

PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO A PARTIR DA REFORMA A VAPOR: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Ana Beatriz Lima Moreira - anabeatriz_lm@hotmail.com

Helton Carlos Marques Sampaio

Claudecir Fernandes de Freitas Moura Júnior

Renno de Holanda Sousa

Francisco Elmo Lima Uchoa Filho

Carla Andrade de Freitas

André Valente Bueno

¹Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Mecânica

Resumo. Diante do fato de que 60% da matriz elétrica mundial utiliza combustíveis fósseis como principal fonte de energia e as consequências que isso tem causado ao meio ambiente, o incentivo pela descarbonização tornou-se cada vez mais necessário e tem-se buscado alternativas para amenizar este problema. Nesse viés, os biocombustíveis aparecem como uma alternativa interessante devido à possibilidade de captura de carbono na sua produção. A produção de biodiesel tem como consequência a formação do glicerol, diante disso, encontrar um destino final para este subproduto é necessário. O processo de reforma a vapor do glicerol consegue atingir conversão gasosa superior a 90% em massa, tendo como resultado quantidades satisfatórias de hidrogênio. O trabalho propõe analisar os documentos presentes na base SCOPUS referentes a reforma a vapor de reagentes em geral e especificamente do glicerol por meio do pacote Bibliometrix R. A análise foi realizada no intervalo temporal 2014-2023 e conseguiu encontrar pouco mais de 5,5 mil documentos ao redor do mundo. Foi possível observar o crescimento das publicações ao longo do tempo para pesquisas relacionados ao processo de reforma a vapor, especialmente para o período de 2019 a 2023, o que não se repete quando o foco é o glicerol, desta forma, é possível entender que as pesquisas de reforma a vapor do glicerol ainda não foram atingiram o seu potencial máximo, tendo então espaço para preencher as demais lacunas existentes no estado da arte deste tema.

Palavras-chave: Biodiesel, Glicerol, Bibliometrix R.

1. INTRODUÇÃO

A atual ameaça de crise climática mundial, quando confrontadas com um cenário mundial no qual mais de 60% da matriz de geração de energia elétrica utiliza combustíveis fósseis como fonte primária (IEA, 2022), pede regulamentações cada vez mais rigorosas com relação às emissões de gases poluentes na atmosfera. Diante deste cenário surgem alternativas à matriz energética majoritária, dentre as quais os biocombustíveis se destacam como um substituto renovável. Embora os biocombustíveis também emitam poluentes na sua combustão, diferentemente dos combustíveis fósseis, eles se apresentam como um vetor de captura de carbono da atmosfera, o que reduz em grande parte o seu potencial poluente. Além disso, a implantação de biocombustíveis na matriz energética existente é facilitada pelo fato de utilizar grande parte da infraestrutura existente.

Enquanto o etanol está em evidência como a solução mais promissora para substituir a gasolina, o biodiesel se encontra em posição equivalente na substituição do diesel. Isso, em grande parte, é devido ao fato de que, para o consumo de ambos os biocombustíveis, são necessárias poucas modificações nos motores a combustão interna já existentes. Além disso, as suas tecnologias de produção são simples (Agarwal, 2007) e amplamente difundidas no mercado. Embora o biodiesel possa ser produzido a partir das mais diversas matérias primas, como óleos vegetais, algas e gorduras animais, (Akram *et al.*, 2022), um único processo domina a produção do biodiesel, denominado transesterificação, no qual um álcool reage com uma cadeia curta com um triglicerídeo para produzir biodiesel e glicerol. Enquanto o biodiesel é o produto final do processo, o glicerol é um subproduto de volume considerável que não tem igual aproveitamento, tornando-se um rejeito industrial de grande impacto ambiental. Desta forma, o potencial sustentável do biodiesel está intrinsecamente relacionado ao destino final do glicerol (Ambat *et al.*, 2018).

Uma das linhas de pesquisa que apresenta grande potencial de mitigação do problema do glicerol na cadeia produtiva do biodiesel é o seu pós-processamento em gás de síntese. O elevado teor de hidrogênio existente na molécula de glicerol e a facilidade no seu manuseio (Pompeo, 2010), o faz extremamente vantajoso como reagente no processo de produção de gás H₂. Neste contexto, processos térmicos como pirólise e reforma a vapor — que convertem compostos orgânicos em gás de síntese, constituído essencialmente por H₂, CO e CO₂ — são amplamente aplicados para a obtenção de hidrogênio puro (Ramos, 2011), tendo ganhado atenção nos últimos tempos (Rathore, 2016). O processo de pirólise consiste em uma decomposição térmica que, no caso do glicerol, produz um gás de síntese com uma conversão gasosa de até 70% em massa. Já o processo de reforma a vapor consiste em uma reação endotérmica na qual o glicerol, nesse caso, na presença de um catalisador, reage com a água produzindo o gás de síntese. A reforma a vapor pode apresentar

conversões gasosas acima de 90% em massa, o que o torna mais atrativo no processamento do glicerol (Fantozzi *et al.*, 2016).

Em um trabalho, Mehrpooya (2020), apontou segundo seus resultados que, no processo de reforma a vapor do glicerol, há aumento da eficiência e redução das emissões poluentes quando realizada a integração com unidades geradoras de energia e plantas de produção de biodiesel. Além disso, a reforma do glicerol bruto para produção de hidrogênio e conversão em eletricidade pode aumentar a viabilidade econômica das usinas de biodiesel (Ziyai *et al.*, 2019). Por outro lado, devido ao fato de as reações serem extremamente endotérmicas, as melhores condições para a produção de hidrogênio são a temperaturas elevadas, superiores a 600°C, o que tende a elevar consideravelmente os custos do processo (Ramos, 2011).

Diante das possibilidades e percalços envolvendo biodiesel e, em especial, o pós-processamento do glicerol, o presente trabalho visa a contribuir com uma visão geral sobre produção de hidrogênio a partir da reforma a vapor, em um primeiro momento tratando da reforma para combustíveis em geral e, em seguida, especificando para a reforma do glicerol. Para tanto, será realizada uma revisão de literatura utilizando a base de dados Scopus a fim de adquirir métricas sobre a evolução da produção científica nesta área nos últimos anos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente, utilizou-se a base de dados Scopus para buscar artigos de pesquisa relacionados à produção de hidrogênio por meio da reforma a vapor com as palavras “*steam reforming*” e “*hydrogen*”, palavras estas que se encontram no título, resumo ou palavras chaves dos trabalhos. Em seguida uma segunda busca foi realizada, acrescentando-se a palavra “*glycerol*” para limitar a pesquisa à reforma a vapor utilizando glicerol como reagente. No refinamento das buscas, as publicações foram limitadas ao idioma inglês, foram agrupadas em períodos de um ano e limitadas às mais recentes; a partir de 2014. Utilizando o pacote *Bibliometrix R*, na primeira busca foram encontrados 5.161 documentos e na segunda 356, as informações preenchem a Tab. 1.

Tabela 1 – Informações gerais dos dados sobre reforma a vapor.

CRITÉRIOS	DADOS	
Termos de Busca	" <i>steam reforming</i> " e " <i>hydrogen</i> "	" <i>steam reforming</i> ", " <i>hydrogen</i> " e " <i>glycerol</i> "
Intervalo de Tempo	2014 - 2023	2014 - 2023
Fontes	813	117
Quantidade de Documentos	5.161	356
Anos Médios de Publicação	4,08	4,27
Média de Citações por Documento	22,38	26,38

A partir de cada busca, dados como a produção científica anual, fontes de pesquisa mais relevantes, crescimento das fontes de pesquisa e afiliações mais importantes foram obtidos. A análise destes dados é discutida no capítulo de resultados, a seguir.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante dos dados obtidos com as duas pesquisas foram realizadas análises acerca do que está sendo pesquisado dentro desses temas. Neste capítulo, com a ajuda de recursos gráficos, são analisados os principais fatores acerca do tema.

3.1 Produção científica anual

A produção científica sobre o processo de reforma a vapor tem se intensificado para diferentes tipos de combustíveis (Kaiwen, 2018). A Fig. 1 mostra o número de publicações anuais relacionadas à reforma a vapor nos últimos 10 anos para os dois casos.

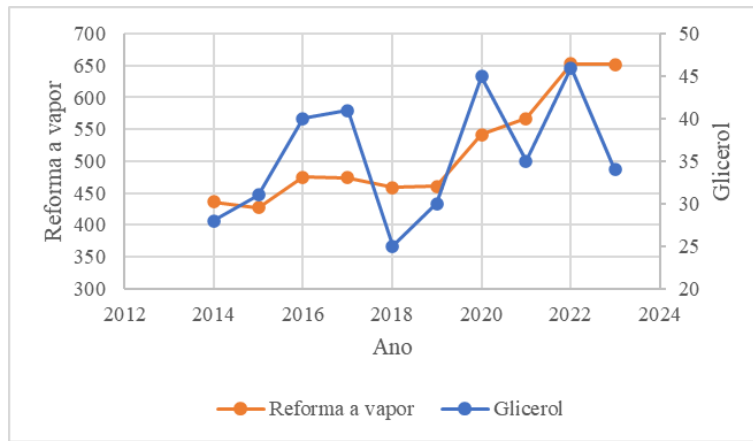


Figura 1 – Produção Científica Anual.

A partir da análise dos gráficos, é fácil perceber que pesquisas em reforma a vapor têm aumentado consideravelmente no período analisado, ao passo que os estudos envolvendo reforma para glicerol são inconstantes, embora estejam numa tendência de crescimento. O ano de 2018 representa a maior queda com relação a anos anteriores para ambas as buscas, com uma queda de 15 publicações no total, e de 16 publicações relacionadas a glicerol, indicando que possivelmente a reforma a vapor do glicerol foi a única linha de pesquisa de reforma a vapor relevante com queda naquele ano.

O crescimento com relação às pesquisas de reforma a vapor se deve provavelmente devido ao destaque relacionado ao hidrogênio, produto da reação, que tem sido cada vez mais relevante na temática energética principalmente devido ao seu elevado potencial energético.

3.2 Fontes mais relevantes

A Fig. 2 mostra as 10 fontes mais relevantes nas publicações acadêmicas sobre o tema geral e especificamente apenas para glicerol.

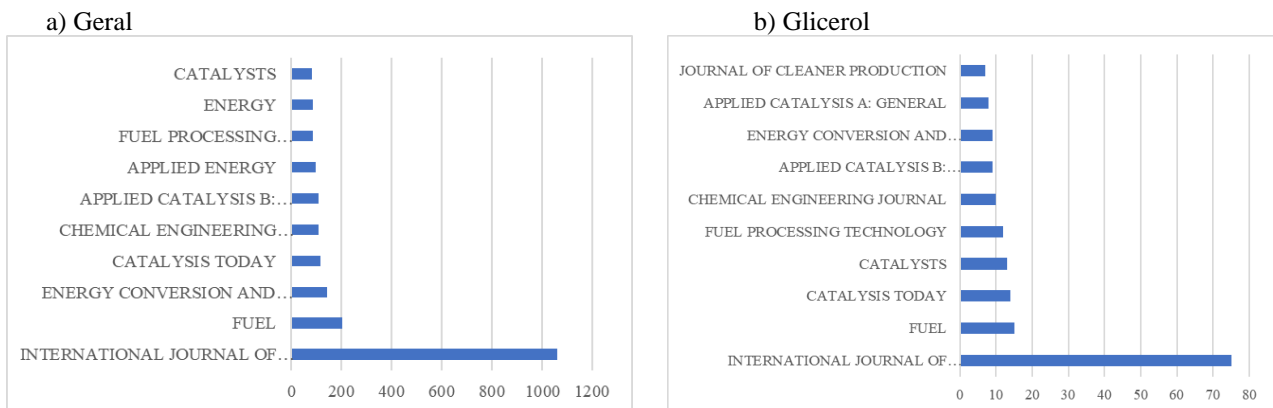


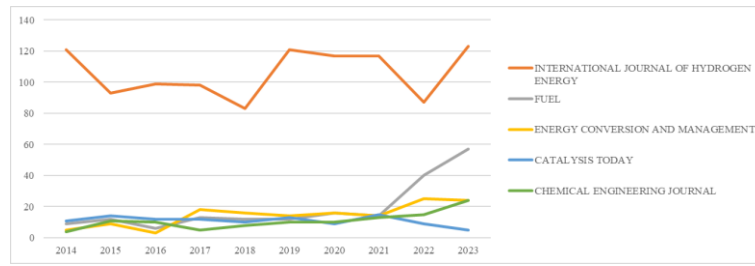
Figura 2 - Fontes mais relevantes sobre reforma a vapor a) geral, b) com glicerol.

Através da análise dos gráficos, observa-se que em ambos os casos há um destaque da revista *International Journal of Hydrogen Energy*, com 1.059 trabalhos publicados no período, dentre os quais 75 são relacionados a glicerol. As demais fontes somadas totalizaram 1033 publicações relacionadas à reforma a vapor, dentre as quais 97 abordam o glicerol. Além disso, 8 das fontes são comuns a ambos os gráficos, indicando que as fontes mais relevantes em pesquisas sobre reforma a vapor, também pesquisam com glicerol.

3.3 Publicações por fonte a cada ano

Os gráficos da Fig. 3 mostram o número de publicações produzidas pelas 5 fontes mais relevantes a cada ano nos últimos 10 anos. O primeiro gráfico indica as publicações relacionadas à busca por reforma a vapor em geral, ao passo que o segundo gráfico indica publicações relacionadas a glicerol.

a) Geral



b) Glicerol

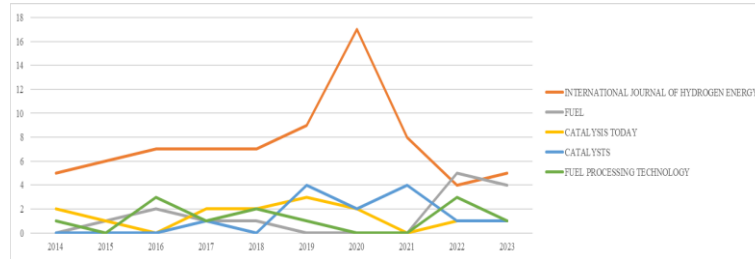


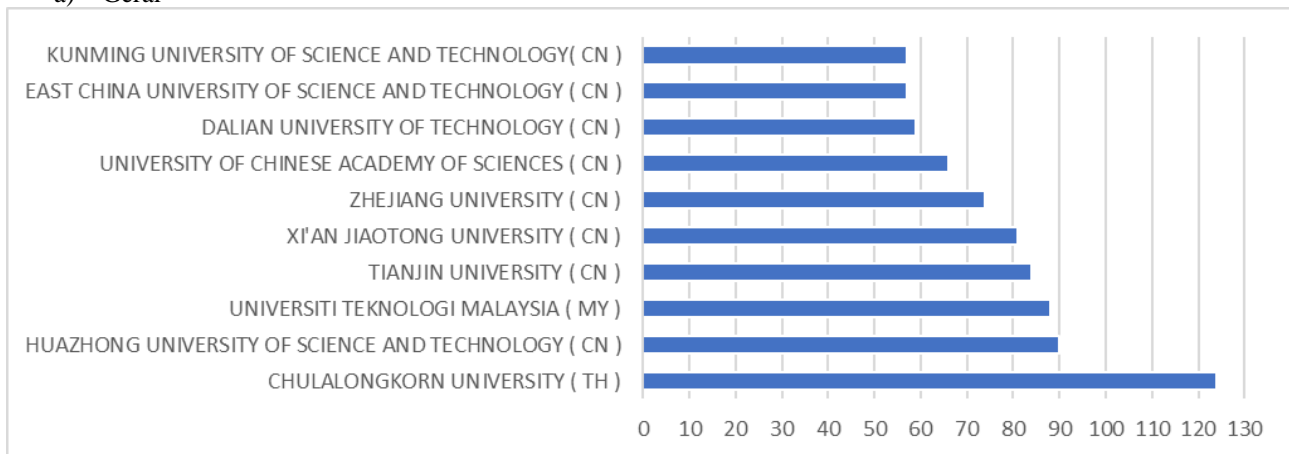
Figura 3 - Crescimento da fonte a) geral, b) glicerol.

Por meio dos gráficos é possível observar uma relativa constância nas publicações, indicando um forte interesse nestas linhas de pesquisa, e, além disso, uma possível consolidação, ou mesmo crescimento, de estudos nessa área. As fontes *International Journal of Hydrogen Energy*, *Fuel* e *Catalysis Today* se destacam por aparecer em ambas as análises, enfatizando, assim, sua importância neste tema. Dentre as três fontes citadas, o *International Journal of Hydrogen Energy* lidera quando o assunto é reforma a vapor de diferentes combustíveis. Entretanto, quando se trata do glicerol, o seu pico de publicações de 2020 é sucedido por uma queda que o equipara às publicações da *Fuel*, que por sua vez apresentou um crescimento considerável em 2022.

3.4 Afiliações mais relevantes

A Fig. 4 apresenta gráficos de quantidade de publicações das principais afiliações nos temas buscados. O primeiro gráfico apresenta as afiliações mais importantes com relação à reforma a vapor, dentre as quais se destaca a *Chulalongkorn University* com 124 artigos, 34 a mais que a segunda colocada, *Huazhong University of Science and Technology*. Já quando a pesquisa é limitada ao processo com o glicerol, o destaque é a *Kunming University of Science and Technology*, com 20 publicações, 2 a mais que a segunda colocada.

a) Geral



b) Glicerol

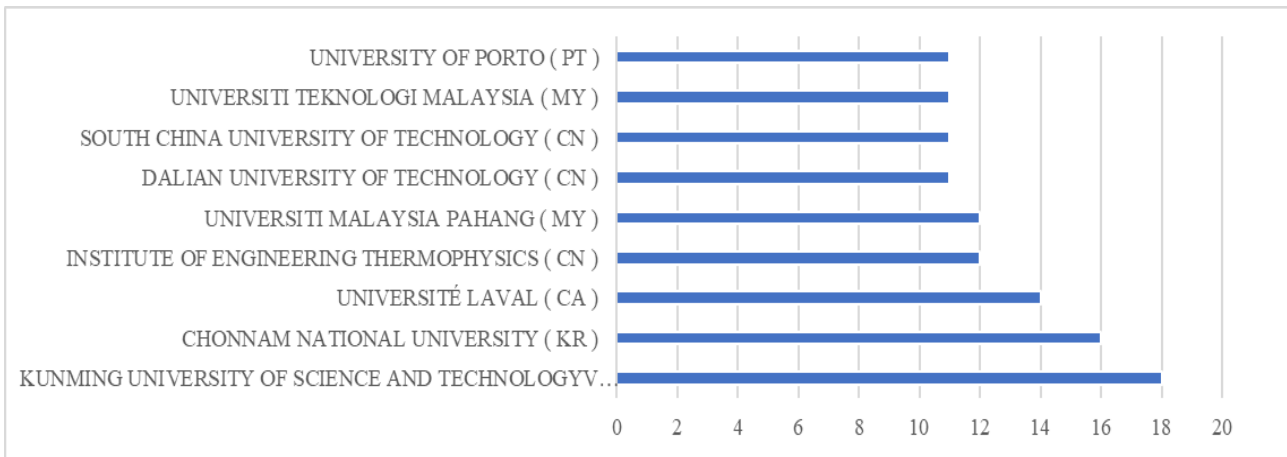


Figura 4 - Afiliações mais importantes para reforma a vapor a) geral, b) glicerol.

Analisando-se os gráficos é interessante notar que 8 das 10 instituições com mais publicações em reforma a vapor são chinesas, embora no primeiro lugar se destaque uma instituição tailandesa. Quanto o escopo se reduz ao glicerol, embora a China ainda tenha maior representação e a instituição líder em publicações, percebe-se uma maior diversidade de nacionalidades nas principais instituições. Além disso, apesar de algumas afiliações — a saber *Kunming University of Science and Technology*, *Universiti Teknologi Malaysia* e *Dalian University of Technology* — se destacarem em ambas as buscas, assim como para as nacionalidades, existe uma dispersão no tocante às afiliações de destaque. Além disso, é evidente uma menor concentração de publicações quando comparados com os gráficos da Fig. 2, o que reforça a constatação de dispersão nas pesquisas envolvendo tanto reforma a vapor como glicerol.

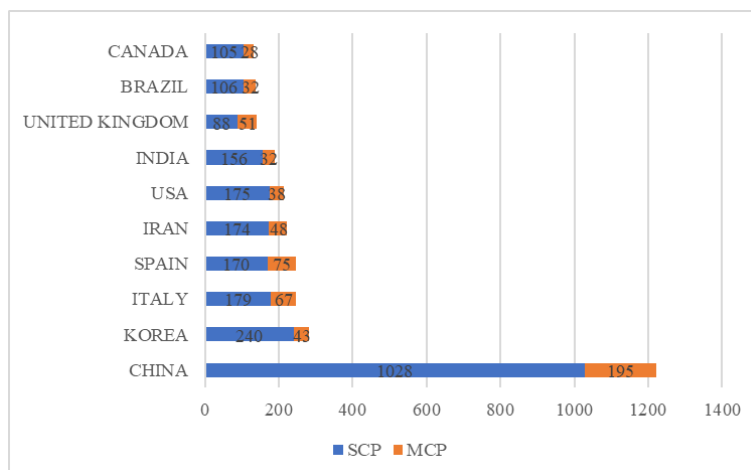
Estas análises dão força à hipótese do grande potencial na pesquisa de reforma a vapor do glicerol. Entende-se que por um lado algumas instituições de destaque no estudo de reforma a vapor têm também elevado volume de publicações relacionadas especificamente ao glicerol. No entanto, por outro lado, diversas outras afiliações concentram esforços em pesquisas diversas de reforma a vapor, não relacionadas ao glicerol. Estas observações, aliadas às constatações de estabilidade ou mesmo crescimento do interesse na reforma a vapor do glicerol mostram que este é um tema de moderada atenção acadêmica, mas com potencial.

3.5 Países de autores com mais publicações

Os gráficos da Fig. 5 apresentam os 10 principais países dos autores de publicações nos temas buscados, onde SCP (do inglês, *Single Country Publication*) representa as publicações que são de um único país e MCP (do inglês, *Multi Country Publications*) publicações produzidas por mais de um país. Em ambos os casos, pode-se notar que há um destaque da China na temática. Além disso, países como Brasil, Irã, Índia, Espanha, China e Coreia do Sul aparecem entre os 10 principais em ambos os gráficos, mostrando forte presença nessa área de pesquisa.

Dentre os países que se destacam em ambas as buscas, o Canadá possui um ponto interessante a ser observado. Quando se trata de reforma a vapor em geral, ele possui a menor quantidade de documentos publicados dentre os 10 que mais publicam, entretanto, quando é especificado o glicerol no processo, o Canadá consegue alcançar a segunda colocação. Este comportamento é semelhante ao que se observa na análise das afiliações da sessão anterior, o que indica um forte interesse do país, representados por suas instituições, no tema específico de reforma a vapor do glicerol.

a) Geral



b) Glicerol

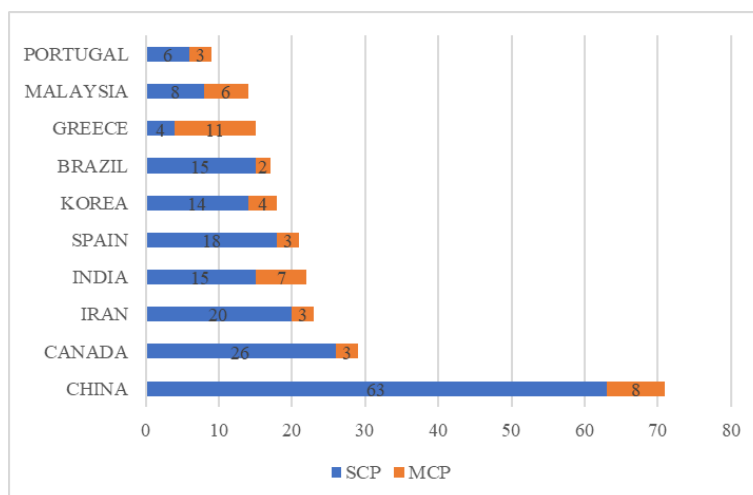


Figura 5 - Países de autores correspondentes sobre reforma a vapor a) geral, b) glicerol

3.6 Artigos mais citados

A Tab. 2 e a Tab. 3 indicam os 10 artigos mais citados globalmente com relação às temáticas abordadas. É fácil ver que os artigos que abordam de uma forma mais geral o assunto possuem um número maior de citações quando comparado com as citações dos artigos que abordam especificamente o glicerol. Este fato, possivelmente, está relacionado com a diferença de abrangência dos temas.

Tabela 2 - Artigos mais citados no mundo sobre reforma a vapor geral.

Rank	Autor/Citação	Título	TC	Revista	País
1	ANANTHARAJ S, 2016 (Anantharaj et al., 2016)	<i>Recent Trends and Perspectives in Electrochemical Water Splitting with an Emphasis on Sulfide, Selenide, and Phosphide Catalysts of Fe, Co, and Ni: A Review</i>	1.777	<i>ACS Catalysis</i>	Japão
2	LICHT S, 2014 (Licht et al., 2014)	<i>Ammonia synthesis by N₂ and steam electrolysis in molten hydroxide suspensions of nanoscale Fe₂O₃</i>	600	<i>Science</i>	Dinamarca
3	ACAR C, 2014 (Acar & Dincer, 2014)	<i>Comparative assessment of hydrogen production methods from renewable and non-renewable sources</i>	590	<i>International Journal of Hydrogen Energy</i>	Canadá
4	SHANER MR, 2016 (Shaner et al., 2016)	<i>A comparative technoeconomic analysis of renewable hydrogen production using solar energy</i>	576	<i>Energy & Environmental Science</i>	Alemanha
5	TEE SY, 2017 (Tee et al., 2017)	<i>Recent Progress in Energy-Driven Water Splitting</i>	568	<i>Advanced Science</i>	Singapura
6	SUN J, 2014 (Sun & Wang, 2014)	<i>Recent Advances in Catalytic Conversion of Ethanol to Chemicals</i>	475	<i>ACS Catalysis</i>	Estados Unidos
7	BHANDARI R, 2014 (Bhandari et al., 2014)	<i>Life cycle assessment of hydrogen production via electrolysis – a review</i>	456	<i>Journal of Cleaner Production</i>	Alemanha
8	LEVALLEY TL, 2014 (LeValley et al., 2014)	<i>The progress in water gas shift and steam reforming hydrogen production technologies – A review</i>	452	<i>International Journal of Hydrogen Energy</i>	Estados Unidos
9	LI S, 2014 (Li & Gong, 2014)	<i>Strategies for improving the performance and stability of Ni-based catalysts for reforming reactions</i>	401	<i>Chemical Society Reviews</i>	China
10	LI G, 2014 (Li et al., 2014)	<i>Hydrogen storage in Pd nanocrystals covered with a metal–organic framework</i>	371	<i>Natural Materials</i>	China

Tabela 3 - Artigos mais citados no mundo sobre reforma a vapor do glicerol

Rank	Autor/Citação	Título	TC	Revista	País
1	SHOKROLLAHI YANCHESHMEH M, 2016 (Marziehossadat Shokrollahi Yancheshmeh et al., 2016)	<i>High temperature CO₂ sorbents and their application for hydrogen production by sorption enhanced steam reforming process</i>	239	<i>Chemical Engineering Journal</i>	Canadá
2	DOU B, 2014 (Dou et al., 2014)	<i>Hydrogen production from catalytic steam reforming of biodiesel byproduct glycerol: Issues and challenges</i>	193	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	China
3	SILVA JM, 2015 (Silva et al., 2015)	<i>Challenges and strategies for optimization of glycerol steam reforming process</i>	183	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	Portugal
4	PAPAGERIDIS KN, 2016 (Papageridis et al., 2016)	<i>Comparative study of Ni, Co, Cu supported on γ-alumina catalysts for hydrogen production via the glycerol steam reforming reaction</i>	167	<i>Fuel Processing Technology</i>	Grécia
5	WU G, 2014 (Wu et al., 2014)	<i>Glycerol steam reforming over perovskite-derived nickel-based catalysts</i>	140	<i>Applied Catalysis B: Environmental</i>	China
6	CHARISIOU ND, 2019 (Charisiou et al., 2019)	<i>Ni supported on CaO-MgO-Al₂O₃ as a highly selective and stable catalyst for H₂ production via the glycerol steam reforming reaction</i>	130	<i>International Journal of Hydrogen Energy</i>	Grécia
7	HE QS, 2017 (He et al., 2017)	<i>Utilization of the residual glycerol from biodiesel production for renewable energy generation</i>	130	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	Canadá
8	BAGNATO G, 2017 (Bagnato et al., 2017)	<i>Glycerol Production and Transformation: A Critical Review with Particular Emphasis on Glycerol Reforming Reaction for Producing Hydrogen in Conventional and Membrane Reactors</i>	117	<i>Membranes</i>	Itália
9	CALLES JA, 2014 (Calles et al., 2014)	<i>Hydrogen production by glycerol steam reforming over SBA-15-supported nickel catalysts: Effect of alkaline earth promoters on activity and stability</i>	108	<i>Catalysis Today</i>	Espanha
10	RODRIGUES A, 2017 (Rodrigues et al., 2017)	<i>Upgrading the Glycerol from Biodiesel Production as a Source of Energy Carriers and Chemicals—A Technological Review for Three Chemical Pathways</i>	107	<i>Energies</i>	Portugal

3.7 Rede de co-ocorrência dos termos das palavras chaves

Os gráficos de rede de co-ocorrências, mostrados na Fig. 6, foram gerados a partir das 35 palavras-chave de maior ocorrência nos artigos encontrados nas buscas indicadas na Tabela 1. Os nós maiores indicam maior incidência de cada palavra-chave, e cada linha indica uma co-ocorrência entre dois nós, de modo que linhas mais espessas indicam um maior número de ligações entre dois nós. O algoritmo de agrupamento utilizado na geração dos gráficos foi do tipo armadilha, com número mínimo de arestas de associação igual a 2, normalização por associação, e exclusão de nós isolados e de sinônimos.

a) Geral

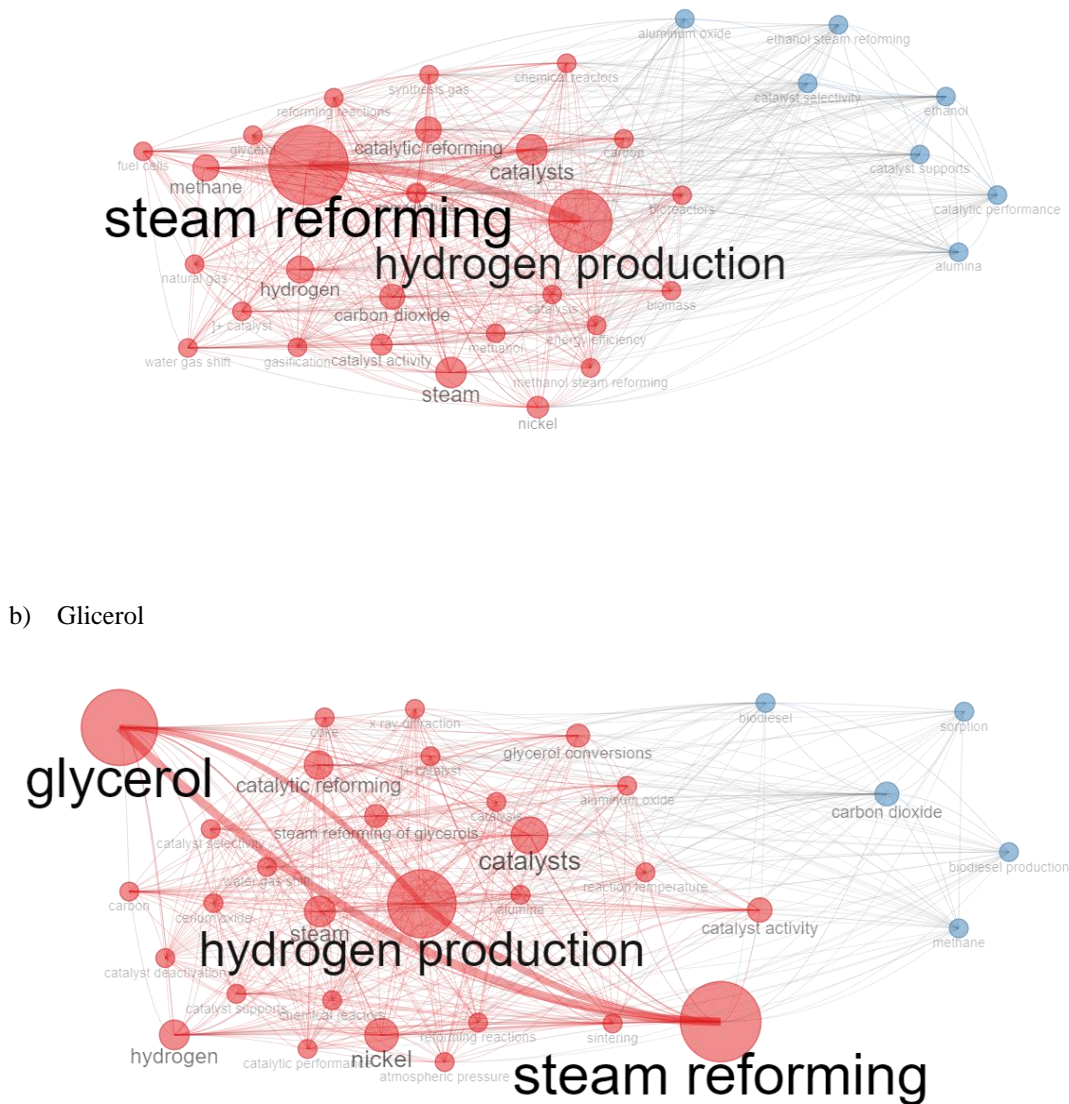


Figura 6 – Co-ocorrência de rede para a) geral e b) glicerol.

Avaliando-se os gráficos da Fig. 6 pode-se notar que em ambos as palavras-chave se dividem em dois clusters (azul e vermelho). Na Fig. 6.a o cluster vermelho concentra as palavras-chave relacionadas especificamente às pesquisas envolvendo reforma a vapor, ao passo que o azul tende a pesquisas tangentes ao assunto, envolvendo catalisadores e etanol. Já na Fig. 6.b o cluster vermelho está relacionado às pesquisas específicas em reforma a vapor de glicerol, destacando-se do azul que reúne pesquisas que orbitam o tema. É nítida a semelhança entre as palavras-chave de ambos os clusters vermelhos, indicando que a pesquisa em reforma de glicerol se assemelha muito em forma e conteúdo às demais pesquisas em reforma a vapor.

É interessante perceber que o cluster de reforma a vapor do glicerol está muito pouco associado a “*biodiesel*” e “*biodiesel production*”, muito embora, como já dito, o processo produtivo do biocombustível esteja intrinsecamente ligado ao glicerol. Este fato reforça a hipótese de incipiência em pesquisas que busquem viabilizar o pós-processamento de glicerol via reforma a vapor como forma de validar a cadeia produtiva do biodiesel. Tem-se, portanto, aqui um potencial de inovação e aprofundamento da tecnologia.

4. CONCLUSÃO

Esse trabalho se dedicou à análise de documentos científicos que relacionam reforma a vapor, hidrogênio e glicerol, publicados nos últimos dez anos (2014 a 2023). Foram realizadas duas buscas, sendo a primeira em um contexto geral, da qual foram obtidos 5.161 trabalhos publicados por 813 fontes. A Segunda busca limitou-se à reforma a vapor com o glicerol como reagente, e resultou em 356 produções científicas, escritas por 117 fontes durante o mesmo período.

Diante das análises gráficas, com relação às fontes, a potência destacada é o *International Journal of Hydrogen Energy* tanto em relevância quanto na quantidade de publicações em ambos os cenários analisados. Com relação à

produção científica anual, as duas buscas expressam a consistência de publicações nos últimos anos e uma tendência de crescimento a partir de 2020. Já sobre a origem dos autores, 6 dos 10 países com mais publicações encontram-se em ambas as buscas, porém as publicações em sua grande maioria são produzidas por autores chineses. Avaliando-se as afiliações relacionadas a cada publicação vê-se uma diversidade de instituições pesquisando nos dois contextos, com poucas interseções.

Quando são avaliadas as publicações mais citadas dentro dos dois universos percebe-se que pertencem ao período 2014 - 2017. Isso indica que neste período se atingiu um importante patamar para as pesquisas relacionadas a ambos os temas, ao qual se fazem referências nos anos seguintes. Sobre as redes de co-ocorrência de palavras-chave, é possível identificar nos clusters vermelhos as temáticas mais frequentes nas produções e como elas se relacionam parcialmente aos temas que as orbitam, como “biodiesel”.

Desta forma, quando se avalia a pesquisa bibliográfica como um todo é possível ver que a relevância dos dois temas se mantém consistente, até ganhar mais relevância nos últimos anos. Além disso, algumas instituições que se destacam no tema de reforma a vapor também estudam o glicerol, o que pode sinalizar um potencial pouco explorado. Este potencial é corroborado, por exemplo, pelas poucas ligações de co-ocorrência entre a reforma a vapor do glicerol e o biodiesel, tema analisado neste artigo. Desta forma há de se concluir que o tema de reforma a vapor do glicerol, em especial quando incluído no processo produtivo de biodiesel, é um tema com relativamente poucas publicações diante do seu grande potencial de relevância científica, e, portanto, ainda pode ser bastante explorado.

Agradecimentos

Agradecimentos a FUNCAP, CNPQ, CAPES, GIZ e ao H2 Brasil pelo apoio financeiro prestado ao projeto.

REFERÊNCIAS

- Acar, C., & Dincer, I. (2014). Comparative assessment of hydrogen production methods from renewable and non-renewable sources. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(1), 1–12.
- Agarwal, A. K. (2007). Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 33(3), 233–271.
- Akram, F., Haq, I. ul, Raja, S. I., Mir, A. S., Qureshi, S. S., Aqeel, A., & Shah, F. I. (2022). Current trends in biodiesel production technologies and future progressions: A possible displacement of the petro-diesel. *Journal of Cleaner Production*, 370, 133479.
- Ambat, I., Srivastava, V., & Sillanpää, M. (2018). Recent advancement in biodiesel production methodologies using various feedstock: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 356–369.
- Anantharaj, S., Ede, S. R., Sakthikumar, K., Karthick, K., Mishra, S., & Kundu, S. (2016). Recent Trends and Perspectives in Electrochemical Water Splitting with an Emphasis on Sulfide, Selenide, and Phosphide Catalysts of Fe, Co, and Ni: A Review. *ACS Catalysis*, 6(12), 8069–8097.
- Bagnato, G., Iulianelli, A., Sanna, A., & Basile, A. (2017). Glycerol Production and Transformation: A Critical Review with Particular Emphasis on Glycerol Reforming Reaction for Producing Hydrogen in Conventional and Membrane Reactors. *Membranes*, 7(2), 17.
- Bhandari, R., Trudewind, C. A., & Zapp, P. (2014). Life cycle assessment of hydrogen production via electrolysis – a review. *Journal of Cleaner Production*, 85, 151–163.
- Calles, J. A., Carrero, A., Vizcaíno, A. J., & García-Moreno, L. (2014). Hydrogen production by glycerol steam reforming over SBA-15-supported nickel catalysts: Effect of alkaline earth promoters on activity and stability. *Catalysis Today*, 227, 198–206.
- Charisiou, N. D., Papageridis, K. N., Tzounis, L., Sebastian, V., Hinder, S. J., Baker, M. A., AlKetbi, M., Polychronopoulou, K., & Goula, M. A. (2019). Ni supported on CaO-MgO-Al₂O₃ as a highly selective and stable catalyst for H₂ production via the glycerol steam reforming reaction. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(1), 256–273.
- Dou, B., Song, Y., Wang, C., Chen, H., & Xu, Y. (2014). Hydrogen production from catalytic steam reforming of biodiesel byproduct glycerol: Issues and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 950–960.
- Fantozzi, F., Frassoldati, A., Bartocci, P., Cinti, G., Quagliarini, F., Bidini, G., & Ranzi, E. M. (2016). An experimental and kinetic modeling study of glycerol pyrolysis. *Applied Energy*, 184, 68–76.
- He, Q. (Sophia), McNutt, J., & Yang, J. (2017). Utilization of the residual glycerol from biodiesel production for renewable energy generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 63–76.
- IEA. (2022, October). *World Energy Outlook 2022 – Analysis* - IEA. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- Kaiwen, L., Bin, Y., & Tao, Z. (2017). Economic analysis of hydrogen production from steam reforming process: A literature review. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 13(2), 109–115.
- LeValley, T. L., Richard, A. R., & Fan, M. (2014). The progress in water gas shift and steam reforming hydrogen production technologies – A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(30), 16983–17000.
- Li, G., Kobayashi, H., Taylor, J. M., Ikeda, R., Kubota, Y., Kato, K., Takata, M., Yamamoto, T., Toh, S., Matsumura, S., & Kitagawa, H. (2014). Hydrogen storage in Pd nanocrystals covered with a metal–organic framework. *Nature Materials*, 13(8), 802–806.

- Li, S., & Gong, J. (2014). Strategies for improving the performance and stability of Ni-based catalysts for reforming reactions. *Chemical Society Reviews*, 43(21), 7245–7256.
- Licht, S., Cui, B., Wang, B., Li, F.-F., Lau, J., & Liu, S. (2014). Ammonia synthesis by N₂ and steam electrolysis in molten hydroxide suspensions of nanoscale Fe₂O₃. *Science*, 345(6197), 637–640.
- Marziehossadat Shokrollahi Yancheshmeh, Radfarnia, H. R., & Iliuta, M. C. (2016). High temperature CO₂ sorbents and their application for hydrogen production by sorption enhanced steam reforming process. 283, 420–444.
- Mehrpooya, M., Ghorbani, B., & Abedi, H. (2020). Biodiesel production integrated with glycerol steam reforming process, solid oxide fuel cell (SOFC) power plant. *Energy Conversion and Management*, 206, 112467.
- Papageridis, K. N., Siakavelas, G., Charisiou, N. D., Avraam, D. G., Tzounis, L., Kousi, K., & Goula, M. A. (2016). Comparative study of Ni, Co, Cu supported on γ -alumina catalysts for hydrogen production via the glycerol steam reforming reaction. *Fuel Processing Technology*, 152, 156–175.
- Pompeo, F., Santori, G., & Nichio, N. N. (2010). Hydrogen and/or syngas from steam reforming of glycerol. Study of platinum catalysts. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(17), 8912–8920.
- Ramos, A. L. D., Marques, J. J., Santos, V. dos, Freitas, L. dos S., Santos, R. G. V. de M., & Souza, M. de M. V. M. (2011). Atual estágio de desenvolvimento da tecnologia GTL e perspectivas para o Brasil. *Química Nova*.
- Rathore, V., Newalkar, B. L., & Badoni, R. P. (2016). Processing of vegetable oil for biofuel production through conventional and non-conventional routes. *Energy for Sustainable Development*, 31, 24–49.
- Rodrigues, A., Bordado, J. C., & Santos, R. G. dos. (2017). Upgrading the Glycerol from Biodiesel Production as a Source of Energy Carriers and Chemicals—A Technological Review for Three Chemical Pathways. *Energies*, 10(11), 1817.
- Shaner, M. R., Atwater, H. A., Lewis, N. S., & McFarland, E. W. (2016). A comparative technoeconomic analysis of renewable hydrogen production using solar energy. *Energy & Environmental Science*, 9(7), 2354–2371.
- Silva, J. M., Soria, M. A., & Madeira, L. M. (2015). Challenges and strategies for optimization of glycerol steam reforming process. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1187–1213.
- Sun, J., & Wang, Y. (2014). Recent Advances in Catalytic Conversion of Ethanol to Chemicals. *ACS Catalysis*, 4(4), 1078–1090.
- Tee, S. Y., Win, K. Y., Teo, W. S., Koh, L.-D., Liu, S., Teng, C. P., & Han, M.-Y. (2017). Recent Progress in Energy-Driven Water Splitting. *Advanced Science*, 4(5), 1600337.
- Wu, G., Li, S., Zhang, C., Wang, T., & Gong, J. (2014). Glycerol steam reforming over perovskite-derived nickel-based catalysts. *Applied Catalysis B: Environmental*, 144, 277–285.
- Ziyai, M. R., Mehrpooya, M., Aghbashlo, M., Omid, M., Alsagri, A. S., & Tabatabaei, M. (2019). Techno-economic comparison of three biodiesel production scenarios enhanced by glycerol supercritical water reforming process. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(33), 17845–17862.

HYDROGEN PRODUCTION FROM STEAM REFORMING: A BIBLIOMETRIC REVIEW

Abstract. *Given the fact that 60% of the electricity matrix uses fossil fuels as the main source of energy and the consequences this has caused to the environment, the incentive for decarbonization has become increasingly necessary and alternatives have been sought to alleviate this problem. In this case, biofuels seem as an interesting alternative due to the possibility of carbon capture in their production. The production of biodiesel results in the formation of glycerol, therefore, it is necessary to find a final destination for this byproduct. The glycerol steam reforming process can achieve gas conversion of more than 90% by mass, resulting in minimal amounts of hydrogen. The work proposes to analyze the documents present in the SCOPUS database relating to the steam reforming of reagents in general and specifically glycerol using the Bibliometrix R package. The analysis was carried out in the time interval 2014-2023 and managed to find more than 5.5 thousand documents around the world. It was possible to observe the growth of publications over time for research related to the steam reforming process, especially for the period from 2019 to 2023, which is not repeated when the focus is on glycerol, in this way, it is possible to understand that the research into steam reforming of glycerol has not yet reached its maximum potential, therefore having room to fill the remaining gaps in the state of the art on this topic.*

Keywords: *Biodiesel, Glycerol, Bibliometrix R.*