

HIDROGÊNIO VERDE

E O PAPEL DO REÚSO E DA DESSALINIZAÇÃO

AS OPORTUNIDADES NA AMÉRICA LATINA NO DESAFIO GLOBAL DE ÁGUA E ENERGIA.

Por: Eduardo Pedroza, Alejandro Sturniolo e Marcio José.

ÁGUA E ENERGIA O DESAFIO GLOBAL

Em uma avaliação histórica do consumo mundial de energia, observa-se um crescimento muito relevante no século XX. Enquanto a população mundial cresceu aproximadamente 6 vezes, o consumo de energia avançou 80 vezes (1). Uma clara evidência de desenvolvimento econômico e maior aumento do consumo per capita de energia.

Com base nos dados atuais a geração de energia no mundo, superamos o patamar anual de 617 EJ para uma população de aproximadamente 7,8 bilhões (2 e 3), logo um consumo diário per capita médio de 60 kWh/pessoa/dia. Aos quais mais de 80% desta geração de energia está associada ao uso de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) e boa parte do consumo associada ao uso de veículos automotivos.

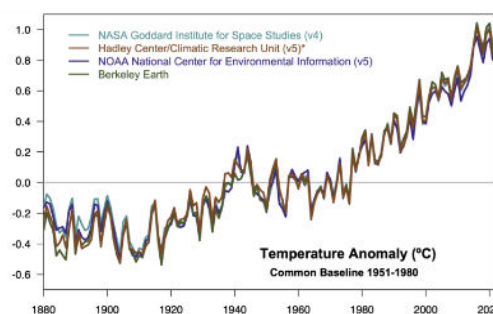
De acordo com levantamento e publicações de várias fontes (4 e 1), o consumo de combustíveis fósseis aliado ao desmatamento são responsáveis atualmente pela liberação de cerca de 7×10^{12} kg/ano de CO_2 para a atmosfera. Enquanto os mecanismos de remoção natural do CO_2 atmosférico, a fotossíntese e a dissolução nos oceanos, são responsáveis pela retenção de cerca de 4×10^{12} kg/ano. Um aumento líquido de 3×10^{12} kg CO_2 /ano. O que corresponde um aumento anual de 0,4% da concentração de CO_2 na atmosfera.

Com base nos modelos referenciados pelo IPCC (5), este acúmulo adicional de CO_2 na atmosfera, aumenta a retenção de calor, em razão do efeito estufa¹, em consequência a projeção é que entre 1990 e 2100 ocorra um crescimento na temperatura média global em 1,4 – 5,8 °C.

¹ Efeito estufa: aquecimento que ocorre quando a atmosfera retém o calor irradiado da Terra para o espaço.

Gerando relevantes consequências como o aumento do nível do mar, mudanças nas quantidades e padrões de precipitação, eventos climáticos extremos, como enchentes, secas, ondas de calor e furacões. Com fortes impactos na agricultura, aumento da acidificação dos oceanos e impactos na biota.

Figura 1: Índice global de temperatura terra-oceano. Fonte: GISS da NASA.



Dados de temperatura mostrando rápido aquecimento nas últimas décadas, os dados mais recentes vão até 2021. De acordo com a NASA, 2016 e 2020 estão empatados como o ano mais quente desde 1880, continuando uma tendência de longo prazo de aumento das temperaturas globais. Os oito anos mais recentes foram os mais quentes. Crédito: Instituto Goddard de Estudos Espaciais da NASA.

Figura 2: Encostas do vulcão Villarica no Chile 2018 e 2022. Fonte: Nasa (6)



As imagens comparam fotos tiradas em 13 de janeiro de 2018 e 8 de janeiro de 2022. De acordo com René Garreaud (6), cientista da Universidade do Chile, a escassa cobertura de neve no verão de 2022 está atribuída à falta de tempestades em 2021 seguindo a tendência de seca na região na última década.

Figura 3: O Lago Aculeo, no centro do Chile, 2014 e 2019. Fonte: Nasa (7)



Essas imagens contrastam uma foto do lago em 2014, quando ainda continha água substancial, e 2019, quando apresentava apenas lama e vegetação. O declínio do lago deve-se a uma seca incomum ao longo da última década, juntamente com o aumento do consumo de água crescente da população.

Evidente que as mudanças climáticas impactam sobretudo no ciclo da água, seja com grandes secas ou com inundações. Interferindo nas estratégias e infraestruturas hídricas e urbanísticas existentes, assim como devem direcionar novas exigências para futuros projetos.

Um desafio de adequação da infraestrutura de saneamento (suprimento de água, tratamento de esgoto e drenagem de água), sobretudo diante do crescimento populacional e da concentração urbana. Bem como, um desafio econômico pela relevância da água na economia em geral, seja nas atividades industriais, na produção de alimentos, como na própria relação intrínseca da água com a geração de energia.

Vale destacar que grandes economias possuem sua matriz energética com a participação relevante de hidroelétricas, com reservatórios impactados pela regularidade de chuvas. E se a opção for migrar exclusivamente para termoelétricas com usos combustíveis fósseis teremos conseqüentemente mais emissões de CO₂.

Nesse cenário, a geração de energia neutra em carbono avançou globalmente (eólica, fotovoltaica, biomassa). Contudo, é necessário acelerar este progresso. Em razão dos impactos crescentes das mudanças climáticas, e sobretudo agora com os conflitos geopolíticos da guerra entre Rússia e Ucrânia que agravam o fornecimento de gás e petróleo principalmente para a Europa.

HIDROGÊNIO VERDE

Diante da relação intrínseca da economia com energia e água, e os desafios impostos pelas mudanças climáticas e conflitos geopolíticos recentes, o desenvolvimento tecnológico de fontes de energia neutras na emissão de carbono, e substitutivas aos combustíveis provenientes da Rússia, bem como soluções tecnológicas de infraestrutura hídrica adequadas às exigências atuais e competitivas, estão e estarão no cerne das prioridades globais por um bom tempo. Sendo neste contexto que cresce a atenção para soluções como o uso de hidrogênio.



Os primeiros registros da descoberta do hidrogênio vêm de 1766, quando Henry Cavendish detectou um gás leve que, quando queimado no ar, se transformava em água. Em 1787, Antoine Lavoisier chamou esse novo gás de "hidrogênio" (8). Não muito tempo depois, os cientistas descobriram que, ao adicionar eletricidade à água, o hidrogênio pode ser produzido pela reação inversa, processo denominado de eletrólise. Hoje, o hidrogênio é usado como matéria-prima para síntese química, mas outras aplicações se tornaram realidade, incluindo armazenamento de energia e combustíveis para transporte. Se o hidrogênio for gerado a partir de eletricidade renovável (Hidrogênio Verde), não emitindo gases de efeito estufa, poderá ter um papel protagonista no contexto atual de transição energética.

A eletrólise da água à temperatura e pressão ambiente requer uma tensão mínima de 1,481 V e, portanto, um mínimo energia de 39,7 kWh/kg hidrogênio. Em grande escala sistemas eletrolisadores alcalinos há o consumo de aproximadamente 47 kWh/ kg de hidrogênio e trabalham a 90°C, ou seja, a eficiência é de aproximadamente 82% (8). Lembrando que 1kg de hidrogênio libera na queima 121kJ/g.

O destaque do hidrogênio no contexto de transição de energética deve-se a vários fatores:

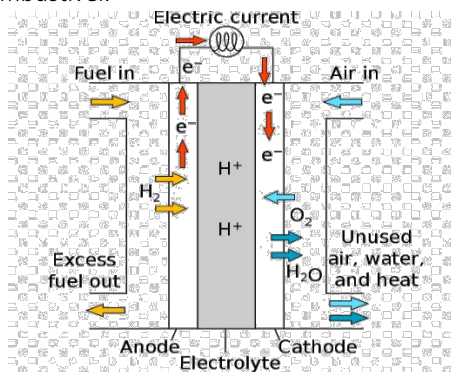
- O hidrogênio pode ser produzido a partir de várias fontes de energia, renováveis ou não, sendo um modo de armazenamento de energia na forma de gás. Versatilidade importante para o contexto de transição energética. Por exemplo, a produção a partir da reforma a vapor e oxidação do metano, reforma do gás natural, energia nuclear, ou mesmo com uso de energia solar ou eólica.
- Apesar de bastante energético (equivalente a 2,75 kg de gasolina), há o desafio de compreensão (a energia de um litro de hidrogênio equivale à energia de 0,27 litro de gasolina), sendo um gás bastante leve, o que traz desafios econômicos de armazenamento principalmente para aplicações em rotas de combustão tradicional, contudo sua aplicação ganha outra perspectiva bastante promissora quando a geração de energia elétrica ocorre a partir de células combustíveis, reduzindo consideravelmente a demanda de armazenamento. Aplicação promissora para o uso em veículos automotivos elétricos. Sendo uma opção de rápido abastecimento e vantagens logísticas quando comparado a carros elétricos com baterias de lítio.
- Em destaque entre as vantagens, consiste na geração de energia sem emissões de CO₂ - hidrogênio verde (produção associada a fontes eólicas e solar), ou com saldo zero de emissões (biomassa/etanol/biogás, ou com uso de combustíveis fósseis, porém com a captura e armazenamento CO₂), o denominado hidrogênio azul.
- Associado ao benefício de geração de energia neutra em emissões de carbono e a sua versatilidade em aplicações diversas, seja na alimentação de células combustíveis, ou em processos de combustão, o Hidrogênio Verde torna-se uma opção ampla de grande interesse do setor industrial. Tendência crescente de projetos com uso de hidrogênio em setores siderúrgicos, petroquímicos, celulose e em especial para a produção de amônia verde (fertilizante). Inclusive sendo a rota de amônia verde bastante atrativa no mercado internacional, seja pela demanda do

fertilizante para produção de alimentos, seja pela facilidade de distribuição em comparação com o hidrogênio.

- Etapa importante do desenvolvimento do uso do hidrogênio como fonte de energia passa pelas inovações tecnológicas no desenvolvimento de células a combustível, uma tecnologia que utiliza a combinação química dos gases hidrogênio e oxigênio para gerar energia elétrica e moléculas de água.

A célula combustível a hidrogênio consiste em uma tecnologia que se beneficia da combinação química dos gases hidrogênio e oxigênio para gerar energia elétrica e moléculas de água.

Figura 4: Representação de uma célula combustível.



Existem vários tipos de células de hidrogênio, convencionalmente classificadas com o tipo de eletrólito utilizado.

- AFC (*Alcaline Fuel Cell*) usa uma solução de hidróxido de potássio e água.
- PAFC (*Phosphoric acid fuel cells*) usa o ácido fosfórico como eletrólito.
- PEMFC (*Proton-exchange membrane fuel cells*) usa como eletrólito uma membrana polimérica sólida condutora de prótons.
- MCFC (*Molten-carbonate fuel cells*) célula de carbonato fundido, usa como eletrólito carbonato de potássio ou lítio. Trabalha em altas temperaturas 600°C desenvolvidas para o uso de gás natural ou biogás.
- SOFC (*solid oxide fuel cell*) uso como eletrólito uma membrana cerâmica.

Dentre essas opções um grande interesse se especial está nas células PEMFC, em razão de

trabalharem com elevada potência e operarem a baixa temperatura.

Em todos os contextos um pré-requisito será sempre primordial: a água. A matéria prima do hidrogênio, além do uso diverso que pode ser exigido ao longo da cadeia produtiva do hidrogênio, como por exemplo refrigeração (consumo variável em função das rotas escolhidas).

A necessidade de água não se limita apenas aos aspectos quantitativos de uso como matéria prima, ou em suas aplicações múltiplas no processo, mas fundamentalmente pela exigência de grande qualidade no processo de eletrólise. Demandando uma atenção relevante nas rotas tecnológicas de tratamento de água para produção de Hidrogênio.

Assim, qualquer análise de viabilidade técnica e econômica da produção de Hidrogênio passa pelas perguntas a seguir. Há água suficiente para produzirmos uma solução energética global a base de hidrogênio? As tecnologias de tratamento são adequadas e competitivas para essa opção?

Assim surge também a reflexão qual o papel de tecnologias de reúso de água, ou dessalinização de água do mar na produção de hidrogênio? Essas fontes alternativas de água podem ser uma opção economicamente viável e sustentável?

O PAPEL DO REÚSO E DA DESSALINIZAÇÃO

Evidente que o papel sustentável do Hidrogênio Verde passa pela escolha da fonte de água utilizada no processo de eletrólise (por estequiometria 1kg H₂ exige 9 kg de água). Não haverá sustentabilidade se a fonte de água apresentar implicações de disputa de disponibilidade com a população ou restrições ambientais.

Assim o uso de fontes alternativas (reúso e dessalinização de água do mar) despontam como opção para o suprimento de água na produção de Hidrogênio.

Cabe destacar que a adição de um processo de dessalinização de água do mar, ou reúso de água,

certamente aumentará a necessidade energética na análise do ciclo total de produção de hidrogênio eletrolítico. No entanto este acréscimo de energia no tratamento de água não se revela significativo a priori, conforme destacado por BESWICK, R., *et al.* (8).

Analisando um cenário mais conservador em custo energético (Reúso ou Dessalinização) trazemos uma análise simplificada da opção de dessalinização de água do mar. Considerando, em geral, que nesse processo, via tecnologia de Osmose Reversa (OR), a energia requerida está na ordem de 3,5 kWh por m³ de água dessalinizada. Assim, considerando uma demanda global de 2,3 Gt de hidrogênio o equivalente requerido em energia para dessalinização de água do mar extra de 0,26 EJ de energia (8). Ou seja, menos de 0,04% da demanda global.

Do ponto de vista econômico, a dessalinização por RO adicionaria um custo de energia de US\$ 0,53–1,50 por m³ de água. O que não acrescentaria mais do que US\$ 0,01 ao custo de produção de hidrogênio por kg. Isso está de acordo com uma análise de Khan *et al apud* BESWICK, R., *et al.* (8). Destacando que a dessalinização representaria 0,1% da necessidade de energia da eletrólise e adicionaria US\$ 0,02 ao custo do hidrogênio por kg. Portanto, mesmo com o uso de processos de dessalinização integrados à produção de hidrogênio, o custo estimado de US\$ 2,00 por kg ainda estaria ao alcance. Principalmente se acoplado ao reúso de água, que apresenta menor custo energético.

Também vale destacar sinergias do processo de eletrólise com o reúso de água a partir de esgotos sanitário:

- o O oxigênio produzido na eletrólise poderá ser aproveitado no processo de tratamento de esgoto sanitário.
- o Potencial sinergia com a produção de metano via digestão anaeróbica de esgoto ou lodo que poderá compor via reforma a vapor um acréscimo na produção de hidrogênio (cabe análise de viabilidade).

Nesta intrínseca relação de água e energia, em contexto de transição energética de grande impacto na economia, discussões despontam na América Latina, capitaneada por associações como a ALADYR (Associação Latino-Americana de Dessalinização e Reúso) perguntando e avaliando quais oportunidades nesse mercado na América Latina.

AS OPORTUNIDADES NA AMÉRICA LATINA

A América Latina está no cerne do debate da transição energética e mudanças climáticas, seja pela relevância da floresta amazônica, ou pelas reservas minerais (sobretudo reunindo mais de 2/3 das reservas globais de lítio), ou pelas reservas de petróleo, o pré-sal, ou pela produção de etanol de cana de açúcar. Aliada a uma geopolítica com menor histórico de conflito entre as nações. Apesar dos desafios de desenvolvimento econômico e social.

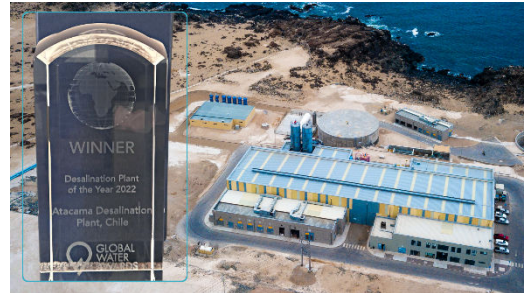
A própria deficiência na infraestrutura de saneamento pode ser uma oportunidade para ampliação com aderência as tendências de uma nova economia. O saneamento, a dessalinização de água do mar, e o reúso de água atraem investimentos de grandes grupos globais do setor. Empresas como a GS INIMA desenvolveram e desenvolvem, por exemplo, sistemas de dessalinização de água do mar no Chile e no México, no Brasil possuem histórico de investimentos no saneamento, no setor industrial e são responsáveis pela operação de um dos maiores sistemas de reúso de água para fins industriais do mundo – Aquapolo capacidade de 1 m³/s.

Vários aspectos regulatórios do setor hídrico, ambiental e energético e estão em debate na América Latina buscando avanços para trazer segurança jurídica, critérios ambientais adequados e atrair novos investimentos. A exemplo do marco regulatório do saneamento no Brasil, visto no mercado em geral como importante avanço para maior iniciativa privada.

Figura 4: Aquapolo São Paulo/Brasil. Tratamento de esgoto sanitário para reúso da água.



Figura 5: ECONSSA – Atacama/Chile. Dessalinização de água do mar (1,2 m³/s) consumo 2,8 kWh/m³.



A América Latina reúne mais de 40 mil quilômetros de litoral, bem como relevantes complexos portuários e industriais. O nordeste brasileiro, em destaque, com acordos vigentes e localização estratégica de seus portos (SUAPE e PECÉM) para conexão com a Europa e América do Norte

A região nordeste do Brasil em especial possui condições, bem favoráveis para produção de energia eólica e solar, já se destacando com a geração atual em cerca de 20 GW (17 eólica + 3 solar) que se mantém em franca expansão com novos projetos autorizados ou em construção na ordem de 29 GW (12 eólica + 17 solar) .

Apenas nordeste brasileiro apresenta (9):

- o Mais de 2,5 milhões de hectares de área com velocidades de ventos acima de 8.0 m/s (at hub height of 120m).
- o Mais de 42 milhões de hectares com irradiação solar acima de 2100 kWh/m².

Avaliando, no entanto, o potencial de crescimento desta região de novos projetos, os números são ainda mais positivos. De acordo com estimativas realizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, a produção de energia eólica *onshore* pode chegar a 309 GW (com base nas tecnologias atuais) com

custos competitivos. Sem considerar o potencial eólico brasileiro *offshore* e solar. Fatores e condições que de acordo com a COMERC ENERGIA (9) aponta para região um custo de produção abaixo US\$ 2,00 por kg, com estimativas de chegar em 2030 US\$ 1,30 por kg².

Em consequência a região já movimentou assinaturas de memorando de entendimentos entre empresas e governos de estados do nordeste brasileiro, por exemplo, o Piauí e Ceará, este último aproveitando também a infraestrutura do porto PECÉM. No Ceará mais de 15 empresas assinaram acordos.

Em entrevista a importante jornal de viés econômico no Brasil (Valor Econômico) em outubro de 2021, o presidente da Qair Brasil destacou “A Europa quer consumir 80 GW de energia na forma de Hidrogênio Verde nos próximos anos, mas consegue produzir apenas 20 GW”. Similar o gerente do Banco Mundial para o tema de energia na América Latina destacou “O Estado do Ceará pode ser um protagonista do hidrogênio verde. Está muito bem-posicionado e já avançou em parcerias internacionais” (9).

Importante destacar também, neste desafio global, as iniciativas e oportunidades no setor industrial. Um setor relevante na economia que avançou com projetos de sustentabilidade hídrica na América Latina e está atento aos temas da transição energética. A exemplo do Aquapolo que proporciona o de reúso de água para empresas do Polo Petroquímico do ABC/SP, enfatizamos também os projetos realizados pela ArcelorMittal Tubarão no município de Serra, no Brasil, que investe em reúso e dessalinização de água do mar. Projetos de segurança hídrica e atentos a eficiência energética. Em 2021 inauguraram projeto de dessalinização com capacidade de 500 m³/h. Similar no Chile destacamos os projetos da Codelco, que implantará planta de dessalinização com capacidade de processar 0,84 m³/s, expansível até 1,9 m³/s. Um grande passo para a empresa atingir sua meta de reduzir em 60% o consumo unitário de águas de fontes superficiais, um dos

seus principais compromissos com o desenvolvimento sustentável até 2030.

Exemplos e oportunidades que destacam na América Latina experiências em reúso e dessalinização, que somada as condições do continente será um fator importante para o desenvolvimento de projetos de hidrogênio verde.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações destacadas no texto, os argumentos e opiniões colocadas vão para enriquecer o debate das oportunidades na América Latina em especial para o mercado de água e efluentes, reúso e dessalinização, diante dos desafios atuais da economia global e mudanças climáticas. Considerações, complementações, dúvidas, mais detalhes e correções será satisfação correspondência por e-mail.

Eduardo Pedroza. Representante Brasileiro da ALADYR e Gerente de Novos Negócios da GS INIMA. epedroza@aladyr.net

Alejandro Sturniolo: Diretor da IDA e ALADYR
Global Head of Water Reuse & Strategic Partnerships na H2O Innovation.
alejandro.sturniolo@h2oinnovation.com

Marcio José: CEO do Aquapolo e membro da IDA e ALADYR. marciosi@aquapolo.com.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ZÜTTEL, A.; et al. Hydrogen: the future energy carrier. The Royal Society, 2010. Disponível em: royalsocietypublishing.org.
- (2) IEA, World Energy Balances: Overview, Paris. 2021. Disponível em: ww.iea.org/reports/world-energy-balances-overview
- (3) SADIGOV, R.; Rapid Growth of the World Population and Its Socioeconomic Result, 2022.

² Projeção com base nas estimativas de avanços tecnológicos.

Disponível em:
www.hindawi.com/journals/tswj/2022/8110229

(4) NASA^a, Global Climate Change. Disponível em: <https://climate.nasa.gov/>

(5) IPCC, Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>

(6) GARREAUD, R. Nasa: Global Climate Change Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/149463/chilean-volcano-low-on-snow>

(7) NASA^b: Global Climate Change Disponível em: <https://climate.nasa.gov/images-of-change?id=686#686-chiles-lake-aculeo-dries-up>

(8) BESWICK, R. R.; OLIVEIRA, A. M. YAN, Y. Does the Green Hydrogen Economy Have a Water Problem? 2021. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acseenergylett.1c01375>

(9) COMERC ENERGIA, 2021. Entenda a Importância do Hidrogênio Verde para o processo de descarbonização no Brasil Disponível em: <https://panorama.comerc.com.br/hidrogenio-verde>

(10) Governo do Ceará. Valor Econômico. 21/01/21. Disponível em: <https://valor.globo.com/patrocinado/governo-do-ceara/noticia/2021/10/21/parcerias-internacionais-colocam-o-ceara-na-dianteira-do-hidrogenio-verde.ghtml>