

Título da redação: O papel da Química na Transição Energética diante da demanda gerada pela Inteligência Artificial: a substituição de combustíveis fósseis por hidrogênio verde (H2V)

No cenário contemporâneo, a persistência de modelos pautados nas práticas insustentáveis e que perpetuam a desigualdade social promovem a urgência de construir um futuro justo que proteja o planeta Terra e garanta qualidade de vida. Por isso, mostra-se essencial a proposta de um plano de ação global, como as 17 metas para serem cumpridas até 2030 que compõem os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

(ODS) definidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) [1]. Entre eles, o ODS 7 reforça o acesso e a produção de energia limpa e acessível [1], uma vez que, segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, em 2024, evidenciou-se uma dependência em combustíveis fósseis no setor de energia capaz de torná-lo responsável por 69% das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) (imagem 1) [2]. Nesse viés, é fundamental o uso da Química para mitigar alguns desses desafios que exigem o trabalho da comunidade científica por meio de pesquisas, uso da química verde e conscientização sobre a sustentabilidade [1], visando à Transição Energética, com uso de fontes renováveis como matriz energética, especialmente o hidrogênio verde (H2V), que permite a redução de impactos no meio ambiente por emissão zero [3].



imagem 1

Esse esforço se mostra ainda mais relevante visto que a exigência energética vem sendo intensificada pelo avanço da Inteligência Artificial, que tem seu uso cada vez mais comum no dia a dia, o que implica a necessidade de se pensar em soluções sustentáveis. Segundo a Agência Internacional de Energia, a situação atual é de que quase 60% das fontes de energia para manter o funcionamento de data centers, locais para armazenamento e execução de modelos de Inteligência Artificial Generativa, são fornecidas por combustíveis fósseis [4]. Diante desse cenário, como essas fontes estão associadas à emissão de GEE, principalmente do dióxido de carbono (CO₂), proveniente da combustão de reagentes compostos por carbono como o metano (CH₄), presente no gás natural, é essencial buscar alternativas sustentáveis [4]. O crescimento da tecnologia deve se alinhar às metas do ODS 7, evitando desequilíbrios ambientais por poluentes gasosos, sem comprometer a eficiência energética. Logo, refletir sobre a possibilidade de transição energética para o H2V diante de um futuro que promete ter uma demanda massiva de energia pode se mostrar fundamental para suprir os danos previstos.

Gasto energético e emissão de CO₂ por conta da IA



imagem 1

A inteligência artificial (IA) está integrada no uso cotidiano, estando presente até mesmo em conteúdos digitais humorísticos como os “brain rots” (imagem 2) [5]. A produção de um vídeo de 5 segundos como um meme da IA Generativa pode equivaler a um gasto energético de cerca de 3,4 milhões de joules, representando o mesmo necessário para percorrer 61 km em uma bicicleta elétrica [6]. Esse consumo, em larga escala, contribui para a exigência de energia global. Segundo publicação do MIT Technology Review, até 2028, a IA poderá representar 326 terawatts-hora de demanda de eletricidade só nos Estados Unidos, consequentemente emitindo mais de 100 milhões de toneladas métricas de CO₂ [7]. Logo, é essencial refletir sobre o fornecimento de energia, que na maioria dos países depende de combustíveis fósseis.

As reações para obter energia por meio de combustíveis fósseis são processos exotérmicos e de oxirredução, entre um combustível que sofre oxidação, perdendo elétrons e ficando com seu Nox (número de oxidação) maior, e um comburente (geralmente O₂) que sofre redução e aumento de elétrons fazendo o

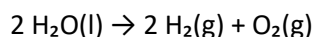
Nox diminuir. Dessa forma, a variação da entalpia ΔH° (calor de combustão) é negativa, pois há liberação de energia fazendo com que os produtos sejam mais estáveis [8]. As principais fontes para geração da eletricidade são representadas pelas equações de queima de:

- Gás Natural (metano): $\text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H^\circ = - 891 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Carvão (carbono): $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$ $\Delta H^\circ = - 394 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Gasolina (octano): $\text{C}_8\text{H}_{18}(\text{l}) + 25/2 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 8 \text{CO}_2(\text{g}) + 9 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H^\circ = - 5471 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ [9]

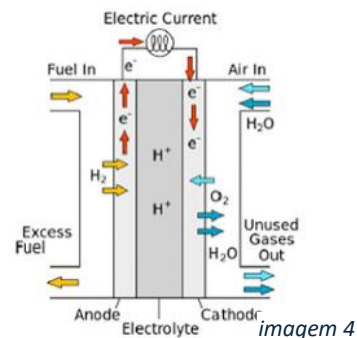
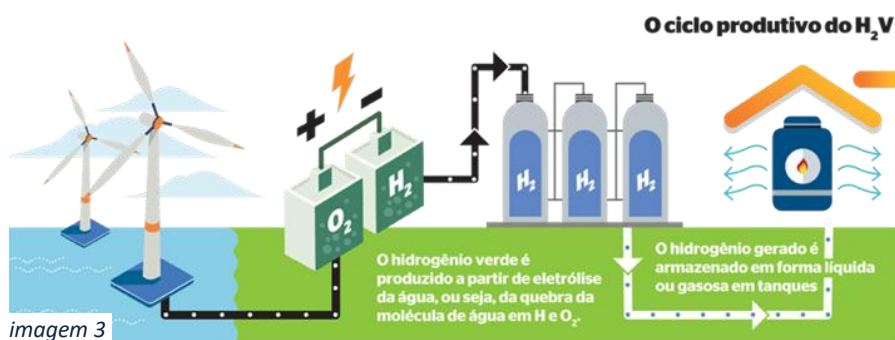
Embora seja possível analisar a alta eficiência energética desses materiais para suprir a necessidade das tecnologias inteligentes, eles possuem um produto em comum, o CO_2 , principal gás associado ao efeito estufa que provoca o aumento da temperatura global por absorção da radiação infravermelha. Logo, a transição energética para hidrogênio verde mostra-se vantajosa, uma vez que contribui para atender as metas do ODS 7.

Hidrogênio verde como reagente estratégico da química verde para o ODS 7

O gás hidrogênio (H_2) pode ser obtido por meio da eletrólise da água (H_2O), que é um processo que depende de corrente elétrica contínua, e, para facilitar a condução, geralmente é adicionado um eletrólito como o NaOH que libera íons, a fim de ter a decomposição representada pela equação química abaixo [10]:



Quando a reação ocorre com o uso de fonte de energia renovável (solar, hídrica ou eólica), denomina-se hidrogênio verde (imagem 3), já que não está associado a processos que emitem CO_2 [11]. Posteriormente, os dispositivos de células de combustível são capazes de converter a energia química em energia elétrica, utilizando H_2 como combustível e O_2 como oxidante (imagem 4).



Tem-se uma reação exotérmica pela liberação de energia ao formar ligações entre O–H que são altamente estáveis, sendo possível analisá-la por meio da equação química [11]:

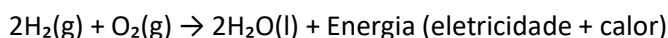


imagem 5

Por meio dessas equações, observa-se um ciclo 100% limpo, além de ser possível armazenar os excedentes de energia renovável em hidrogênio verde e convertê-lo em eletricidade quando necessário. Dessa forma, reduz-se o uso da rede elétrica fóssil para manter os data centers em funcionamento, compensando a intermitência solar e eólica durante o período da noite, por exemplo [12]. Como forma de concretização e demonstração dessa participação da Química na produção energética limpa, o Porto de Pecém, no Ceará (imagem 5) integra projetos de servidores alimentados por fonte de H_2V [13], sendo um exemplo mundial para diminuição de consumo e emissão de carbono, ampliação da energia limpa e redução da dependência de fontes fósseis, contribuindo para o ideal proposto pelo ODS 7.

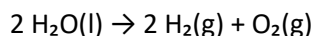
Ademais, a produção de hidrogênio verde causa danos reduzidos ao meio ambiente de modo que é possível relacioná-la com os pilares da química verde (imagem 6) que também são fundamentais ao buscar soluções para os ODS de forma segura e eficiente. A água é um recurso abundante para realizar eletrólise e produzir H₂V e esse é um aliado por não gerar resíduos e produtos tóxicos ao ser utilizado, tornando-se reagente estratégico para a geração de energia limpa que previne a poluição [12]. Isso torna esse vetor energético indispensável como solução concreta, já que está alinhado com os 12 princípios da química verde mencionados - por exemplo, o primeiro



(“Pollution Prevention”), que reforça a importância de não formar subprodutos que sejam danosos ao meio ambiente e o sexto (“Design for Energy Efficiency”), que afirma que o uso de energias prejudiciais à natureza deve ser minimizado [14].

Experimento: Hidrogênio Verde

A fim de ilustrar a produção de hidrogênio verde de maneira detalhada, é possível analisar um experimento no Youtube realizado pelo canal Observatório Astronômico Rei do Universo [16], para a realização da eletrólise. A decomposição da água em gás oxigênio (O₂) e gás hidrogênio (H₂) acontece conforme a equação química representada anteriormente:



Para isso, é necessário ter dois eletrodos (imagem 7) capazes de conduzirem a corrente elétrica, como o material de aço inox utilizado no experimento, que, por ser metal, possui elétrons livres em sua estrutura atômica, permitindo fluxo ordenado deles sob uma diferença de potencial ao serem ligados a um painel solar de 2V (imagem 8). Nesse caso, os eletrodos foram colados em seringas que permitirão a coleta dos gases O₂ e H₂.



imagem 7



Imagem 8



imagem 9

Como a água pura tem baixa concentração de íons, é válido adicionar um eletrólito no reator de eletrólise como a base NaOH, conhecida como soda cáustica (imagem 9), que por meio de sua dissociação, forma íons Na⁺ e OH⁻ tornando a passagem da eletricidade mais rápida e eficiente [15].

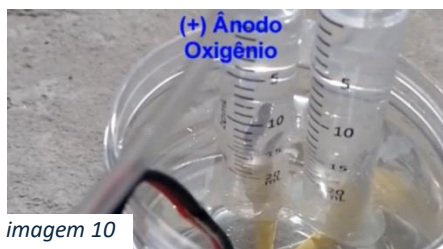


imagem 10



imagem 11



imagem 12

Nos eletrodos, há formação de bolhas aparentes (imagens 10 e 11) evidenciando a formação de gás e reações de redução e oxidação que podem ser explicadas por meio das equações abaixo [15]:

Anodo (Oxidação-meio básico):
 $4\text{OH}^-(\text{aq}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{e}^-$.
Formação de O_2 na imagem 10

Cátodo (Redução-meio básico):
 $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$.
Formação de H_2 na imagem 11

É feita a coleta dos gases (imagem 12) e observa-se que o H_2 e o O_2 coletados têm, respectivamente, 10ml e 5ml de volume, o que mostra coerência com a proporção estequiométrica de 2:1 da reação global



imagem 13

imagem 14

citada previamente, pois são necessários 2 mols de H_2 para 1 mol de O_2 . Dessa forma, fica clara a conservação de massa e reorganização dos átomos durante o processo químico.

Ao injetar os gases coletados anteriormente na água com sabão (imagem 13) e colocar a chama em contato por meio do maçarico (imagem 14), ocorre uma reação de combustão

liberando energia de forma que o único produto formado é a água:



Por meio do experimento, conclui-se que a produção do H_2V é um ciclo sem emissão de CO_2 de forma que não contribui para problemas relacionados ao aquecimento global.

Conclusão

Em suma, a produção de H_2V não só se mostra aliada em alternativas para a transição energética de combustíveis fósseis, mas também é uma forma de auxiliar o cumprimento das metas dos ODS. Isso se aplica especialmente ao ODS 7, já que é uma opção para garantir uma energia limpa diante do desenvolvimento da Inteligência Artificial, que exige grandes quantidades de energia para manter o funcionamento de data centers. Portanto, esse papel pode ser desempenhado pela Química ao aplicar princípios da química verde, evitando emissões negativas como o dióxido de carbono, combinando inovações tecnológicas com a responsabilidade de atingir os objetivos propostos pela ONU até 2030.

Referências bibliográficas:

- [1] <https://www.acs.org/green-chemistry-sustainability/education/chemistry-sustainable-development-goals.html> - acessado em 16/02/26 - acesso em 16/02/26
- [2] Imagem 1: <https://www.poder360.com.br/poder-sustentavel/brasil-cai-uma-posicao-na-emissao-de-gases-de-efeito-estufa/> - acesso em 16/02/26
- [3] <https://www.ufrn.br/imprensa/reportagens-e-saberes/88363/hidrogenio-verde> - acesso em 16/02/26
- [4] <https://shre.ink/carbonbrieforg1chartaienergyandemissions001> - acesso em 16/02/26
- [5] Imagem 2: <https://shre.ink/heloisatolipanimagembraintrot>] - acesso em 16/02/26
- [6] <https://shre.ink/mittechreviewwimpactoenergeticoia> - acesso em 17/02/26
- [7] <https://shre.ink/mittechreviewconsumodeenergiaia> - acesso em 17/02/26
- [8] <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/combustao> - acesso em 17/02/26
- [9] <https://shre.ink/canalcecierjedubr0d3a94ae2bef043cfea4df8b603703pdf> - acesso em 17/02/26
- [10] <https://shre.ink/neenergia0conhecaohidrogeniodofuturo> - acesso em 17/02/26
- Imagem 3 - <https://lupa1.com.br/blogs/the-network/piaui-a-arabia-saudita-do-hidrogenio-verde-29007.html> - acesso em 17/02/26
- Imagem 4 e [11] <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/novo-material-reduz-custo-de-celula-combustivel-para-gerar-energia/> - acesso em 17/02/26
- [12] <https://guofuhee.com.br/hidrogenio-verde-data-centers-ia/> - acesso em 17/02/26
- Imagem 5 e [13] <https://shre.ink/sdecegovbr0plataformadehidrogenioverde> - acesso em 17/02/26
- Imagem 6 e [14] <https://shre.ink/shanghaichem1thetweveprinciplesofgreenc> - acesso em 17/02/26
- [15] <https://shre.ink/brasilescolaquimicaeletroliseagua>
- [16] imagens 7 a 14: <https://youtu.be/WIHQ7Gup5qo?si=OOy-GLOkaaBnXbbz> - acesso em 18/02/26