

Título da redação: Combustível de Hidrogênio: benefícios e desafios

Desenvolvimento do texto:

Emitimos globalmente todo ano cerca de 51 bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente. Ou seja, os gases liberados na atmosfera devido às nossas atividades socioeconômicas, em termos de seu potencial de aquecimento, equivalem a 51 bilhões de toneladas de CO_2 . Se considerarmos apenas o dióxido de carbono (CO_2), emitimos globalmente cerca de 37 bilhões de toneladas¹.

Infelizmente, não é viável para a nossa sociedade cortar as atividades que emitem esses gases, alterando drasticamente o estilo de vida de todas as classes sociais. Mesmo que ações do dia a dia e hábitos, como o consumismo, precisam ser revistos para diminuir as emissões, esse problema não vai ser resolvido apenas com mudanças comportamentais da sociedade. Portanto, cabe à ciência, tanto às ciências naturais quanto às sociais, criar formas alternativas de realizar atividades que, atualmente, emitem gases sem que isso aconteça, sendo um dos muitos braços para o combate das mudanças climáticas.

Nossa vida depende de atividades emissoras de carbono. A atividade que mais contribui é a fabricação de materiais, especialmente cimento, plástico e metal, que são responsáveis por 31%² das emissões mundiais. Assim, desde a construção da sua casa até a embalagem da água de coco que você toma em um dia quente, todos esses itens colaboram com a emissão de CO_2 .

A segunda atividade com mais impactos em termos de emissões é a geração de eletricidade, com 27%. Combinadas, as três principais fontes de energia limpa, eólica, solar e nuclear, compõem cerca de 26% (energia solar, eólica e energia nuclear)³ do consumo de energia global. O restante da energia é gerado a partir de fontes que emitem gases de efeito estufa. Portanto, ligar a televisão, acender a luz da sua casa, possuir uma geladeira ou carregar o celular são atividades que intensificam esse fenômeno.

Com emissões menores, mas ainda representando uma parcela muito alta, temos a produção agropecuária, com cerca de 19% das emissões mundiais. As plantações causam grande desmatamento, re-introduzindo o carbono capturado pelas árvores de volta para a atmosfera. Além disso, os animais ruminantes, como vacas e cabras, que precisam se alimentar das plantas, o que já contribui para suas emissões por meio da alimentação, também emitem grandes quantidades de metano, um gás aproximadamente 25 vezes mais potente que o CO_2 em relação ao efeito estufa.

Apesar de ser uma atividade muito específica, e ainda ocupando um papel secundário na nossa vida, as atividades de aquecimento e resfriamento, como o uso de ar-condicionado e aquecedores, são responsáveis por 7% das emissões de dióxido de carbono mundiais. Ironicamente, devido ao aquecimento global, estamos cada vez mais dependentes desses mecanismos. Ademais, ao levar em conta a refrigeração necessária nos computadores, que é cada vez mais necessária para sustentar as informações das inteligências artificiais, esse número aumenta consideravelmente.

Ao contrário do que muitos imaginam, os transportes representam apenas 16% do total. Embora esse número seja menor do que se poderia supor, ele ainda é significativo e poderia ser resolvido não com a diminuição do uso de transportes, já que não é viável que as pessoas parem de se locomover com meios de transporte movidos a combustíveis, mas com a criação de combustíveis alternativos. Atualmente, existem diversos combustíveis alternativos. Dentre eles, há uma variedade de biocombustíveis, como etanol, biodiesel e biogás, mas talvez o mais promissor deles seja o combustível de hidrogênio. Os produtos da

¹ “How to avoid a climate disaster”, Bill Gates

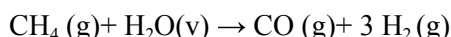
² A quebra dos diferentes tipos de emissão faz parte do livro “How to avoid a climate disaster”, Bill Gates

³ [More Than 40% of World's Electricity Came From Zero-Carbon Sources in 2023 - WSJ](#) + [Nuclear Power in the World Today](#).

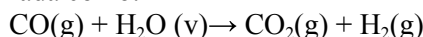
reação do gás hidrogênio com oxigênio são água, em estado de vapor, e uma grande quantidade de energia. Então, caso seja produzido de forma sustentável, o hidrogênio seria uma excelente alternativa de fonte de energia para o transporte.

Existem diversas maneiras de produzir gás hidrogênio (H_2). Esses diferentes métodos são divididos em categorias, dependendo do impacto ambiental e da fonte de energia usada para produzir o gás.

A categoria menos ecológica e, infelizmente, a mais comum é a produção de hidrogênio cinza, que gera emissão de CO_2 , proveniente de fontes fósseis. Dentro dessa categoria, existem alguns métodos para produzir o gás. O mais utilizado atualmente para a produção em larga escala é a Reforma de Gás Natural. Esse método consiste em fazer com que o metano reaja com o vapor da água, gerando hidrogênio e monóxido de carbono. A reação possui a seguinte equação:

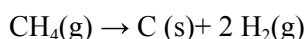


O monóxido de carbono consegue reagir facilmente com o restante do vapor da água, necessitando apenas de uma pequena quantidade de calor. A reação é chamada de deslocamento de Água gás e pode ser equacionada como:



A reforma de gás natural é popular devido ao seu baixo custo e à possibilidade de ser feita em larga escala. No entanto, se o objetivo for encontrar fontes alternativas de combustível que conduzam à descarbonização das atividades humanas, o hidrogênio produzido dessa forma não é a melhor opção.

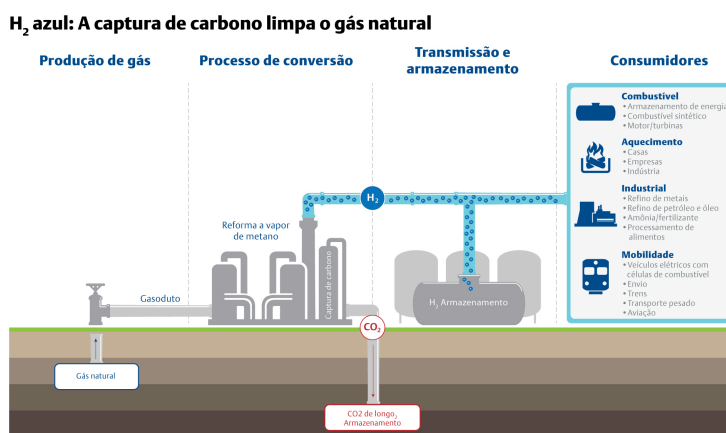
Assim como o hidrogênio cinza, o hidrogênio turquesa é produzido a partir de combustíveis fósseis, mas, em vez de gerar dióxido de carbono, ele gera carbono sólido, que, se não for utilizado, não libera o gás na atmosfera. O principal método dentro dessa categoria é a Pirólise do metano, que consiste na decomposição do metano a altas temperaturas, sem o uso de oxigênio, gerando carbono sólido e gás hidrogênio. A reação é equacionada da seguinte forma:



Esse método é vantajoso porque, por si só, não emite carbono na atmosfera, embora, se utilizado em indústrias, o carbono gerado possa ser liberado durante a combustão. Apesar disso, esse método ainda está em fase de desenvolvimento e não possui alto nível de eficiência nem competitividade.

Um dos tipos de produção de hidrogênio mais promissores em relação à pegada ambiental são os hidrogênios da categoria Azul. O hidrogênio

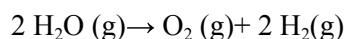
Azul é feito a partir de fontes fósseis, porém o carbono resultante do processo é armazenado, não indo para a atmosfera. Um exemplo de método nessa categoria é a Reforma de Gás Natural com captura de carbono. Assim como a reforma de gás natural da categoria cinza, esse método também emite CO_2 , mas é feita uma captura desse carbono emitido, que pode ser feito por uma membrana de separação, por exemplo. Esse método é relativamente barato e pode ser produzido em larga escala. No entanto, ele ainda apresenta desvantagens do ponto de vista ambiental, já que, apesar de a captura de CO_2 ser realizada, há emissões indiretas e o uso de recursos fósseis.



Esquema de reforma de gás natural com captura de CO_2 ([fonte](#))

A USP⁴, por exemplo, em uma parceria com o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen), iniciou a fase de testes de uma estação de hidrogênio. O hidrogênio dessa planta piloto seria feito por meio da reforma a vapor do etanol, que se assemelha a uma reforma de gás natural, resultando na liberação de hidrogênio. Ele se enquadraria como um método de produção de hidrogênio azul, uma vez que o dióxido de carbono produzido pode ser compensado no ciclo de cultivo da cana de açúcar, um método biogênico. Essa estação tem como objetivo ser usada em dois transportes públicos da cidade universitária.

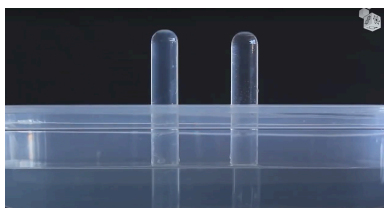
Por fim, e provavelmente a mais importante, temos o Hidrogênio Verde, que é produzido a partir de fontes renováveis e sem emissão de dióxido de carbono. Um dos principais métodos dessa categoria é a eletrólise da água. Nesse processo, com o uso de eletricidade, o oxigênio e o hidrogênio são separados, formando gás hidrogênio e oxigênio. A equação da reação é:



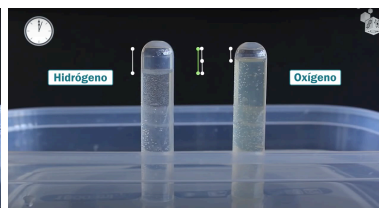
Caso esse processo seja alimentado por fontes de energia limpa, também pode ser considerado limpo. No entanto, como discutido anteriormente, apenas uma minoria da energia global é proveniente dessas fontes. Outro problema desse método é que, dependendo da fonte de energia, especialmente as limpas, ele pode ser caro e economicamente inviável.

A eletrólise da água é uma excelente alternativa caso ela seja feita a partir de energia limpa devido a sua facilidade de ser realizada, além de ser segura. Em uma pequena escala, ela pode ser realizada em qualquer laboratório (desde que ele seja minimamente equipado). As imagens a seguir mostram a eletrólise da água sendo feita de maneira experimental:

Montagem:



Realização:



([Eletrólise da água](#))

Seguindo esse modelo, com apenas uma bateria (nesse caso de 9V), água, bicarbonato de sódio (que aumenta a condutividade da água, facilitando a passagem de uma corrente elétrica) um béquer, dois tubos de ensaio fios condutores e duas tachinhas (eletrodos inertes), é possível realizar a eletrólise da água. O procedimento é feito a partir da criação de um circuito fechado que engloba a bateria e os dois eletrodos (que ficarão debaixo dos tubos de ensaio para que haja captura de gás, em contato com a solução), que serão conectados pelos fios condutores. O experimento demonstra com muita eficácia o processo de eletrólise da água, mesmo assim, no vídeo, a voltagem da bateria usada foi muito mais alta do que o necessário (o ddp da reação é de 1,23 V, mas com a resistência dos eletrodos e barreiras de ativação, a voltagem necessária fica entre 1,8 a 2,5V⁵, no experimento a tensão é de 9V), fazendo com que haja perda de eficiência no sistema, possivelmente a formação de produtos indesejados, a degradação dos eletrodos, além do aquecimento excessivo do sistema. A semi reação catódica teria como produto o hidrogênio que seria armazenado, enquanto a anódica liberaria oxigênio. Esse método se mostra simples de ser feito e é possível de ser replicado em grande escala.

Na Áustria, por exemplo, em um projeto chamado H2Future, há uma planta que usa a eletrólise da água, para produzir hidrogênio verde. A planta utiliza fontes renováveis para a sua produção. A aplicação desse hidrogênio produzido vai para a confecção de materiais como o aço, substituindo o carvão, o que demonstra a versatilidade dessa fonte energética.

Além da eletrólise da água, outro método "verde" é a produção de hidrogênio a partir da fotoeletroquímica. Esse método é uma versão mais específica do anterior, em que uma fonte de energia solar

⁴<https://jornal.usp.br/comunicados/estacao-de-hidrogenio-a-partir-de-etanol-inicia-fase-de-testes-na-cidade-universitaria-em-sp/>

⁵ "Modern Electrochemistry" de J. O. M. Bockris e A. K. N. Reddy

gera diretamente a energia necessária para a eletrólise da água. Embora seja uma forma sustentável de realizar a eletrólise, essa tecnologia ainda está em fase de desenvolvimento, enfrentando desafios relacionados à eficiência e custo. Na Universidade Federal de Goiás, por exemplo, o Centro de Estudos em Engenharia de Tecnologias para Energias Sustentáveis (CEHTES) já está testando e desenvolvendo métodos para realizar a fotólise da água. O foco desses experimentos é criar catalisadores sustentáveis, para que a reação possa ocorrer de forma mais barata, uma vez que muitas vezes são usados metais preciosos para cumprir essa função.

Por último, ainda dentro do Hidrogênio Verde, temos a Fermentação Microbiana. Esse processo se baseia em microrganismos que são capazes de gerar hidrogênio ao fermentar matéria orgânica em ambientes sem oxigênio (anaeróbicos). Esse método é promissor porque tem o potencial de utilizar resíduos orgânicos como matéria-prima, ajudando também a resolver o problema do lixo. No entanto, esse processo ainda está em fase de pesquisa e possui um rendimento relativamente baixo.

Além de poder ser sintetizado de forma verde, o Hidrogênio possui algumas propriedades que o tornam vantajoso para ser usado de energia. Ele possui uma alta densidade energética por unidade de massa. Enquanto a gasolina tem uma energia de 44 MJ/kg o Hidrogênio conta com uma de 120 MJ/kg. Então, de uma perspectiva de eficiência, o combustível de hidrogênio também se destaca em relação aos combustíveis carbonizados.

Mesmo que extremamente vantajoso, há alguns desafios na produção de hidrogênio. O primeiro deles é a limitação de infraestrutura, pois há poucas estações de abastecimento de hidrogênio, o que dificulta a adoção de veículos de hidrogênio. O segundo problema é o custo de sua produção, pois fazê-lo de forma limpa é muito caro atualmente, o que acaba limitando muito o grupo de pessoas que pode e quer pagar por esse combustível. Por conta de sua alta reatividade e densidade volumétrica, acaba sendo difícil armazenar e transportar esse combustível de forma eficaz. Ainda assim, há locais que estão fazendo um esforço para superar esses impasses e de fato conseguindo, o que aumenta ainda mais a esperança em relação a esse combustível.

Concluindo, possuímos uma alternativa para baixar, ou até zerar as emissões consequentes do transporte, o que cada vez mais deixa de ser um luxo e assume um papel de necessidade. O hidrogênio pode ser feito de maneira simples, eficiente, segura e mais importante, de forma limpa. Com mais pesquisa e investimento na frente de inovações desse método, será possível lapidar uma das várias peças necessárias para a descarbonização. Precisamos zerar as emissões de gases de efeito estufa e o combustível de hidrogênio faz parte do caminho.

Referências:

“How To Avoid a Climate Disaster”- bill Gates; [Canal Solar](#); [eixos](#); [Iberdrola](#); [VDI Brasil](#); [EPE](#); [Tyr Energia](#); [IATI](#); [TÜV Rheinland](#); [ElHuffPost](#); [LabCat](#); [Estação de hidrogênio a partir de etanol inicia fase de testes na Cidade Universitária em SP](#); [Eletrólise da água](#); [Como o gás natural acelera o caminho para o hidrogênio | Emerson BR](#); [More Than 40% of World's Electricity Came From Zero-Carbon Sources in 2023 - WSJ](#); [Nuclear Power in the World Today](#); "Modern Electrochemistry" de J. O. M. Bockris e A. K. N. Reddy