

Descarbonização da Indústria e da Economia Brasileira – Para uma melhor qualidade de vida

Fontes alternativas de energia: Conheça uma das grandes revoluções ambientais, o Hidrogênio verde



JOSE LUIS GONÇALVES DE ALMEIDA, D.SC., Gerente Executivo - Negócios, SENAI - CIMATEC
jose.almeida@fieb.org.br



GERHARD ETT, D.SC., Pesquisador, Área de Tecnologia Química do SENAI - CIMATEC
gerhard.ett@fieb.org.br

senaicimatec.com.br

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E GASES DE EFEITO ESTUFA

A idade da Terra é de aproximadamente 4,5 bilhões de anos. Essa idade é baseada em datação radiométrica de meteoritos e é consistente com as idades das mais antigas amostras terrestres e lunares. Há 2,5 milhões de anos surgiu o gênero Homo, *Homo habilis* na África oriental, que começam a usar ferramentas de pedra totalmente feitas por eles (iniciando o Paleolítico) e fazem com que a carne seja o alimento mais importante na dieta.

Nestes milhões de anos, a tecnologia evoluiu muito nos últimos 200 anos, principalmente na indústria de manufatura, após o início da primeira Revolução Industrial. Essa grande transformação levou o homem a interferir e impactar significativamente no

meio ambiente e na biosfera, caracterizando a nova era geológica que vivemos: o Antropoceno.

O conceito ‘antropoceno’ — do grego *anthropos*, que significa humano, e *kainos*, que significa novo — foi popularizado em 2000 pelo químico holandês Paul Crutzen, vencedor do Prêmio Nobel de Química em 1995, para designar uma nova época geológica caracterizada pelo impacto do homem na Terra. O termo é utilizado para destacar o papel fundamental que os seres humanos têm desempenhado na alteração do clima, da biodiversidade, dos ciclos biogeoquímicos e de outros processos terrestres. Este progresso, utilizando novos processos industriais e de geração de energia, aumentou o nível dos gases de efeito estufa na Terra, sem precedentes, alterando o clima e todo o nosso ecossistema, vide figura 1.

Cientistas afirmam que as emissões de dióxido de carbono (CO₂) causadas pela ação do homem é tão impactante que irão retardar o início da próxima Era Glacial - a última Era Glacial terminou há **11.500 anos**, e os cientistas vêem, há tempos, discutindo quando a próxima começaria. Em um artigo publicado na revista *Nature Geoscience*, eles afirmam que a próxima Era Glacial poderia começar em **1.500 anos**, mas que isso não acontecerá por causa do elevado nível de emissões de gases de efeito estufa. A elevação da temperatura da Terra ocasionará o degelo dos polos, elevando o nível dos oceanos, dessolubilizará o CO₂ absorvido nos mares, gerando ainda mais gases de efeito estufa.

Desde o início da industrialização, em 1850, até hoje, as emissões antrópicas de Gases de Efeito Estufa-GEE (causadas pela atividade humana) levaram a uma mudança climática visível, ou seja, a um aquecimento global com aumento significativo da temperatura média da superfície da Terra causado pelo aumento de GEE na atmosfera.



Figura 1 - Efeito estufa causado pelos GEE (fonte: Wikimedia 2022)

O CO₂ faz parte do ciclo de nossa cadeia alimentar, da nossa sobrevivência como espécie, ele é o principal reagente químico do ciclo da fotossíntese, vital para a agricultura, ou seja, não é poluente e nem tóxico. Entretanto, o seu excesso gera o efeito estufa. Existem outros gases, muito mais impactantes para o efeito estufa, como o CH₄, N₂O, CFC, SF₆. Esses GEE variam em Potencial de Aquecimento Global e tempo de vida na atmosfera (ver figura 2).

Dentre os GEE, o Dióxido de Carbono, CO₂, é a principal causa do Aquecimento Global, sendo responsável por, aproximadamente, 75% das emissões de gases de efeito estufa produzidas pelo homem. Para comparar o efeito dos diferentes GEE no efeito estufa, as toneladas de GEE emitidas são transformadas em toneladas de CO₂ equivalente via seu Potencial de Aquecimento Global. Nota: Quando uma tonelada de metano é emitida, que tem um GWP de 28, equivale (1 ton. de CH₄ *28) a 28 ton. de CO₂.

Entre as polêmicas sobre o aquecimento global, sobre a próxima era glacial, sobre a quantificação mínima permitida dos gases de efeito estufa, é certo que dependemos do meio ambiente para sobreviver, necessitamos de água potável, não podemos poluir rios e mares; dependemos do ar que respiramos, não podemos emitir gases poluentes e particulados; necessitamos de solo fértil, não podemos contaminar o solo com resíduos sólidos e industriais. Todos esses poluentes e agressões ao meio ambiente serão ingeridos por nós novamente, pois a cadeia é cíclica. Devemos respeitar o meio ambiente, projetando e incentivando nossas empresas por processos produtivos ambientalmente mais limpos. Criar políticas de incentivo para acelerar a descarbonização de processos produtivos, mas, mantendo nossa indústria brasileira e a economia competitiva, neste ponto, a educação é a tecla-chave.

Compound	Pre-industrial concentration (ppmv)	Concentration in 2019 (ppmv)	Atmospheric lifetime (years)	Main human activity source	GWP**
Carbon dioxide (CO ₂)	280	411	variable	Fossil fuels, cement production, land use change	1
Methane (CH ₄)	0.715	1.877	12	Fossil fuels, rice paddies, waste dumps, livestock	28
Nitrous oxide (N ₂ O)	0.27	0.332	121	Fertilizers, combustion industrial processes	265
HFC 23 (CHF ₃)	0	0.000024***	222	Electronics, refrigerants	12,400
HFC 134a (CF ₃ CH ₂ F)	0	0.000062***	13	Refrigerants	1,300
HFC 152a (CH ₃ CHF ₂)	0	0.0000064***	1.5	Industrial processes	138
Perfluoromethane (CF ₄)	0.00004	0.000079***	50,000	Aluminum production	6,630
Perfluoroethane (C ₂ F ₆)	0	0.0000041***	10,000	Aluminum production	11,100
Sulphur hexafluoride (SF ₆)	0	0.0000073***	3,200	Electrical insulation	23,500

Figura 2 - Potencial de aquecimento global

*ppmv = partes por milhão em volume, **GWP=potencial de aquecimento global, 100 anos, ***Concentração em 2011, vapor de água não incluído (Fonte: ccs.umich.edu, 2011)

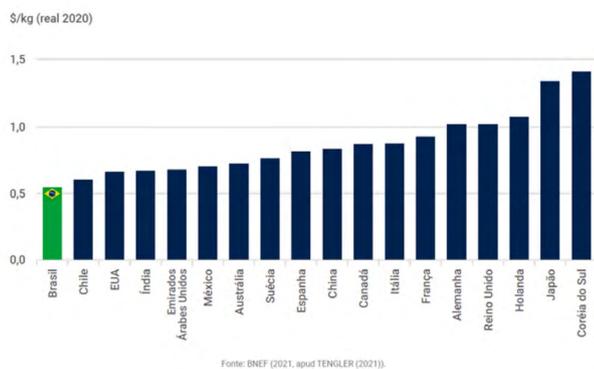


Figura 4 - Custo mundial do hidrogênio

Além da produção, a distribuição do hidrogênio também é um aspecto importante de sua economia. Como o hidrogênio não é encontrado naturalmente na forma líquida ou sólida, ele precisa ser produzido e transportado em recipientes especiais, como tanques de alta pressão. O transporte do hidrogênio também pode ser feito por meio de tubulações, na forma gasosa, ou por transportadores de hidrogênio, como ocorre com o gás natural, amônia ou o etanol.

Atualmente, o hidrogênio está sendo discutido como um meio essencial para a descarbonização. O uso de hidrogênio em células a combustível ou na indústria é livre de CO₂, pois quando utilizado emite apenas vapor de H₂O. Portanto, o hidrogênio pode ser uma chave para a descarbonização em energia, transporte e indústria. No entanto, a produção de hidrogênio pode emitir CO₂ quando realizada a partir de combustíveis fósseis em reformadores. E, atualmente, essa é a fonte de hidrogênio mais comum, mas, como descrito, causa emissões de CO₂ (1kg de H₂ associado a 9 kg de CO₂). Assim, a melhor opção é o hidrogênio verde, produzido por eletrólise com eletricidade limpa, porque é um hidrogênio de baixíssimo carbono em todo o seu ciclo de vida.

CUSTOS DO HIDROGÊNIO VERDE

Um dos principais desafios enfrentados pela produção de hidrogênio verde é o custo. Atualmente, o hidrogênio verde é mais caro do que o hidrogênio produzido a partir de combustíveis fósseis. No entanto, espera-se que os custos diminuam à medida que a produção aumente e a tecnologia evolua. A IEA (Agência Internacional de Energia) estima que os custos do hidrogênio verde, possam ser competitivos até 2030, vide figura 5, com o hidrogênio derivado de combustível fóssil, proveniente da reforma a vapor do gás natural, assumindo políticas de apoio e progresso tecnológico.

No geral, o hidrogênio verde é visto como uma tecnologia-chave para atingir as metas climáticas globais e muitos países e empresas estão investindo pesadamente em seu desenvolvimento. Embora a produção ainda esteja em seus estágios iniciais no Brasil há um potencial significativo de crescimento nos próximos anos.

Uma das razões da redução de custo, é devida a uma maior durabilidade dos eletrolisadores, alguns tipos utilizam eletrodos de titânio revestidos com metais óxido de metais nobres, tais como: irídio, rutênio, por processos de tratamento de superfícies e também novas membranas separadoras.

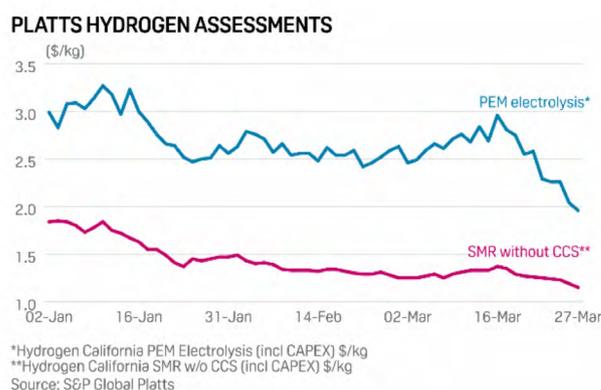


Figura 5 - Custo do H₂ gerado por eletrólise e reforma a vapor - Fonte: S&P Global Platts.

POLÍTICA NACIONAL DO HIDROGÊNIO

Alguns países têm planos ambiciosos para desenvolver a indústria do hidrogênio verde. A União Europeia, por exemplo, estabeleceu uma meta de produzir 40 Gigawatts de hidrogênio renovável até 2030, e a China planeja ter 1 milhão de veículos movidos a hidrogênio nas estradas até 2035. Os EUA, na política do presidente Joe Biden, estabeleceu a meta de 1:1:1, 1Kg H₂ por 1 USD em 1 década.

A produção de hidrogênio verde no Brasil está em estágio inicial, mas em processo de aceleração, com vários projetos em andamento. Nos últimos anos, o país está presenciando uma grande mobilização para a implantação do hidrogênio como um novo tipo de combustível e energia, complementando os atuais existentes, vide figura 5. O Plano Nacional de Energia do Brasil estabelece a meta de 10% de hidrogênio renovável na matriz energética brasileira até 2030. Hoje, praticamente em todos os estados brasileiros, há mais 50 projetos anunciados, desde a construção de plantas-piloto a plantas industriais, como nos estados do



Figura 6 – Política do hidrogênio no Brasil

Amazonas, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Ceará, Bahia, Rio de Janeiro, Piauí, Minas Gerais, Goiás, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Um dos principais setores da indústria, que muito agregam ao PIB no Brasil, é o setor da agricultura (o Brasil importa 88% do fertilizante). Na Bahia, a Unigel Agro anunciou a primeira fábrica brasileira de hidrogênio verde (H2V) do país receberá novos investimentos, que chegam a US\$ 1,5 bilhão (R\$ 7,8 bilhões, na cotação atual), divididos em três etapas, que produzirá 100 mil toneladas anuais do insumo. Na primeira etapa, a empresa está investindo US\$ 120 milhões e contará com a tecnologia de eletrólise de alta eficiência da alemã Thyssenkrupp Nucera. Um projeto de escala industrial de grande porte do país, que está em processo de implantação no Polo de Industrial de Camaçari, põe a Bahia e o Brasil em posição de liderança rumo a uma economia descarbonizada. A Bahia possui um potencial de geração de 84 MM t de hidrogênio/ano.

APLICAÇÕES DO HIDROGÊNIO



Figura 7 – Aplicações do hidrogênio
Fonte Okolie et al. (2021)

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), o hidrogênio verde pode desempenhar um papel importante na transição para uma economia com baixa emissão de carbono. Isso ocorre porque o hidrogênio pode ser usado em vários setores, incluindo transporte, indústria, energia e construção, substituindo combustíveis fósseis e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa, vide figura 7.

PRODUÇÃO GLOBAL DE HIDROGÊNIO VERDE

A produção de hidrogênio verde está aumentando rapidamente em todo o mundo impulsionada pela necessidade de descarbonizar os sistemas de energia. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), a produção global de hidrogênio foi de 115 milhões de toneladas em 2020, das quais apenas 0,1% foi hidrogênio verde. No entanto, a IEA projeta que o hidrogênio verde poderá representar 30% da produção global de hidrogênio até 2050. Atualmente, os maiores produtores de hidrogênio verde estão na Europa, com Alemanha, Espanha e Dinamarca liderando o caminho.

A INDÚSTRIA DO HIDROGÊNIO ATUAL

A indústria química e petroquímica são, hoje, os maiores geradores e consumidores de hidrogênio. A indústria química brasileira, segundo a Associação Brasileira de Química, ABIQUIM, é a sexta maior do mundo, responsável por um faturamento líquido de 130 bilhões de dólares, o PIB mundial da indústria química é de, impressionantes, 4,7 trilhões de dólares.

A participação da indústria química na indústria de transformação, representa 24% sobre o setor de 'Alimentos e Bebidas'; 18,5% no setor de 'Coque, produtos derivados de petróleo e biocombustíveis'; 12,4% no setor de 'Produtos químicos'; 6,9% do setor de Metalurgia; e 5,1% do setor de 'veículos automotores, rebocues e carrocerias'.

Detalhando o uso do hidrogênio de cada setor acima, figura 8, um dos grandes consumidores de hidrogênio na indústria química é a fabricação de fertilizantes, (segundo a ANDA – Associação Nacional para a difusão de adubos, o Brasil comercializa 46 milhões de toneladas ano, sendo 85% importado), fabricação de eletrônicos, fontes de energia, produção

de combustível, balões meteorológicos, refinarias de petróleo, agente redutor na metalurgia, área médica (tratamento câncer), detector de vazamento, exploração espacial, produção de metanol, componentes eletrônicos, fabricação de peróxido de hidrogênio, bio-combustíveis sintéticos (SAF), análise química, soldagem, cromatografia de análise gasosa, redução minério, processo cloro-soda, polímeros.

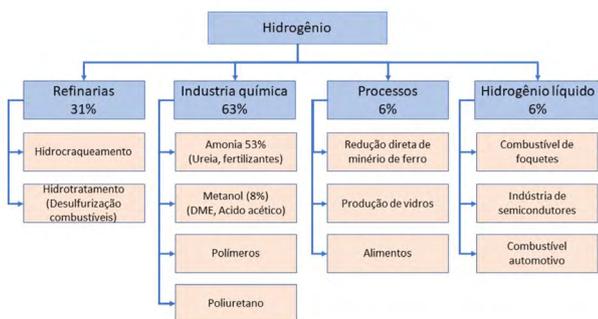


Figura 8 – Aplicações atuais na indústria do hidrogênio

Por fim, a utilização do hidrogênio como fonte de energia é outro aspecto importante da economia do hidrogênio. O hidrogênio pode ser usado em uma variedade de aplicações, como em veículos movidos a hidrogênio, em células a combustível – esse setor merece um artigo exclusivo, pois todas as montadoras do mundo possuem seu veículo com células a combustível, desde leves (passeios, VUC), a pesados (navios, aviões, submarinos, ônibus e caminhões) e superpesados (caminhões de minas), em escala pré-comercial a comercial. O uso como fonte de energia também é um outro tema importante, com unidades completas de geração com potências acima de 100 MW.

PROJETOS FUTUROS

Muitos países e empresas ao redor do mundo estão planejando projetos de hidrogênio verde, em grande escala, nos próximos anos. Por exemplo, o *Green Deal*, da União Europeia, inclui uma meta de 40 GW de capacidade de eletrolisador até 2030, o que produziria cerca de 10 milhões de toneladas de hidrogênio verde por ano. A Austrália também está planejando se tornar um grande exportador de hidrogênio verde, com vários grandes projetos em andamento. Nos Estados Unidos, vários estados estão desenvolvendo estratégias de hidrogênio verde e há planos para um centro de hidrogênio de US\$ 4,5 bilhões no estado de West Virginia. Na China, há um grande projeto de uma planta de 100 MW.

CONHEÇA O SENAI CIMATEC

O SENAI CIMATEC é uma instituição de referência em pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica, e desempenha um papel importante no processo sustentável de descarbonização das indústrias e da sociedade, oferecendo soluções tecnológicas e de engenharia que visam a redução de emissões de gases de efeito estufa, promovendo a adoção de práticas sustentáveis e o desenvolvimento de novas tecnologias para mitigar os impactos ambientais.

O SENAI CIMATEC possui competências relevantes que auxiliam no processo sustentável de descarbonização das indústrias. Entre as competências do SENAI CIMATEC que contribuem para esse processo, podemos citar:

Pesquisa e desenvolvimento de tecnologias limpas:

o SENAI CIMATEC possui *expertise* em pesquisas de tecnologias que promovem a redução de emissões de gases de efeito estufa, como processos de produção mais limpos e eficientes, utilização de energias renováveis e a captura e armazenamento de carbono.

Capacitação de profissionais:

a instituição oferece cursos e treinamentos especializados em áreas relacionadas à sustentabilidade e à descarbonização, formando profissionais qualificados para atuar em projetos de mitigação de impactos ambientais.

Prestação de serviços de consultoria:

o SENAI CIMATEC presta serviços de consultoria a empresas interessadas em adotar práticas sustentáveis e reduzir suas emissões de gases de efeito estufa, oferecendo soluções personalizadas para cada caso.

Desenvolvimento de parcerias estratégicas:

o SENAI CIMATEC mantém parcerias com empresas e instituições de pesquisa nacionais e internacionais para o desenvolvimento de projetos de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias sustentáveis.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- www.gov.br/mme/pt-br/programa-nacional-do-hidrogenio-1
- www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022
- <https://www.mckinsey.com/br/our-insights/hidrogenio-verde-uma-oportunidade-de-geracao-de-riqueza-com-sustentabilidade-para-o-brasil-e-o-mundo>
- www.iphe.net/
- <https://www.h2verdebrasil.com.br/sobre-nos/>
- <https://abh2.org/3cbh2-submissao-de-resumos>
- <https://www.senaicimatec.com.br/>
- <https://www.fieb.org.br>