

Hidrogênio verde e usos múltiplos dos recursos hídricos: análise crítica de (integração de e entre) políticas públicas e legislação ambiental

Green Hydrogen and multiple uses of water resources: Critical Analysis of (integration of and between) public policies and environmental legislation

Hidrógeno verde y usos múltiples de los recursos hídricos: Análisis crítico de (integración de y entre) políticas públicas y legislación ambiental

Rafaela Ueked de Alvarenga Agostinho

Pesquisadora, UNESP, Brasil
ralvarenga.florestal@gmail.com

Luíz César Ribas

Professor Doutor, UNESP, Brasil
luiz.c.ribas@unesp.br

RESUMO

A utilização dos recursos naturais não renováveis (sobretudo os combustíveis fósseis) para fins de produção de energia está acelerando os problemas ambientais, além de interferir no equilíbrio ambiental, aumentar a produção de dióxido de carbono na atmosfera e contribuir para o aumento do efeito estufa. Atualmente estão sendo discutidas, dentro do escopo das políticas públicas/ambientais, questões de proteção ambiental, social e econômica para um melhor desenvolvimento sustentável e econômico do país. As mudanças climáticas estão cada vez tomando mais destaques entre as pautas importantes da atualidade. Este trabalho será apresentado como alternativa energética mitigadora das mudanças climáticas, qual seja, a produção do hidrogênio verde (H₂V) para a descarbonização do meio ambiente, substituindo a exploração de combustíveis fósseis. O objetivo deste trabalho foi demonstrar que a produção de H₂V, enquanto fonte de energia limpa, deve se pautar em dispositivos normativos que promovam o uso e a conservação de recursos naturais. Desenvolveu-se uma pesquisa exploratória e documental apoiada na abordagem dedutiva de algumas das principais leis e políticas que orbitam ao redor do tema central deste trabalho. Demonstrou-se que a proteção sustentável de H₂V prescinde, para tanto, da garantia do uso racional dos recursos naturais (florestais e hídricos, em especial). Esta garantia pode ser vislumbrada em dispositivos normativos tais como a nova Lei Florestal e a Política Nacional de Recursos Hídricos. Todavia, por conta de alguns “elos” de ligação (como, por exemplo, pagamento por serviços ambientais), uma série de outras normas ambientais deverão também ser referenciadas quando da produção sustentável de H₂V.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos naturais. Mudanças climáticas. Hidrogênio Verde.

SUMMARY

The use of non-renewable natural resources (mainly fossil fuels) for energy production purposes is accelerating environmental problems, interfering with the environmental balance and increasing the production of carbon dioxide in the atmosphere, contributing to the increase in the greenhouse effect. Within the scope of public/environmental policies, issues of environmental, social and economic protection are being discussed for better sustainable and economic development of the country. Climate change is increasingly taking center stage among today's important topics. This work will be presented as an energy alternative to mitigate climate change, that is, the production of green hydrogen (H₂V) for the decarbonization of the environment, replacing the exploitation of fossil fuels. The objective of this work was to demonstrate that the production of H₂V, as a source of clean energy, must be guided by regulatory provisions that promote the use and conservation of natural resources. Exploratory and documentary research was developed based on a deductive approach to some of the main laws and policies that revolve around the central theme of this work. It has been demonstrated that the sustainable protection of H₂V does not require ensuring the rational use of natural resources (forest and water, in particular). This guarantee can be seen in normative provisions such as the new Forest Law and the National Water Resources Policy. However, due to some connecting “links” (such as, for example, payment for environmental services), a series of other environmental standards must also be referenced when producing sustainable H₂V.

KEYWORDS: Natural resources. Climate changes. Green Hydrogen.

RESUMEN

El uso de recursos naturales no renovables (principalmente combustibles fósiles) con fines de producción de energía está acelerando los problemas ambientales, interfiriendo en el equilibrio ambiental y aumentando la producción de dióxido de carbono en la atmósfera, contribuyendo al aumento del efecto invernadero. En el ámbito de las políticas públicas/ambientales, se están discutiendo cuestiones de protección ambiental, social y económica para un mejor desarrollo económico y sostenible del país. El cambio climático ocupa cada vez más un lugar central entre los temas importantes de hoy. Este trabajo se presentará como una alternativa energética para mitigar el cambio climático, es decir, la producción de hidrógeno verde (H₂V) para la descarbonización del medio ambiente, sustituyendo la explotación de combustibles fósiles. El objetivo de este trabajo fue demostrar que la producción de H₂V, como fuente de energía limpia, debe estar guiada por disposiciones regulatorias que promuevan el uso y conservación de los recursos naturales. Se desarrolló una investigación exploratoria y documental a partir de un acercamiento deductivo a algunas de las principales leyes y políticas que giran en torno al tema central de este trabajo. Está demostrado que la protección sostenible del H₂V no requiere garantizar el uso racional de los recursos naturales (bosques y agua, en particular). Esta garantía se puede ver en disposiciones normativas como la nueva Ley Forestal y la Política Nacional de Recursos Hídricos. Sin embargo, debido a algunos “vínculos” de conexión (como, por ejemplo, el pago por servicios ambientales), también se debe hacer referencia a una serie de otras normas ambientales al producir H₂V sostenible.

PALABRAS CLAVE: Recursos naturales. Cambios climáticos. Hidrógeno verde.

1. INTRODUÇÃO

A utilização dos recursos naturais não renováveis e renováveis, sobretudo em face do crescimento da população e do nível de atividade econômica, não vem sendo realizada de forma sustentável e cuidadosa, conforme se depreende de autores tais como Jacobi et al. (2011).

As ações antrópicas no meio ambiente interferem no equilíbrio natural do planeta. A acelerada degradação ambiental, as queimadas, o desmatamento, o crescimento das cidades sem o devido planejamento e a produção de dióxido de carbono (CO₂) estão causando um impacto negativo no clima. Com a gravidade dos problemas ambientais, o mundo passou a se preocupar com as questões ambientais, sociais e econômicas (RAMOS, 1996).

Neste bojo, a exploração de combustíveis fósseis tem auxiliado no desenvolvimento econômico do mundo, porém o problema principal consiste em, além de ser um recurso natural não renovável, a sua queima e a queima do gás natural gera a produção de gases tóxicos que contribuem para o aumento do efeito estufa.

As questões políticas, sociais e econômicas começaram a ser discutidas, de uma maneira atrelada com a proteção ambiental, (biodiversidade, por exemplo), climáticas (mudanças climáticas) e mesmo alimentares (segurança alimentar), em Conferências Internacionais organizadas pela Organização das Nações Unidas (ONU) a partir da década de 70. Em 1972, a Conferência das Nações Unidas de Estocolmo, por exemplo, introduziu decididamente a importância de considerar em conjunto as questões do meio ambiente, do desenvolvimento econômico e da qualidade de vida (CASTELLA, 2012).

As mudanças climáticas, começaram a serem realmente enfrentadas a partir tanto da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (ECO-92), ocorrida no Rio de Janeiro.

Observe-se, conforme se depreende de autores tais como Teixeira (2017), que as mudanças climáticas são consideradas como sendo o principal fator resultante da concentração de gases do efeito estufa (GEE) a queima de combustíveis fósseis, contribuindo para a concentração de CO₂ na atmosfera.

As mudanças climáticas começaram a ser formalmente compromissadas pelas nações em desenvolvimento e desenvolvidos quando da formalização do protocolo de Kyoto, por ocasião da 3ª Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, realizada no Japão, em 1997.

Dentro deste escopo, ações de mitigação e adaptação aos efeitos ambientais decorrentes da geração de gases de efeito estufa, em especial, são consideradas a questão ambiental mais importante da atualidade. Esta relevância é tamanha que vem ensejando que as mudanças climáticas sejam tratadas como “emergência” climática, sendo que alguns até as tratam como “colapso” climático.

Mais recentemente, durante a Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, intitulada 21ª Conferência das Partes em Paris (COP21), foi elaborado o Acordo de Paris (elaborado em 2015 e ratificado por vários países em 2017). O Acordo de Paris tem o objetivo principal de estabelecer novas metas para a redução da emissão de dióxido de carbono na atmosfera a partir do ano de 2020 (BRASIL, 2017).

Diante disto, visando conter o aquecimento global, a descarbonização do meio ambiente, da economia e proporcionar um futuro sustentável, acabaram surgindo ações no

sentido de desenvolver fontes de energias sustentáveis e, neste contexto, uma das principais alternativa, dentre outras propostas de fomento ao desenvolvimento e uso de energias renováveis, apresentou-se o uso do hidrogênio (H_2) como opção de substituição de combustíveis fósseis (CAZANOVA, 2023).

O hidrogênio (H_2) é considerado uma fonte ideal de energia limpa, uma vez que, apesar do hidrogênio não ser um elemento puro, ele pode substituir os combustíveis fósseis devido a sua alta densidade de energia, capacidade de armazenamento, e por ser um elemento não poluidor. Ele pode ser encontrado na água e em hidrocarbonetos, sendo o processo eletrocatalítico da água a forma mais eficaz de produzir energia de hidrogênio, sendo então chamado de Hidrogênio Verde (H_2V), conforme dispõem Tong et. al. (2021).

Para ser considerado “Verde”, a produção do H_2 precisa ser pautada no processo de eletrólise da água, bem como valer-se de fontes de energia renováveis, tais como a solar ou a eólica. E, dentro deste aspecto, o H_2V vem sendo tratado inclusive como “Hidrogênio de baixo carbono”.

2. OBJETIVOS

Neste artigo pretendeu-se analisar algumas das principais bases normativas e diretivas políticas com o intuito de se propiciar uma relação sustentável entre a produção de H_2V e o uso racional de recursos naturais (com ênfase nos recursos hídricos e florestais), enquanto fonte de matéria-prima.

3. METODOLOGIA

Este trabalho foi conduzido por intermédio do desenvolvimento de uma pesquisa documental e exploratória, bem como de uma análise lógica dedutiva das principais fontes de informações de leis e políticas que versam, direta ou indiretamente, sobre o tema central aqui abordado (ponto geral), de modo a se sistematizar, analisar e identificar os principais elementos que viessem a proporcionar a consecução do objetivo central (ponto específico).

Neste sentido, consideraram-se, em termos de material pesquisado, documentos tais como a Constituição da República Federativa do Brasil (1988), o Novo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), sobretudo com respeito a tópicos tais como área de Reserva Legal e Área de Preservação Permanente, bem como a Política Nacional dos Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/1997.

4. RESULTADOS

O processo de produção do hidrogênio pode ser realizado de diversas formas para a produção de energia, podendo ser utilizado para diversas finalidades como consta na figura 1.

Figura 1 – Classificação do hidrogênio em escala de cores segundo o processo de produção.

Cor	Resumo do processo de produção do hidrogênio
Preto	Gaseificação do carvão mineral (antracito ¹) sem CCUS ²
Marrom	Gaseificação do carvão mineral (hulha ³) sem CCUS
Cinza	Reforma a vapor do gás natural sem CCUS
Azul	Reforma a vapor do gás natural com CCUS
Turquesa	Pirólise do metano ⁴ sem gerar CO ₂
Verde	Eletrólise da água com energia de fontes renováveis (eólica/solar)
Musgo	Reformas catalíticas, gaseificação de plásticos residuais ou biodigestão anaeróbica de biomassa ou biocombustíveis com ou sem CCUS
Rosa	Fonte de energia nuclear
Amarelo	Energia da rede elétrica, composta de diversas fontes
Branco	Extração de hidrogênio natural ou geológico

Fonte: Adaptado de EPE (2022)

Notas:

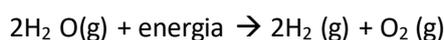
- 1 - Dos tipos menos ricos para os mais ricos em carbono: turfa, linhito, hulha e antracito, este último com mais de 86% de carbono;
- 2 – CCUS – Carbon Capture, Utilization and Storage
- 3 – A hulha possui entre 69 e 86% de carbono
- 4 – Entende-se pirólise de metano como pirólise de gás natural, visto que este é o principal componente do gás natural

Obs.: “CCUS se refere às técnicas de captura, utilização e armazenamento de carbono (do acrônimo em língua inglesa *Carbon Capture, Utilization and Storage*), cujo objetivo principal é impedir a liberação de CO₂ para a atmosfera” (EPE, 2021).

Note-se, particularmente no que diz respeito ao H₂V, que o processo ocorre por via da eletrólise da água, processo que utiliza corrente elétrica contínua, sendo apoiada em fontes de energias renováveis (eólica e solar) para separar o hidrogênio e oxigênio presentes nas moléculas de água, sem a emissão de poluentes (figura 2).

A obtenção de hidrogênio com base no processo de eletrólise da água apresenta aspectos interessantes em termos de eficiência energética. Isto porque a eletrólise alcalina tem uma eficiência energética da ordem de 61-82%, comparativamente à produção de hidrogênio por gás natural/reforma do metano à vapor (74-85%), carvão/termólise via gaseificação (74-85%), hidrocarbonetos/oxidação parcial de combustíveis fósseis (60/75%), biomassa/termólise via pirólise (35-50%) ou biomassa/termólise via gaseificação (35-50%), conforme sistematização de trabalhos realizada por De Lara et Richter (2023).

Além disto, os recursos hídricos são evidentemente parte essencial deste processo de eletrólise, uma vez que a água é purificada e enviada em seguida a um eletrolisador par a produção de hidrogênio e oxigênio, de forma totalmente livre da emissão de gases de efeito estufa, conforme se verificar, a partir dos autores mencionados, na equação abaixo.



De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2023), o hidrogênio verde, conhecido também como hidrogênio renovável, é considerado o combustível do futuro, capaz de suprir toda a demanda energética, se diferenciando das formas de energias tradicionais.

A Agência Internacional de Energia (IEA) (2023) afirmou que o hidrogênio verde desempenharia um papel importante na descarbonização de setores onde as emissões de gases do efeito estufa são difíceis de reduzir.

Figura 2 – Produção de hidrogênio verde (H₂V)



Fonte: IBERDROLA (2021)

É possível verificar, conforme disposto na figura acima, a relevância dos recursos hídricos dentro deste processo de produção de energia renovável e, conseqüentemente, verifica-se, igualmente, a importância de se garantir a sustentabilidade do uso dos recursos hídricos enquanto fonte de matéria-prima para a produção do H₂V.

Em busca de melhorias buscando proporcionar um futuro sustentável a fim de diminuir as emissões de gases de efeito estufa e visando conter principalmente a emissão de CO₂, uma das formas é a ampliação de produção do H₂V, considerado como fonte energética de H₂ de baixo carbono, em razão de proporcionar a energia renovável e limpa. Além disto, o H₂V pode ser utilizado na geração de energia elétrica, na indústria alimentícia, como combustível para os meios de transporte, dentre outras finalidades.

De acordo com FAPESP (2023), as principais fontes e rotas tecnológicas para a produção de hidrogênio (H₂) de baixo carbono (baixa emissão de carbono) seriam: i) reforma do etanol e de outros biocombustíveis ou *biomassas* (resíduos agrícolas ou *florestais*); ii) hidrogênio gerado a partir da eletrólise da *água* (H₂O) com uso de fontes renováveis (eólica, solar, hidráulica) ou de energia nuclear¹; iii) hidrogênio resultante do processo de reforma térmica do gás natural com *captura, sequestro e uso de carbono (CCUS)*; e, iv) *hidrogênio natural, que pode ser extraído do solo*, entre outros.

Verifica-se, portanto, que para efeitos da produção de H₂V, e mesmo de outras modalidades de produção de H₂ de baixo carbono, há uma forte interação com os recursos naturais (hídricos, florestais e edáficos, em especial).

¹ O Hidrogênio eletrolítico é considerado como sendo “verde” (FAPESP, 2023).

Observa-se, particularmente no que concerne ao H₂V, que os recursos hídricos são parte determinante do processo de produção de energia limpa.

Todavia, se este processo, por conta dos recursos hídricos, é sustentável ou não, irá depender de uma boa gestão ambiental que, além dos recursos hídricos venha a também considerar, pelo menos, os recursos florestais.

Isto porque, a relação de estreita interdependência entre recursos hídricos e recursos florestais pode ser corroborada sob diversos ângulos como, por exemplo, o fenômeno da interceptação da precipitação por parte da cobertura florestal (dossel, tronco, folhas, galhos, serrapilheira, etc.), conforme disposto em Caldato et Schumacher (2013).

Ademais, segundo os autores, diferenças fisionômicas e estruturais do dossel (o que pode ser compreendido, inclusive, como diferentes estágios sucessionais da floresta) influenciam a capacidade e a efetividade da interceptação da chuva e, no limite, do balanço hídrico.

Isto significa dizer que quanto melhor forem os recursos florestais (qualidade e quantidade), melhor em quantidade e qualidade também serão os recursos hídricos.

Isto para não mencionar, segundo Stiftung (2021), o processo de dessalinização da água do mar, o qual também pode ser levado em consideração para a realização da eletrólise da água para a obtenção do hidrogênio verde e que deve ser gerenciado no sentido de compatibilizar-se com a preservação dos recursos hídricos em geral, com a vida humana e com a conservação da fauna, principalmente em ambientes marinhos.

Além disto, diante dos desafios enfrentados pela seca, o uso da tecnologia para a dessalinização da água do mar favorecerá também o setor agrícola que enfrenta dificuldades com a falta das chuvas, contribuindo para produção de alimentos e conseqüentemente favorecendo a infraestrutura econômica do país, além de contribuir para a certificação da sustentabilidade de produtos agrícola, destacando-se na conservação do meio ambiente.

A relevância do H₂V para a geração de energia é dada não somente por questões ambientais (baixa ou nula emissão de carbono, fonte renovável, etc.), como também, econômicas.

Isto porque, o hidrogênio como combustível, muito embora ainda detenha um custo de produção da ordem de duas vezes superior ao custo de produção de hidrogênio a partir de fontes fósseis, por exemplo, apresenta um poder calorífico perto de três vezes maior do que o gás natural, a gasolina ou o diesel (FAPESP, 2023).

Entretanto para a realização da eletrólise da água, são necessários aproximadamente 9 litros de água doce para produzir 1kg de hidrogênio, porém como realizar este procedimento sendo que o acesso da água potável e saneamento ainda é escasso (STIFTUNG, 2021).

Desta feita, conforme verificado acima, a sustentabilidade da produção de H₂V depende fortemente da sustentabilidade da “produção” dos recursos florestais e hídricos, sendo que esta relação de interdependência enseja um processo efetivo de gestão ambiental dos recursos naturais.

4.1. H₂V e proteção legal ambiental

Esta interação/integração entre recursos hídricos e florestais, para fins da produção de H₂V, reporta direta e cabalmente, sob a ótica da proteção ambiental, à também

integração/interação das políticas e legislações pertinentes, como por exemplo, no âmbito infraconstitucional, a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal n. 9.433/97) e a nova Lei Florestal (Lei n. 12.651/2012), dentre outras (BRASIL, 1997; BRASIL, 2012).

Isto sem se mencionar a proteção ambiental dos recursos naturais (hídricos e florestais, em particular) consonante proporcionado pela legislação constitucional, qual seja, a Constituição da República Federativa do Brasil, promulgada em outubro de 1988, para não dizer as Constituições dos diversos Estados brasileiros.

Naturalmente que, dentro deste contexto, a questão da sustentabilidade dos recursos naturais dentro do processo de produção de H₂V deve ser ponderada, até porque, neste sentido, e considerando a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 dispõe-se que:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

... V - controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente (BRASIL, 1988 – *sublinhado nosso*)

Este processo de uso sustentável dos recursos naturais (hídricos e florestais, em particular) para a produção, comercialização e, naturalmente, exportação de H₂V, atrairia muitos investidores, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico sustentável do país, além de favorecer o cumprimento das diretrizes da Política Nacional dos Recursos Hídricos, Lei nº 9.433/1997, a saber:

Art. 2º São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;

II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;

III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

IV - incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais. (BRASIL, 1987 – *sublinhado nosso*)

Ademais, o imperativo a ser observado entre a produção de H₂V² e a sustentabilidade no uso de recursos naturais (com certa ênfase para os recursos florestais e hídricos) também pode ser observado em dispositivos normativos tais como, a Lei n. 12.651/2012, conforme o seguinte entendimento:

Art. 41º É o Poder Executivo federal autorizado a instituir, sem prejuízo do cumprimento da legislação ambiental, programa de apoio e incentivo à conservação do meio ambiente, bem como para adoção de tecnologias e boas práticas que conciliem a produtividade agropecuária e florestal, com redução dos impactos ambientais, como forma de promoção do desenvolvimento ecologicamente sustentável, observados sempre os critérios de progressividade, abrangendo as seguintes categorias e linhas de ação:

² Lembrando-se, em especial, a nova nomenclatura, qual seja, H₂ de baixa (para não dizer, nula) emissão de carbono.

I - pagamento ou incentivo a serviços ambientais como retribuição, monetária ou não, às atividades de conservação e melhoria dos ecossistemas e que gerem serviços ambientais, tais como, isolada ou cumulativamente:

a) o sequestro, a conservação, a manutenção e o aumento do estoque e a diminuição do fluxo de carbono;

b) a conservação da beleza cênica natural;

c) a conservação da biodiversidade;

d) a conservação das águas e dos serviços hídricos;

e) a regulação do clima;

f) a valorização cultural e do conhecimento tradicional ecossistêmico;

g) a conservação e o melhoramento do solo;

h) a manutenção de Áreas de Preservação Permanente, de Reserva Legal e de uso restrito. (BRASIL, 2012 – *sublinhado nosso*)

Registre-se, a este propósito normativo ainda que, para efeitos da conciliação entre produção sustentável de H₂V e uso sustentável dos recursos florestais e, naturalmente, hídricos (para não se mencionar os recursos edáficos, dentre outros), os seguintes elementos da nova Lei Florestal também deveriam ser considerados:

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

[...]

II - Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;

III - Reserva Legal: área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa; BRASIL, 2012 – *sublinhado nosso*)

4.2 H₂V e recursos hídricos e florestais

Verifica-se, das fontes energética sustentáveis derivadas do H₂, uma correlação/interdependência com atributos e recursos naturais, não somente em termos de recursos hídricos, como também, recursos florestais e edáficos.

Observa-se ademais, com respeito particularmente ao H₂V, que em termos de insumos para o processo de produção de energia, o foco principal são as fontes renováveis de energia eólica e solar, mas ainda não, também e necessariamente, nas fontes renováveis de recursos hídricos (estes considerados dentro do escopo do processo químico da eletrólise da água).

Verifique-se, neste sentido, que os estudos e pesquisas de H₂V estão mais focados na redução do custo considerando variáveis tais como disponibilidade e preço da energia elétrica renovável (eólica ou solar), bem como na capacidade da eletrólise e fabricação de eletrolisadores, além da construção das usinas de produção de H₂V, mas ainda não no custo da produção e conversão da água no referido gás, segundo se depreende, dentre outros, de Caroline Chantre, economista do Grupo de Estudos do Setor Elétrico (Gesel) da UFRJ, apud FAPESP (2023).

O Programa de Hidrogênio de Baixo Carbono pretende desenvolver a “cadeia de valor para toda a indústria de hidrogênio de baixo carbono, o que inclui equipamentos, componentes,

serviços e capacitação, sem pré-selecionar uma rota tecnológica ou outra”, nos dizeres de Marisa Maia de Barros, subsecretária de Energia e Mineração da Secretaria do Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo (SIMIL-SP), apud FAPESP (2023).

É de se aguardar, uma vez considerando-se que a responsabilidade de coordenação do referido programa estadual esteja sob o comando da SIMIL-SP, que a integração com os demais recursos naturais renováveis, sobretudo os florestais e os hídricos, venha a ocorrer por intermédio de aspectos tais como o Cadastro Ambiental Rural – Programa de Recuperação Ambiental (CAR-PRA), além de outros instrumentos de política ambiental como, por exemplo, Pagamento por Serviços Ambientais, dentre outros.

Isto para não se mencionar o potencial de integração com demais recursos naturais renováveis que estejam sob a coordenação de outras secretarias estaduais do estado de São Paulo, a exemplo da Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos (proteção e conservação de bacias hidrográficas, outorga de uso de água, dentre outros elementos).

E sem se falar, ainda, na integração com a gestão de recursos naturais renováveis que também é realizada no âmbito dos municípios paulistas.

E isto, sem se referenciar, no âmbito federal, programas, projetos e políticas tais como o Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 / Empresa de Pesquisa Energética e o Programa Nacional de Hidrogênio (PNH2) e, no âmbito estadual, a Rota Paulista Verde e o Programa de Hidrogênio de Baixo Carbono (FAPESP, 2023).

Logo, verifica-se que um processo de gestão integrada de recursos naturais renováveis, a partir da perspectiva da produção de H₂V pode e deve ser desenvolvido a partir das perspectivas federal, estaduais e municipais.

De qualquer modo, depreende-se de Ricardo Ruther apud FAPESP (2023), que o Brasil ainda carece de um marco regulatório e de políticas públicas de incentivo ao hidrogênio de baixo carbono (H₂V).

Espera-se que estas políticas públicas e essa regulamentação também venham a considerar a integração do H₂V com a (boa) gestão ambiental dos recursos naturais renováveis intrinsecamente a esta fonte sustentável de energia associados, sobretudo os recursos hídricos e os recursos florestais.

Em síntese, a produção sustentável de H₂V, dentro dos propósitos não só brasileiros, como também, mundiais, de combate às mudanças climáticas, à proteção ambiental e, por que não, à segurança alimentar, demandam que o uso dos recursos naturais, sobretudo os hídricos e os florestais, sejam utilizados igualmente de forma sustentável.

Trata-se, na verdade, de se garantir uma das principais vantagens comparativas sustentáveis do Brasil, enquanto nação em desenvolvimento, perante as nações desenvolvidas.

Até porque, de acordo com Soares (2023), o Brasil se reuniu recentemente com os líderes das maiores economias do Mercosul, da União Europeia (UE) e dentre os assuntos discutidos, discutiu-se economia e energias renováveis. Neste sentido, a Alemanha, por exemplo, antevê, no Brasil, um grande potencial para a produção do hidrogênio verde, podendo-se de transformar em um grande exportador global.

Finalmente, a produção e exportação de H₂V, enquanto tipo de fonte energética de baixa emissão de carbono, guarda estreita consonância com o Mecanismo de Ajuste de Fronteira de Carbono (*Carbon Border Adjustment Mechanism / CBAM*) que vem sendo instituído pela União Europeia. O CBAM trata-se de um imposto visando quantificar e precificar as

emissões dos produtos que são importados pelos países membros. O CBAM deve também afetar, por conseguinte, a exportação (e a competitividade) brasileira de produtos, tais como, cimento, ferro, aço, alumínio, fertilizantes, eletricidade e, naturalmente, hidrogênio (MACHADO, 2023).

Valeria a pena, a partir daquilo que exposto neste artigo, o registro de uma frase desafiadora para nós brasileiros: “[...] *A busca por soluções que facilitam o uso do hidrogênio como fonte energética comum e disseminada provoca uma corrida tecnológica em vários centros de pesquisa no mundo*” (VIEGAS, 2021, p. 4).

5. CONCLUSÃO

O assunto pautado neste trabalho teve como conclusão que o Hidrogênio Verde (H₂V) pode-se tornar um “commodity internacional” dentro do escopo da energia limpa.

Isto pode vir a propiciar que o Brasil venha a se tornar um grande produtor e exportador do produto para principalmente países da UE, contribuindo assim para a economia do país, além da preservação do meio ambiente.

Pode vir a ensejar que o Brasil promova uma substantiva contribuição em termos de mitigação das mudanças climáticas mundiais, sobretudo sob os auspícios do Acordo de Paris.

Todavia, para tanto, a produção sustentável do H₂V também deve vir a garantir, via dispositivos legais, normativos e políticos a serem construídos de forma integrada, a utilização sustentável de alguns de seus principais insumos, quais sejam, os recursos naturais, sobretudo os recursos florestas e os recursos hídricos.

Para isto, imagina-se que nem seria necessário formular-se novas políticas públicas/ambientais, desde que algumas das já existentes venham a ser efetivamente implementadas.

Registre-se que, no bojo da consideração destes dispositivos legais, uma série de outras leis e políticas, em especial aquelas relacionadas a temas como, por exemplo, pagamento por serviços ambientais, haveria que também ser coletada.

6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Chamada para projetos de hidrogênio renovável entra em consulta pública**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/chamada-para-projetos-de-hidrogenio-renovavel-entra-em-consulta-publica>. Acesso em: 17 out. 2023.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, [2016]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso: 05 out. 2023.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 06 out. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e nº 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 07 out. 2023.

BRASIL. **Acordo de Paris**. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento – SEPED Coordenação-Geral do Clima – CGCL. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-enc/acao-de-paris>. Acesso em: 05 out. /2023.

CALDATO, S. L.; SCHUMACHER, M. V. O uso da água pelas plantações florestais – uma revisão. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 507-516, jul.-set., 2013

CASTELLA, P. R. **Cronologia Histórica: Meio Ambiente**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 2012. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/educacao_ambiental/evolucao_historica_ambiental.pdf. Acesso em: 05 out. 2023.

CAZANOVA, C. M. T. **Hidrogênio verde: monitoramento científico e tecnológico**. 2023. Trabalho de conclusão de graduação. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/21157>. Acesso em: 07 out. 2023.

DE LARA, D. M. et RICHTER, M. F. Hidrogênio verde: a fonte de energia do futuro. **Novos Cadernos Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA) / Universidade Federal do Pará**, Belém, v. 26, n. 1, p. 413-436, jan-abr. 2023

EPE. **Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio**. 2021. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidrogeno%CC%82nio_23Fev2021NT%20\(2\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidrogeno%CC%82nio_23Fev2021NT%20(2).pdf). Acesso em: 06 out. 2023.

EPE. **Hidrogênio Azul: Produção a partir da reforma do gás natural com CCUS**. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-654/NT%20Hidrogenio%20Azul.pdf>. Acesso em: 06 out. 2023.

FAPESP. **Na rota do hidrogênio sustentável**. São Paulo: Pesquisa FAPESP, Ed. 333, nov, 2023. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/na-rota-do-hidrogenio-sustentavel/?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=Ed333&utm_id=nov2023. Acesso em: 09 nov 2023.

IBERDROLA. Diferença entre hidrogênio verde e azul. 2021. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/quem-somos/nossa-atividade/hidrogenio-verde/diferen%C3%A7a-hidrogenio-verde-azul>. Acesso em: 17 out. 2023.

IEA. International Energy Agency. Hydrogen. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/hydrogen>. Acesso em: 18 out. 2023.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ea/v25n71/10>. Acesso em: 02 out. 2023.

MACHADO, N. **Entenda o que é o CBAM da EU e qual o impacto para o Brasil**. Agência EPBR, 2023. Disponível em: https://epbr.com.br/entenda-o-que-e-o-ajuste-de-fronteira-de-carbono-cbam-da-ue-e-o-impacto-para-o-brasil/?utm_source=newsletters+epbr&utm_campaign=eef8efcf5-epbr-dialogos-da-transicao&utm_medium=email&utm_term=0_-eef8efcf5-%5BLIST_EMAIL_ID%5D. Acesso em: 03 out. 2023.

RAMOS, E. C. **Educação Ambiental: Evolução Histórica, implicações teóricas e sociais. Uma avaliação crítica**. 1996. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/29517/D%20%20ELISABETH%20CHRISTMANN%20RAMOS.pdf?sequence=1>. Acesso em: 02 out. 2023.

SOARES, J. P. Hidrogênio verde promete turbinar parceria Brasil-Alemanha. **Made for minds**. 2023. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/hidrog%C3%AAnio-verde-promete-turbinar-parceria-brasil-alemanha/a-64599718?maca=bra-vam-volltext-brasildefato-30219-html-copypaste>. Acesso em: 06 out. 2023.

STIFTUNG, H. B. (2021), **Hidrogênio verde: oportunidade para geração de energia limpa?** Disponível em: <https://br.boell.org/pt-br/2021/05/11/hidrogenio-verde-oportunidade-para-geracao-de-energia-limpa>. Acesso em: 05 out. 2023.

TEIXEIRA, M. D. J. (2017), **Investimentos para mitigação da emissão de GEE no Brasil: Perspectivas da Macroeconomia Ambiental**. Disponível em: file:///C:/Users/Windows/Desktop/2017_MariaDanieledeJesusTeixeira.pdf. Acesso em: 05 out. 2023.

TONG, R.; XU, M.; HUANG, H.; WU, C.; LUO, X.; CAO, M.; LI, X.; HU, X.; WANG, S.; PAN, H. (2021), 3D V–Ni₃S₂@CoFe-LDH core-shell electrocatalysts for efficient water oxidation. **International Journal of Hydrogen Energy**. v.46, p.39636-39644. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036031992103768X?via%3DiHub>. Acesso em: 05 out.2023.

VIEGAS, P. R. A. Perspectivas do “Hidrogênio Verde” no Brasil em 2021. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Maio 2021 (**Boletim Legislativo nº 90 de 2021**). Disponível em: https://ubrabo.com.br/wp-content/uploads/2021/06/Bol90_PauloRobertoAlonsoViegas-PERSPECTIVAS-DO-HIDROGENIO-VERDE-NO-BRASIL-EM-2021.pdf. Acesso em: 16 out. 2023.