

PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO POR HIDRÓLISE: UMA ABORDAGEM BIBLIOMÉTRICA DOS PRINCIPAIS ASPECTOS

MAELE COSTA DOS SANTOS¹; JONES BITTENCOURT MACHADO²;
EMANUÉLLE SOARES CARDOZO³; CAROLINA DA SILVA SILVA⁴; WILLIAN
CÉZAR NADALETI⁵

¹Universidade Federal de Pelotas– maeledossantoseq@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas– jones.bittencourt@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – emanuellesoarescardozo@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas– carolina.eich17@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas– williancezarnadaletti@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A crescente industrialização e o aumento da população mundial levaram a um consumo exponencial de energia. Estimativas apontam que até 2050, espera-se que a demanda por energia duplique com o aumento populacional (1,12% ao ano). Com o esgotamento dos combustíveis fósseis e o aumento da degradação ambiental, a demanda por uma fonte de energia verde e sustentável tem recebido atenção do mundo inteiro (TAN et al., 2021; RAHMAN, KIBRIA e MULLINS, 2020; SU et al., 2021). Nesse sentido, o hidrogênio é uma fonte de energia verde, limpa, livre de carbono, com alto poder calorífico (120-142MJ/kg) e com potencial para atender as demandas futuras de energia (CAO e YU, 2014).

Atualmente o método mais utilizado para obtenção do hidrogênio é a reforma a vapor do metano. Entretanto, essa técnica, além de consumir fontes fósseis, também emite elevadas quantidades de CO₂ para a atmosfera. Aliado a isso, o armazenamento e transporte do hidrogênio se tornam os grandes gargalos desta produção (SU et al., 2021). Outros métodos para obtenção de hidrogênio como eletrólise, fermentação, foto-fermentação, pirólise, gaseificação, fotólise, e hidrólise fotocatalítica por exemplo, também apresentam desafios (NIKOLAIDIS e POULLIKKAS, 2017; LIU et al., 2020).

Os custos do processo e os riscos envolvendo o armazenamento e transporte do hidrogênio ainda continuam sendo um grande desafio deste setor. A obtenção em tempo real e a utilização *in loco* podem reduzir de maneira efetiva os desafios atrelados à produção de hidrogênio. A hidrólise de metais alcalinos, hidretos metálicos e compósitos de matriz metálica pode ser o método de preparação em tempo real mais promissor para geração imediata de hidrogênio com baixo risco (SU et al., 2021; ZOU et al., 2011). Portanto, considerando a necessidade de levantamento de informações sobre essa temática, esse estudo teve por objetivo avaliar o avanço das pesquisas de hidrogênio obtido por hidrólise através de uma pesquisa bibliométrica.

2. METODOLOGIA

A bibliometria é uma análise quantitativa que permite analisar o andamento, desafios e tendências de pesquisas de diversos ramos da ciência (YE, 2018). Para realização do mapeamento bibliométrico das pesquisas recentes da literatura científica internacional a respeito da produção de hidrogênio através da hidrólise, foi utilizado a base de dados *Scopus* para a coleta dos dados, utilizando a seguinte *string* de busca: (“*hydrolysis*” AND “*hydrogen generation*”). Esta pesquisa resultou

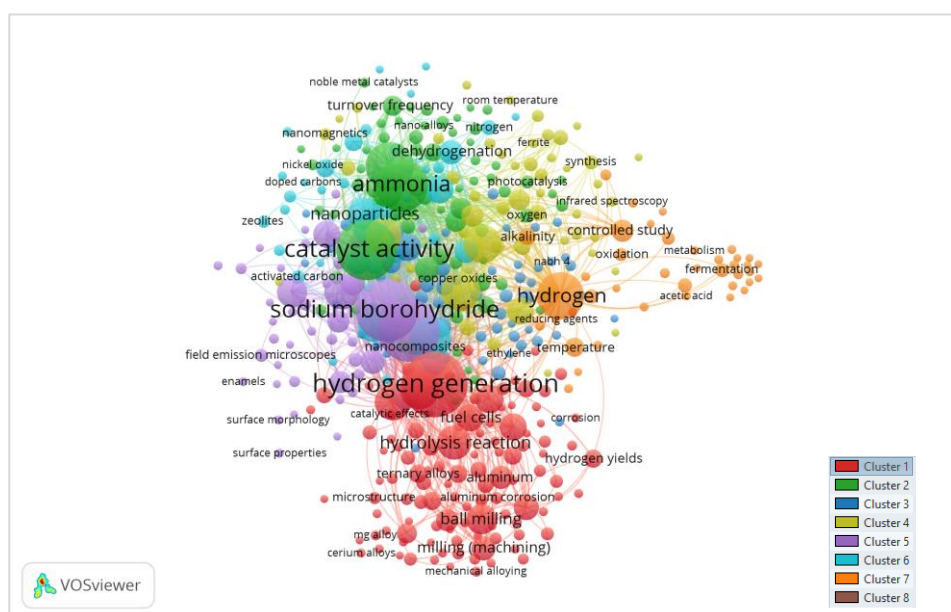
em 1931 documentos no total, entretanto alguns critérios foram aplicados como: somente artigos de pesquisa, idioma inglês, publicação em estágio final e espaço temporal de 5 anos (2019-2024). Demais publicações como artigos de revisão, capítulos de livros, livros e artigos de conferência não foram incluídos.

Logo, com a aplicação dos filtros os documentos foram baixados em formato .csv e tratados no *software* VOSviewer na versão 1.6.20 de acesso gratuito. Foram gerados mapas de rede de acoplamento bibliográfico de países com no mínimo 2 documentos por país e co-ocorrência de palavras-chave, utilizando o número mínimo de 5 ocorrências das palavras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão a pesquisa na *Scopus* resultou em 792 documentos, destes 155 são de acesso aberto. Vale destacar que Foram encontrados artigos a partir de 1960, entretanto somente a partir de 2003 que as publicações com esta *string* começaram a evoluir, e a partir de 2014 houve em media cerca mais 100 publicações ao ano nesta temática. Este estudo, porém concentrou-se apenas nos últimos 5 anos. A Figura 1 apresenta o mapa de rede de co-ocorrência de palavras-chave.

Figura 1. Rede de co-ocorrência de palavras-chave

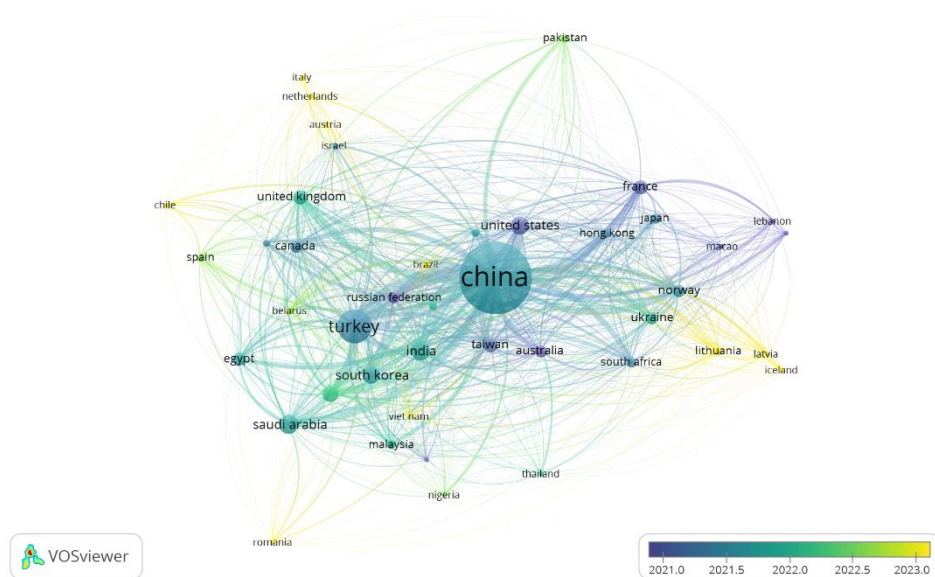


A análise de co-ocorrência de palavras-chave, estabelece uma relação entre os termos que aparecem nos títulos, nos resumos e nas palavras-chave das publicações. A pesquisa resultou em oito clusters (grupos de itens), separados por cores (Figura 1). O Cluster 1 (cor vermelha) apresentou no total 111 itens, com o maior nó sendo destinado para o termo geração de hidrogênio (*hydrogen generation*) com 310 ocorrências. Este cluster relaciona os principais materiais metálicos utilizados na hidrólise para geração de hidrogênio, como ligas de: índio, gálio, lítio, níquel, cério, zinco, magnésio, bismuto e alumínio aparecem. Outros materiais como alumina, compostos de cloro, compostos de cálcio, compostos de magnésio, compostos de silicone, zircônio e de sódio, bem como grafite aparecem entre os termos recorrentes. Parâmetros físicos que influenciam no processo como

corrosão (6 ocorrências), células a combustível (56 ocorrências) e moagem de bolas (69 ocorrências). O Cluster 2 (cor verde), apresentou um total de 73 itens, com os termos “*Catalyst activity*” e “*ammonia*”, com maior número de ocorrências , 267 e 202, respectivamente. Este cluster relaciona metais e processos catalíticos, como a fotocatalise, em que “*photocatalysis*” ocorreu por 13 vezes. Termos como: nanocompósitos (21); nanopartículas de TiO₂ (8); hidrólise de NaBH₄ (6); líquidos iônicos (8); nanopartículas de platina (7) e catálise com metais não nobres (8), apareceram neste grupo. O Cluster 3 (azul forte) de difícil visualização na Figura 1, apresentou um total de 54 termos, com alguns termos como: nanopartículas bimetálicas (12); quitosana (9); grafeno (33); energia solar (6); metais de transição (14); nanofolhas (22); ácido fórmico (5); etileno (5) e catálise monolítica (7).

O Cluster 4 (em amarelo), apresentou um total de 52 itens, com palavras como: *catalyst* (catalisador) com 116 ocorrências, *catalysis* (catálise-16 ocorrências); cobalto (99); derivado de borano (17); evolução do hidrogênio (36); cobre (21); química verde (5); tamanho de partícula (54) e paládio (17). O Cluster 5 apresenta 45 termos, voltados à morfologia da partícula, aos metais utilizados e aos processos associados. O termo *sodium borohydride* (borohidreto de sódio) ocorreu 283 vezes, seguido por energia de ativação (279) e compostos de cobalto (92). Outros termos como: reutilização (56); nanotubos (9); propriedades de superfície (7) e nanotubos de carbono de paredes mutiplas (7); também ocorreram. O Cluster 6 (azul fraco), com 41 itens no total, apresenta termos relacionados à química do processo de eletrólise e também aspectos da produção de hidrogênio. Alguns termos são destacados como: armazenamento de hidrogênio (126); carvão ativado (15); zeólitas (11); materiais porosos (25); desidrogenação (45). O Cluster 7 (cor laranja) com total de 39 itens, apresenta termos relacionados à condições biológicas para a produção de hidrogênio, como fermentação (15); microrganismos (6); pH (15); metabolismo (7); biomassa (5); ácido acético (7); tratamento de águas residuárias (6); alcalinidade (23) e hidrogênio (161). O Cluster 8 apresentou somente o termo titânio com ocorrência de 5 vezes. A Figura 2 apresenta o mapa de rede do acoplamento bibliográfico dos países,

Figura 2. Acoplamento bibliográfico de países sobre hidrogênio via hidrólise



O acoplamento bibliográfico ocorre quando dois documentos distintos referenciam ao menos uma publicação em comum (GRÁCIO, 2016). Na Figura 2

é possível observar o gradiente de coloração, quanto mais próximo o nó (círculo), estiver do amarelo mais recente é o documento. A China possui o maior número de publicações para a *string* utilizada com 470 documentos, seguida por Peru com 110 artigos, Arábia Saudita com 34 publicações, Índia e Estados Unidos, com 33 e 32, respectivamente. O Brasil apresenta apenas 5 publicações para a *string* utilizada, entretanto são pesquisas recentes, assim como em países como o Chile, Itália, Áustria, Lituânia e Romênia, por exemplo que apresentam publicações nos últimos anos.

4. CONCLUSÕES

A pesquisa realizada mostrou o avanço dos nanomateriais, nanocompósitos e nanotubos de carbono no processo de hidrólise para obtenção de hidrogênio, bem como a procura por metais não-nobres e de baixo custo. Ligas metálicas estão sendo amplamente utilizadas, bem como soluções alcalinas para a realização do processo. Outros metais, especialmente o alumínio estão sendo bastante utilizados no processo. Em se tratando de países dominantes nesta área, a China apresentou o maior número de publicações para esta pesquisa. O Brasil ainda mostra-se incipiente em pesquisas de hidrólise para obtenção de hidrogênio, demonstrando que mais estudos devem ser realizados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAO, Shaowen; YU, Jiaguo. g-C₃N₄-based photocatalysts for hydrogen generation. **The journal of physical chemistry letters**, v. 5, n. 12, p. 2101-2107, 2014.
- GRÁCIO, Maria Cláudia Cabrini. Acoplamento bibliográfico e análise de cocitação: revisão teórico-conceitual. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 21, n. 47, p. 82-99, 2016.
- LIU, Yuying et al. Au-Cu nanoalloy/TiO₂/MoS₂ ternary hybrid with enhanced photocatalytic hydrogen production. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 820, p. 153440, 2020.
- NIKOLAIDIS, Pavlos; POULLIKKAS, Andreas. A comparative overview of hydrogen production processes. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 67, p. 597-611, 2017.
- RAHMAN, Mohammad Ziaur; KIBRIA, Md Golam; MULLINS, Charles Buddie. Metal-free photocatalysts for hydrogen evolution. **Chemical Society Reviews**, v. 49, n. 6, p. 1887-1931, 2020.
- SU, Ming et al. Thermodynamics, kinetics and reaction mechanism of hydrogen production from a novel Al alloy/NaCl/g-C₃N₄ composite by low temperature hydrolysis. **Energy**, v. 218, p. 119489, 2021.
- TAN, Mengxi et al. Engineering of g-C₃N₄-based photocatalysts to enhance hydrogen evolution. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 295, p. 102488, 2021.
- YE, C. Bibliometrical analysis of international big data research: Based on citespace and VOSviewer. **International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery**, p. 927-932, 2018.
- ZOU, Mei-Shuai et al. The preparation of Mg-based hydro-reactive materials and their reactive properties in seawater. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 36, n. 11, p. 6478-6483, 2011.