

7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

ESTUDO DOS CRITÉRIOS UTILIZADOS NA ESCOLHA DA LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÃO DE UNIDADES DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE: UMA ANÁLISE DA LITERATURA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.7.24.XV-022>

Micheli dos Santos Quadri Costa, Caroline Rodrigues Vaz, Mauricio Uriona Maldonado
Universidade Federal de Santa Catarina, micheli.quadri@hotmail.com

RESUMO

As energias renováveis têm apresentado forte crescimento globalmente, porém recentemente ganharam um forte impulso, principalmente com a antecipação do esgotamento dos combustíveis fósseis, pois isso é motivado pelo aumento do temor quanto aos efeitos do aquecimento global provocado pela emissão de gases de efeito estufa sobre o meio ambiente. Apesar disso, a busca do Brasil para uma economia verde usando recursos de energia renovável ainda enfrenta grandes limitações que impactam negativamente no seu desenvolvimento, crescimento e comercialização. Estes podem incluir barreiras institucionais do quadro político, técnicas, políticas, financeiras e socioeconômicas. Embora a demanda por hidrogênio ainda seja baixa no Brasil, a região pode atender às demandas globais por hidrogênio verde como um importante fornecedor por causa de sua enorme base de recursos de energia renovável. Este trabalho tem como objetivo avaliar trabalhos científicos que discorrem sobre critérios utilizados na escolha da localização de instalações de geração de hidrogênio verde no Brasil. Para isso, foram revisados 18 artigos científicos e documentos governamentais relevantes, a fim de identificar os critérios mais frequentemente mencionados na literatura e nas diretrizes governamentais.

PALAVRAS-CHAVE: Energias renováveis, Estudo de localização, Hidrogênio verde.

ABSTRACT

Renewable energies have shown strong growth globally, but have recently gained a strong boost, especially with the anticipation of the depletion of fossil fuels, as this is motivated by increased fear of the effects of global warming caused by the emission of greenhouse gases on the environment. Despite this, Brazil's quest for a green economy using renewable energy resources still faces major limitations that negatively impact on its development, growth and commercialization. These can include institutional barriers within the political framework, technical, political, financial and socio-economic barriers. Although demand for hydrogen is still low in Brazil, the region can meet global demands for green hydrogen as an important supplier because of its huge renewable energy resource base. This work aims to evaluate scientific papers that discuss the criteria used to choose the location of green hydrogen generation facilities in Brazil. To this end, 18 scientific articles and relevant government documents were reviewed in order to identify the criteria most frequently mentioned in the literature and in government guidelines.

KEY WORDS: Renewable energies, Location study, Green hydrogen.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, riscos ambientais, as crescentes pressões sobre os recursos naturais, preocupações com a segurança do fornecimento de energia e aumento dos preços dos combustíveis estão entre as indicações de que a humanidade precisa se transformar (Bree; Verbong; Kramer, 2010).

Os principais responsáveis pelas mudanças climáticas são os gases de efeito estufa que são liberados na atmosfera, provocando grandes catástrofes naturais. Dessa forma, há uma mobilização mundial em busca de soluções para reduzir, de forma considerável, a emissão desses gases no setor econômico (Bezerra, 2021).

O Acordo de Paris estabelece um objetivo ambicioso de limitar o aumento da temperatura global abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais, com a intenção de limitá-lo a 1,5°C. Para atingir este objetivo, será necessário descarbonizar grande parte do sistema energético mundial que ainda depende fortemente de combustíveis fósseis poluentes. Para tanto, uma quantidade significativa de fontes renováveis de energia deve ser instalada e integrada, e setores que



demandam energia, como o transporte e a indústria, precisam ser descarbonizados em grande escala diminuindo o aquecimento global (Iea, 2019).

O investimento na energia verde do hidrogênio e nas energias renováveis é importante porque reduz a degradação ambiental e impulsiona a produção de energia sustentável e o consumo sustentável. Para tanto, um dos desafios chave do nosso século é aliar a produção industrial à sustentabilidade ambiental. O Brasil, como signatário do Acordo de Paris, comprometeu-se a diminuir as emissões de carbono em 37%, até 2025 e em 43%, até 2030 (Alvarenga, 2021).

O mercado do hidrogênio verde se demonstra gigantesco. De acordo com cálculos do Hydrogen Council, espera-se que o tamanho do mercado de hidrogênio verde seja responsável por cerca de 20% de toda a demanda de energia no mundo até 2050. Como resultado, o tamanho do mercado de hidrogênio verde é estimado em US\$ 2,5 trilhões em 2050, o que corresponde à metade do tamanho do mercado atual de petróleo (Alvarenga, 2021). Isto é, trata-se de uma indústria nascente, que poderá gerar enormes oportunidades de investimentos, tributos, emprego e renda no Brasil e, em particular, no Nordeste brasileiro, em razão de sua competitividade na geração de energia elétrica a partir das fontes renováveis solar e eólica, insumo utilizado para a produção do hidrogênio verde (Bezerra, 2021).

A escolha de um local inadequado pode gerar impactos ambientais e sociais negativos, como a degradação de áreas de preservação ambiental, conflitos com comunidades locais e impactos na fauna e flora da região. Portanto, um estudo de localização bem realizado pode minimizar esses impactos e reduzir os riscos da instalação de uma usina em um local inadequado. Logo, a utilização dos critérios corretos em um estudo de localização de um projeto desempenha um papel fundamental na obtenção de análises precisas e eficazes. Utilizar critérios adequados permitem uma compreensão abrangente das características e requisitos da região, possibilitando uma tomada de decisão embasada e robusta. No contexto de usinas de obtenção de hidrogênio verde, é importante ressaltar que esses critérios podem variar em termos de importância, dependendo do tamanho da usina e dos atores envolvidos.

O uso sustentável dos recursos naturais visando a redução das emissões de GEE podem ser alcançados pelo desenvolvimento de um processo limpo para a geração de energia, baseado em combustíveis renováveis (Dahunsi, et al , 2017). Como forma de mitigar esses problemas e trazer soluções na instalação da usina de produção de hidrogênio verde traz a importância da escolha de um local evitando que seja inadequado e possa gerar impactos ambientais e sociais negativos, como a degradação de áreas de preservação ambiental, conflitos com comunidades locais e impactos na fauna e flora da região. Portanto, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Energética (2021) um estudo de critérios de localização realizado corretamente pode contribuir para minimizar esses impactos e reduzir os riscos da instalação de uma usina em um local inadequado.

Desta forma, a grande questão é: “quais os critérios devem ser utilizados na escolha da localização de uma instalação de unidades para produção de hidrogênio verde no Brasil?” Diante desse questionamento, o objetivo deste estudo é avaliar trabalhos científicos que discorrem sobre critérios utilizados na escolha da localização de instalações de geração de hidrogênio verde no Brasil, discutidos pela literatura. Para isso, o estudo utiliza uma revisão estruturada da literatura, através do método SYSMAP, buscando identificar e compreender os critérios de localização. Além disso, as informações levantadas com base na literatura poderão ser utilizadas como um apoio para auxiliar os responsáveis pela seleção da localização de usinas.

O artigo está composto por quatro seções, na qual se inicia com esta seção de introdução. Em seguida, apresenta-se a metodologia utilizada para a elaboração do artigo. A seção 3 apresenta os resultados encontrados a partir da revisão realizada. Por fim, há a seção 4, composta pelas conclusões.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste resumo utilizou-se o método SYSMAP (Scientometric and Systematic yielding Mapping Process), que possui como objetivo apresentar uma forma estruturada dos principais processos para a realização de uma revisão da literatura (VAZ; URIONA MALDONADO, 2017). O modelo proposto por Vaz e Uriona Maldonado (2017) consiste em quatro fases, conforme Figura 1:



Figura 1 - Modelo SYSMAP

A primeira fase, de construção (I), baseia-se na definição das palavras-chave, de forma a obter uma busca eficiente para o estudo e a escolha das bases de pesquisa. Posteriormente, há a segunda fase de filtragem (II), onde identifica-se os artigos duplicados e o enquadramento/alinhamento dos artigos pelos títulos e resumos. A terceira fase, cientometria (III), contempla o mapeamento dos principais autores, periódicos e palavras-chave sobre o tema em análise. Há ainda, a análise sistemática e/ou análise de conteúdo (IV), formando a quarta fase. Soma-se as fases anteriores, a construção das lacunas de pesquisa do tema em estudo, pois após a leitura dos artigos, o pesquisador tem condições para propor oportunidades de pesquisa (VAZ; URIONA MALDONADO, 2017).

Neste resumo, a etapa de bibliometria não será realizada, dando foco somente para a análise de conteúdo (quarta fase). A construção da coleção de artigos desenvolveu-se a partir das bases de dados Web of Science e Scopus, o primeiro foi selecionado por poder alcançar todos os periódicos indexados com um alto fator de impacto calculado no JCR (Journal Citation Reports) (CARVALHO; FLEURY; LOPES, 2013) e o segundo, foi selecionado por ser o maior banco de dados de literatura revisada por pares (MORIOKA; DE CARVALHO, 2016). Para a pesquisa, fez-se uso da combinação de duas palavras-chave: “green hydrogen” AND “location”. Tal pesquisa, realizou-se até o período de abril de 2023, sem restrições temporais nas bases de dados. Na Figura 2 apresentam-se as etapas da pesquisa.

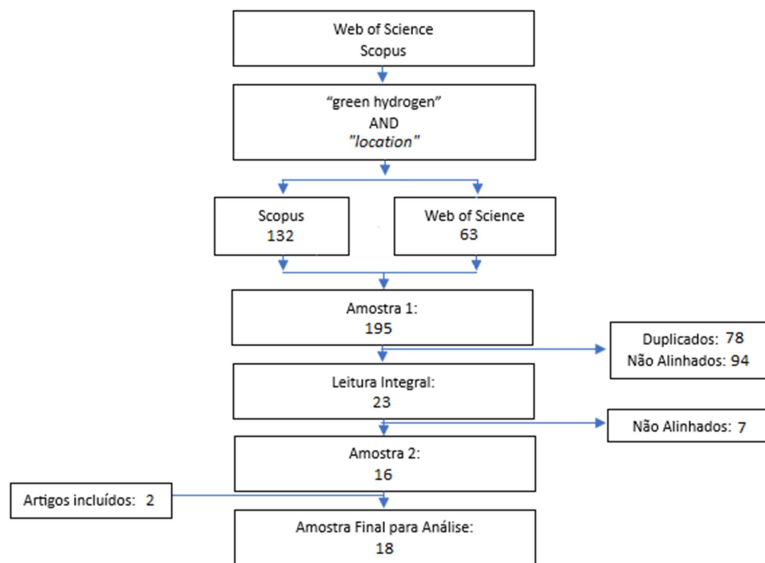
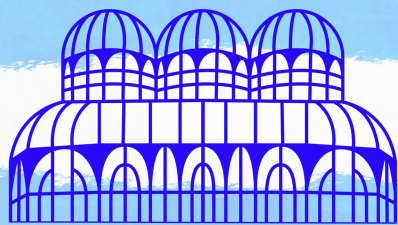


Figura 2 – Etapas da Revisão

Obteve-se 63 artigos na Web of Science e 132 resultados na segunda base, Scopus, totalizando 195 artigos (amostra 1). A filtragem ocorreu para remoção dos duplicados, além disso, os artigos foram submetidos à alinhamento dos títulos e resumos em relação ao objetivo da pesquisa, artigos que não estavam alinhados com o tema foram excluídos (técnicos, ou que não apresentavam informações sobre produção de hidrogênio verde) restando 16 artigos (amostra 2). Esses filtros têm a função de eliminar artigos indesejáveis e melhorar o processo de pesquisa, de modo a não dedicar tempo desnecessário à leitura em texto integral de artigos que não agregam valor ao objetivo de estudo. Posteriormente, procedeu-se a leitura na íntegra do conteúdo dos artigos selecionados, os quais foram analisados conforme ênfase de propósito do presente estudo. Ademais, incluiu-se na amostra mais 2 artigos, de relevância para o estudo e, que não estavam na amostragem, totalizando 18 artigos (amostra final). Para tanto, os trabalhos encontrados foram categorizados pela abordagem adotada para a produção de hidrogênio verde.

Para tanto, os trabalhos encontrados foram categorizados pela abordagem adotada para o estudo da contribuição da localização na construção de usina de produção de hidrogênio verde. Para o gerenciamento das referências bibliográficas e análise bibliométrica e de conteúdo, bem como tratamento dos dados foi utilizado o software EndNote X9, o qual facilita o trabalho de pesquisa, reunindo referências de bases de dados online, importando seus metadados e agrupando-os de diferentes maneiras.

Para análise de conteúdo, a partir da leitura dos artigos, optou-se pelo agrupamento de métodos de gerenciamento citados pelos autores da revisão. Sendo assim, a categorização resultou em:

- i) Hidrogênio;
- ii) Localização e critérios.

RESULTADOS

Hidrogênio

O hidrogênio foi descoberto no século XVIII, em 1766, é o elemento mais abundante no Universo e o mais leve, sendo também o mais simples da tabela periódica de Mendeleiev. É conhecido desde há centenas de anos como um gás que se obtém quando ácido sulfúrico diluído é posto em contato com o ferro, sendo inflamável no ar. Henry Cavendish mostrou que o gás hidrogênio se forma pela ação de ácidos como o clorídrico ou o ácido sulfúrico em contato com metais como zinco e o ferro. Ele também fez explodir misturas deste gás em contato com o ar com faíscas elétricas (1784), e encontrou um produto que parecia “água pura”. Mais tarde Antoine Lavoisier explicou os resultados de Cavendish, e deu ao gás o nome de “hidrogênio”, proveniente do grego “formar água”. Esta decomposição da água nos seus componentes fez cair a ideia, já há algum longo tempo estabelecida de que a água seria apenas formada por um elemento (SANTOS e SANTOS, 2015).



É considerado o quarto elemento de maior quantidade no planeta Terra e o mais comum no universo. Normalmente, encontra-se em forma de moléculas, estando associado a outros elementos químicos, por exemplo a molécula da água - H_2O (Bezerra, 2021).

Apesar disso, sua obtenção só pode ser feita a partir de processos químicos que envolvem outros elementos para separação de moléculas. Atualmente, esses procedimentos são realizados por meio de combustíveis fósseis, resultando no chamado hidrogênio cinza, cujo nome se dá por conta das emissões realizadas no processo de obtenção. O que diferencia o hidrogênio cinza e o hidrogênio verde é, portanto, o processo pelo qual o produto é obtido. Neste caso, os combustíveis fósseis são substituídos pelo uso de fontes renováveis, gerando uma produção energética mais sustentável (ALVARENGA, 2021).

O hidrogênio pode apoiar a segurança energética de várias maneiras. Quando implantado ao lado de uma infraestrutura de eletricidade, essa eletricidade pode ser convertida em hidrogênio e vice-versa. Sendo convertido a partir de outros combustíveis, possibilita aos usuários finais serem menos dependentes de recursos de energia específicos e aumenta a resiliência do abastecimento de energia. A economia do hidrogênio é uma proposta de economia futura baseada no uso do hidrogênio como fonte de energia (OLIVEIRA, 2022).

Tabela 1 - Classificação do hidrogênio em escala de cores segundo o processo de produção

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

Localização e critérios

A localização de instalações é uma tarefa complexa que envolve a análise de diversas variáveis (Mapa e Lima, 2012). Trata-se de um investimento significativo que requer uma visão de longo prazo a instalação de uma usina e fatores como: incidência de radiação solar, proximidade de linhas de distribuição de média tensão, tarifas locais e os impostos cobrados por estado podem ser críticos para o sucesso desse tipo de empreendimento, porém a determinação de terras adequadas para um uso específico é um processo complexo que envolve múltiplos aspectos que podem estar relacionados a aspectos biofísicos, socioeconômicos e técnicos (MESSAOUDI, 2019).

O Brasil tem uma posição de destaque para se tornar um grande exportador de hidrogênio de baixo carbono, por apresentar condições climáticas excelentes e com características favoráveis para geração de energia elétrica por meio de fontes eólicas, solar e hídricas (Oliveira, 2022).

Durante a análise dos estudos sobre a localização de usinas, foi adotada uma abordagem criteriosa para a seleção dos critérios utilizados neste estudo.

Foi estabelecido como critério mínimo de inclusão aqueles artigos que apareceram em pelo menos dois estudos diferentes. Essa escolha teve como objetivo garantir a representatividade e a robustez dos critérios selecionados, uma vez que sua recorrência em diferentes estudos indica sua importância na tomada de decisão sobre a localização das usinas de hidrogênio verde.

Considerando apenas os critérios que apareceram em dois estudos ou mais nos estudos, evitou-se a inclusão de critérios específicos de um único estudo, que poderiam estar mais relacionados a um contexto particular ou a uma abordagem específica. Essa abordagem visa garantir uma visão mais abrangente e generalizável dos critérios relevantes para a seleção da localização de usinas de hidrogênio verde. Desta forma, a seleção dos critérios utilizados neste estudo foi baseada em uma análise de literatura, buscando uma representatividade dos critérios mais mencionados e evitando a inclusão de critérios específicos de estudos isolados.

A utilização de critérios na escolha da localização mais citados nos estudos, sendo eles observados na figura 3: viabilidade econômica, radiação solar, velocidade do vento, topografia, distância de rede elétrica, distância de rodovias, disponibilidade de recursos hídricos e temperatura e uso do solo.

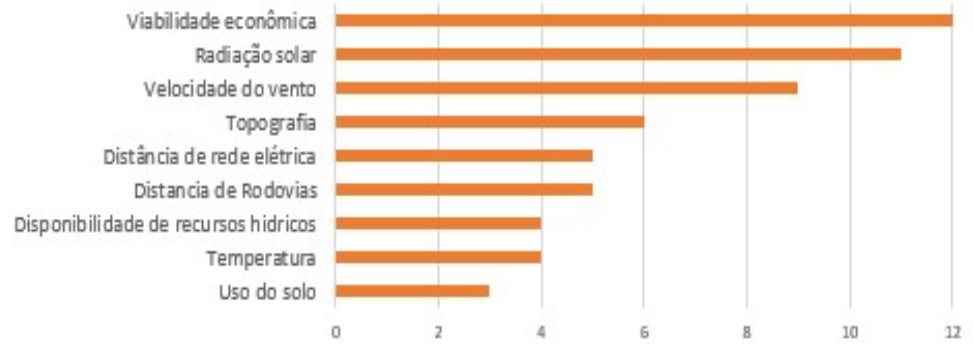


Figura 3 – Critérios mais citados nos estudos

A figura 3 apresenta um histograma com os dados referentes aos critérios mais citados nos estudos, sendo considerado a viabilidade econômica o maior critério citado doze vezes e uso do solo como o menor critério com somente três citações.

CONCLUSÕES

A presente pesquisa apresentou os artigos que dão ênfase ao estudo dos modelos de localização de facilidade com aplicação na produção de hidrogênio verde encontradas no Portal Capes. Foram analisados 18 artigos.

A produção do hidrogênio verde possuem grandes desafios, porém por ainda não haver um padrão para produção, existem dificuldades em elaborar procedimentos de produção para a indústria efetuar a reprodução, o que se torna fundamental os estudos em escala piloto.

A prospecção da redução de custos ao longo do tempo demonstra os valores agregados, o seu baixo impacto ambiental somando ao fato da redução da emissão de gases do efeito estufa, concluindo a viabilidade econômica como o critério de maior relevância dentre os nove critérios avaliados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarenga, Paulo. O Hidrogênio Verde e a transição para uma economia de baixo carbono. Revista Brasil Alemanha, outubro 2021. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d9/97/d9973c83-a742-4039-9e56-3e1c5dcba795/revistabrasilalemanha.pdf. Acesso em: 05 fev 2023.
- Bree, Bas van; Vergong, Geert; Kramer, Gert Jan. A multi-level perspective on the introduction of hydrogen and battery-electric vehicles. Technological Forecasting and Social Change, Elsevier BV, v. 77, n. 4, maio 2010. 529–540.
- Bezerra, Francisco Diniz. Hidrogênio Verde: Nasce um gigante no setor de energia. Caderno setorial ETENE, dezembro 2021. Disponível em: <https://cultura.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1109/1/2021_CDS_212.pdf>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2022.
- Carvalho, M. M.; Fleury, A.; Lopes, A. P. An overview of the literature on technology roadmapping (TRM): Contributions and trends. Technological Forecasting and Social Change, v. 80, n. 7, p. 1418-1437, 2013/09/01/2013.
- Dahunsi, S.O.; Oranusi, S.; Efevbokhan, V.E. Cleaner energy for cleaner production: Modeling and optimization of biogas generation from Carica papayas (Pawpaw) fruit peels. J. Environ. Manage, v. 156, p. 19-29, 2017.
- EPE. Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio. Rio de Janeiro. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil), 2021.
- IEA. Global EV Outlook 2019: ampliando a transição para a mobilidade elétrica. 2019a. Disponível em: <http://www.indiaenvironmentportal.org.in/content/464289/global-ev-outlook-2019-scaling-up-the-transition-to-electric-mobility/>. Acesso em: 21 out. 2022.



8. MAPA, Silvia Maria Santana; LIMA, Renato da Silva. Uso combinado de sistemas de informações geográficas para transportes e programação linear inteira mista em problemas de localização de instalações.. *Gestão & Produção, SciELO Brasil*, v. 19. 119–136 p, 2012.
9. MESSAOUDI, Djilali et al. GIS based multi-criteria decision making for solar hydrogen production sites selection in Algeria. *Hydrogen Energy*, 2019.
10. Morioka, S. N.; Carvalho, M. M. A systematic literature review towards a conceptual framework for integrating sustainability performance into business. *Journal of Cleaner Production*, v. 136, p. 134-146, 2016/11/10/2016.
11. Oliveira, Rosana Cavalcante. *Panorama do Hidrogênio no Brasil*. IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, ago 2022.
12. Santos, F. M. S.; Santos, F. A. C. M. . O Combustível “Hidrogênio”. *Revista Milenium*, n. 31, 2015.
13. Vaz, C. R.; Maldonado, M. U. Revisão de literatura estruturada: proposta do modelo SYSMAP (Scientometric and sYStematic yielding Mapping Process). In edição: C.R.Vaz; M.Uriona Maldonado. [S.I.]: *Aplicações de Bibliometria e Análise de Conteúdo em casos de Engenharia de Produção*, 2017. Cap.2, p. 21-42.