



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO PÓS GRADUAÇÃO EM EMPREENDEDORISMO E INOVAÇÃO**

ERISNALDA FERREIRA DO NASCIMENTO SOUSA

**A TECNOLOGIA DE PROPULSÃO POR HIDROGÊNIO EM VEÍCULOS
AUTOMOTORES**

TERESINA – PI

2024

ERISNALDA FERREIRA DO NASCIMENTO SOUSA

**A TECNOLOGIA DE PROPULSÃO POR HIDROGÊNIO EM VEÍCULOS
AUTOMOTORES**

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Pós Graduação em Empreendedorismo e Inovação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Soares da Silva.

A TECNOLOGIA DE PROPULSÃO POR HIDROGÊNIO EM VEÍCULOS AUTOMOTORES

Erisnalda Ferreira do Nascimento Sousa¹

RESUMO

Este artigo científico aborda a tecnologia de propulsão por hidrogênio em veículos automotores. Logo, com o aumento significativo das preocupações ambientais e a necessidade urgente de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, a busca por soluções de transporte sustentável tem se tornado uma prioridade global. É evidente que o avanço tecnológico proporciona muitos benefícios para a sociedade, mas também geram grandes problemas, como a emissão de gases de efeito estufa. Neste cenário, os carros movidos a hidrogênio surgem como uma alternativa promissora, disponibilizando uma alternativa limpa e eficiente de gerar energia para os veículos automotores. A introdução de carros movidos a hidrogênio e o uso do próprio hidrogênio como combustível têm o potencial de causar impactos significativos tanto na economia quanto na sociedade. O hidrogênio emerge como uma alternativa promissora aos combustíveis convencionais, oferecendo benefícios ambientais e econômicos significativos. Com foco na propulsão sustentável, exploramos os avanços recentes e as perspectivas futuras, visando contribuir para o entendimento e a promoção dessa alternativa inovadora no setor automotivo.

Palavras-chave: veículos automotores, hidrogênio, tecnologia, sustentabilidade.

ABSTRACT

This scientific article addresses hydrogen propulsion technology in automotive vehicles. Therefore, with the significant increase in environmental concerns and the urgent need to reduce greenhouse gas emissions, the search for sustainable transport solutions has become a global priority. It is clear that technological advances provide many benefits to society, but they also generate major problems, such as the emission of greenhouse gases. In this scenario, hydrogen-powered cars emerge as a promising alternative, providing a clean and efficient alternative to generating energy for motor vehicles. The introduction of hydrogen-powered cars and the use of hydrogen itself as a fuel have the potential to have significant impacts on both the economy and society. Hydrogen emerges as a promising alternative to conventional fuels, offering significant environmental and economic benefits. Focusing on sustainable propulsion, we explore recent advances and future perspectives, aiming to contribute to the understanding and promotion of this innovative alternative in the automotive sector.

Keywords: motor vehicles, hydrogen, technology, sustainability.

Data de aprovação: 13/07/2024.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as buscas urgentes de soluções sustentáveis no setor de transporte têm impulsionado a pesquisa em inovação de tecnologias de propulsão limpa. Voltados para o desenvolvimento econômico e social, atuando diretamente na

¹ Graduanda do Curso de Pós Graduação em Empreendedorismo e Inovação - Instituto Federal do Piauí. Graduada em Pedagogia e em Normal Superior – Universidade Estadual do Piauí. erisnaldafns5@gmail.com

transformação da sociedade encontram-se dois fatores importantes e indispensáveis: a inovação e o empreendedorismo. Onde uma boa e significativa ideia, contribui para a resolução de um problema local ou torna-se uma nova alternativa de empreender visando um novo propósito. (PRIM *et. al*, 2018, p. 1)

Neste contexto, os veículos movidos a hidrogênio surgem como uma alternativa promissora, oferecendo a possibilidade de redução significativa das emissões de gases de efeito estufa e promovendo a diversificação da matriz energética.

MONTEIRO (2021, p. 1) corrobora com este pensamento, afirmando que:

O Hidrogênio Verde é um dos muitos recursos que permite mitigar e combater as alterações climática, em que a temperatura global da Terra continua, ano após ano, a aumentar devido à degradação da camada de ozono, provocada pelos gases provenientes dos combustíveis fósseis.

Com isso, o hidrogênio tem se destacado como um vetor energético promissor, apresentando a vantagem de ser uma fonte de energia limpa e eficiente. A propulsão por hidrogênio parte da conversão do hidrogênio em eletricidade por meio de células de combustível, alimentando o motor elétrico do veículo e gerando energia de forma limpa e eficiente. São significativas suas vantagens, como emissões zero, maior autonomia e tempos rápidos de reabastecimento, tornando-a uma opção atrativa para a mobilidade sustentável. Segundo LIMA *et. al* (2019, p.1) “Uma alternativa para minimizar a emissão de gases estufa é o uso de hidrogênio e oxigênio para a produção de energia.”

Porém, apesar do potencial e das vantagens dos veículos a propulsão por hidrogênio, infelizmente ainda existem desafios a serem superados, como a disponibilidade de infraestrutura de abastecimento, o custo dos veículos e a eficiência das células de combustível. De acordo com HUNT *et. al* (2023, p. 21), “Ao trabalharmos com hidrogênio em altas pressões, como no seu armazenamento, é necessário pressurizá-lo devido à sua baixa densidade volumétrica.”. Além disso, é fundamental considerar o impacto ambiental de toda a cadeia de produção e utilização do hidrogênio, que vai desde a obtenção até o descarte do mesmo.

Diante desse cenário, este artigo tem como objetivo geral entender o estado da arte científica dos veículos de passeio movidos a hidrogênio, bem como os avanços, os desafios e perspectivas, salientando suas potencialidades e limitações dentro do contexto da mobilidade urbana sustentável. São abordados temas como fundamentos da propulsão por hidrogênio, a produção e armazenamento do hidrogênio, o impacto ambiental e as políticas públicas relacionadas a essa tecnologia inovadora.

A solução encontrada consegue aliar uma necessidade social e empresarial, tanto em face da redução da emissão de poluentes, quanto ao incentivo à produção dos automóveis de passeio a propulsão por hidrogênio.

Para chegar a referida solução, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Compreender os veículos movidos a hidrogênio e seu armazenamento de combustível;
- Compreender a importância da produção de automóveis a propulsão por hidrogênio para o meio ambiente;

Por meio dessa análise, busca-se contribuir para a compreensão e a promoção de soluções inovadoras e sustentáveis no setor de transporte. Bem como, a transição

para uma mobilidade mais limpa e eficiente. Com o foco na propulsão sustentável que visa a redução das emissões de carbono. Fundamentando-se em princípios científicos, tecnológicos e ambientais com o intuito de fornecer uma visão mais abrangente dessa tecnologia inovadora.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FUNDAMENTOS DA PROPULSÃO POR CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL A HIDROGÊNIO

Os fundamentos da propulsão por células de combustível a hidrogênio envolvem, o uso de um sistema composto por uma célula de combustível, um tanque de armazenamento de hidrogênio, um conversor e um motor elétrico. De acordo com a propulsão elétrica do veículo,

O controlador envia sinais para o conversor, estes são ampliados por um driver que comanda os dispositivos de potência do conversor, cuja função é transferir e regular, com alta eficiência, a eletricidade da principal fonte energética para o motor. O funcionamento da parte de eletrônica de potência depende da técnica de controle utilizada e do hardware implementado. (AMARAL, E.G., 1998, p.16)

A tecnologia no sistema de propulsão elétrica do veículo estar baseada na conversão direta da energia química contida no hidrogênio em eletricidade, por meio de reações eletroquímicas nas células de combustível.

O desenvolvimento de células de combustível tem como concepção relembra os princípios da eletroquímica, transformando energia química em elétrica. Tal célula utiliza o hidrogênio como combustível, gerando alto rendimento e produzindo água como resíduo final. (DUART *et. al*, 2023, p. 1).

O grande desafio para os veículos movidos a propulsão por células de combustível a hidrogênio. É o de inovar e apresentar tecnologia, juntamente com a responsabilidade ambiental e o aquecimento da competitividade entre as montadoras. Impulsionando cada vez mais a criação e desenvolvimento de novos veículos desta categoria. Por isto, a criação de protótipos é cada vez mais necessária para concretizar as informações e revolucionar a realidade, assim como:

O Toyota Mirai fez sua estreia nos Estados Unidos no Salão do Automóvel de Los Angeles de 2014 como um sedã de quatro lugares semelhante ao Prius. A fabricante informou que o sistema de célula de combustível tem uma saída de mais de 100 kWh. Dois tanques de hidrogênio de alta pressão à prova de balas, sob o carro, alimentam o motor elétrico. Um tanque de hidrogênio que lhe dará 312 milhas (502 Km) de alcance neste modelo antigo. (NICHOLS, 2022 apud DUART *et. al*, 2023, p. 4).

Essa tecnologia apresenta potencial que garante uma mudança significativa ao setor de transporte, de maneira a contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a transição para um sistema de mobilidade mais sustentável e

limpo. As características da propulsão por células de combustível a hidrogênio é uma tecnologia inovadora que vem sendo gradativamente desenvolvida como uma alternativa aos tradicionais motores de combustão.

2.2 PRODUÇÃO E ARMAZENAMENTO DO HIDROGÊNIO

A opção de substituir os atuais combustíveis pelo hidrogênio se dar pelo fato de ser facilmente encontrado na natureza. Logo,

O hidrogênio é o mais simples e mais comum elemento do Universo, ele está presente em quase tudo. Ele compõe 75% da massa do Universo e 90% de suas moléculas, como a água (H_2O) e as proteínas nos seres vivos. No planeta Terra, compõe aproximadamente 70% da superfície terrestre. (CONELHEIRO, 2012, p. 2).

Um dos principais desafios associados aos veículos movidos a hidrogênio é a produção eficiente e sustentável de hidrogênio. Para que isso ocorra é necessário que sua produção seja a mais sustentável possível, de modo que seja considerado de fato “Hidrogênio Verde”. Para tal,

A produção de hidrogênio através da eletrólise é bem interessante, econômica e relativamente simples, pois utiliza água como matéria prima. É realizada utilizando-se a energia elétrica para quebrar a molécula de água (H_2O) em seus constituintes, o hidrogênio (H_2) e o oxigênio (O). (CONELHEIRO, 2012, p. 3).

Ademais,

O estudo e análise da produção de hidrogênio por meio da eletrólise vêm sendo há muitos anos. Devido o hidrogênio ter um alto poder calorífico (cerca de três vezes mais que derivados do petróleo), ser uma substância limpa, renovável e ser considerado melhor que os combustíveis fósseis, como por exemplo, o óleo diesel, gasolina, etc. Este combustível é visto com bons olhos e tido por muitos como o combustível do futuro. (CARVALHO, 2017, p. 13).

Já o armazenamento eficiente de hidrogênio é crucial para a viabilidade prática dos veículos movidos a este gás. “O maior desafio no projeto de tanques de hidrogênio é o de se poder armazenar a maior quantidade de hidrogênio possível em um tanque de combustível que ocupe o menor espaço, peso e custo.”. (BACH, 2013 apud CARVALHO, 2017, p. 20).

O armazenamento de hidrogênio para uso em carros movidos por células de combustível é um desafio técnico importante devido às características do hidrogênio, que é um gás altamente inflamável e de baixa densidade energética. Temos como exemplo:

O Mirai possui dois tanques para armazenagem de hidrogênio sob alta pressão (700 bar ou 70Mpa). O de maior capacidade (62,4 litros) se acomoda atrás do banco traseiro, e o outro (60 litros) fica sob o banco. Ambos possuem três camadas de proteção. A mais ao interior, revestimento de plástico que retém o gás, a intermediária de fibra de carbono e a mais externa feita de fibra de vidro para proteção de superfície. Em termos de massa de hidrogênio, como normalmente

medido, podem ser armazenados aproximadamente 5kg. (BORGES, G. S., 2015, p. 126).

Neste método, o hidrogênio é comprimido a altas pressões (acima de 350 bar) e armazenado em tanques especiais projetados para suportar a pressão. Este método é eficaz para veículos de passeio, pois permite armazenar uma quantidade significativa de hidrogênio em um espaço relativamente pequeno.

Dentre os sistemas de armazenamento de hidrogênio, o mais desenvolvido e comum é o por gás em alta pressão. A maioria dos veículos movidos por células de combustível utiliza esta forma de armazenamento feito em cilindros, de forma similar aos utilizados com gás natural comprimido. (GRIORIADIS; SILVA, 2022, p. 57).

No entanto, exige tanques resistentes e seguros para armazenar o hidrogênio sob pressão. Dessa forma, a tecnologia a ser escolhida para o armazenamento depende de fatores tais como as condições locais, a forma como o hidrogênio é produzido e o seu uso final.

2.3 IMPACTO AMBIENTAL

O uso do hidrogênio como combustível pode ter impactos ambientais positivos e negativos, dependendo da forma como o hidrogênio é produzido, armazenado e utilizado. No que tange a substituição dos combustíveis para uso veicular, o hidrogênio se mostra uma alternativa com grande potencial.

Atualmente, todas as principais montadoras de carros do mundo já possuem modelos movidos a célula de combustível, além de já existirem cerca de 1000 estações de abastecimento pelo mundo. O mercado asiático analisa de forma audaciosa o desenvolvimento de carros ecológicos devido à problemas ambientais atuais. Sendo assim, a China planeja ter 50.000 veículos movidos a célula de combustível até 2025 e 1 milhão até 2030. Já o Japão, que possui a maior infraestrutura de suporte aos carros movidos a hidrogênio, mais de 200 pontos de abastecimento, estima que tenha 200.000 veículos até 2025 e 800.000 até 2030. (HIDROGEN COUNCIL, 2018 apud GRIORIADIS; SILVA, 2022, p.83).

Em relação a emissões de poluentes, quando o hidrogênio é produzido a partir de fontes de energia renovável, como energia solar ou eólica, a sua combustão não gera emissões de poluentes atmosféricos, contribuindo para a redução da poluição do ar e dos gases de efeito estufa. “Os veículos à célula de combustível utilizam o gás hidrogênio como principal fonte de energia onde a conversão do gás em eletricidade produz apenas água e calor, ou seja, nesta conversão não há produção de gases poluentes.”. (DUART *et. al*, 2023, p.3). No entanto, se o hidrogênio for produzido a partir de fontes de energia não renováveis, como o gás natural ou o carvão, as emissões de poluentes como dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e partículas finas podem ocorrer.

Além do problema da poluição os combustíveis fósseis estão se esgotando e futuramente é possível que eles falem, por isso deve ser feita uma substituição urgente. Uma boa opção para este problema é

substituir os atuais combustíveis pelo hidrogênio, pois ele é facilmente produzido com água e não é poluidor como os outros. (CONELHEIRO, 2012, p. 2).

Uma das grandes vantagens na utilização do hidrogênio como combustível é a possibilidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e a contribuição na transição para uma economia mais limpa e sustentável a partir de fontes de energia renovável. “O grande desafio está sendo encontrar a viabilidade econômica em fontes de energia renováveis num período da humanidade em que a demanda de energia só tende a aumentar. A humanidade está cada vez mais dependente de um estilo de vida tecnológico que requer cada vez mais energia.”. (GAUTO, M, 2021 apud GRIORIADIS; SILVA, 2022, p. 21). A amenização dos impactos ambientais ligados a utilização do hidrogênio exige o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e limpas, a implementação de políticas públicas de incentivo à produção e uso sustentável do hidrogênio e o engajamento de governos, empresários, indústrias e sociedade civil na promoção de uma economia de baixo carbono.

2.4 IMPORTÂNCIA DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA O SEGMENTO

Para promover a adoção e o desenvolvimento de veículos a propulsão por hidrogênio, as políticas públicas desempenham um papel fundamental na criação de um ambiente favorável e no estímulo ao avanço dessa tecnologia.

O setor de transportes desempenha papel crucial em qualquer economia, seja na movimentação de pessoas seja na de cargas. O correto entendimento do perfil da matriz de transportes de um país é um passo necessário e fundamental para o desenvolvimento de políticas públicas, pois se trata de um setor de alta demanda energética, grande impacto ambiental e causador de diversas externalidades positivas e negativas. (VAZ *et. al.*, 2015, p. 302).

Algumas das políticas públicas que podem ser implementadas para incentivar o uso de carros a propulsão por hidrogênio incluem:

Implementar incentivos fiscais, como a redução de impostos sobre a compra de veículos a hidrogênio, isenções de taxas de circulação e estacionamento, e créditos fiscais para a instalação de infraestrutura de abastecimento de hidrogênio, visando tornar os veículos a hidrogênio mais acessíveis e atrativos para os consumidores. Logo,

Benefícios não monetários, como faixas de rolagem exclusivas, estacionamento preferencial, entre outros, já estão em vigência em alguns locais e figuram como importantes diferenciais na decisão de compra do consumidor. Em grandes centros urbanos, onde o tráfego é intenso e há escassez de vagas, esses benefícios tornam-se especialmente relevante. (VAZ *et. al.*, 2015, p. 309).

É necessário também, estimular a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias avançadas para a produção, armazenamento e utilização de hidrogênio como combustível, visando melhorar a eficiência, a segurança e a sustentabilidade dos veículos a propulsão por hidrogênio.

Os incentivos à oferta vão desde o suporte à atividade de P&D em baterias, células a combustível e veículos elétricos até o estabelecimento de normas mais rígidas para a redução das emissões de poluentes e de padronização de componentes como o carregador veicular. (VAZ *et. al.*, 2015, p. 309).

Estabelecer metas e regulamentações para a redução das emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos, incentivando a substituição de veículos movidos a combustíveis fósseis por veículos a propulsão por hidrogênio, que não emitem poluentes durante a operação. “A maioria dos países desenvolvidos conta com regulamentações específicas para aferição e controle dos níveis de emissão de poluentes e consumo de combustível.”. (VAZ *et. al.*, 2015, p. 310).

Essas políticas públicas são essenciais para impulsionar a adoção de veículos a propulsão por hidrogênio, promovendo a transição para uma mobilidade mais limpa e sustentável, com benefícios para o meio ambiente, a saúde pública e a economia. Contudo, “políticas públicas devem, portanto, avaliar o custo-benefício da iniciativa, começando por medidas de maior abrangência e menores custos fiscais e complexidade de implantação.”. (VAZ *et. al.*, 2015, p. 310). O apoio governamental e a colaboração entre os diversos atores envolvidos são fundamentais para o sucesso e a expansão dessa tecnologia inovadora.

3 METODOLOGIA

3.1 OBJETO DE PESQUISA

O objetivo deste artigo consiste em uma pesquisa bibliográfica e explanatória a respeito da propulsão por hidrogênio em veículos automotores. Bem como, investigar e analisar o uso do hidrogênio como combustível alternativo e que contribui para a redução das emissões de gases poluentes e para a mitigação dos impactos ambientais.

3.2 PROCESSOS DE COLETA E DE ANÁLISE DE DADOS

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram buscados, via google acadêmico, scielo, artigos e bibliografias de autores com os temas relacionados, entre eles: veículos automotores, hidrogênio, tecnologia, sustentabilidade. Com a utilização dessas palavras chaves resultaram em 246 documentos encontrados para o período entre 2019 e 2023. Em contribuição ao estudo, foram identificadas e analisadas as literaturas acadêmicas que abordam colocações que regem ao histórico, princípio de funcionamento e fenômenos relacionados aos veículos a propulsão por célula de combustível a hidrogênio.

Os procedimentos metodológicos utilizados neste trabalho contam com: a pesquisa, referencial teórico, análise de resultados e a conclusão. Das buscas efetuadas, foram desconsiderados 146 trabalhos documentos pela análise do título, levando em consideração a não compatibilidade com o tema desse trabalho. Para os demais documentos foram feitas análise de conteúdo permitindo escolher ou não o documento encontrado de acordo com o tema deste artigo. Na Tabela 1 é apresentada a relação por tipo de documentos.

Tabela 1 – Análise de documentos presentes na pesquisa inicial exploratória sobre o tema.

Análise	Tipo	Google Acadêmico	Scielo	Total Geral
Considerado	Artigo	5	2	10
	Dissertação Mestrado	3	0	3
	Monografia Graduação	4	0	6
	Considerado Total	12	2	14
Desconsiderado	Artigo	3	1	4
	Dissertação Mestrado	2	0	2
	Monografia Graduação	1	0	1
	Desconsiderado Total	6	1	7

Fonte: Autoria própria

Sendo assim, de todos os documentos encontrados no total, 14 apresentaram alguma conexão com o tema desse trabalho. Segue abaixo breves resumos sobre 2 desses documentos.

Braz e Sousa (2019) apresentam uma pesquisa bibliográfica sobre veículos elétricos no contexto brasileiro, ressaltam os benefícios da utilização do hidrogênio como opção de combustível, o impacto ambiental e o desenvolvimento sustentável. Por serem mais eficientes com o uso de fontes de energia renováveis, os autores afirmam que, esses automóveis tornam-se uma boa opção de implantação na realidade brasileira.

Lopes (2023) analisou, a partir de um estudo bibliográfico, a viabilidade no uso da célula de combustível a hidrogênio na perspectiva econômica e ecológica. Trouxe uma exemplificação detalhada das matrizes energéticas no Brasil e no mundo, da classificação do hidrogênio, das principais utilidades do hidrogênio e relacionou todas as informações aos transportes urbanos. Considerou que a utilização do hidrogênio é uma excelente opção para a descarbonização e transição energética.

3.3 AMOSTRA DE ESTUDO E CRITÉRIO DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Serão estudadas células a combustível de hidrogênio, propulsão elétrica, armazenamento do hidrogênio, voltados apenas para automóveis de passeio. Não fazem parte da pesquisa os veículos não terrestres, de carga, coletivo, motocicleta ou veículos que funcionam a partir de outras fontes de energia nocivas ao meio ambiente por emitirem gases poluentes.

4 ANALISE DE RESULTADOS

Os veículos a propulsão por célula de combustível a hidrogênio apresentam diversas vantagens e desvantagens, que devem ser consideradas ao avaliar a viabilidade e o potencial dessa tecnologia. Logo, o hidrogênio pode substituir os combustíveis emissores de carbono como forma principal de funcionamento ou utilizar em conjunto as tecnologias para alimentar o motor dos veículos.

Numa esfera mundial, já é realidade que o hidrogênio é prioridade entre as fontes alternativas de energia de diferentes países, sobretudo, por possibilitar o armazenamento de energia. O qual favorece o acoplamento do setor de energia aos transportes e indústrias. Voltado aos transportes leves, o hidrogênio proporciona uma alternativa tecnológica para o processo de eletrificação de automóveis. (GRIGORIADIS; SILVA, 2022, p. 88).

Abaixo, listamos algumas das principais vantagens e desvantagens dos carros a propulsão por hidrogênio:

Vantagens:

1. Emissões zero: Os carros a propulsão por hidrogênio emitem apenas água como subproduto, contribuindo para a redução das emissões de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa, o que é benéfico para o meio ambiente e a qualidade do ar. Com os avanços tecnológicos voltados para pesquisas sobre a utilização das células de combustível, tem uma maior concentração no meio automobilístico, desencadeou uma “corrida verde” envolvendo as principais montadoras mundiais em busca de criar automóveis a hidrogênio (GRIORIADIS; SILVA, 2022, p. 81);
2. Potencial de armazenamento: O hidrogênio pode ser produzido a partir de fontes renováveis, como energia solar e eólica, e armazenado para uso posterior, contribuindo para a integração de energias renováveis na matriz energética. Em comparação com outros sistemas de geração de energia as células de combustível têm uma elevada eficiência e oferecem diversas vantagens, sendo, modular, emissão quase zero, instalação rápida. (GRIORIADIS; SILVA, 2022, p. 80);
3. Desempenho: Os carros a propulsão por hidrogênio geralmente apresentam um desempenho semelhante ou superior aos veículos convencionais, com aceleração rápida e baixo ruído de funcionamento. Em se tratando dos sistemas veiculares, os automóveis têm eficiência entre 40% e 60% em relação a motores a combustão que é entre 15% a 25% (GRIORIADIS; SILVA, 2022, p. 81).

Desvantagens:

1. Ausência de políticas públicas: As políticas públicas desempenham um papel fundamental para estimular a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias neste segmento. Evidenciado no Acordo de Paris, os projetos Acordo Verde Europeu e a Estratégia Europeia de Hidrogênio voltam-se para a energia verde, o qual incentiva a instalação de fontes de energia renováveis em países em desenvolvimento. (LOPES, 2023, p. 36);
2. Infraestrutura limitada: A infraestrutura de abastecimento de hidrogênio ainda é limitada em muitas regiões, o que dificulta a adoção em larga escala dos veículos a propulsão por hidrogênio. Neste viés é inviável desejar uma produção em larga em escala, acredita-se que dentro de um período de 10 anos terá uma redução de 70% no custo de produção (LOPES, 2023, p. 31);
3. Custo elevado: Os veículos a hidrogênio tendem a ser mais caros do que veículos convencionais ou elétricos a bateria, devido aos altos custos de produção e tecnologia das células de combustível de hidrogênio.

Essas são algumas das principais vantagens e desvantagens dos carros a propulsão por hidrogênio, que devem ser consideradas ao avaliar a viabilidade e o potencial dessa tecnologia como uma alternativa de mobilidade sustentável. É importante que políticas públicas, investimentos em pesquisa e desenvolvimento e parcerias entre os setores público e privado sejam incentivados para superar os desafios e promover a adoção de veículos a hidrogênio.

Em suma, os carros a propulsão por hidrogênio têm o potencial de desempenhar um papel importante na descarbonização do setor de transporte e na promoção da mobilidade sustentável, desde que os desafios existentes sejam superados e que sejam implementadas soluções inovadoras e sustentáveis para viabilizar sua adoção em larga escala. A contínua pesquisa e desenvolvimento nessa área são essenciais para otimizar a tecnologia de hidrogênio e maximizar seus benefícios ambientais e econômicos a longo prazo.

5 CONCLUSÃO

Em conclusão, os carros a propulsão por hidrogênio representam uma tecnologia promissora com o potencial de reduzir as emissões de gases poluentes, melhorar a qualidade do ar e contribuir para a transição para um sistema de transporte mais sustentável. No entanto, a adoção em larga escala dos veículos a hidrogênio enfrenta desafios significativos, como a infraestrutura limitada, os custos elevados e ausência de políticas públicas para este segmento.

Apesar das vantagens, como emissões zero, potencial de armazenamento e desempenho, é fundamental superar esses desafios por meio de investimentos em pesquisa e desenvolvimento, políticas públicas favoráveis, parcerias estratégicas e incentivos para a expansão da infraestrutura de abastecimento de hidrogênio.

A sustentabilidade da tecnologia de hidrogênio dependerá da produção e distribuição sustentável do hidrogênio, a partir de fontes renováveis, como energia solar, eólica e elétrica. Além disso, a conscientização e aceitação dos consumidores, juntamente com a colaboração entre governos, indústria automotiva e setor energético, serão essenciais para impulsionar a adoção e o crescimento dos veículos a propulsão por hidrogênio.

Por fim, este artigo fornece uma visão abrangente da tecnologia de propulsão por hidrogênio em veículos automotores, destacando seus benefícios e desafios. Concluimos com uma análise crítica das perspectivas futuras, enfatizando a importância contínua da pesquisa e desenvolvimento para a implementação bem-sucedida dessa tecnologia inovadora.

REFERÊNCIAS

AMARAL, E. G. (1998) **Veículo Elétrico com Sistema Energético Híbrido: Célula de Combustível/Baterias Eletroquímicas**. Disponível em: <<https://repositorio.unicamp.br/Resultado/Listar?guid=1711736227989>>. Acesso em: 29/03/ 2024.

BORGES, G. S. **Carros movidos a célula de combustível: a nova aposta automotiva**. In: WORKSHOP DE PESQUISA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - PTI, 5., SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA - SIINTEC, 1., 2015, Salvador. Anais... Salvador: SENAI/CIMATEC, 2015. p. 121- 131. Disponível em: <http://repositoriosenaiba.fieb.org.br/handle/fieb/531>. Acesso em: 27/0/2024.

BRAZ, Daniel Jardim; SOUSA, João Carlos Vieira de. **AVALIAÇÃO DA MOBILIDADE ELÉTRICA NO BRASIL**. Brasília, DF: Trabalho de conclusão de curso, UnB, 69 f., 2019

CONELHEIRO, L. T. P.; LUCIANO, A. (2012) **Desenvolvimento de um sistema gerador de hidrogênio gasoso para utilização como combustível alternativo em veículos automotores.** Disponível em: http://cesumar.br/prppge/pesquisa/mostras/vi_mostra/luis_thiago_panage_conelheiro.pdf. Acesso em: 30/03/2024.

CARVALHO, G. **ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO POR ELETRÓLISE SOB DIFERENTES TENSÕES.** Caraúbas, RN: Trabalho de Conclusão de Curso, UFERSA, 41 f., 2017.

DUARTE *et. al.* **TECNOLOGIA CONTENDO CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL A HIDROGÊNIO NO TOYOTA MIRAI.** Recife/PE: Artigo Científico. UNIFG, 8 f., 2023.

GRIORIADIS, A.; SILVA, P. **ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO HIDROGÊNIO COMO COMBUSTÍVEL EM VEÍCULOS LEVES NO BRASIL.** Rio de Janeiro, RJ: Artigo Científico, CEFET, 107 f., 2022.

HUNT *et. al.* **Aspectos sobre o armazenamento e transporte de hidrogênio.** [livro eletrônico], v. 4, Brasília, DF: LaSUS FAU UnB, 2023.

LIMA *et. al.* **AQUECIMENTO GLOBAL E SOLUÇÃO ATRAVÉS DO USO DE ENERGIA LIMPA.** Campinas, SP: Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica da UNICAMP, n.27, 2019.

LOPES, Juan. **HIDROGÊNIO VERDE E SUAS PERSPECTIVAS ATUAIS E FUTURAS COMO FONTE DE ENERGIA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.** Russas, CE: Artigo Científico, UFCE, 67 f., 2023.

MONTEIRO, Leonardo. **TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE: Estudo Energético e Viabilidade Económica.** Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica. ISEP, p. 88, 2021.

PRIM *et. al.* **INOVAÇÃO E EMPREENDEDORISMO SOCIAL: O PODER TRANSFORMADOR.** ed. v. 1, n.1, Anais do VIII Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação, 2018.

VAZ *et. al.* **Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 41, p. [295] - 344, mar. 2015.