

CÉLULAS DE HIDROGÊNIO E SUA UTILIZAÇÃO COMO COMBUSTÍVEL

HYDROGEN CELLS AND THEIR USE AS A FUEL

José Fábio da Silva Junior¹

Eloide Teles Silva Grisi²

Vicente de Vasconcelos Claudino Filho³

¹Graduando em Engenharia Mecânica, Faculdade Internacional da Paraíba FPB

²Professora Mestre da Coordenação das Engenharias, e-mail:

eloide.grisi@animaeducacao.com.br

³Professor Dr., Orientador, email:

vicente.claudino@animaeducacao.com.br

Resumo

O princípio do funcionamento da célula a combustível de hidrogênio necessita do hidrogênio e oxigênio para realização do seu trabalho. Seu funcionamento ocorre da seguinte forma: o hidrogênio fica responsável pela liberação de elétrons, os quais reagem diretamente com o oxigênio, durante essa reação ocorre a produção de eletricidade, a qual deixa o vapor como subproduto da reação. O estudo da célula de hidrogênio vem sendo considerado como a energia do futuro pelo simples fato do processo não poluir tanto o meio ambiente, e poder ser utilizado em vários casos, como por exemplo em automóveis e para a geração de energia elétrica, a mesma já mostra uma economia de até 60% se comparado a outros combustíveis. Esse artigo se trata de uma revisão bibliográfica, baseada em artigos e trabalhos recentes para sua construção, onde foi realizado o estabelecimento dos critérios para inclusão e exclusão de estudos e busca na literatura seguida de análise; coleta de dados mediante a definição das informações a serem extraídas dos estudos selecionados/categorização dos estudos; análise crítica dos estudos incluídos; e apresentação da revisão integrativa por meio da síntese do conhecimento. As publicações selecionadas são referentes ao período de 2019 a 2023. Seu principal objetivo é mostrar a eficiência da célula de hidrogênio e os benefícios que a mesma pode trazer para o planeta, tanto em questões ambientais quanto em eficiência em geração de energia com fontes renováveis.

Palavras-Chave: Hidrogênio. Combustível. Célula a combustível.

Abstract

The working principle of the hydrogen fuel cell needs hydrogen and oxygen to carry out its work. Its operation is as follows: hydrogen is responsible for releasing electrons, which react directly with oxygen, during this reaction electricity is produced, which leaves steam as a by-product of the reaction. The study of the hydrogen cell has been considered as the energy of the future for the simple fact that the process does not pollute the environment so much, and can be used in several cases, such as in automobiles and for the generation of electric energy, the same already shows savings of up to 60% compared to other fuels. This article is a bibliographic review, based on recent articles and works for its construction, where the establishment of criteria for inclusion and exclusion of studies and search in the literature followed by analysis was carried out; data collection by defining the information to be extracted from the selected studies/categorization of studies; critical analysis of the included studies; and presentation of the integrative review through knowledge synthesis. The selected publications refer to the period from 2019 to 2023. Its main objective is to show the efficiency of the hydrogen cell and the benefits it can bring to the planet, both in environmental issues and in efficiency in energy generation with renewable sources.

Keywords: Hydrogen. Fuel. Fuel cell.

1. INTRODUÇÃO

Conhecida também como célula a combustível, a célula de hidrogênio se trata de uma tecnologia que se utiliza da combinação química entre os gases hidrogênio e oxigênio, responsável por gerar energia elétrica e moléculas de água. A mesma é dividida em 'fatias', onde cada fatia é responsável por uma função específica, as quais são responsáveis pelo funcionamento total da célula (RODRIGUES; *et al*, 2019).

O princípio do funcionamento da célula a combustível de hidrogênio necessita do hidrogênio e oxigênio para realização do seu trabalho. Seu funcionamento ocorre da seguinte forma: o hidrogênio fica responsável pela liberação de elétrons, os quais reagem diretamente com o oxigênio, durante essa reação ocorre a produção de eletricidade, a qual deixa o vapor como subproduto da reação (RODRIGUES; *et al*, 2019).

Quando a produção do hidrogênio, a mesma se dá pela extração de combustíveis fósseis através de processos químicos. O mesmo também é resultado da extração da água referente a produção biológica, que se dá por meio de um biorreator de algas, ou até mesmo através do calor (termólise), quimicamente ou por meio da eletricidade (eletrólise) (BARROS; *et al*, 2022).

Outro fator importante do hidrogênio, é que o mesmo não é frequentemente obtido na natureza, acontece raramente. As fontes de hidrogênio consideradas como principais são as derivadas dos fósseis, as quais possuem uma separação de hidrogênio consistindo basicamente no mesmo processo da gasolina, metanol, nafta, etanol. Ressaltando que independente da fonte, o processo de separação do hidrogênio sempre será responsável por emitir poluentes atmosféricos (BARROS; *et al*, 2022).

Contudo, a célula de hidrogênio e sua tecnologia são responsáveis por desempenhar um papel importante no planeta, a mesma atua de forma limpa, com baixo nível de emissão de poluentes e ainda de forma silenciosa. Um bom exemplo da utilização dessa energia da célula de hidrogênio é como combustíveis de automóveis, os quais utilizam-se desse gás para alimentar o motor elétrico (ARAÚJO; *et al*, 2021).

Para alimentar o motor elétrico do carro, o hidrogênio vai se combinar com o oxigênio, sendo representado pela reação global: $2H_{2(g)} + O_2 \rightarrow 2H_2O + energia$.

Essa célula possui um baixo impacto ambiental, além de não emitir material particulado, vibrações, combustão e ruídos, sendo considerado o combustível do futuro, por ser renovável, inesgotável e não poluente (ARAÚJO; *et al*, 2021).

Visando o menor impacto da célula a combustível para o planeta, esse trabalho tem como objetivo a abordagem sobre o uso do hidrogênio como fonte de combustível em automóveis. Tendo como justificativa o aumento da busca por novas fontes de energias renováveis, devido ao aumento dos preços dos combustíveis derivados do petróleo, associado ao alto nível de poluição ao meio ambiente, que estes causam (ANDRADE, 2021).

O estudo da célula de hidrogênio vem sendo considerado como a energia do futuro pelo simples fato do processo não poluir tanto o meio ambiente, e poder ser utilizado em vários casos, como, por exemplo, em automóveis e para a geração de energia elétrica, a mesma já mostra uma economia de até 60% se comparado a outros combustíveis (ANDRADE, 2021).

Esse artigo se trata de uma revisão bibliográfica, baseada em artigos e trabalhos recentes para sua construção. Onde será abordado de forma direta e sucinta a respeito do uso de hidrogênio como fonte de combustível em automóveis e seus benefícios. Tópicos referentes a composição da célula de hidrogênio, benefícios da célula de hidrogênio e benefícios da utilização da célula de hidrogênio serão abordados, trazendo resultados dessas pesquisas, e a conclusão sobre o tema.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

2.1 Célula de hidrogênio

O hidrogênio, em si ele se trata de um elemento químico, o qual possui a menor número atômico, sendo $Z=1$, e também menor massa atômica, sendo essa 1u. Na tabela periódica o hidrogênio se encontra posicionado no primeiro período da família IA, representada pelos metais alcalinos na tabela periódica, contudo não faz parte desta família por não apresentar características, tanto químicas quanto físicas, dos metais alcalinos (CRIZOL, 2020).

Quanto a célula de hidrogênio, a mesma é popularmente conhecida como célula a combustível, a qual se trata de uma tecnologia a qual se utiliza da combinação química entre os gases de oxigênio e hidrogênio. Essa combinação é responsável por gerar energia elétrica e moléculas de água, a qual atuam de forma silenciosa, limpa, e acima de tudo, apresentando baixos níveis de poluentes na atmosfera (CRIZOL, 2020).

A primeira descoberta considerada significativa a respeito das células de hidrogênio, foi do médico, astrólogo e alquimista, Theophrastus Paracelsus (1493-1541). A descoberta verificou a presença de um gás o qual durante a dissolução de amostra de ferro, em meio sulfúrico. Em seguida, o Turquete de Mayeme (1573-1655), observou que existia uma queima a qual era consequência da mistura do hidrogênio com o ácido sulfúrico e ferro (SANTOS, 2022).

Após esse acontecimento, Turquete de Mayeme (1573-1655) observou, também, uma queima que era derivada do hidrogênio quando misturou ácido sulfúrico com ferro. Esse mesmo fenômeno foi observado pelo químico francês e boticário Nicolas Lemery (1645-1715), que descreveu a queima do gás como algo fulminante e violento; mesmo assim, ele não chegou à conclusão final de que aquilo seria um elemento químico (SANTOS, 2022).

Na metade do século XVII, o Henry Cavendish (1731-1810), descreveu pela primeira vez as qualidades do hidrogênio, contudo não foi o responsável pela nomenclatura de "hidrogênio", até mesmo por que acreditava na teoria do 'flogisto'. Essa teoria do 'flogisto' foi criada pelo alemão Georg Ernst Stahl, o qual acreditava que aquilo representava o próprio estado de inflamação (SANTOS, 2022).

Outros cientistas descobriram que havia tipos diferentes de ar, o ar fixo (CO_2)

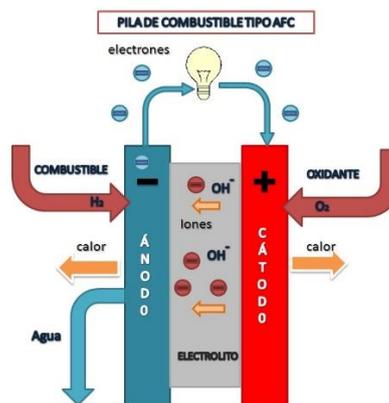
e o ar inflamável (hidrogênio). Henry conseguiu provar em seu artigo que o hidrogênio seria o mesmo do ar inflamável, apesar de ser retirado por meio de metais e ácidos. Diversas descobertas foram realizadas por diferentes cientistas e estudiosos, decifrando ainda mais as funções do hidrogênio, e aperfeiçoando seu uso (BONI; *et al.*, 2022).

Por volta de 1839, o físico Willian Grove, desvendou outra utilização do hidrogênio. Por meio de experimentações com o hidrogênio, Willian conseguiu desenvolver a primeira célula de combustível. Segundo ele, ao se passar eletricidadeatravés da água, seria possível conseguir obter gases de hidrogênio e oxigênio, sendo futuramente considerada uma importante fonte de energia renovável (BONI; *et al.*, 2022).

2.2 Como funciona a célula de hidrogênio?

Diversos estudos tendem a comparar uma célula de hidrogênio a um sanduíche. Isso se dá por ela ser dividida em fatias, onde cada uma possui uma função específica. Os elétrodos constituem duas destas fatias, sendo que eles são porosos para que possa ocorrer a passagem dos gases até a fatia do meio, o eletrólito(CRIZOL, 2022).

Figura 1- Representação da Célula de Hidrogénio



Fonte: ingeo expert, 2021.

Quando o eletrólito é revestido, tem como resultado um catalisador, que tem como função acelerar as reações químicas e quebrar as moléculas de hidrogênio. O gás hidrogênio passa por canais de fluxos desenhados na sua placa, no elétrodo, atingindo assim toda a sua superfície. Os elétrodos por sua vez são constituídos de metais, grafite e aço inoxidável, o que consequentemente são bons condutores de eletricidade. O gás hidrogênio segue sendo o terminal negativo (ânodo) e o gás

oxigênio segue sendo o terminal positivo (cátodo) (GREGORIADIS; SILVA, 2022).

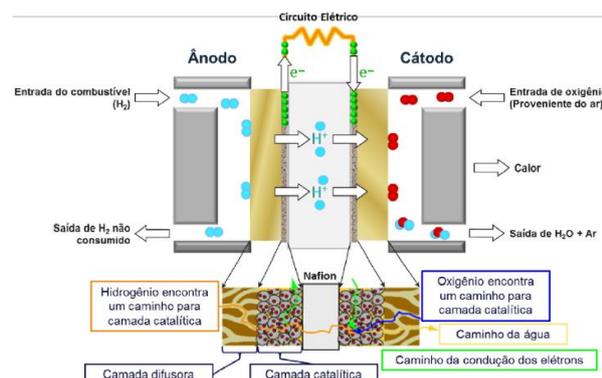
Aliado ao catalisador, o eletrólito é considerado a razão pelo qual existe o funcionamento da célula de hidrogênio. Esse eletrólito pode ser encontrado no estado líquido ou sólido, o qual permitirá o movimento dos prótons, enquanto os elétrons não passarão pelo eletrólito, mas sim por um circuito externo, o qual se encontra instalado na célula de hidrogênio (NUNES, 2019).

Em um lado da célula, está presente o gás hidrogênio, o qual é pressurizado e bombeado em direção ao ânodo. Em seguida o gás é forçado a passar por canais de fluxos, esse gás ultrapassa os canais e atinge o catalisador, onde em contato com o catalisador, o hidrogênio se separa em dois elétrons e dois íons. Esses elétrons são enviados para o circuito externo, onde é formada uma corrente elétrica, e os gases de hidrogênio, quebrados inicialmente pelo catalisador, percorrem em direção ao eletrólito (NUNES, 2019).

Já no outro lado da célula, o gás oxigênio é bombeado em direção ao cátodo, onde o mesmo é forçado a passar pelos canais de fluxo rumo ao catalisador. E é no catalisador que as moléculas de oxigênio se combinam com os íons de hidrogênio, essas moléculas de oxigênio atravessam o eletrólito com intuito de formar água (NUNES, 2019).

Resumindo, nas células de hidrogênio, o oxigênio presente na atmosfera se une ao hidrogênio, o qual conseqüentemente produz a energia elétrica e água. No geral, esse processo de geração de energia mediante as células a combustível, célula de hidrogênio, não se trata de um processo com impacto sobre o meio ambiente, sendo uma razão pela qual é classificado como um processo limpo (ANDRADE, 2021).

Figura 2- Funcionamento e componentes da célula.



Fonte: Rodolfo Molina, 2013.

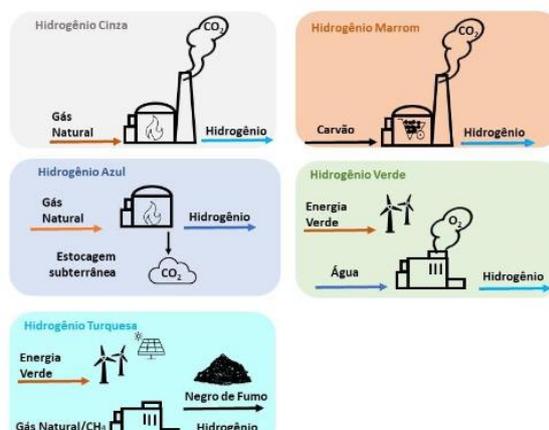
Contudo, antes de discutir a respeito da geração de energia, se faz necessário questionar a respeito da abordagem do processo de obtenção do hidrogênio puro, o qual é utilizado pelas células a combustível. É necessário observar e analisar o modo de obtenção das energias renováveis e se as matérias utilizadas na obtenção do hidrogênio puro são referentes as fontes renováveis ou fósseis limpos (ANDRADE, 2021).

2.3 Principais rotas produtivas de hidrogênio

O hidrogênio pode ser encontrado de forma abundante na atmosfera, contudo não é possível meramente coletar hidrogênio. Sua coleta necessita ser obtida por meio de alguma rota produtiva, caso não seja por esse meio seria através da queima de hidrogênio, se tornando um processo de obtenção um pouco danoso para o meio ambiente, ou seja, não sustentável (DELGADO; COSTA, 2021).

Além disso, diversas são as formas de se obter hidrogênio, existindo algumas mais viáveis e menos danosas que outras, em especial algumas com maior relevância devido a sua eficiência ou até mesmo por causar menos danos a natureza. Essas formas são as rotas: cinza, azul, marrom, musgo e verde, as quais estão descritas abaixo (DELGADO; COSTA, 2021).

Figura 3- Rotas de produção de hidrogênio.



Fonte: Adaptado de NASCHERT (2021)

A rota cinza é considerada a rota mais utilizada quanto a obtenção do hidrogênio, isso se dá pelo seu baixo custo, contudo é a rota que mais influencia no

efeito estufa, devido a utilização do metano, sendo então uma rota poluidora e não renovável. Ainda nessa rota, ocorre um processo conhecido como reforma de vapor, e se divide em três etapas que são realizadas pela indústria, onde ocorre a purificação do gás natural, envio do gás para o aparelho de reforma catalítica, e por fim o produto gerado também é purificado para retirada dos gases indesejados obtendo-se hidrogênio em alta pureza (MORAES, 2022).

Existe a rota azul, que se baseia na reforma a vapor do gás natural, contudo ocorre a captura do gás carbônico, e por meio de uma tecnologia é garantido que esse gás não seja mais descartado na atmosfera e sim reutilizado em outros processos. Quanto a rota marrom, é utilizada a gaseificação, sendo uma decomposição do carvão mineral visando a obtenção do hidrogênio, contudo se trata de um processo que libera uma grande quantidade de gases que influenciam no efeito estufa (MORAES, 2022).

A rota musgo se utiliza da reforma de biogás, é uma rota que se obtém através de um meio renovável, esse meio é a biomassa o qual se provém a partir de resíduos orgânicos. E por fim a rota verde, se tratando de uma rota que possui maior apelo ambiental, devido a sua não emissão de carbono durante sua produção, não comprometendo o meio ambiente (MORAES, 2022).

Na rota verde o hidrogênio é gerado através da eletrólise da água, que consistena decomposição da mesma em função de uma corrente elétrica. Portanto, se a eletricidade não for proveniente de um meio não renovável, é possível diminuir ao máximo as emissões de gás carbônico na atmosfera. Entretanto, esta rota ainda não está em estágio avançado de uso, já que é necessária muita energia para realizar este processo tornando pouco viável economicamente, visto que as opções do hidrogênio cinza e marrom são muito menos (MORAES, 2022).

2.4 Utilização da célula do hidrogênio como combustível

O hidrogênio pode se apresentar tanto na forma líquida, quanto na gasosa e sólida, isso se dá devido a suas propriedades únicas, como por exemplo seu ponto de fusão de $-259\text{ }^{\circ}\text{C}$, e o de ebulição $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$. Quanto a utilização do hidrogênio como combustível, o mesmo é encontrado na forma gasosa, para melhor utilização

do seu produto como combustível (RODRIGUES; SOUZA, 2019).

É previsto para que o hidrogênio seja um combustível do futuro, devido suas principais vantagens, que são fonte de energia renovável, não poluente e inesgotável. As Indústrias Petrolíferas estudam a forma de adoção desse elemento, buscando a geração de combustível veicular e também de energia elétrica, visando que, devido não poluir o meio ambiente, seja um combatente do mesmo. Os combustíveis que utilizaram do hidrogênio não possuirão motor a combustão, eles serão elétricos, o que consequentemente evitará a poluição do meio ambiente devido aos resultados do consumo de gasolina dos carros (RODRIGUES e SOUZA, 2019).

Figura 4- Automóvel Movido a Hidrogênio.



Fonte: Larissa Ferregueti, 2019.

Durante seu estado natural, o hidrogênio apresenta como características ser um gás incolor, insípido e inodoro, ainda quando o mesmo é queimado com oxigênio puro, apresenta como produto água e calor. Devido a esse princípio, que explicam que os produtos da combustão de hidrogênio são somente o calor e a água, que as características do futuro para o combustível são: não emite dióxido de carbono, partículas contaminantes, óxidos de azoto e enxofre, que são os principais causadores da poluição ambiental (ARAUJO; *et al*, 2021).

A escolha do hidrogênio para combustíveis de automóveis foi devido a sua capacidade de armazenar energia e ao seu baixo peso molecular, e quando produzido através de tecnologias e fontes renováveis, como por exemplo hidráulica, solar ou eólica, o hidrogênio torna-se um combustível renovável. Essa forma de combustível ainda pode ser produzida por outros meios, um exemplo é através da gaseificação do bagaço da cana-de-açúcar, ou retirado de fontes fósseis (gás natural, nafta). É assim que serão os combustíveis do futuro: não poluentes e econômicos (ARAUJO; *et al*, 2021).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho se refere a uma revisão bibliográfica, que obedece as seguintes etapas: elaboração da pergunta norteadora; estabelecimento dos critérios para inclusão e exclusão de estudos e busca na literatura seguida de análise; coleta de dados mediante a definição das informações a serem extraídas dos estudos selecionados/categorização dos estudos; análise crítica dos estudos incluídos; e apresentação da revisão integrativa por meio da síntese do conhecimento. As publicações selecionadas são referentes ao período de 2019 a 2023, sem restrição de idioma. Os critérios utilizados para inclusão da pesquisa foram os seguintes: artigos científicos completos, livros, trabalhos de conclusão de curso e monografias. O nível de evidência foi dado por meio do sistema GRADE – o qual avalia a qualidade da evidência científica disponível, definindo a confiança na informação utilizada.

Foram excluídos: artigos originais e relatos de experiência publicados em outros meios de comunicação, que não os periódicos científicos; artigos do tipo ensaio teórico, reflexões, revisões bibliográficas não sistematizadas, cartas, resenhas; estudos que não atenderam ao objetivo desta pesquisa.

Coletaram-se os dados primários entre 20 de fevereiro a 10 de maio de 2023, utilizou-se a seguinte estratégia de busca: (célula de hidrogênio) or (célula a combustível) or (combustível). Optou-se, com relação às bases de dados, após sondagem prévia do quantitativo e relevância das publicações, pelo SciELO (Brasil Scientific Electronic Library Online).

Avaliaram-se inicialmente todos os estudos identificados na estratégia de busca, após a aplicação dos critérios de inclusão, com a análise dos títulos e resumos. Procedeu-se à leitura na íntegra da publicação, em situações nas quais os títulos e os resumos não se mostraram suficientes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O hidrogênio quando utilizado como gerador de energia pode ser caracterizado como uma fonte secundária, sendo o mesmo utilizado para armazenar, mover ou entregar energia para uma fonte, a qual será utilizada com uma maior facilidade. Além disso, por mais que esteja presente em vários locais, raramente o hidrogênio é obtido diretamente na natureza, sendo necessário processamento, sendo esse o motivo do hidrogênio ser caracterizado como fonte secundária de energia (NOGUEIRA; *et al.*, 2022).

As principais fontes do hidrogênio são as captadas dos fósseis, o mesmo também pode ser extraído da água, por meio da produção biológica através da eletrólise (de forma elétrica), termólise (através do calor) ou redox (de forma química). A separação do hidrogênio ocorre basicamente da mesma forma que a da gasolina, metanol, etanol e outras, o que independente da fonte, sempre será responsável por emitir poluentes atmosféricos (SANTOS, 2022).

No geral, o hidrogênio possui sua versatilidade, a qual pode ser empregada no setor elétrico devido ao seu funcionamento igualmente como o de uma bateria, coincidindo a sua produção de acordo com a demanda necessária de eletricidade. Contudo, se faz uma possibilidade interessante quando as fontes de energia renovável, tanto a solar quanto a eólica, tendo uma maior variação durante seu processo de geração, o qual depende do sol e do vento do momento (SANTOS, 2022)

Algumas das principais vantagens da utilização da energia a base de hidrogênio são as seguintes:

- Atua de forma limpa e silenciosa;
- Apresenta baixos níveis de emissão de poluentes na atmosfera;
- Combustível com baixo potencial poluidor;
- Possui grande capacidade de armazenamento de hidrogênio;
- Possui uma alta funcionalidade para geração de energia e aquecimento, a qual pode ser utilizada em locais considerados mais remotos.

Sua capacidade de armazenamento de energia se dá ao seu baixo peso molecular, sendo responsável por garantir uma grande capacidade de armazenamento. Ainda, quando o hidrogênio é produzido por meio de tecnologias

e fontes renováveis, como por exemplo a solar, eólica ou até mesmo a hidráulica, o hidrogênio acaba se tornando um tipo de combustível renovável (FERREIRA; *et al.*,2020).

Uma outra vantagem importante quando ao uso da célula de hidrogênio, é o fato de ter um impacto neutro em relação ao meio ambiente. Esse impacto neutro se dá devido ao subproduto da queima do hidrogênio ser apenas vapor, diferentemente de outros tipos de substâncias produzidas a partir de combustíveis sólidos, que apresentam uma série de substâncias nocivas (CUNHA, 2020).

Quanto as desvantagens da utilização da energia de hidrogênio, as principais estão relacionadas a:

- Processos para utilização do hidrogênio são mais dispendiosos;
- Custos maiores de transporte e distribuição;
- Dependendo do método utilizado para geração de energia a base de hidrogênio, os custos e investimentos podem ser altos.

No geral, a maior desvantagem da célula de combustível de hidrogênio se trata do alto custo, tanto relacionado ao transporte e distribuição quanto em relação aos materiais utilizados na produção dos catalisadores. Outro fator é referente quanto a eficiência desse tipo de sistema, considerado menor do que no armazenamento de energias armazenadas em baterias (CUNHA, 2020).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da célula é uma forma de poluir menos o meio ambiente, a ela tem mais eficiência que as baterias, pois, não precisa de um tempo de carga. Essa produz energia de forma contínua, tornando assim o seu uso viável, uma vez que fornece a energia para o 'equipamento' a todo momento, e o ponto principal é que o seu resultado final é apenas água e calor, a célula com o uso do hidrogênio como combustível não produz nada de CO_2 , ou seja, não polui o meio ambiente, e traz uma energia limpa e renovável.

A adesão da célula de combustível é favorável de inúmeras formas para o meio ambiente, exploração de novos meios de combustíveis, o que auxilia na harmonia dessa busca por sua implantação. Atualmente a célula de hidrogênio como combustível é um dos meios mais viáveis para estudo e desenvolvimento de combustível, sendo necessário à sua estimulação e desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, P. M. B. Análise e Controlo do Funcionamento de uma Célula de Hidrogênio de Membrana Protónica. 2021. Tese de Doutorado.

ARAÚJO, M. F. B. *et al.* HIDROGÊNIO: COMBUSTÍVEL DO FUTURO? Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE, v. 7, n. 1, p. 60-69, 2021.

BARROS, T. V. *et al.* Gaseificação da biomassa em água supercrítica comotecnologia de produção de hidrogênio. Research, Society and Development, v. 11, n. 9, p. e32511931296-e32511931296, 2022.

BONI, R. S. *et al.* As correspondências voltianas: contribuições para a ciência no final do século XVIII e início do XIX. 2022.

CRIZOL, A. A. Z. GERADOR DE HIDROGÊNIO: construção, vantagens e aplicações no motor à combustão. 2020.

CUNHA, G. B. da. Estudo da utilização de hidrogênio na geração de energia: análise de um protótipo para o processo de eletrólise. 2020.

DELEGADO, F.; DA COSTA, Agnes M. Os caminhos do país na construção da economia global do hidrogênio. Revista Conjuntura Econômica, v.75, n. 03, p. 38-42, 2021.

FERREIRA, A. R. *et al.* Perspectivas de futuro no uso do hidrogênio como recurso renovável na matriz energética. 2020.

GRIGORIADI, A. B.; DA SILVA, P. A. ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO HIDROGÊNIO COMO COMBUSTÍVEL EM VEÍCULOS LEVES NOBRASIL. 2022.

MORAES, L. L. O cenário do hidrogênio verde: uma revisão como suporte ao recente interesse surgido em indústrias e governos na região. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasil.

NOGUEIRA, G. B. *et al.* Viabilidade técnica econômica de implementação de um sistema de backup de energia em uma pequena propriedade rural. Research, Society and Development, v. 11, n. 5, p. e35211528210-e35211528210, 2022

NUNES, A.T. Estudo sobre a viabilidade técnica-econômica de um maçarico oxí-hidrogênio utilizando eletrólise da água. 2019.

RODRIGUES, R. P.; SOUZA, J. E. S.; TAMBOR, J. H. M. AS CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL DE HIDROGÊNIO: SUAS APLICAÇÕES NO SISTEMA ENERGÉTICO GLOBAL EM EQUILÍBRIO COM O MEIO AMBIENTE. Brasil Para Todos-Revista Internacional, v. 7, n. 1, p. 21-34, 2019.

SANTOS, J. R. D. Síntese verde e efeito da dopagem de Manganês nas propriedades de eletrodos à base de óxidos de valência mista $MnXCo_3-XO_4$ ($0 \leq X \leq 1$) para reação de evolução de oxigênio. 2022.

SANTOS, S. C. S.O papel do hidrogênio na descarbonização do transporte coletivo público do Distrito Federal. 2022.