abril.com.br/testes/toyota-mirai-e-o-carro-a-hidrogenio-que-quer-aproveitar-nosso-etanol#google_vignette acessado em 09/12/2024.

Logo, o Mirai também é um carro elétrico. Mas, ao contrário dos BEVs, ele é um veículo elétrico a célula de combustível (FCEV), e com a crescente disponibilidade de hidrogênio verde e a implementação de infraestrutura de abastecimento adequado, como a rede de postos de hidrogênio, o Toyota Mirai exemplifica o potencial do hidrogênio para impulsionar um futuro mais sustentável no transporte, rivalizando com carros a combustão interna não apenas em desempenho, mas também em impactos ambientais

significativamente menores, como comprovação em sua ficha técnica, conforme segue o quadro 3.

Quadro 3 - Ficha técnica do Toyota Mirai XLE

Item	Especificação
Preço básico (EUA)	R$ 251.667
Motor	Elétrico síncrono, ímã permanente, dianteiro, transversal
Combustível	Hidrogênio
Potência	184 cv
Torque	30,6 kgfm
Câmbio	Dianteiro, caixa redutora com relação fixa e ré
Direção	Elétrica
Suspensões	Multilink (dianteira/traseira)
Freios	Disco ventilado (dianteiro/traseiro)
Tração	Traseira
Dimensões (C x L x A)	4,98 m x 1,89 m x 1,48 m
Entre-eixos	2,92 m
Pneus	235/55 R19
Porta-malas	321 litros
Bateria	Íons de lítio, 4 Ah
Capacidade dos tanques	5,6 kg (142,2 litros)
Peso	1.925 kg
0-100 km/h	9,2 segundos
Velocidade máxima	175 km/h
Consumo	116 km/kg
Autonomia	600 km
Tempo de abastecimento	5 a 8 minutos

Fonte: https://motorshow.com.br/teste-rapido-toyota-mirai-e-eletrico-a-hidrogenio-que-dispensa-bateria-mas-esta-longe-do-brasil/ acessado em 09/12/2024.

6.4 Dificuldades do mercado de Hidrogênio

Considerando que a indústria do hidrogênio no Brasil ainda está em fase de crescimento e requer investimentos em pesquisas para embasar o uso do hidrogênio verde, devido ao seu grande potencial como fonte de energia, torna-se crucial analisar a estrutura do ciclo de vida desse elemento, identificando a matéria-prima e as etapas envolvidas. Foi criado um diagrama com as seis etapas essenciais do ciclo de vida: extração, produção, distribuição, armazenamento, transporte e uso final.

O início do ciclo de vida do hidrogênio verde inicia-se com a coleta da água presente no ambiente. As moléculas de água passam por uma etapa em que recebem a energia necessária para passar pela hidrólise, resultando na obtenção de hidrogênio e oxigênio em sua forma elementar. O oxigênio é separado e, por não desempenhar papel no processo, pode ser liberado na natureza ou utilizado em outras atividades (MME, 2021).

É viável armazenar o hidrogênio extraído em recipientes que o mantêm tanto em forma líquida quanto gasosa. Uma vez armazenado, o hidrogênio pode ser distribuído para abastecer veículos ou gerar eletricidade. Ao final do processo, o hidrogênio é devolvido ao meio ambiente na forma de energia (ENERGY, 2021).

A utilização do hidrogênio verde como uma alternativa para a produção de energia elétrica apresenta diversas lacunas. No Brasil, ainda são escassos os projetos direcionados para a geração desse tipo de energia. Portanto, o propósito desta análise é identificar os principais obstáculos relacionados ao uso do hidrogênio verde como fonte de energia elétrica, visando contribuir para o futuro do fornecimento energético e para a redução das emissões de carbono na indústria nacional.

O gás hidrogênio tem o potencial de transformar o sistema de energia se for produzido a partir de fontes renováveis, oferecendo uma opção mais eco-friendly e sustentável, desde a sua fabricação até o seu uso. No entanto, um dos maiores desafios associados à adoção do hidrogênio está ligado ao custo de produção, que pode variar dependendo do método utilizado. Esse alto custo impacta diretamente a competitividade do hidrogênio em relação a outras fontes de energia (IRENA, 2020). Além da necessidade de regulamentação e estrutura de mercado que ainda estão em fase inicial no Brasil, o custo de produção representa um grande desafio para a utilização do hidrogênio verde como fonte de energia. Embora os custos estejam diminuindo, em parte devido à queda dos preços da energia renovável, o hidrogênio verde ainda é entre duas a três vezes mais caro do que o hidrogênio azul produzido a partir de combustíveis fósseis com captura e armazenamento de

carbono emitido durante o processo de produção. Isso indica que são necessárias reduções nos custos para que sua viabilidade econômica seja concretizada (IRENA, 2020).

Portanto, considerando as oportunidades proporcionadas pelo hidrogênio verde na produção de energia, foi conduzida uma pesquisa para identificar os principais entraves que atualmente estão freando o avanço do uso do hidrogênio no país. Entre esses obstáculos destacam-se a falta de uma cadeia produtiva organizada, os elevados custos de produção, transporte e armazenamento.

Além disso, há a questão da falta de reconhecimento do valor e benefícios associados, como a redução das emissões de gases de efeito estufa, algo que somente o hidrogênio verde pode proporcionar no atual contexto do Brasil (IRENA, 2020).

6.5 Viabilidade Econômica

O uso do hidrogênio verde como fonte de carregamento das baterias dos veículos favorece para a diminuição das emissões dos gases do efeito estufa, além de que o mesmo possui a quantidade energética 3 vezes maior do que a da gasolina, tendo um melhor desempenho. Com o crescimento da produção de energia por meio de fontes renováveis e o investimento de grandes potências mundiais em pesquisas e infraestruturas, o futuro do hidrogênio tende a ser mais promissor e usual, sendo utilizado não só para veículos populares, como o exemplo do Toyota Mirai, mas também para veículos de grande lotação como locomotivas e caminhões, fazendo com o que o mundo tenha uma menor emissão de CO2 e consequentemente uma melhor qualidade de vida para a população mundial.

CONCLUSÃO

O hidrogênio verde apresenta uma grande oportunidade de ser explorado nos próximos anos como uma alternativa para suprir a crescente demanda por energia elétrica no Brasil, devido ao seu potencial de contribuir para a redução das mudanças climáticas e, consequentemente, ajudar a controlar o aquecimento global. Isso se deve, principalmente, à composição da matriz energética do Brasil, que possui um alto índice de utilização de fontes renováveis, graças à abundância de recursos naturais como o sol, o vento e as águas no país.

A categorização das tecnologias para criação de H2 em tonalidades diversas revela que as vias tecnológicas podem ser agrupadas em 3 grandes origens de fabricação: divisão da água, fontes sustentáveis e energia proveniente de combustíveis fósseis. Globalmente, a geração de H2 é predominantemente feita a partir de gás natural, representando um método altamente eficiente e amplamente consolidado, conhecido como hidrogênio cinza. Em comparação com os processos de produção de hidrogênio verde, a abordagem tecnológica do hidrogênio cinza ainda mantém sua competitividade, porém está em constante transformação devido aos investimentos contínuos na área, ao avanço tecnológico dos eletrolisadores e às metas globais de descarbonização. Além disso, o foco na aplicação de células a combustível, como as utilizadas no Toyota Mirai, reforça o papel estratégico do hidrogênio verde na transição energética, unindo eficiência tecnológica e benefícios ambientais.

As células a combustível demonstram um grande potencial como alternativa sustentável para geração de energia elétrica. Esses dispositivos convertem o hidrogênio em eletricidade por meio de reações químicas limpas, emitindo apenas vapor d’água como subproduto, a aplicação dessas células, além de viabilizar o uso de hidrogênio verde em sistemas estacionários e na mobilidade, representa uma solução prática para reduzir a dependência de combustíveis fósseis. Essa tecnologia também contribui para o avanço de mercados emergentes, como veículos movidos a hidrogênio e sistemas de geração distribuída, promovendo maior segurança e estabilidade energética.

Embora a produção de hidrogênio ainda enfrente desafios relacionados ao custo e à infraestrutura, investimentos globais na melhoria dos eletrolisadores e na expansão das redes de distribuição têm acelerado a viabilidade econômica do hidrogênio verde, ao integrar as células a combustível a diferentes setores, como transporte e geração de energia estacionária, torna-se possível ampliar sua adoção, oferecendo benefícios econômicos e ambientais. Além disso, o armazenamento de energia na forma de hidrogênio verde é uma solução para

compensar a intermitência das fontes renováveis, garantindo maior flexibilidade ao sistema energético.

Conclui-se que o hidrogênio verde, aliado às células a combustível, não só reforça os compromissos ambientais globais como também promove o desenvolvimento de uma indústria limpa e inovadora. O Brasil, com sua capacidade renovável abundante, encontra-se em uma posição estratégica para liderar essa transformação, integrando hidrogênio verde em soluções tecnológicas que unam sustentabilidade, eficiência e desenvolvimento econômico. A expansão dessa indústria poderá trazer avanços significativos em mobilidade sustentável e geração de energia limpa, consolidando o papel do hidrogênio verde no futuro da matriz energética global.

REFERÊNCIAS

AFONSO, Cintia Maria. **Sustentabilidade:** caminho ou utopia? São Paulo: Annablume, 2006. Acesso em: 17 de maio de 2024.

AMOS, W. A. **Costs of storing and transporting hydrogen**. Golden, Colorado: NREL, nov. 1998. 216 p. Disponível em: https://www.nrel.gov/docs/fy99osti/25106.pdf. Acesso em: 17 de maio de 2024.

AZEVEDO, J. **O que é hidrogênio e quais suas características?** [S. l.]: ECYCLE, 2021. Disponível em: https://www.ecycle.com.br/hidrogenio/. Acesso em: 18 de maio de 2024.

BEZERRA, F. **Hidrogênio verde:** nasce um gigante no setor de energia**.** Caderno Setorial ETENE. Fortaleza, ano 6, n. 212, p. 1-13, dez. 2021. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1109/1/2021_CDS_212.pdf. Acesso em: 24 de maio de 2024.

CGEE. **Prospecção tecnológica no setor elétrico brasileiro** | Volume 8 | Agenda estratégica de CT&I no setor elétrico brasileiro (Versão 1.4). 2017. Disponível em: https://www.cgee.org.br/busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=https%3A%2F%2Fwww.cgee.org.br%2Fbusca%3Fp_auth%3DfGlxyszx%26p_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D1%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_state_rcv%3D1&_101_assetEntryId=3005398&_101_type=document&inheritRedirect=false. Acesso em: 28 de maio de 2024.

LIRA, CAUÊ **Teste rápido:** Toyota Mirai é elétrico movido a hidrogênio, mas é quase impossível de abastecer**,** 2022, disponível em https://autoesporte.globo.com/testes/noticia/2022/08/teste-rapido-toyota-mirai-e-eletrico-movido-a-hidrogenio-mas-e-quase-impossivel-de-abastecer.ghtml. Acesso em 09 de dezembro de 2024.

DA VEIGA, JOSÉ ELI. "**O prelúdio do desenvolvimento sustentável**." CAVC, Economia Brasileira: Perspectivas do Desenvolvimento (2005): 243-266. Acesso em: 3 abr. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Hidrogênio cinza:** produção a partir da reforma a vapor do gás natural. Brasil, 2022. Nota técnica EPE/DPG/SPG/01/2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-654/NT%20Hidrogênio%20Cinza.pdf. Acesso em: 29 de maio de 2024.

ENERGY. **Mapeamento do Setor de Hidrogênio Brasileiro**. 2021. Disponível em: https://www.energypartnership.com.br/fileadmin/user_upload/brazil/media_elements/Mapeamento_H2_-_Diagramado_-_V2h.pdf. Acesso em: 27 de maio de 2024.

PASSOS EDUARDO, **Toyota Mirai é o carro a hidrogênio que quer aproveitar nosso etanol,** 2023, disponível emhttps://quatrorodas.abril.com.br/testes/toyota-mirai-e-o-carro-a-hidrogenio-que-quer-aproveitar-nosso-etanol. Acesso em 09 de dezembro de 2024.

PEDROSO, FERNANDO. **Toyota Mirai sofre com falta de hidrogênio e donos processam a marca,** 2024, disponível em https://autoesporte.globo.com/especiais/um-so-planeta/noticia/2024/07/toyota-mirai-sofre-com-falta-de-hidrogenio-e-donos-processam-a-marca.ghtml. Acesso em 09 de dezembro de 2024.

GOVERNO FEDERAL. **Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira**. Gov.br. 21 de 01 de 2020. www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-ecombustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira Acesso em 29 de maio de 2024.

IBERDROLA. **O hidrogênio verde:** uma alternativa para reduzir as emissões e cuidar do nosso planeta. 2022. Disponível em: https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/hidrogenio-verde. Acesso em: 12 abril de 2024.

LIRA, SANDRO, FRAXE, Therezinha **O percurso da sustentabilidade do desenvolvimento:** aspectos históricos, políticos e sociais. Revista Monografias Ambientais, [S. L.], v. 13, n. 2, p. 3172–3182, 2014. DOI: 10.5902/2236130812618. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/12618. Acesso em: 29 de maio de 2024.

PRINZHOFER, A.; CISSÉ, C.; DIALLO, A. **Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakebougou (Mali)**. International Journal of Hydrogen Energy, v. 43. 2018. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319918327861. Acesso em: 23 de maio de 2024.

SANTOS, A. C. F. **Análise da Viabilidade Econômica da Produção de Hidrogênio em Usinas Hidrelétricas:** estudo de caso em Itaipu. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/87403. Acesso em: 01 de junho de 2024.

SIBLERUD, R. **Our future is hydrogen! Energy, environmental and economy**. 1. ed. Wellington, Colorado: New Science Publications, 2001. Acesso em 09 de dezembro de 2024. Acesso em: 01 de junho de 2024.

SILVA, E. P. **Introdução à tecnologia e economia do hidrogênio**.1 ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 1991. Acesso em 09 de dezembro de 2024. Acesso em: 01 de junho de 2024.

DÉA, POCI RAFAEL. **Teste rápido:** Toyota Mirai é elétrico a hidrogênio que dispensa bateria, mas está longe do Brasil**,** 2022, disponível em https://motorshow.com.br/teste-rapido-toyota-mirai-e-eletrico-a-hidrogenio-que-dispensa-bateria-mas-esta-longe-do-brasil/. Acesso em 09 de dezembro de 2024.

ZGONNIK, V. **The occurrence and geoscience of natural hydrogen**: A comprehensive review. Earth-Science Reviews, v. 203, 2020. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825219304787. Acesso em: 23 de maio de 2024.

unifev

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE PUBLICAÇÃO

Eu, ANDERSON JOSÉ MARQUES JUNIOR, nacionalidade BRASILEIRO, estado civil SOLTEIRO, portador da Cédula de identidade RG nº. 38.551.552-2, inscrito no CPF/MF sob nº 473.394.158-74, residente à Av./Rua ANTONIO BELCHIOR DA SILVEIRA, nº. 888, município de NHANDEARA, Estado de SP, **AUTORIZO** a Unifev – Centro Universitário de Votuporanga, a disponibilizar publicamente o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) de minha autoria pela Internet, bem como de preservar a obra integralmente em seu Repositório Institucional.

Por esta ser a expressão da minha vontade, **DECLARO** o uso acima descrito sem que nada haja a ser reclamado a título de direitos conexos à minha imagem ou a qualquer outro e assino a presente autorização.

NHANDEARA SP, dia 06 de DEZEMBRO de 2024.

(Assinatura)
Nome: ANDERSON JOSÉ MARQUES JUNIOR
Telefone p/ contato: (17) 99677-4622

unifev

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE PUBLICAÇÃO

Eu, Eduardo Augusto Venzatto, nacionalidade brasileiro, estado civil solteiro, portador da Cédula de identidade RG nº. 54.035.945-2, inscrito no CPF/MF sob nº 338.266.278-73, residente à Av./Rua R. Manoel Nió de Carvalho, nº. 128, município de Jales, Estado de SP, **AUTORIZO** a Unifev – Centro Universitário de Votuporanga, a disponibilizar publicamente o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) de minha autoria pela Internet, bem como de preservar a obra integralmente em seu Repositório Institucional.

Por esta ser a expressão da minha vontade, **DECLARO** o uso acima descrito sem que nada haja a ser reclamado a título de direitos conexos à minha imagem ou a qualquer outro e assino a presente autorização.

Jales, dia 06 de dezembro de 2024.

Eduardo Augusto

(Assinatura)

Nome: Eduardo Augusto Venzatto

Telefone p/ contato: (17) 99791-8517

unifev

TERMO DE CONSENTIMENTO PARA TRATAMENTO DE DADOS

Este documento visa a registrar a manifestação livre, informada e inequívoca pela qual o Titular concorda com o tratamento de seus dados pessoais para finalidade específica, em conformidade com a Lei nº 13.709/2018 – Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD).

Ao manifestar sua aceitação com o presente termo, o TITULAR consente e concorda que a Unifev – Centro Universitário de Votuporanga, doravante denominada CONTROLADORA, tome decisões referentes ao tratamento dos dados pessoais do TITULAR ou dados necessários ao usufruto de serviços ofertados por esta instituição de ensino, bem como realize o tratamento de tais dados, envolvendo operações como as que se referem a coleta, produção, recepção, classificação, utilização, acesso, reprodução, transmissão, distribuição, processamento, arquivamento, armazenamento, eliminação, avaliação ou controle da informação, modificação, comunicação, transferência, difusão ou extração.

Dados Pessoais: A Controladora fica autorizada a realizar e a tomar decisões referentes ao tratamento dos seguintes dados pessoais do TITULAR: Nome completo; Nome empresarial; Data de nascimento; Número e imagem da Carteira de Identidade (RG); Número e imagem do Cadastro de Pessoas Físicas (CPF); Número e imagem da Carteira Nacional de Habilitação (CNH); Número do Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas (CNPJ); Estado civil; Nível de instrução ou escolaridade; Endereço completo; Números de telefone, WhatsApp e endereços de e-mail; Banco, agência e número de contas bancárias; Comunicação, verbal e escrita, mantida entre o Titular e o Controlador; Certidão de Nascimento e/ou de Casamento; Dados referentes ao local de trabalho; Comprovantes de renda; Comprovante de endereço completo; Dados de saúde.

Finalidades do Tratamento dos Dados: O tratamento dos dados pessoais listados neste termo tem as seguintes finalidades: - Possibilitar que a Controladora identifique e entre em contato com os Titulares para fins de esclarecimentos relativos aos editais. - Possibilitar que a Controladora utilize tais dados na elaboração de relatórios; - Possibilitar que a Controladora utilize tais dados em documentos financeiros; - Possibilitar que a Controladora utilize tais dados para a execução de editais e auditorias; - Possibilitar que a Controladora utilize o nome completo dos Titulares nas publicações de resultados de editais, chamadas de lista de espera de editais, relações de alunos aptos a recebimento do auxílio, dentre outras publicações relacionadas à transparência da execução dos editais.

Compartilhamento de Dados: A Controladora fica autorizada a compartilhar os dados pessoais dos Titulares com outros agentes de tratamento de dados, caso seja necessário para as finalidades listadas neste termo, observados os princípios e as garantias estabelecidas pela Lei nº 13.709/2018.

Segurança dos Dados: A Controladora responsabiliza-se pela manutenção de medidas de segurança, técnicas e administrativas aptas a proteger os dados pessoais de acessos não autorizados e de situações acidentais ou ilícitas de destruição, perda, alteração, comunicação ou qualquer forma de tratamento inadequado ou ilícito.

Em conformidade ao art. 48 da Lei nº 13.709/2018, a Controladora comunicará aos Titulares e à Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD) a ocorrência de incidente de segurança que possa acarretar risco ou dano relevante ao Titular.

unifev

Término do Tratamento dos Dados: A Controladora poderá manter e tratar os dados pessoais do Titular durante todo o período em que forem pertinentes ao alcance das finalidades listadas neste termo. Dados pessoais anonimizados, sem possibilidade de associação ao indivíduo, poderão ser mantidos por período indefinido.

O Titular poderá solicitar via e-mail ou correspondência à Controladora, a qualquer momento, que sejam eliminados os dados pessoais não anonimizados do Titular. O Titular fica ciente de que poderá ser inviável à Controladora continuar o fornecimento de serviços e programas ao Titular a partir da eliminação dos dados pessoais.

Direitos do Titular: O Titular tem direito a obter da Controladora, em relação aos dados por ela tratados, a qualquer momento e mediante requisição: I - confirmação da existência de tratamento; II - acesso aos dados; III - correção de dados incompletos, inexatos ou desatualizados; IV - anonimização, bloqueio ou eliminação de dados desnecessários, excessivos ou tratados em desconformidade com o disposto na Lei nº 13.709/2018; V - eliminação dos dados pessoais tratados com o consentimento do titular, exceto nas hipóteses previstas no art. 16 da Lei nº 13.709/2018; VI - informação das entidades públicas e privadas com as quais a controladora realizou uso compartilhado de dados; VII - informação sobre a possibilidade de não fornecer consentimento e sobre as consequências da negativa; VIII - revogação do consentimento, nos termos do § 5º do art. 8º da Lei nº 13.709/2018.

Direito de Revogação do Consentimento: Este consentimento poderá ser revogado pelo Titular, a qualquer momento, mediante solicitação via e-mail ou correspondência à Controladora.

Votuporanga, 06 de DEZEMBRO de 2024.

Assinatura do aluno

CPF: 473.394.158-74

RG: 38.591.952-2

unifev

TERMO DE CONSENTIMENTO PARA TRATAMENTO DE DADOS

Este documento visa a registrar a manifestação livre, informada e inequívoca pela qual o Titular concorda com o tratamento de seus dados pessoais para finalidade específica, em conformidade com a Lei nº 13.709/2018 – Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD).

Ao manifestar sua aceitação com o presente termo, o TITULAR consente e concorda que a Unifev – Centro Universitário de Votuporanga, doravante denominada CONTROLADORA, tome decisões referentes ao tratamento dos dados pessoais do TITULAR ou dados necessários ao usufruto de serviços ofertados por esta instituição de ensino, bem como realize o tratamento de tais dados, envolvendo operações como as que se referem a coleta, produção, recepção, classificação, utilização, acesso, reprodução, transmissão, distribuição, processamento, arquivamento, armazenamento, eliminação, avaliação ou controle da informação, modificação, comunicação, transferência, difusão ou extração.

Dados Pessoais: A Controladora fica autorizada a realizar e a tomar decisões referentes ao tratamento dos seguintes dados pessoais do TITULAR: Nome completo; Nome empresarial; Data de nascimento; Número e imagem da Carteira de Identidade (RG); Número e imagem do Cadastro de Pessoas Físicas (CPF); Número e imagem da Carteira Nacional de Habilitação (CNH); Número do Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas (CNPJ); Estado civil; Nível de instrução ou escolaridade; Endereço completo; Números de telefone, WhatsApp e endereços de e-mail; Banco, agência e número de contas bancárias; Comunicação, verbal e escrita, mantida entre o Titular e o Controlador; Certidão de Nascimento e/ou de Casamento; Dados referentes ao local de trabalho; Comprovantes de renda; Comprovante de endereço completo; Dados de saúde.

Finalidades do Tratamento dos Dados: O tratamento dos dados pessoais listados neste termo tem as seguintes finalidades: - Possibilitar que a Controladora identifique e entre em contato com os Titulares para fins de esclarecimentos relativos aos editais. - Possibilitar que a Controladora utilize tais dados na elaboração de relatórios; - Possibilitar que a Controladora utilize tais dados em documentos financeiros; - Possibilitar que a Controladora utilize tais dados para a execução de editais e auditorias; - Possibilitar que a Controladora utilize o nome completo dos Titulares nas publicações de resultados de editais, chamadas de lista de espera de editais, relações de alunos aptos a recebimento do auxílio, dentre outras publicações relacionadas à transparência da execução dos editais.

Compartilhamento de Dados: A Controladora fica autorizada a compartilhar os dados pessoais dos Titulares com outros agentes de tratamento de dados, caso seja necessário para as finalidades listadas neste termo, observados os princípios e as garantias estabelecidas pela Lei nº 13.709/2018.

Segurança dos Dados: A Controladora responsabiliza-se pela manutenção de medidas de segurança, técnicas e administrativas aptas a proteger os dados pessoais de acessos não autorizados e de situações acidentais ou ilícitas de destruição, perda, alteração, comunicação ou qualquer forma de tratamento inadequado ou ilícito.

Em conformidade ao art. 48 da Lei nº 13.709/2018, a Controladora comunicará aos Titulares e à Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD) a ocorrência de incidente de segurança que possa acarretar risco ou dano relevante ao Titular.

unifev

Término do Tratamento dos Dados: A Controladora poderá manter e tratar os dados pessoais do Titular durante todo o período em que forem pertinentes ao alcance das finalidades listadas neste termo. Dados pessoais anonimizados, sem possibilidade de associação ao indivíduo, poderão ser mantidos por período indefinido.

O Titular poderá solicitar via e-mail ou correspondência à Controladora, a qualquer momento, que sejam eliminados os dados pessoais não anonimizados do Titular. O Titular fica ciente de que poderá ser inviável à Controladora continuar o fornecimento de serviços e programas ao Titular a partir da eliminação dos dados pessoais.

Direitos do Titular: O Titular tem direito a obter da Controladora, em relação aos dados por ela tratados, a qualquer momento e mediante requisição: I - confirmação da existência de tratamento; II - acesso aos dados; III - correção de dados incompletos, inexatos ou desatualizados; IV - anonimização, bloqueio ou eliminação de dados desnecessários, excessivos ou tratados em desconformidade com o disposto na Lei nº 13.709/2018; V - eliminação dos dados pessoais tratados com o consentimento do titular, exceto nas hipóteses previstas no art. 16 da Lei nº 13.709/2018; VI - informação das entidades públicas e privadas com as quais a controladora realizou uso compartilhado de dados; VII - informação sobre a possibilidade de não fornecer consentimento e sobre as consequências da negativa; VIII - revogação do consentimento, nos termos do § 5º do art. 8º da Lei nº 13.709/2018.

Direito de Revogação do Consentimento: Este consentimento poderá ser revogado pelo Titular, a qualquer momento, mediante solicitação via e-mail ou correspondência à Controladora.

Votuporanga, 06 de dezembro de 2024.

Eduardo Augusto

Assinatura do aluno

CPF: 338 266 278-73

RG: 54 035 945-2

unifev

TERMO DE ISENÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Eu, ANDERSON JOSÉ MARQUES JUNIOR, RA 108227, aluno(a) do curso de ENGENHARIA ELÉTRICA da Unifev – Centro Universitário de Votuporanga, declaro, para todos os fins que se fizerem necessários, que assumo total responsabilidade pelo aporte ideológico e referencial conferido ao Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), isentando a Instituição, o coordenador, o responsável pela disciplina, o orientador e a banca examinadora de todo e qualquer reflexo acerca da pesquisa apresentada.

Estou ciente de que poderei responder administrativa, civil e criminalmente em caso de plágio comprovado.

Votuporanga-SP., 06 de DEZEMBRO de 2024.

ANDERSON JOSÉ MARQUES JUNIOR
Nome completo do(a) aluno(a)

unifev

TERMO DE ISENÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Eu, Eduardo Augusto Venzotte, RA 109057, aluno(a) do curso de Eng. Elétrica/Eletrônica da Unifev – Centro Universitário de Votuporanga, declaro, para todos os fins que se fizerem necessários, que assumo total responsabilidade pelo aporte ideológico e referencial conferido ao Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), isentando a Instituição, o coordenador, o responsável pela disciplina, o orientador e a banca examinadora de todo e qualquer reflexo acerca da pesquisa apresentada.

Estou ciente de que poderei responder administrativa, civil e criminalmente em caso de plágio comprovado.

Votuporanga-SP., 06 de dezembro de 2024.

Eduardo Augusto Venzotte

Nome completo do(a) aluno(a)