

Combustível Renovável: Automóveis Movidos por Hidrogênio

FERRO, Emily Maria de Lima
PATROCINIO, Alexei Barban

Resumo

Esse artigo teve como objetivo mostrar possibilidades de novas fontes alternativas de combustíveis renováveis e mais especificamente do hidrogênio (H_2) através de uma revisão bibliográfica sobre o tema. O H_2 é um combustível que pode ser gerado pela eletrólise da água ou por uma célula de combustível de etanol, que é uma fonte-renovável de energia. Dessa forma, torna-se um combustível, ainda em estudo, de matéria-prima inesgotável, permitindo assim ter sua produção garantida e por isso esse combustível torna-se uma promessa para o futuro próximo. Nesse estudo foram apresentadas cinco tipos de células a combustível a seguir: *Alkaline Fuel Cell – AFC*, *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell – PEMFC*, *Phosphoric Acid Fuel Cell – PAFC*, *Molten Carbonate Fuel Cell – MCFC* e *Solid Oxide Fuel Cell – SOFC*. As células de eletrólito polimérico – PEMFC possuem uma densidade de corrente e de potência elevadas e sua operação é bem flexível por serem células pequenas e leves; sendo promissora sua aplicação em carros elétricos, chegando a uma eficiência maior do que os carros convencionais movidos a motores de combustão interna. O hidrogênio reaproveitado desse processo é 70 a 90% armazenável e versátil. Como desvantagens possui um custo mais alto, pois a energia é procedente de fontes renováveis, que possui maior custo de energia para a produção de hidrogênio cinza e do verde, em particular requer mais energia que outros combustíveis e deve-se ter atenção à segurança. Pode-se concluir que esse tipo de combustível renovável (hidrogênio verde) veio para ajudar em práticas sustentáveis e melhorar o desenvolvimento mundial na diminuição de dióxido de carbono presente na atmosfera. Para os pesquisadores e ambientalistas ele pode ser uma solução bastante adequada e esperam que no futuro próximo ele possa ser um combustível mais acessível para os consumidores.

Palavras-chave: Produção, Desenvolvimento, Tecnologia, Combustível, Hidrogênio, Etanol.

Abstract

This article aimed to show possibilities for new alternative sources of renewable fuels and more specific to hydrogen (H_2) through a literature review on the topic. H_2 is a fuel that can be generated by the electrolysis of water or by an ethanol fuel cell, which is a renewable source of energy. In this way, it becomes a fuel, still under study, with an inexhaustible raw material, thus allowing its production to be guaranteed and therefore this fuel becomes a promise for the near future. In this study, the following five types of fuel cells were presented: *Alkaline Fuel Cell – AFC*, *Polymer Electrolytic Membrane Fuel Cell – PEMFC*, *Phosphoric Acid Fuel Cell – PAFC*, *Molten Carbonate Fuel Cell – MCFC* and *Solid Oxide Fuel – SOFC*. Polymeric electrolyte cells – PEMFC have a high current and power density and their operation is very flexible because they are small cells and levels; Its application in electric cars is promising, reaching greater efficiency than cars powered by internal combustion engines. The hydrogen reused from this process is 70 to 90% storable and versatile. As it has a higher cost, as the energy comes from renewable sources, which has a higher energy cost to produce gray hydrogen and green, it requires more energy than other fuels and attention must be paid to safety. We can conclude that this type of renewable fuel (green hydrogen) came to help with sustainable practices and improve global development by reducing carbon dioxide present in the atmosphere. For researchers and experts, it can be a very suitable solution and they hope that soon it can be a more accessible fuel for consumers.

Keywords: Production, Development, Technology, Fuel, Hydrogen, Ethanol.

Resumen

Este artículo tuvo como objetivo mostrar posibilidades para nuevas fuentes alternativas de combustibles renovables y más específicas al hidrógeno (H₂) a través de una revisión de la literatura sobre el tema. El H₂ es un combustible que puede generarse mediante electrólisis de agua o mediante una pila de combustible de etanol, que es una fuente de energía renovable. De esta manera, se convierte en un combustible, aún en estudio, con una materia prima inagotable, lo que permite garantizar su producción y por tanto este combustible se convierte en una promesa para el futuro próximo. En este estudio, se presentaron los siguientes cinco tipos de pilas de combustible: pila de combustible alcalina (AFC), pila de combustible de membrana electrolítica de polímero (PEMFC), pila de combustible de ácido fosfórico (PAFC), pila de combustible de carbonato fundido (MCFC) y combustible de óxido sólido (SOFC). Celdas de electrolitos poliméricos – PEMFC tienen una alta densidad de corriente y potencia y su funcionamiento es muy flexible porque son celdas y niveles pequeños; Su aplicación en los coches eléctricos es prometedora, alcanzando una mayor eficiencia que los coches propulsados por motores de combustión interna. El hidrógeno reutilizado de este proceso es almacenable y versátil entre un 70 y un 90%. Como tiene un coste mayor, al provenir de fuentes renovables, que tiene un coste energético mayor para la producción de hidrógeno gris y verde, en particular requiere más energía que otros combustibles y hay que prestar atención a la seguridad. Podemos concluir que este tipo de combustible renovable (hidrógeno verde) vino para ayudar con prácticas sustentables y mejorar el desarrollo global al reducir el dióxido de carbono presente en la atmósfera. Para investigadores y expertos puede ser una solución muy adecuada y esperan que en un futuro próximo pueda ser un combustible más accesible para los consumidores.

Palabras clave: Producción, Desarrollo, Tecnología, Combustible, Hidrógeno, Etanol.

INTRODUÇÃO

Com a crise do petróleo na década de 70 e 80 do século XX, os fabricantes de automóveis foram obrigados a encontrar novas tecnologias de combustíveis, como alternativa para substituir os combustíveis de origem fóssil. Devido à essa necessidade, iniciou-se os estudos para a utilização de combustíveis renováveis em seus veículos. No Brasil, os principais estudos se iniciaram com a cana-de-açúcar pela fabricação de etanol hidratado e posteriormente etano anidro, sendo atualmente a principal fonte alternativa de combustível renovável do país. Esse biocombustível pode ser produzir etanol a partir de outras matérias-primas, como exemplo milho e mandioca, bem com o biodiesel proveniente da soja, dendê, girassol, mamona. Porém, esse último em menor escala industrial (D'Almeida, 2015). Muitas dessas matérias-primas ainda estão em fase de estudos e desenvolvimento, inclusive o resíduo da cana-de-açúcar (bagaço), que pode ser utilizado para fabricação do etanol de segunda geração (Rabelo, 2010).

Mais recentemente surgiu o hidrogênio (H_2) a partir do etanol. Por exemplo, o carro produzido pela *Toyota*, conhecido como *Mirai* utiliza a tecnologia de *Toyota Fuel Cell System* (TFCS) e oferece tanto a tecnologia de célula de combustível quanto a típica dos carros elétricos híbridos, sendo desenvolvido com o objetivo de se tornar neutro em termos climáticos até 2050, atendendo a chamada “Aliança para o Hidrogênio Limpo” da Comissão Europeia com a colaboração primordial para a mobilidade sustentável, visto que o vapor d’água é produzido ao final do processo eletroquímico (Emilio, 2020). O autor cita outro carro a hidrogênio, que é o *Honda Clarity Fuel Cell*, sedã japonês que pode percorrer uma distância de 650 km e atingir uma velocidade máxima de 165 km por hora com 177 cv de potência do motor inovador. É citado também o *Audi H Tron*, *BMW i Hydrogen Next* e o *Hyundai NEXO*, que estão entre os carros a hidrogênio.

O abastecimento desse carro não é algo complicado, visto que há uma bomba no local de abastecimento semelhante aos postos de gasolina. O hidrogênio é bombeado e abastecido em tanques de combustível que são reforçados com fibra de carbono e após 5 minutos de abastecimento está pronto para se locomover (Toyota Motor USA, 2022). Dessa forma, haverá a diminuição de os ruídos e as emissões de gases poluentes para as gerações futuras com a eletrificação, que substitui o combustível fóssil, e em paralelo a utilização do hidrogênio como como combustível nos veículos leves (Passos, 2022).

No ano de 2015 começaram a ser comercializados os veículos movidos à hidrogênio nos EUA. Já no ano de 2022, o número de vendas desses veículos foi um pouco mais de 10.000 unidades no mundo para clientes da Califórnia. Nesse estado americano é o único lugar que se encontra postos de abastecimento de hidrogênio, no total de 44 instalados (Nichols, 2022).

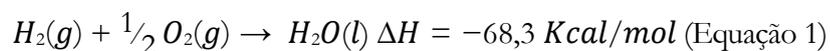
Dessa forma, o objetivo desse artigo foi mostrar possibilidades de novas fontes alternativas de

combustíveis renováveis e mais especificamente do hidrogênio (H₂) através de uma revisão bibliográfica sobre o tema. Atualmente, pode-se ver no mercado automobilístico carros desenvolvidos com tecnologias, híbridas e elétricas. Todavia, o país ainda precisa se reestruturar para receber esses automóveis em escala nacional, assim podendo transformar esse combustível em uma das principais opções no mercado.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

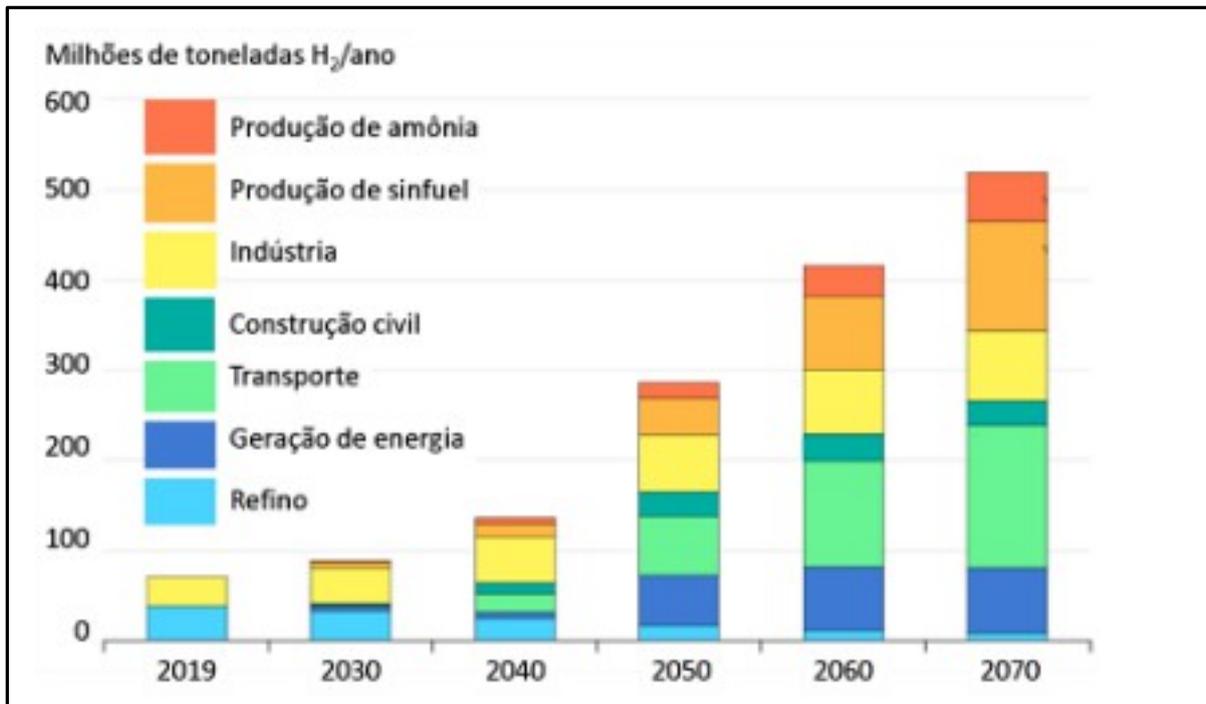
Produção de Hidrogênio

Para que o hidrogênio seja considerado um biocombustível do futuro necessita-se de estudos e pesquisas salientando quais os impactos ambientais que esse combustível pode causar e como pode ser realizada sua produção e armazenamento. O hidrogênio é uma fonte renovável que não se esgota e não é poluente. A reação química do hidrogênio com o oxigênio do ar tem como produtos água e energia elétrica por ser uma reação exotérmica ($\Delta H = -68,3 \text{ Kcal/mol}$), conforme apresentado na Equação 1. Assim umas das melhores opções para o meio ambiente, ele pode ser produzido através da gaseificação do bagaço de cana-de-açúcar, etanol ou de fontes fósseis como o gás natural (ENERGIA, 2020).



Segundo a EPE (2022), Empresa de Pesquisa Energética, o hidrogênio utilizado como uma nova fonte de energia é um ponto positivo para a matriz energética do Brasil. Assim, pode-se transformar eletricidade em energia gerada em células de combustível para a conversão do hidrogênio em energia elétrica. Essa nova fonte de energia pode ser usada em diversas tecnologias e em diferentes setores, conforme é identificado na Figura 1.

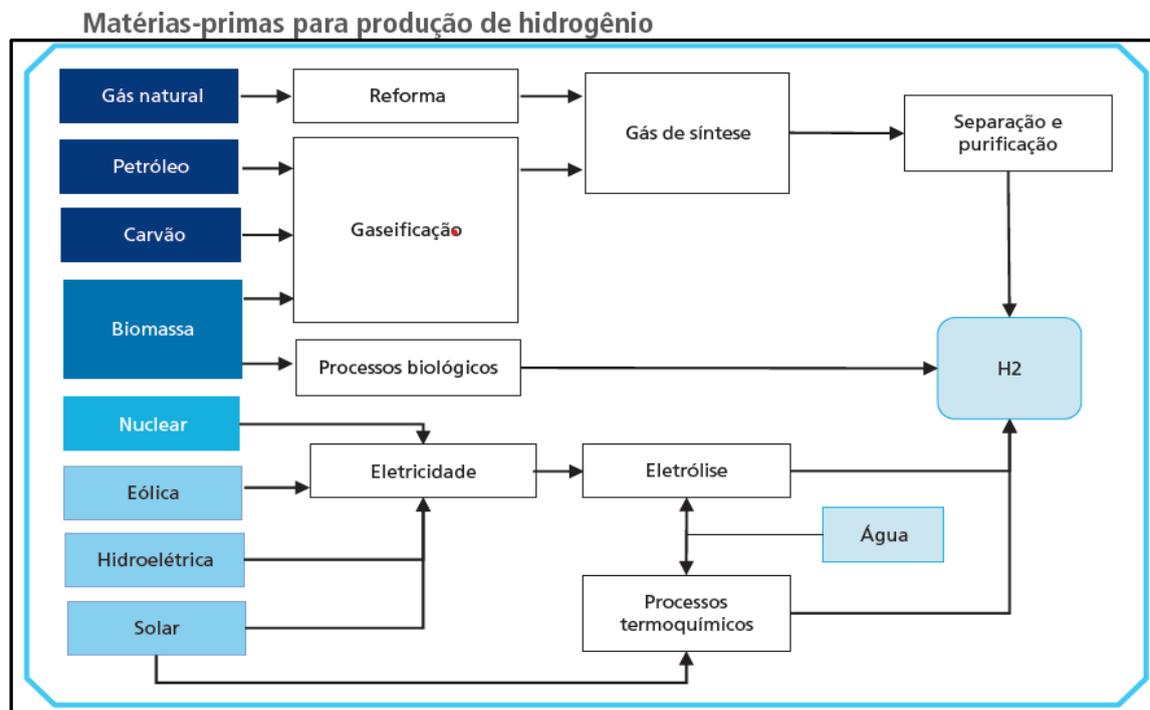
Figura 1 - Projeção da utilização do hidrogênio por uso até 2070



Fonte: EPE, 2022.

Na Figura 2 são apresentadas as diferentes matérias-primas que podem ser utilizadas para produção de hidrogênio:

Figura 2 - Matérias-primas que podem ser utilizadas para produção de hidrogênio



Fonte: Oliveira, 2022, p. 13.

No Brasil, o H₂ possui viabilidade técnica para ser usado inclusive com potencial de geração a partir da reforma do etanol como fonte de energia renovável, gerando assim o hidrogênio verde. Estima-se também que até 2050 a maior parte produzida de hidrogênio, será proveniente da mistura de hidrogênio verde e azul. O hidrogênio verde (H₂V) é produzido pela eletrólise usando energia renovável (etanol, por exemplo) e o hidrogênio azul é extraído do gás natural (Fonseca, 2022). A região Nordeste está se posicionando como um polo produtor de H₂V, pois possui alto potencial para geração de energia eólica e solar e seus portos estão geograficamente bem localizados em relação aos principais mercados da Europa, além do Ceará – estado com o maior número de projetos de H₂V anunciados no Brasil –, Rio Grande do Norte, Bahia, Pernambuco e Piauí também já possuem memorandos de entendimento com a iniciativa privada para produção de H₂V. O Brasil apresenta grande potencial de geração solar fotovoltaica com destaque para as regiões Nordeste e Centro-Oeste (Oliveira, 2022, p. 16).

O hidrogênio pode ser produzido por um processo térmico, 95% de todo o hidrogênio produzido vêm do gás natural, mas é possível produzi-lo também a partir da eletrólise com dois eletrodos ligados a uma fonte de energia e inseridos em um recipiente com água. As barras que passam por água têm a polaridade diferentes e a energia que passa por eles separa o hidrogênio da água. (Energia, 2020).

Conforme explica Grigoriadis e Silva (2022, p. 44), esse processo é relativamente simples para conseguir a extração de hidrogênio com uma pureza alta, podendo chegar até a 99,99% em volume assim a depender da secagem e eliminação do gás, nesse processo é a separação de duas moléculas nos gases hidrogênio e oxigênio por uma passagem de corrente elétrica contínua, a corrente flui entre dois eletrodos separados e imersos em um eletrólito, que tem uma função de aumentar a condutividade iônica do meio, deve-se utilizar um separador ou diafragma para evitar a mistura dos gases gerados nos eletrodos, conforme apresentado na Figura 3.

A estequiometria da reação ocorre através do seguinte processo:



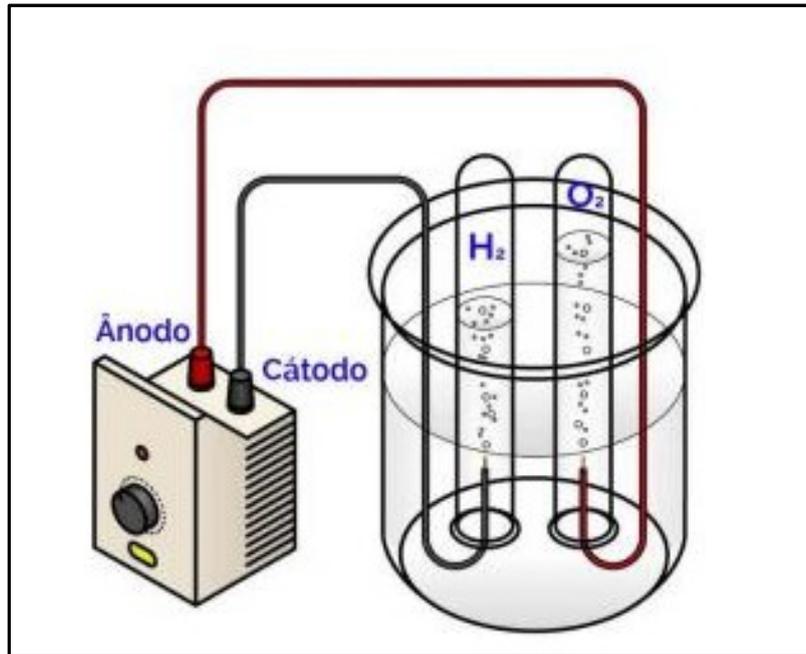
No eletrodo negativo o hidrogênio é formado através da reação (cátodo):



No eletrodo positivo o oxigênio é formado através da reação (ânodo):



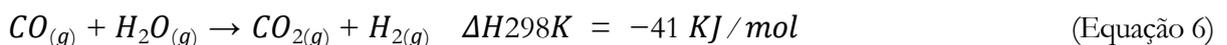
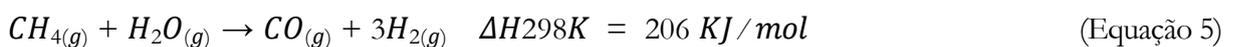
Figura 3 - Desenho esquemático para eletrólise de água e obtenção do gás hidrogênio e oxigênio



Fonte: Santos Júnior, 2004.

Para utilizar o hidrogênio como combustível necessita-se a sua passagem por uma célula de combustível. Nessa célula o processo ocorre o inverso. Assim como na eletrólise contém dois eletrodos, o negativo é alimentado pelo hidrogênio enquanto o positivo recebe ar. No negativo uma substância separa as moléculas de hidrogênio em prótons e elétrons, esses elétrons saem do eletrodo e geram um fluxo de eletricidade e os prótons vão em direção ao ar. Esses prótons se misturam com o oxigênio no caminho contrário da eletrólise gerando água e calor e assim é gerada energia sem combustão e produzindo apenas vapor e água (Além da Energia, 2020).

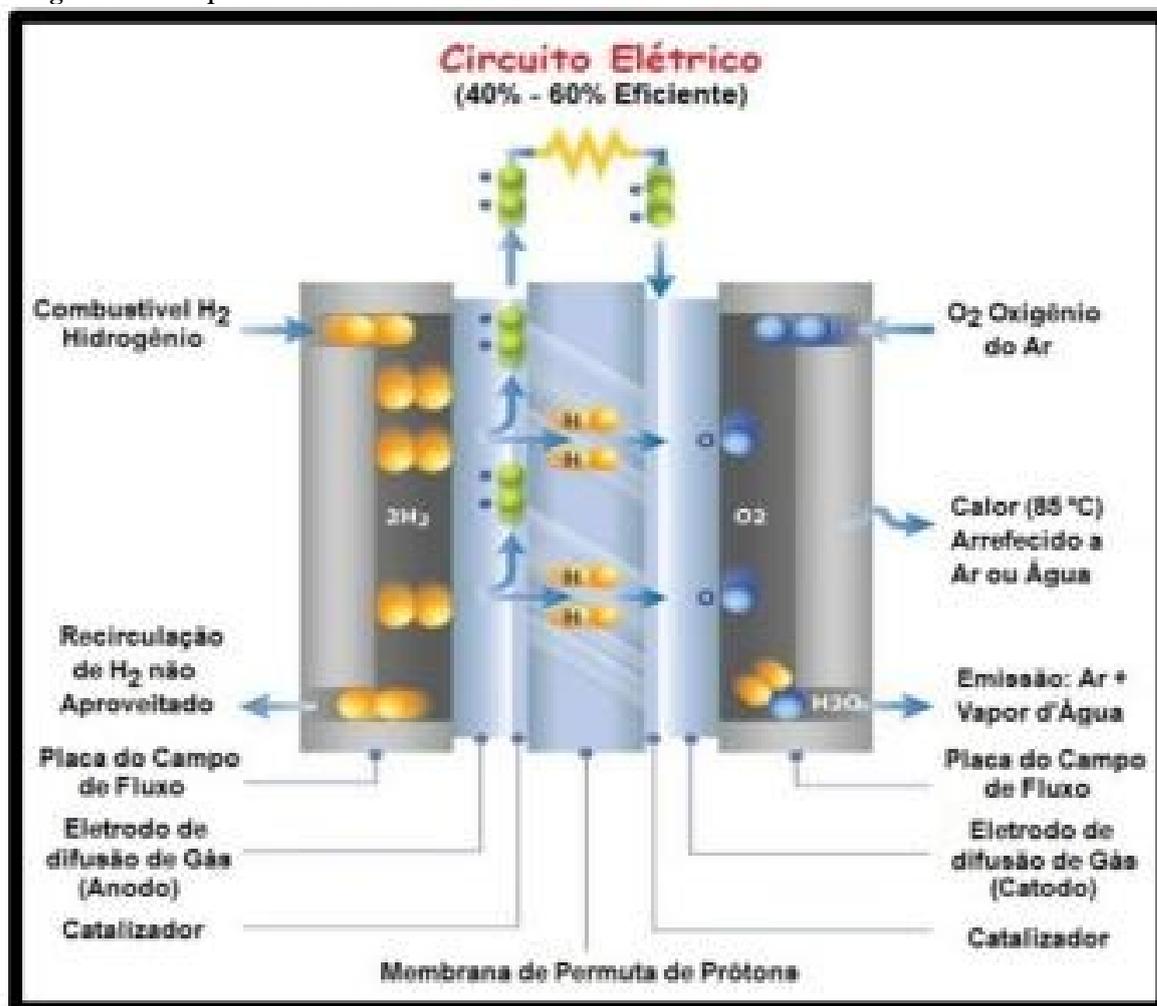
O trabalho de Grigoriadis & da Silva (2022, p. 45) apresenta o processo contínuo de reação catalítica do gás natural com vapor d'água, formando H₂, além de CO, CO₂ e, de forma indesejada, C, na forma de fuligem, conforme identificado nas seguintes reações químicas catalisadas. (Equação 5 e 6):



O hidrogênio reaproveitado desse processo é de 70 a 90%, aproximadamente. Porém nesse modelo de obtenção existe três desvantagens: (1) a produção de hidrogênio para o meio desse processo de extração é mais caro que o combustível primário que é usado por combustão; (2) o modelo de processo só se aplica a combustíveis fósseis que não são renováveis e no futuro poderá deixar de ser utilizado; (3) o CO₂ é liberado no meio ambiente (Santos, 2005).

Apresenta-se na Figura 4 a seguir o princípio de funcionamento da célula combustível:

Figura 4 - Princípio de Funcionamento da Célula a Combustível



Fonte: Lenz, 2013.

A célula de hidrogênio combustível é energia eletroquímica que converte a energia de um combustível em eletricidade através de uma reação eletroquímica. Seus princípios de funcionamentos são constituídos em dois eletrodos porosos, de maneira que o ânodo exerce sua funcionalidade de terminal negativo e o cátodo representando o terminal positivo. Ambos são cobertos em um dos lados por uma camada de catalisador tendo como base, platina ou níquel e distintos por um eletrólito (Santos, 2003).

Segundo Junior et al. (2022), existem cinco tipos de células a combustível apresentadas a seguir: *Alcaline Fuel Cell – AFC*, *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell – PEMFC*, *Phosphoric Acid Fuel Cell – PAFC*, *Molten Carbonate Fuel Cell – MCFC* e *Solid Oxide Fuel Cell – SOFC*. O autor conclui sobre os tipos de células de combustível que a célula alcalina - AFC possui alta eficiência e funciona em baixas temperaturas com custo operacional alto devido à utilização de hidrogênio e oxigênio puros para evitar contaminação do eletrólito por monóxido e dióxido de carbono. Já as células de eletrólito polimérico – PEMFC

possuem uma densidade de corrente e de potência elevadas e sua operação é bem flexível por serem células pequenas e leves; sendo promissora sua aplicação em carros elétricos, chegando a uma eficiência maior do que os carros convencionais movidos a motores de combustão interna. Já a célula de ácido fosfórico – PAFC, opera numa faixa de temperatura mais elevada (160 a 200°C) e possui uma potência geradora da ordem de megawatt (MW), podendo ser utilizada em unidades estacionárias com a desvantagem de contaminação da célula por monóxido de carbono e sua eficiência limitada pela corrosão da célula pelo ácido fosfórico. Por outro lado, a célula de carbonato fundido – MCFC opera a altas temperaturas (600 – 750°C) e possui alta tolerância ao monóxido e dióxido de carbono, com eletrodos de metais como o níquel, barateando seu custo. Todavia, é exigido bastante tempo para atingir sua temperatura de operação e potência desejada, tonando-se esse fator, uma desvantagem do processo. Finalmente, as de óxido sólido – SOFC também operam a elevadas temperaturas e são utilizadas em processos de geração e distribuição de energia de larga escala e possuem baixas emissões de gases poluentes, podendo ser empregadas em áreas rurais, onde o acesso à rede pública seja restrito.

Depois do hidrogênio ser produzido deve ser transportado ao mercado e servir de uso para vários tipos de funções. A mais conhecida é o seu uso como um combustível para veículos automotores, mas também pode ser utilizado na produção de energia elétrica para prédios e em alguns casos podem fornecer calor também. As células de combustível podem ser vistas como um grande potencial de fonte de energia para aeronaves, usar como sistema de gerador de emergência e podem servir de unidade auxiliar de energia para todo o avião, por exemplo, (Além da Energia, 2020).

Os veículos utilizam o gás hidrogênio como fonte principal de energia formando a convertendo o gás em eletricidade e não produzindo gases poluentes, diferindo o carro movido à hidrogênio do elétrico, pois esse último possui bateria é embutida e é necessário carregar em um ponto externo e gera uma demanda de descarte químico. Já o carro movido a hidrogênio está em constante recarga devido ao hidrogênio, causando menos impacto ambiental (Redação, 2021).

O carro Toyota *Mirai*¹, que significa futuro em japonês, é adequado ao propósito do mesmo, pois está equipado por sistema de propulsão de veículo elétrico movido por uma célula de combustível renovável. Esse modelo de automóvel foi lançado pela montadora em 2014 em modelo sedan de 4 lugares semelhante ao *Prius*. O fabricante informou que o sistema de saída de combustível chega a mais de 100 kWh, contém dois tanques de hidrogênio (142.2 litros) de alta pressão (87.5 MPa) a prova de balas que e alimentam o motor elétrico de 4,4 kW/L. O seu tanque de hidrogênio pode proporcionar uma autonomia de 312 milhas, ou seja, 502 km (Nichols, 2023).

O hidrogênio tem vantagens e desvantagens. Para ser produzido um biocombustível é

¹ Cf. em https://www.toyota.com/mirai/2023/features/mpg_other_price/3002/3003, acesso em 24/10/2023.

importante saber se é viável economicamente ou não em função de fatores como dificuldades de armazenamento, o custo de produção e valor comercial do produto, para que seja obtido um combustível acessível para todos, pois se o valor final for muito alto a sociedade continuará investindo em automóveis que façam o uso de um combustível fóssil (BIODIESELBR, 2006).

Dessa forma, os aspectos positivos do hidrogênio verde são:

- 100% sustentável: o hidrogênio não emite gases poluentes nem durante a combustão e nem durante o processo de produção.
- Armazenável: o hidrogênio é fácil armazenar, o que permite sua utilização posterior em outros usos e em momentos diferentes ao de sua produção
- Versátil: o hidrogênio verde pode ser transformado em eletricidade ou combustíveis sintéticos e ser utilizado com finalidades comerciais, industriais ou de mobilidade.

Já em relação aos aspectos negativos, o hidrogênio verde oferece as seguintes desvantagens. (Iberdrola, 2023):

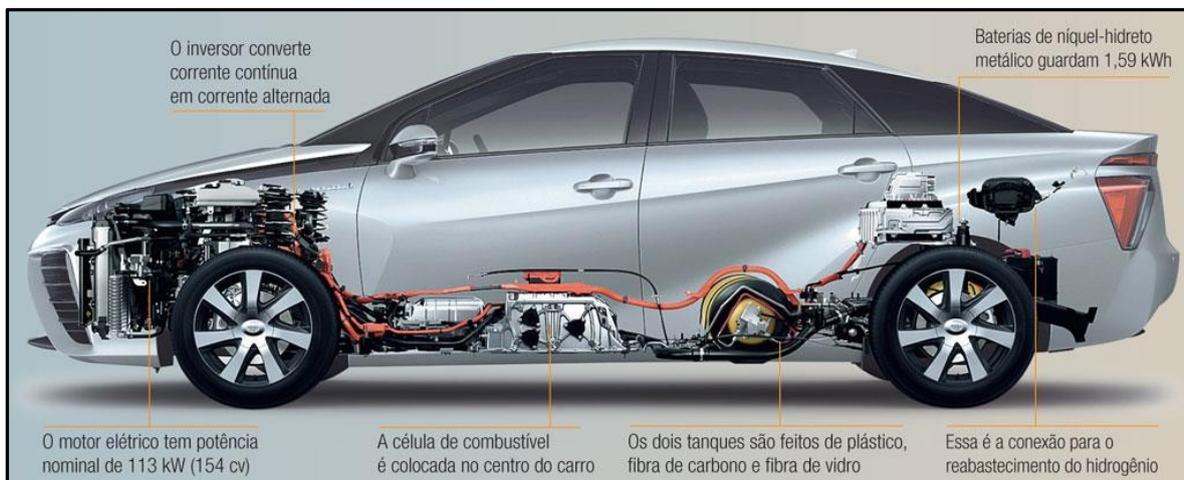
- Custo mais alto: a energia procedente de fontes renováveis, fundamentais para gerar hidrogênio verde através da eletrólise, é mais cara de gerar, o que, por sua vez, torna mais cara a obtenção do hidrogênio.
- Maior gasto de energia: a produção de hidrogênio em geral e do verde em particular requer mais energia que outros combustíveis.
- Atenção com a segurança: o hidrogênio é um elemento muito volátil e inflamável, exigindo requisitos de segurança elevados para evitar fugas e explosões (Iberdrola, 2023).

Com essa nova opção de combustível consegue-se pensar em um futuro melhor para o meio ambiente de modo sustentável e renovável que ajudam reduzir gases no efeito estufa e a emissão de CO₂ para a atmosfera como prática sustentável. Assim, o hidrogênio que promete ser um combustível do futuro que poderá ser acessado economicamente facilmente no funcionamento do automóvel e além de não poluir será movido pela eletricidade formada pela reação do combustível.

Estrutura do Automóvel

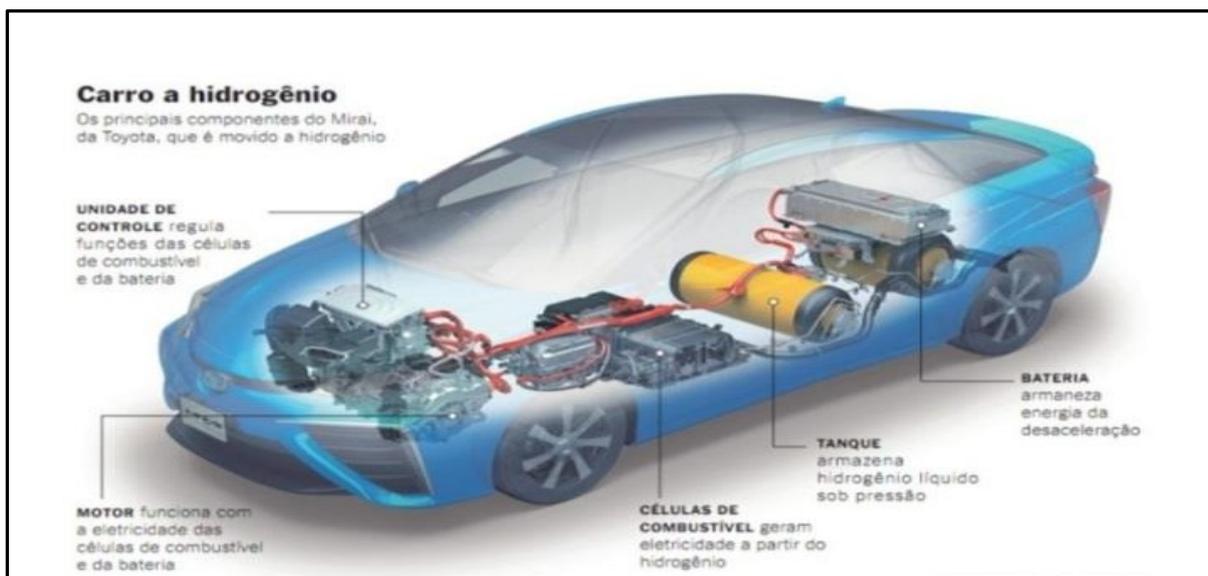
A estrutura desses automóveis para poder suportar toda essa nova tecnologia é diferente dos veículos automotores de combustão completa a partir do ciclo Otto. Apresenta-se a seguir o modelo estrutural do carro Toyota Mirai, que é o carro desenvolvido e que está sendo conhecido no mercado atualmente, conforme apresentado nas Figuras 5 e 6.

Figura 5- Estrutura do carro movido a combustão por hidrogênio



Fonte: Motor Show, 2020.

Figura 6- Estrutura do carro movido a combustão por hidrogênio



Fonte: Gazeta do Povo, 2015.

O *Toyota Mirai* gera energia combinando o hidrogênio com o ar externo no núcleo do *Mirai*. O hidrogênio do tanque de combustível e o ar que entra pela grade de admissão se encontram na célula de combustível, ocorre uma reação química envolvendo o oxigênio do ar e o hidrogênio passa pelo processo eletroquímico (Equação 2) gerando eletricidade e alimentando o carro. Observa-se que ao final o único subproduto é a água (Toyota Motor USA, 2022).

Os tanques de combustível de hidrogênio do *Toyota Mirai* foram rigorosamente testados e comprovados para conseguir atender ao regulamento técnico global N°13. Seus tanques de combustível são patenteados com uma envoltória em fibra de carbono e revestimento de polímero que absorvem cinco vezes a energia de impacto do aço e em uma colisão de alta velocidade os sensores são projetados para interromper o fluxo de hidrogênio e qualquer vazamento de hidrogênio escapará rapidamente com segurança para atmosfera (Toyota Motor USA, 2022).

O *Toyota Mirai* não se ausenta em possuir uma bateria de 1,2 kWh, que ao contrário dos carros elétricos tradicionais, o *Hybrid Battery Pack (lithium-ion)* complementa seu *Fuel Cell Stack* auxiliando na aceleração e na frenagem regenerativa ou para eventuais variações na corrente gerada pela célula (Toyota Comunica, 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção Mundial

Grandes companhias de petróleo lançaram seus projetos para o hidrogênio verde. Entre elas a Repsol, BP (*British Petroleum*) e Shell. Vários países já anunciaram seus planos para essa nova tecnologia. Inclusive a União Europeia se comprometeu a investir nesse novo combustível e outros países fizeram a promessa de torná-lo acessível para que todos tenham acesso a esse biocombustível e com um preço adequado ao bolso. Os países que estão liderando essas pesquisas desde o ano de 2020 são Austrália, Holanda, Alemanha, China, Arábia Saudita e Chile. O Brasil ainda está com os projetos em desenvolvimento, mas segundo a pesquisa, ele pode virar o maior produtor de hidrogênio verde (BBC, 2021).

Diogo Romeiro (2023) comenta que há uma iniciativa de aproveitar a produção de hidrogênio para gerar maior valor agregado em produtos brasileiros. Ao invés de ser exportado aço, o país pode exportar o aço verde, amônia verde, hidrogênio verde no lugar do cinza assim aumentando o valor agregado de seus produtos e com isso podendo economizar 830 milhões de carbono por ano, favorecendo o meio ambiente na campanha de carbono zero, podendo exportar o hidrogênio verde com um maior valor que o hidrogênio cinza, fazendo o país crescer economicamente. Conforme informado anteriormente, esse combustível tem vários mercados além de combustíveis de veículos, podendo ser utilizado futuramente na aviação, navegação, aquecimento de residências e até geração de energia elétrica em indústrias.

Segundo Viri e Teixeira Jr. (2021), no ano de 2019 a Agência Internacional de Energias Renováveis evidenciou por meio de suas pesquisas que o custo para produção de hidrogênio verde pode cair em mais de um terço, deixando de custar 6 dólares por quilo, e passando a custar entre 1 e 2 dólares por quilo, até o ano de 2030. Então, além de mais interessante para substituição do hidrogênio cinza, ele se tornará um excelente substituto dos combustíveis fósseis em alguns segmentos da economia. Entretanto, uma outra pesquisa realizada pela consultoria *Wood Mackenzie* estimou que a conformidade entre o hidrogênio verde e o cinza deve chegar, em média, até o ano de 2040.

Políticas Públicas e normas técnicas

O hidrogênio é uma das estratégias para a descarbonização da matriz energética e a redução do uso de combustíveis fósseis, ele já está no plano nacional de energia de 2050 (PNE, 2020), o Brasil é membro do IPHE (*International Partnership for Hydrogen Energy*), propostas do para o uso de hidrogênio publicadas em julho de 2021, reconheceu o uso de hidrogênio para a redução da emissão de carbono, entre as diretrizes apresentadas contém o uso do gás natural nacional com a captura do CO₂ para a produção do hidrogênio, a competitividade das energias renováveis que ajuda na redução do carbono entre elas, etanol e biogás, com etanol em destaque, como vemos é um dos maiores produtos produzidos no Brasil e que foram pensados para ajudar o meio ambiente.

Apresenta-se a seguir relação de normas e aos padrões sobre hidrogênio no Brasil, que devem ser utilizadas pelas empresas montadoras de veículos movidos a hidrogênio:

- 1 ABNT ISO/TR 15916:2015. Considerações básicas para a segurança dos sistemas de hidrogênio²
- 2 ABNT NBR ISO 16110-1: 2010. Geradores de hidrogênio que utilizam tecnologias de processamento de combustível. Aplicada à sistemas de geração de hidrogênio, embalados, autocontidos ou compatíveis de fábrica com uma capacidade menor que 400 m³/h a 0 °C e 101,325 kPa. Geradores de hidrogênio, que convertem um combustível de entrada em uma corrente rica em hidrogênio de composição e condições adequadas para o tipo de dispositivo que utilizará o hidrogênio (por exemplo, um sistema de geração de energia tipo célula de combustível ou um sistema de compressão, armazenamento e distribuição de hidrogênio).³
- 3 ABNT NBR ISO 14687-1: 2010. Combustível de hidrogênio – Especificação do produto

² Cf. em: Fonte: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/29409/abnt-iso->. Acesso em 24/10/2023.

³ Cf. em: Fonte: https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/29129/nbriso16110-1-geradores-de-hidrogenio-que-utilizam-tecnologias-de-processamento-de-combustivel-parte-1-seguranca#:~:text=NBRISO16110%2D1%20DE%2001%2F2010&text=*Trata%2Dse%20de%. Acesso em 24/10/2023.

Parte 1: Todas as aplicações, exceto células a combustível de membrana de troca de prótons (PEM) para veículos rodoviários automotores.⁴

4 ABNT IEC/TS 62282-1: 2018. Tecnologias de pilhas a combustível. Parte 1: Terminologia.⁵

5 ABNT NBR IEC 62282-2: 2010. Tecnologias de células a combustível – parte 2: módulos de células a combustível.⁶

6 ABNT NBR ISO 17268: 2014. Dispositivos de conexão para reabastecimento de veículos terrestres com hidrogênio gasoso. Aplica-se à verificação do projeto, da segurança e da operação de dispositivos de conexão para reabastecimento de veículos terrestres com hidrogênio gasoso (VTHG)⁷

7 Resolução no 5.947, de 1º de junho de 2021, da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT): referente a transporte de produtos perigosos e a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos, que atualiza o regulamento para o transporte rodoviário de produtos perigosos, aprova as suas instruções complementares, e dá outras providências.⁸

Redução de CO₂ no Mundo

Países que são exportadores de petróleo acabaram tirando de seu foco no tema e do acordo o uso de combustíveis renováveis e limpos, pois para eles o prejuízo em diminuir o comércio de petróleo é bem alto. Esses países são: Arábia Saudita, Rússia, China e Índia. O foco dessa organização é a redução de gás carbono na atmosfera assim ajudando a preservar o meio ambiente diminuindo os gases de efeito estufa e o aquecimento global.

Conforme informa o estudo de IEA (2019), *International Energy Agency*, os países que aderiram ao projeto e estão substituindo outros produtos como gás natural, energia nuclear e outros tipos de biocombustíveis já começaram seu desenvolvimento, como indicado na Figura 7:

⁴ Cf. em: Fonte: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/29404/nbriso14687-1-combustivel-de-hidrogenio-especificacao-do-produto-parte-1-todas-as-aplicacoes-exceto-celulas-a-combustivel-de-membrana-de-troca-de-protons-pem-para-veiculos-rodoviarios-automotores>, acesso em 24/10/2023.

⁵ Cf. em: Fonte: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/26467/abnt-iec-ts62282-1-tecnologias-de-pilhas-a-combustivel-parte-1-terminologia>, acesso em 24/10/2023.

⁶ Cf. em: Fonte: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/42040/nbriec62282-2-tecnologias-de-celulas-a-combustivel-parte-2-modulos-de-celulas-a-combustivel>, acesso em 24/10/2023.

⁷ Cf. em: Fonte: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/29160/abnt-nbriso17268-dispositivos-de-conexao-para-reabastecimento-de-veiculos-terrestres-com-hidrogenio-gasoso>, acesso em 24/10/2023.

⁸ (Fonte: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-5.947-de-1-de-junho-de-2021-323561273>, acesso em 24/10/2023).

Figura 7- Países e suas alternativas para a diminuição do carbono

País	Ano	Redução em cinco anos (pontos percentuais)	Participação inicial (porcentagem)	Substituído principalmente por
Reino Unido	2018	-12,4	17,0	Gás natural
Israel	2018	-9,4	29,8	Gás natural
Grécia	2018	-8,9	29,9	Gás natural
Cazaquistão	2016	-8,1	51,3	Gás natural
Espanha	2010	-6,8	12,8	Vários
Austrália	2014	-6,5	39,7	Gás natural
Portugal	2010	-6,3	13,5	Gás natural
China	2017	-6,2	69,7	Vários
Dinamarca	2018	-5,9	15,7	Biocombustível
Ucrânia	2017	-5,8	35,8	Nuclear
Estados Unidos	2018	-5,3	19,6	Gás natural

Fonte: IEA, 2019.

Os países em desenvolvimento dessas novas tecnologias e que estão passando por essa transição participam dos programas criados pela ONU (Organização das Nações Unidas). O chamado carbono zero só trará qualidades e benefícios para o nosso planeta no futuro. Sabe-se que atualmente estão acontecendo altos desastres causados de forma antrópica, resultando em animais em extinção, chuvas ácidas, temperaturas extremamente elevadas fora de época, inundações, destruição da camada de ozônio, inundações e vários outros impactos ambientais. Usando formas para contribuir na redução desses impactos, pode-se trazer ideias sustentáveis e educação ambiental, que são de extrema importância atualmente (IPEA, 2008).

Oliveira (2022, p. 9/10) do IPEA apresentou o desenvolvimento do hidrogênio na América Latina e quais países já pensam na criação dessa nova tecnologia de combustível renovável. O Brasil segue junto nessa nova descoberta tecnológica e sustentável, conforme indicado na Figura 8:

Figura 8- Produção de hidrogênio na América Latina

Itens analisados em relação ao H ₂	Argentina	Brasil	Chile	Colômbia	Uruguai	Equador	Peru	Trindade e Tobago	Costa Rica	Paraguai
Marco regulatório	Não existe	Em progresso	Não existe	Em progresso	Em progresso	Em progresso				
Mercado interno e demanda	Existe	Existe	Existe							
Grandes centros industriais para uso de H ₂	Existe	Existe	Em progresso	Existe	Não existe	Em progresso	Em progresso	Em progresso	Em progresso	Em progresso
Infraestrutura para transporte	Não existe	Em progresso	Em progresso	Não existe	Em progresso	Não existe	Não existe	Não existe	Não existe	Não existe
Excesso de energia verde para usar na eletrólise	Não existe	Em progresso	Existe	Não existe	Existe	Em progresso	Não existe	Não existe	Existe	Existe
Grande indústria de petróleo e gás para apoiar o hidrogênio azul	Existe	Existe	Não existe	Existe	Não existe	Em progresso	Em progresso	Existe	Não existe	Não existe
Habilidades da força de trabalho	Em progresso	Em progresso	Não existe	Em progresso	Em progresso	Não existe				

(Continuação)

Itens analisados em relação ao H ₂	Argentina	Brasil	Chile	Colômbia	Uruguai	Equador	Peru	Trindade e Tobago	Costa Rica	Paraguai
H ₂ azul ou cinza em produção	Existe	Existe	Existe	Em progresso	Existe	Não existe	Existe	Não existe	Não existe	Não existe
H ₂ verde em produção	Existe	Existe	Existe	Não existe	Em progresso	Não existe	Não existe	Não existe	Em progresso	Não existe
Apoio do governo	Em progresso	Existe	Existe	Em progresso	Existe	Em progresso	Em progresso	Existe	Existe	Existe

Fonte: IAméricas (2021).

Elaboração da autora.

Fonte: Oliveira, 2022, p. 9/10.

Pode-se verificar que esse combustível é uma ótima opção renovável e limpa para ser investido no futuro. Assim, pode-se deixar a dependência do petróleo e de combustíveis fósseis. Com o desenvolvimento de mais estudos e em um futuro próximo podem ser produzidos carros com essa tecnologia em um custo bem acessível do que está sendo fabricado hoje.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O hidrogênio é um combustível renovável e com alto potencial no mercado, podem conseguir fazer virá-lo um dos mais promissores biocombustíveis da atualidade e do futuro, sua fonte inesgotável e com os investimentos certos e adequados é possível ir muito além de ajudar o meio ambiente e não apenas achar soluções porque participam de um projeto para redução de carbono, mas sim pensar em ideias sustentáveis para ajudar o planeta para essas novas gerações. Sabe-se que o lucro

também é importante para que esse progresso ocorra. Assim, o governo deve apoiar essas novas pesquisas e novos produtos do mercado sustentáveis. O Brasil é um país com diversos tipos de climas e consegue ter uma grande produção de matérias-primas renováveis, que impulsionam a economia verde e sustentável.

O hidrogênio é um ótimo produto para o futuro, pois o carro movido a esse combustível já está em funcionamento e com adequações do combustível é possível ter um carro com alta potência com sua bateria que é capaz de suportar 1,59 kWh e seu motor elétrico de potência nominal de 113 kW e equivalente a 154 cv. Espera-se que no futuro esse combustível seja usado em maior escala e que carro movido à hidrogênio seja vendido com grande frequência e obtenha um grande mercado nacional e internacional.

O combustível renovável: o hidrogênio veio para ajudar em práticas sustentáveis e melhorar o desenvolvimento no mundo na diminuição de gás carbono presente na atmosfera. Para os pesquisadores e ambientalistas ele pode ser uma solução bastante adequada e esperam que no futuro próximo ele possa ser um combustível mais acessível para os consumidores, já que no Brasil há ótimos recursos para a produção desse combustível e já tem empresas com essas iniciativas renovável. Essas empresas estão pesquisando formas de produzi-lo em função da redução dos custos e assim tornando um valor acessível para população locomover-se com a alta tecnologia embarcada.

REFERÊNCIAS

ALÉM DA ENERGIA, Santa Catarina, 20 out. de 2020. Redação. Impressões: Saiba como o hidrogênio se transforma em combustível. Disponível em:

<https://www.alemداenergia.engie.com.br/saiba-como-o-hidrogenio-se-transforma-em-combustivel/>. Acesso em: 24 out. de 2023.

ALÉM DA ENERGIA, Santa Catarina, 23 abr. de 2021. Redação. Impressões: como vão funcionar os carros movidos a hidrogênio. Disponível em:

<https://www.alemداenergia.engie.com.br/como-vao-funcionar-os-carros-movidos-a-hidrogenio/>. Acesso em 24 out. de 2023.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2021: BRAZILIAN ENERGY BALANCE.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2021. Rio de Janeiro. v. 1, n 1, p. 1-268, mar/2021.

Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 28 set. 2023.

BiodieselBR. *Biodiesel vs. Hidrogênio*. 2006. Disponível em:

<https://www.biodieselbr.com/destaques/2006/biodiesel-vs-hidrogenio>. Acesso em: 22 out. de 2023.

BBC. Impressões: *Hidrogênio verde*: os 6 Países que lideram a produção do ‘combustível do futuro’. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-56604972>. Acesso em: 22 out. de 2023.

D'ALMEIDA, Albino Lopes. *Indústria do petróleo no Brasil e no mundo: formação, desenvolvimento e ambiência atual 2015*. São Paulo: Edgard Blucher, 2015.

EMILIO Maurizio Di Paolo. Impressões: *EC to Bet on Hydrogen Fuel Cell Vehicles*. Disponível em: <https://www.eetimes.com/ec-to-bet-on-hydrogen-fuel-cell-vehicles/>. EETimes, USA, 03 dez. de 2020. Acesso em: 22 out. de 2023.

CGEE. HIDROGÊNIO ENERGÉTICO NO BRASIL: SUBSÍDIOS PARA POLÍTICAS DE COMPETITIVIDADE: 2010-2025. *HIDROGÊNIO ENERGÉTICO NO BRASIL*. Brasília, v. 2010, n. 07, p. 1-72, out/2010. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/>. Acesso em: 28 set. 2023.

EPE. Impressões: PNE plano nacional de energia 2050. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 22 out. de 2023.

GAZETA DO POVO. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/mundo/carros-movidos-a-hidrogenio-chegam-ao-mercado-ej0k8f7ekybt8zlv1vfiuo26/amp/>. Acesso em: 22 out. de 2023.

IBERDROLA. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/hidrogenio-verde>. Acesso em: 22 out. de 2023.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. The future of hydrogen. Paris: IEA, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3OMZx0M>. Acesso em: 24 de out. de 2023.

IPEA. Impressões: Disponível em: https://www.ipea.gov.br/participacao/images/pdfs/conferencias/Meio_ambiente_III/texto_base_3_conferencia_meio_ambiente.pdf. Acesso em: 24 de out. de 2023.

JACINTO JUNIOR, Silvio Gentil; QUINTELLA, Solange Assunção; ALVES, Daniela Ribeiro; CONDE, Ivo Batista; CASTRO, Janevane Silva de & LEITINHO, Janaina Lopes. 2022. Células a combustível: possibilidades e limitações. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 5, ISSN 2525-3409. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i5.28522>. Acesso em: 24 de out. de 2023.

LENZ, André Luis. Impressões: Veículos Elétricos-Os Carros Verdes – Emissão “Zero” de carbono – Tecnologias e Empreendimentos. Disponível em: <http://automoveiseletricos.blogspot.com/2013/06/como-uma-celula-combustivel-e-o.html> Blogger, São Paulo, 09 jun. de 2013. Acesso em: 24 de out. de 2023.

IAMERICAS – INSTITUTE OF THE AMERICAS. Hydrogen potential in Latin America. La Jolla: IAmericas, Apr. 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3AdOJ87>. Acesso em: 24 de out. de 2023.

MOTORSHOW. Disponível em: <https://motorshow.com.br/blog-sr-toyota-vende-hibridos-mas-prefere-o-hidrogenio/>. Acesso em: 22 out. de 2023.

NICHOLS, Dave. Impressões: Toyota Mirai: the future of hydrogen EV . Disponível em: https://www.greencars.com/expert-insights/toyota-mirai-the-future-of-hydrogen-evs?gclid=CjwKCAiAmuKbBhA2EiwAxQnt78-KKLjvFBInZH2fgPExfIDQ4kB_E53fGrmEch0QcgnYOmGqEiT0RoCyYcQAvD_BwE. Green

Cars, Oregon – USA, Sep 2022. Acesso em: 24 de out. de 2023.

PASSOS, Eduardo. *Impressões: Toyota mirai é o carro a hidrogênio ainda mais 'limpo' no Brasil.* <https://quatorrodas.abril.com.br/carros-eletricos/impressoes-toyota-mirai-e-carro-a-hidrogenio-ainda-mais-limpo-no-brasil>. Quatro Rodas, São Paulo, 03 de out. de 2022. Acesso em: 24 de out. de 2023.

RABELO, Sarita Cândida. *Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração.* Repositório da produção científica e Intelectual Unicamp. <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/770600>. Campinas, São Paulo, 2010. Acesso em: 19 de out. de 2023.

ROMEIRO, Diogo. *Impressões:* Disponível em: <https://ensaioenergetico.com.br/perspectivas-e-desafios-para-projetos-de-exportacao-de-hidrogenio-verde/>. Acesso em: 22 out. de 2023.

SANTOS, Fernando Miguel Soares Mamede dos; SANTOS, Fernando Antônio Castilho Mamede dos. *O COMBUSTÍVEL “HIDROGÊNIO”* 2003. Instituto Superior Politécnico de Viseu. Portugal.

SANTOS, Júnior, A. C. F. *Análise da viabilidade econômica da produção de hidrogênio em usinas hidrelétricas: estudo de caso em Itaipu.* 2004. Dissertação (Mestrado em engenharia Produção) - programa de pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2004.

TOYOTA motor sales, U . S . A . , Inc. All information applies to U.S. Disponível em: <https://www.toyota.com/mirai/>. Acesso em: 19 de out. de 2023.

TOYOTA COMUNICA. *Impressões: Toyota Mirai entra para o GUINNESS WORLD RECORDS ao fazer uma jornada de 1.360 km com emissão zero sem reabastecimento.* Disponível em: <https://www.toyotacomunica.com.br/toyota-mirai-entra-para-o-guinness-world-records-ao-fazer-uma-jornada-de-1-360-km-com-emissao-zero-sem-reabastecimento/>. São Bernardo do Campo, 18 out. de 2010. Acesso em: 19 de out. de 2023.

VIRI. N.; JUNIOR. S. T. *O que é o hidrogênio verde — e porque ele promete ser o combustível do futuro.* 2021. Disponível em: <https://www.capitalreset.com/o-que-e-o-hidrogenio-verde-e-porque-ele-promete-ser-o-combustivel-do-futuro/>. Acesso em: 24 de out. de 2023.

FERRO, Emily Maria de Lima. Graduada em Tecnologia em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan” – Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”.

PATROCÍNIO, Alexei Barban. Engenheiro de Segurança do Trabalho (FATEP). Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos (1998) e Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de Piracicaba (2021), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos (2001) e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos (2005). Trabalhou na Pará Pigmentos SA com projetos de CAPEX para o caulim, na Dedini e no Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), na EET Brasil - Parafinas e Alumínio e na Raízen como engenheiro de projetos e de processos. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em cálculo e dimensionamento de equipamentos (reator, centrífuga, trocadores de calor, filtro, dentre outros). Atua como professor na FATEC - Piracicaba lecionando disciplinas como Operações Unitárias, Físico - Química, Produção de Bioeletricidade e Responsabilidade e Segurança do Trabalho, na FATEP com as disciplinas de Artigo Científico para a Pós - Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Avaliação e Perícias Rurais para o curso de Engenharia Agrônômica, como Agente pela INOVACPS do Centro Paula Souza - Regional Campinas Norte e Perícia Judicial nas áreas de engenharia de segurança do trabalho, engenharia química e engenharia civil.