

# TECNOLOGIA CONTENDO CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL A HIDROGÊNIO NO TOYOTA MIRAI.

## TECHNOLOGY CONTAINING HYDROGEN FUEL CELLS IN THE TOYOTA MIRAI.

Diego José Miranda Duarte

Estudante de Engenharia Mecânica, Recife, Brasil, diegom.engmec@gmail.com

Ítalo Rodolfo Costa Ferreira

Estudante de Engenharia Mecânica, Recife, Brasil, italofg2019@gmail.com

André Adriano da Silva Cruz

Professor do Curso de Engenharia Mecânica, UniFG, Recife, Brasil, andre.a.cruz@animaeducacao.com.br

### Resumo

Este artigo apresenta a importância de implementar as pesquisas voltadas para veículos movidos a base de energia limpa, utilizando a tecnologia de células de combustível a hidrogênio. Trazendo um novo conceito e uma nova abordagem para a transição energética em nosso mundo. Com base nessa premissa, tem como objetivo mostrar também que essa tecnologia pode entumecer os aspectos sustentáveis e ao mesmo tempo trazer inovação para os sistemas de produção. A redução de carros movidos a combustão como essencial meio de transporte não é mais uma questão de "se", mas de "quando". A Toyota reconhece que o desafio é árduo, e os vários caminhos das montadoras à eletrificação mostram que ninguém tem a veracidade de qual caminho é menos difícil. A citação do CEO do Toyota Research Institute, Gil Pratt, aparece quase como um lema entre os jornalistas do Brasil: “a solução perante a incerteza é a diversidade”.

Palavras-chave: Células a Combustível Hidrogênio, VECCH, Toyota Mirai.

### Abstract

This article presents the importance of implementing research aimed at vehicles powered by clean energy, using hydrogen fuel cell technology. Bringing a new concept and a new approach to the energy transition in our world. Based on this premise, it also aims to show that this technology can enhance sustainable aspects and at the same time bring innovation to production systems. The reduction of combustion-powered cars as an essential means of transport is no longer a question of "if", but of "when". Toyota recognizes that the challenge is arduous, and the various paths taken by automakers to electrification show that no one is sure which path is less difficult. The quotation from the CEO of the Toyota Research Institute, Gil Pratt, appears almost as a motto among journalists in Brazil: “the solution to uncertainty is diversity”.

Keywords: Hydrogen Fuel Cells, FCEV, Toyota Mirai.

## 1 Introdução

O desenvolvimento de células de combustível tem como concepção lembrar 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. Em 1839, o físico britânico William Robert Grove, pioneiro das células a combustível, utilizou experimentos envolvendo o hidrogênio em reação com o oxigênio como combustíveis catalisados com eletrodos de platina, chamada “Célula de Grove”. No final dos anos 30, por volta de 1939 o engenheiro britânico Francis T. Bacon desenvolveu uma célula que utiliza eletrodos de níquel o qual era mais barato que o de platina e operava em pressões de até 220 atm e a temperatura de 100°C. O que resultou no licenciamento de seu trabalho no avanço de um sistema de geração de energia para a NASA, sendo finalizada por questões de alto custo e vida útil reduzida (*BLOMEN e MUGERWA, 1993*).

Atualmente, em que há aceleração no avanço da modernidade, os combustíveis fósseis em alguns casos, utilizados em motores de combustão interna, propende a desestimulá-lo como fonte de energia, sendo substituídos por recursos mais renováveis, ífero aos preços de mercado, empregando reservas naturais e promovendo a sustentabilidade. Devido a crise petrolífera nos meados dos anos 70, houve uma consideração em usar o hidrogênio como uma fonte de energia plausível por meio do estudo da eletroquímica manipulando células de combustível, ou seja, convertendo energia química em elétrica (SANTOS, 2003).

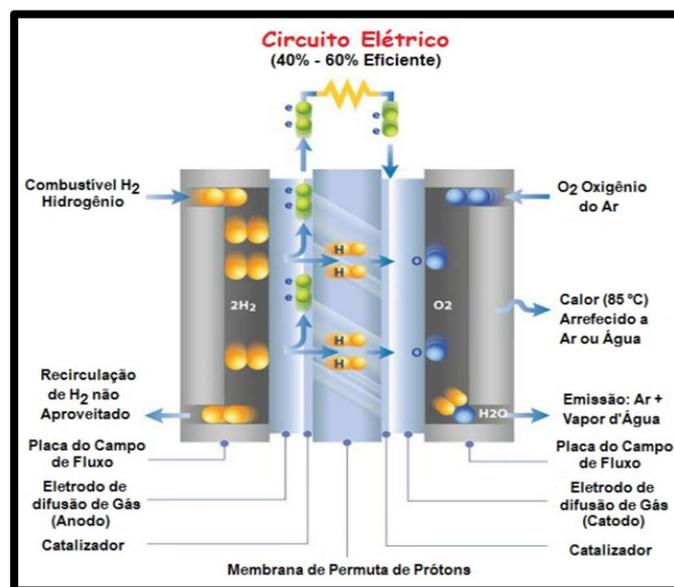
Como o hidrogênio é um elemento bem vasto em nosso planeta, estruturado de forma intermédia, pode ser encontrado na água, quando ligado ao oxigênio ou com o carbono, formando os hidrocarbonetos (metano, petróleo, carvão). Tem como necessidade a análise de como usar, armazenar, transportar e produzi-lo, visando o desenvolvimento de soluções mais eficientes na área tecnológica, energética e logística. Com isso, desde o descobrimento das células de combustível por volta de um século e meio, atualmente elas vêm sendo negociadas no nosso cotidiano automobilístico. Portanto, os fundamentos de utilização dessas células de combustível a hidrogênio, é uma aceitável fonte promissora de longo prazo, levando em conta os fatores no que tange às questões ambientais, sociais e econômicas (SANTOS, 2003).

Visto disso, para as próximas gerações, os ruídos e emissões de gases serão uma questão de tempo, pois levará somente as lembranças de um planeta dirigido por energias limpas. Ao fato do crescimento na indústria automotiva com a eletrificação e em paralelo a utilização do hidrogênio como combustível, a exemplo da montadora Toyota, que desenvolveu seu projeto “Mirai” buscando outros resultados alternativos, para um novo mundo movido a células de hidrogênio (PASSOS, 2022).

## 2 Referencial Teórico

### 2.1 As Células de Combustível a Hidrogênio

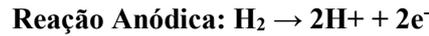
A célula de combustível a hidrogênio é uma célula eletroquímica que converte energia potencial de um combustível em eletricidade através de uma reação eletroquímica. Pode-se observar que vem sendo estudada a um certo período de tempo, tem como função de uma bateria, utilizando como reagentes o gás hidrogênio e oxigênio. (LARMINIE, James, 2003). Os seus princípios de funcionamentos são constituídos com dois eletrodos porosos, de maneira que o ânodo exerce sua funcionalidade de terminal negativo e o cátodo representando o terminal positivo, ambos cobertos em um dos lados por uma camada de catalisador tendo como base, platina ou níquel e distintos por um eletrólito. (SANTOS, 2003).



Princípio de Funcionamento da Célula a Combustível

Fonte: LENZ, 2013.

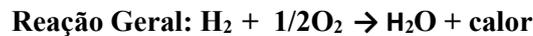
O catalisador faz com que as reações químicas entre o oxigênio e o hidrogênio sejam aceleradas. No interior da célula a combustível, o gás hidrogênio pressurizado é levado para o terminal negativo, fazendo com que a molécula entre em toque com o catalisador, acarretando a fragmentação em dois íons de hidrogênio e dois elétrons, sendo assim, os elétrons são guiados por meio do ânodo, fazendo com que circulem o eletrólito até alcançarem o circuito externo, a exemplo, acionam o motor e voltam ao cátodo. (KORDESCH, 1996).



O oxigênio, obtido através do ar, penetra na célula a combustível por meio do cátodo, fazendo com que o gás seja levado a se espalhar no catalisador. O catalisador aparta a molécula de oxigênio em dois átomos de oxigênio, fazendo com que cada átomo de oxigênio atraia dois íons  $\text{H}^+$  por meio do eletrólito. Os dois íons  $\text{H}^+$  estabelecem com o átomo de oxigênio e dois elétrons resultantes do ciclo externo, acarretando assim a formação de molécula de água. Tendo em vista essa reação, uma determinada quantidade de calor é dispensada. (KORDESCH, 1996).



As células a combustíveis, na maior parte o anodo é carregado com hidrogênio, fazendo com que ocorra a ionização deste, sendo por uma reação catalítica na platina, modificando o hidrogênio em prótons e elétrons. A alimentação do catodo é através do oxigênio que é fornecido pelo ar. Os elétrons contornam por meio de um circuito externo, conseqüentemente criando uma corrente elétrica em função do terminal positivo. Os prótons transpõem o eletrólito, que talvez seja no estado sólido ou líquido, em direção ao catodo. (KORDESCH, 1996).



## 2.2 Veículo Elétrico a Célula de Combustível a Hidrogênio - (FCEV)

Do ponto de vista mundial, atualmente as empresas vem trazendo soluções que promovem a diminuição de poluentes para a atmosfera pois, a sistematização energética predominante, fundamenta na manipulação sólida de combustíveis fósseis para produção de energia. No entanto, mesmo com o avanço da tecnologia, inovando os processos de melhoramento, a existência da poluição permanece.

Por outro lado, as células de combustível de hidrogênio dão uma colaboração primordial para a mobilidade sustentável do futuro, caracterizando a tecnologia da emissão zero e proporcionam que os usuários mantenham suas práticas de direção flexíveis. A única expedição que se produz no final do processo eletroquímico é o vapor de água, acarretando a diminuição profunda da descarbonização dos sistemas energéticos globais. (EMILIO, 2020).

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. O que difere dos carros elétricos, onde a bateria é embutida e faz necessário um carregamento por um ponto externo, causando no futuro uma alta demanda de descarte desse resíduo químico. Já o movido a hidrogênio, utiliza a célula para produção de energia e está em constante recarga devido ao combustível, constituído assim, um baixo impacto no meio ambiente. (REDAÇÃO, 2021)



Primeira unidade do Toyota Mirai do Brasil  
Fonte: Toyota do Brasil.

Os carros movidos a hidrogênio tecnologicamente tem como desafio inovar e representar um novo conceito expressivo no tocante ao mercado mundial, devido ao fator de emissões zero, recebendo alta competitividade entre diversas montadoras para o desenvolvimento do veículo desta categoria. Uma atratividade em comparação aos veículos com motores elétricos e a combustão, é sua autonomia e o tempo de abastecimento, onde o combustível pressurizado leva minutos para encher seus tanques, enquanto o 100% elétrico tem um período de horas. Sem contar a aptidão de garantir o funcionamento sem liberar gases prejudiciais à atmosfera como motores a combustão interna e híbridos. (REDAÇÃO, 2021)

### 2.2.1 Toyota Mirai

O nome do protótipo que significa "futuro" em japonês, é bastante adequado, onde o Mirai está equipado com um sistema de propulsão de veículo elétrico movido a célula de combustível recentemente desenvolvido. 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).

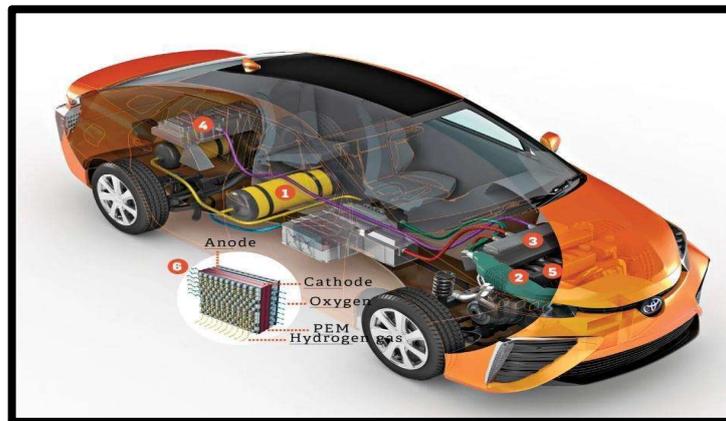
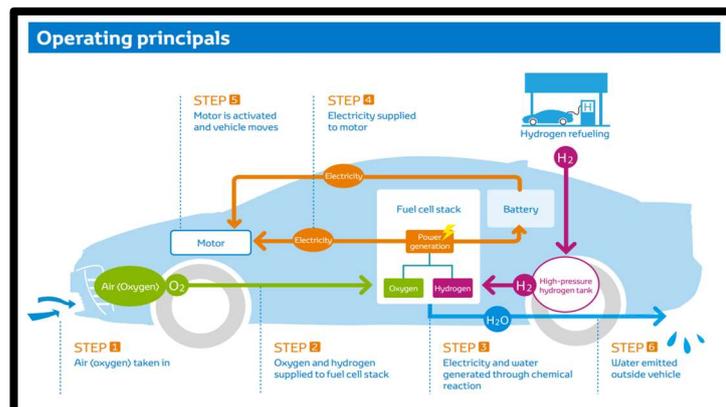


Illustration by Graham Murdoch

Fonte: <https://www.popsci.com/how-hydrogen-vehicles-work/>

Em 2015, começaram a comercializar os veículos movidos a hidrogênio nos Estados Unidos. Até agora, vendeu pouco mais de 10.000 unidades em todo o mundo, com os californianos adquirindo a maioria deles. Por que na Califórnia? Porque lá, atualmente é o único lugar que se encontra posto de abastecimento de hidrogênio. São 44 instalados no estado. (NICHOLS, 2022).

No ano seguinte, o Mirai foi o primeiro veículo elétrico com essa tecnologia disponível no mercado de varejo norte americano, chegando em nova geração, quebrando recordes de autonomia. Como disse o vice-presidente executivo da Toyota Motor North America, Bob Carter: “Estamos orgulhosos de sermos líderes nesta tecnologia empolgante, que é apenas uma de uma linha crescente de veículos com emissão zero em nosso portfólio.” Sendo assim, a montadora orgulha-se de ser líder na tecnologia de veículos com emissões zero. (TOYOTA COMUNICA, 2021).



Outline of the Mirai  
Fonte: Toyota Europe

Lançado no final de 2019, o Mirai de segunda geração tem um crescimento de 30% no alcance da autonomia devido à extensão da capacidade de hidrogênio. Em abril de 2021, uma versão atualizada foi lançada, incluindo "Advanced Drive", na qual a Toyota aborda a direção quase autônoma. O layout do RWD tolera mais armazenagem de hidrogênio, aumentando o alcance estimado da EPA para 402 milhas (647 km). (TOYOTA COMUNICA, 2021).

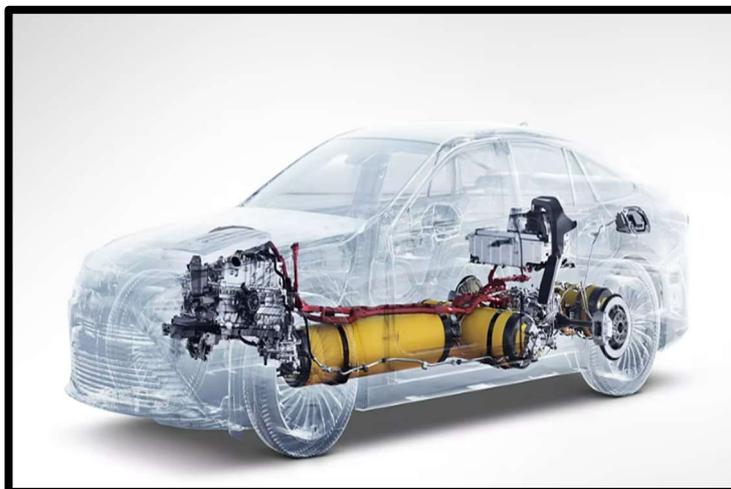
No entanto, o Mirai não ausenta-se em possuir uma bateria de 1,2 kWh, que do contrário aos carros elétricos tradicionais, o Hybrid Battery Pack (lithium-ion) complementa seu Fuel Cell Stack auxiliando na aceleração e na frenagem regenerativa ou para eventuais variações na corrente gerada pela célula. (TOYOTA MOTOR USA, 2022).

Em 24 de agosto de 2021, foi certificado no GUINNESS WORLD RECORDS pela distância percorrida sem reabastecimento por um veículo elétrico com célula de combustível de hidrogênio. O Mirai obteve 845 milhas (1360 Km) depois de abastecer com hidrogênio por cinco minutos em uma viagem no Sul da Califórnia, EUA. O veículo há pouco tempo atrás nomeado o vencedor do 10Best Engine & Propulsion Systems pela Ward's Automotive, é uma nova referência de distância recorde para um veículo de emissão zero. (TOYOTA COMUNICA, 2021).



*Toyota Mirai entra para o Guinness World Records  
Fonte: Toyota Comunica*

O Toyota Mirai gera energia combinando hidrogênio com o oxigênio do 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. Lá, uma reação química envolvendo o oxigênio do ar e o hidrogênio cria eletricidade, alimentando o carro. Ao final, o único subproduto é a água. (TOYOTA MOTOR USA, 2022).



*Sistema de alimentação  
Fonte: Toyota Motor Sales, U.S.A*

O reabastecimento do Mirai é simples. Há uma bomba e um bocal, como em um posto de gasolina. À medida que você bombeia o hidrogênio, ele viaja para os tanques de combustível reforçados com fibra de carbono, onde é armazenado. Após cerca de cinco minutos, você estará pronto para cair na estrada. Estamos tornando ainda mais fácil adotar a sustentabilidade. O Mirai vem com \$ 15.000 ou 6 anos, o que ocorrer primeiro, de combustível gratuito para compras e \$ 15.000 ou 3 anos, o que ocorrer primeiro, de combustível gratuito para locações. Após a compra, é configurado um cartão de combustível para que tudo o que você precisa fazer seja deslizar para começar a abastecer. (TOYOTA MOTOR USA, 2022).



Fonte: Toyota Motor Sales, U.S.A

Os tanques de combustível de hidrogênio da Mirai foram rigorosamente testados e comprovados para atender ao Regulamento Técnico Global nº 13. Seus tanques de combustível multipatenteados, envoltos em fibra de carbono e revestidos com polímero absorvem cinco vezes a energia de impacto do aço. 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 de volta para a atmosfera. (TOYOTA MOTOR USA, 2022).



Fonte: Toyota Motor Sales, U.S.A

### 3 Metodologia

Os procedimentos metodológicos utilizados neste trabalho estão descritos conforme abaixo:

#### 3.1 Pesquisa

A metodologia utilizada neste trabalho consiste em uma pesquisa explanatória, onde foram buscados a nível acadêmico como artigos e bibliografias de autores, quanto em sites da internet. Os autores apresentam algumas das colocações que regem ao histórico, princípio de funcionamento e fenômenos relacionados aos veículos elétricos a célula de combustível a hidrogênio. Entretanto, utilizam como referência os dados e configurações do veículo, em questão, o Toyota Mirai, que desde a sua estreia no mercado ao dias atuais, é considerado o primeiro veículo mundial, de fabricação em massa, movido a células de combustível.

Como visto, o princípio básico de uma célula de combustível pode substituir a bateria recarregável como forma principal de funcionamento, ou utilizar em conjunto as tecnologias para alimentar o motor elétrico. Esses sistemas não são perfeitos, ocorrem diversos tipos de variáveis a serem levadas em consideração, pois a peça chave é expor a possibilidade de conduzir ao futuro, o público automotivo de que há diferentes formas de mobilidade, como as eletrificadas, eliminando as emissões de gases poluentes ao nosso planeta, que desempenhem menores tempo de abastecimento e promovendo grandes autonomias.

#### 4 Resultado e Discussão

Os veículos portando células de combustível de hidrogênio, ao invés das inerentes baterias de íons de lítio dos carros eletrificados, fornecem uma oferta de custo cativante que parece se livrar da questão do limite do ciclo de vida das baterias de lítio.

Além do mais, conduzir com zero expedição de poluentes e com o benefício de ser reabastecido ligeiramente em confrontação com a melhor circunstância de aproximadamente 40 minutos de carga ou a vista mais popular de 4-6 horas de carregamento em carros eletrificados, é também uma evolução para o hidrogênio.

Algumas pesquisas também revelam que o hidrogênio possui economia e carrega um potencial de reduzir os lançamentos para atmosfera de CO<sub>2</sub>eq entre 0 e 27% (IDOWNEE, 2022). Este rendimento pode ser alcançado uma vez que:

- O escapamento do metano comparado ao gás natural é parcialmente inferior.
- O craqueamento do metano é em função da produção do hidrogênio.
- Uma célula combustível de hidrogênio é aplicada.

A maior parte do hidrogênio hoje em dia é produzido pelo segmento de restauração do metano. Isso dificulta boa parte do potencial dos automoveis movidos a hidrogênio como resolução para impugnar a alteração climática devido ao monóxido de carbono e do dióxido que são elaborados no processamento.

Além de que, a demanda de utilizar um combustível fóssil como o gás natural que pode vazar durante a etapa de remoção e deslocação através de gasodutos também não é muito convencedor. Ainda que o processamento de rompimento do metano fique aperfeiçoado, não é acreditável que seja uma saída no final das contas.

#### 5 Considerações Finais

A inovação do Mirai é um fragmento de um sistema estratégico de eletrificação que engloba os híbridos vigentes e consequentemente carros futuros da Toyota e os seguintes veículos elétricos a bateria que estão a surgir (BEVs). Entretanto, com a aprimoração da tecnologia, provavelmente o seguimento da eletrólise da água para exploração de hidrogênio poderá ser otimizado e mais manipulado, tornando mais eficiente.

Por tanto os veículos movidos a hidrogênio utilizam quase o dobro de energia (primeiro na produção do hidrogênio, depois para fornecer ao carro), os veículos elétricos utilizam somente a energia da rede, acarretando na escolha mais inteligente aos carros elétricos. No geral, o convertimento da eletricidade em hidrogênio e reverso sucede em déficit de energia.

O novo processo que os cientistas afirmam que pode ter até 86% de eficiência na produção de hidrogênio é por meio da membrana de troca de prótons. No entanto, teremos que esperar e ver como isso se desenvolve antes de decidir se esta é a melhor opção.

O hidrogênio é, sem dúvida, uma das fontes de energia mais viáveis e sustentáveis e terá um papel de destaque como fonte de energia limpa para atender às necessidades humanas. Portanto, é imperativo desenvolver métodos de produção de "hidrogênio verde". Nesse sentido, a síntese de materiais eletrolisadores e fotoeletrolisadores é um dos aspectos importantes para o sucesso do uso do hidrogênio, e pesquisas em andamento ao redor do mundo buscam modificar "hidrogênio o combustível do futuro" para o "hidrogênio combustível do presente".

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradecemos a Deus por nos manter no caminho durante este projeto de pesquisa com saúde, dedicação e força para levá-lo até o fim. Agradecemos o apoio dos professores Prof<sup>o</sup> Dr. Paternak de Souza Barros que idealizou, Prof<sup>o</sup> Msc. Felipe Oliveira Tenório da Silva que nos apoiou sempre na construção e desdobramento da complexidade do trabalho e ao nosso Prof<sup>o</sup> Msc. Andre Adriano da Silva Cruz que abraçou a ideia e nos conduziu ao término, a todos eles que acompanharam de perto nossa trajetória acadêmica e prestaram suporte necessário para o desenvolvimento, incansavelmente com bastante dedicação e confiança. Gostaríamos de agradecer em especial aos familiares mãe, pai, namorada, esposa e filho, que tiveram entendimento no momentos em que foram necessários abdicar momentos juntos para o progresso desse trabalho de conclusão de curso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blomen, J.M.J., Mugerwa, M.N. Fuel Cell Systems, 1 ed. New York-Plenum Press, 1993.

Kordesch, K., Simader, G. Fuel Cells and Their Applications, 1 ed., New York - Cambridge, 1996.

Larminie, James. Fuel cell systems explained / James Larminie, Andrew Dicks. – 2nd ed. 2003.

Lenz, André Luis. Impressões: *Veículos Elétricos - Os Carros Verdes - Emissão "Zero" de Carbono - Tecnologias e Empreendimentos*. < <http://automoveiseletricos.blogspot.com/2013/06/como-uma-celula-combustivel-e-o.html>>. Blogger, São Paulo, 09 jun. de 2013.

Nichols, Dave. Impressões: *Toyota Mirai: The Future Of Hydrogen EV* <[https://www.greencars.com/expert-insights/toyota-mirai-the-future-of-hydrogen-evs?gclid=CjwKCAiAmuKbBhA2EiwAxQnt78-KKLjvFBi-nZH2fgPExfIDQ4kB\\_E53fGrmEch0QcgnYOMGqEiT0RoCyYcQAvD\\_BwE](https://www.greencars.com/expert-insights/toyota-mirai-the-future-of-hydrogen-evs?gclid=CjwKCAiAmuKbBhA2EiwAxQnt78-KKLjvFBi-nZH2fgPExfIDQ4kB_E53fGrmEch0QcgnYOMGqEiT0RoCyYcQAvD_BwE)>. Green Cars, Oregon - USA, sep 2022.

Passos, Eduardo. Impressões: *Toyota Mirai é 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 out. de 2022.

Redação. Impressões: *Como vão funcionar os carros movidos a hidrogênio?* <<https://www.alemnaenergia.engie.com.br/como-vao-funcionar-os-carros-movidos-a-hidrogenio/?>>. Além da Energia, Santa Catarina, 23 abr. de 2021.

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

Toyota Comunica. Impressões: *Toyota Mirai entra para o GUINNESS WORLD RECORDS ao fazer uma jornada de 1.360 km com emissão zero sem reabastecimento*. <<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.

Toyota Europe. *Outline of the Mirai*.

<[https://www.toyota-europe.com/download/cms/euen/ToyotaMiraiFCV\\_Posters\\_LR\\_tcm-11-564265.pdf](https://www.toyota-europe.com/download/cms/euen/ToyotaMiraiFCV_Posters_LR_tcm-11-564265.pdf)>

Toyota motor sales, U.S.A., Inc. All information applies to U.S. <<https://www.toyota.com/mirai/2022/>>

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

IDOWNEÉ, Joaldo. Impressões: *Carro a hidrogênio ou carro elétrico: qual é mais sustentável?* <<https://socientifica.com.br/carro-a-hidrogenio-ou-carro-eletrico-qual-e-mais-sustentavel/>>. SoCientífica, Criciúma, 18 de nov. de 2022.

MORELLI, Rubens. Impressões: *Qual é a diferença entre carros híbridos e híbridos plug-in?* <<https://canalve.com.br/saiba-a-diferenca-entre-carros-hibridos-e-os-hibridos-plug-in/>>, Campina, 13 de jan. de 2023.