MAPEAMENTO BIBLIOMÉTRICO DE MEMBRANAS CONTENDO LIGNINA OU POLIURETANO PARA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES DA ÁGUA (2021- 2025)

Bárbara Lima Sartorio, Marcela dos Santos Rocha, Maria Eduarda Lopes Fernandes, Poliany de Oliveira Barbosa, Lucimara Ribeiro Venial, Maria de Fátima Pereira dos Santos, Maristela de Araújo Vicente.

Universidade Federal do Espírito Santo/Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES)/Rodovia Governador Mário Covas, Km 60, Bairro Litorâneo - 29932-540 – São Mateus-ES, Brasil, autor: barbara.sartorio@edu.ufes.br

Resumo

A contaminação das águas tem despertado crescente preocupação devido aos potenciais impactos sobre a biodiversidade e a saúde pública. Este estudo caracterizou a produção científica relacionada ao uso de membranas e materiais adsorventes à base de lignina ou poliuretano entre 2021 e 2025. Foram analisados 275 artigos com o auxílio do software RStudio, por meio do pacote Bibliometrix e sua interface Biblioshiny, considerando a análise de desempenho e estrutura conceitual. Os trabalhos mais citados destacaram, principalmente, o uso do poliuretano como matriz estrutural para a obtenção de membranas, contribuindo para o aprimoramento de suas propriedades, e da lignina, proveniente de resíduos industriais, como material adsorvente. O mapa temático destacou o grupamento formado pelos termos lignina e membranas, caracterizado por elevada densidade, indicando um tema bem desenvolvido e consolidado na literatura analisada. Os resultados apontam para o fortalecimento de estratégias que associam diferentes materiais para o desenvolvimento de alternativas mais eficientes e sustentáveis para a remediação de sistemas aquosos.

Palavras-chave: Bibliometria. Lignina. Membrana. Poliuretano. Tratamento de água.

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra (Química).

Introdução

A contaminação dos recursos hídricos por diferentes substâncias químicas tem despertado crescente preocupação devido aos potenciais impactos sobre a biodiversidade e a saúde pública (Jiang; Kirsten; Qadeer, 2025). Entre os contaminantes presentes em corpos d'água, destacam-se os íons metálicos, que podem ser introduzidos no ambiente principalmente por atividades antropogênicas relacionadas aos setores industrial, agrícola, minerário e urbano, bem como por processos naturais (Sharma *et al*., 2025).

Diversas estratégias têm sido empregadas no tratamento de águas contaminadas, incluindo processos de precipitação química, troca iônica, filtração por membranas, processos eletroquímicos e adsorção (Qasem; Mohammed; Lawal, 2021; Liu *et al*., 2023; Brião *et al*., 2024). Entre as alternativas, a tecnologia de membranas tem recebido destaque devido à sua simplicidade operacional, estabilidade, resistência, facilidade na aplicação em sistemas contínuos, além da possibilidade de incorporação de diferentes materiais com propriedades adsorventes em sua estrutura (Kavitha *et al*., 2022; Ayach *et al*., 2024).

Nesse contexto, diferentes compostos têm sido investigados como adsorventes, incluindo polímeros, como o poliuretano, e resíduos agroindustriais, como a lignina (Wang *et al*., 2021; Zhang *et al*., 2023). A lignina apresenta-se como um material promissor devido à sua elevada disponibilidade e à presença de grupos funcionais em sua estrutura, como grupos hidroxila, metoxila e fenólicos, que podem favorecer a interação com diferentes contaminantes (Kumar *et al.,* 2026). O poliuretano por sua vez, é um material polimérico versátil que pode apresentar diferentes propriedades físicas e químicas, favorecendo a obtenção de estruturas estáveis e aplicáveis em processos adsortivos (Chen *et al.,* 2025). A associação desses materiais em membranas adsorventes pode, portanto, ampliar as possibilidades de aplicação desses sistemas na remoção de contaminantes presentes em meio aquoso.

Diante da crescente preocupação com a contaminação dos corpos hídricos por contaminantes metálicos, torna-se relevante acompanhar o desenvolvimento científico de estratégias voltadas à sua remoção. Nesse sentido, este estudo teve como objetivo caracterizar, por meio de análise bibliométrica, a produção científica publicada entre 2021 e 2025 sobre o uso de membranas de lignina ou poliuretano em processos adsortivos e remediação de ambientes aquáticos, considerando os documentos mais citados, produção científica e as principais temáticas relacionadas ao campo de estudo.

Metodologia

O estudo foi desenvolvido por meio de uma análise bibliométrica, fundamentada na avaliação da produção científica e no mapeamento da literatura sobre o desenvolvimento e a aplicação de membranas de lignina ou poliuretano em processos de tratamento de água e efluentes. Foram considerados artigos publicados no período de 2021 a 2025, recuperados nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*. Para a busca, foram selecionados descritores relacionados ao tema e aplicados aos campos de título, resumo e palavras-chave dos documentos. A estratégia de busca utilizada foi: (membran*) AND (lignin* OR polyurethane*) AND (contaminat* OR pollut* OR wastewater OR “water treatment*” OR remediation OR adsorpt* OR removal OR “heavy metal*” OR “metal ion*” OR toxic”). Os termos foram definidos com o objetivo de recuperar estudos relacionados ao desenvolvimento e à aplicação de membranas contendo lignina ou poliuretano em processos de adsorção, remoção de contaminantes e tratamento de água e efluentes. Como estratégia de refinamento, foram utilizados termos de exclusão relacionados a estudos predominantemente microbiológicos, antimicrobianos e biomédicos, incluindo NOT (bacter* OR microb* OR viral OR fung* OR pathogen* OR antimicrobial* OR biofilm* OR “drug delivery” OR “tissue engineering”).

A busca resultou em 500 artigos na *Web of Science* e 48 na *Scopus*, totalizando 548 registros. Os resultados obtidos nas duas bases foram exportados e integrados no ambiente RStudio, utilizando-se o pacote Bibliometrix e sua interface gráfica Biblioshiny para a organização, depuração e análise bibliométrica dos dados (Aria; Cuccurullo, 2017; Posit Team, 2025). Foram identificados e removidos 17 registros duplicados, resultando em um conjunto de 531 artigos únicos, etapa fundamental para a precisão dos dados (Passas, 2024).

Posteriormente, os 531 registros foram submetidos à triagem manual por título e resumo, com base nos critérios de elegibilidade previamente definidos. Foram mantidos estudos que abordavam membranas contendo lignina ou poliuretano relacionadas à adsorção, remoção de contaminantes ou tratamento de água e efluentes. Foram excluídos estudos que não abordavam sistemas de membranas, que não envolviam lignina ou poliuretano ou que apresentavam aplicações fora do contexto de tratamento de água ou remoção de contaminantes. Após essa etapa, 256 artigos foram excluídos, resultando em um corpus final de 275 artigos.

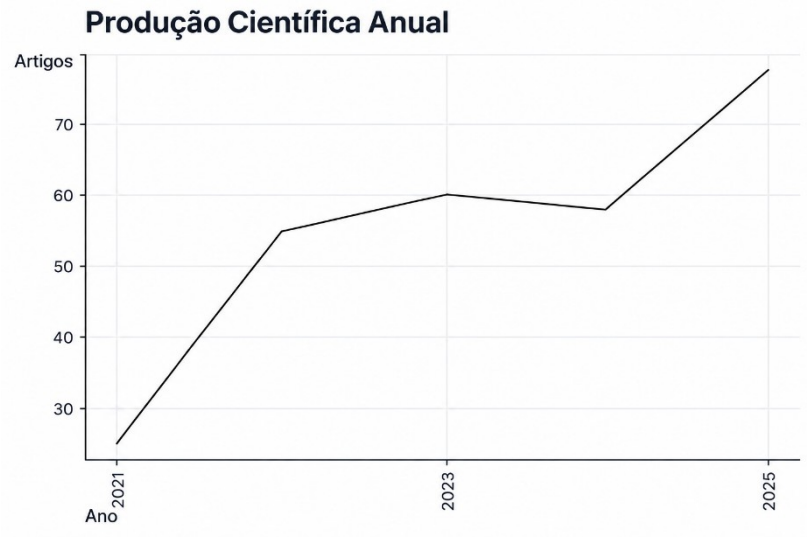
A organização e o tratamento inicial dos dados foram realizados com o auxílio do Microsoft Excel, sendo as informações dos documentos estruturadas em categorias como autores, título, resumo, ano de publicação, palavras-chave, idioma e tipo de documento. Essa organização permitiu a análise quantitativa da frequência e distribuição das informações bibliográficas.

A partir do corpus final, foram avaliados indicadores referentes aos documentos mais citados, produção científica e as principais temáticas relacionadas ao campo de estudo.

Resultados

A produção científica aumentou de aproximadamente 24 artigos em 2021 para cerca de 55 em 2022. Em 2023, foram registrados aproximadamente 60 artigos, seguidos por pequena redução ou estabilidade em 2024, com cerca de 58 publicações. Em 2025, ocorreu novo crescimento, atingindo aproximadamente 78 artigos, o maior valor do período analisado (Figura 1).

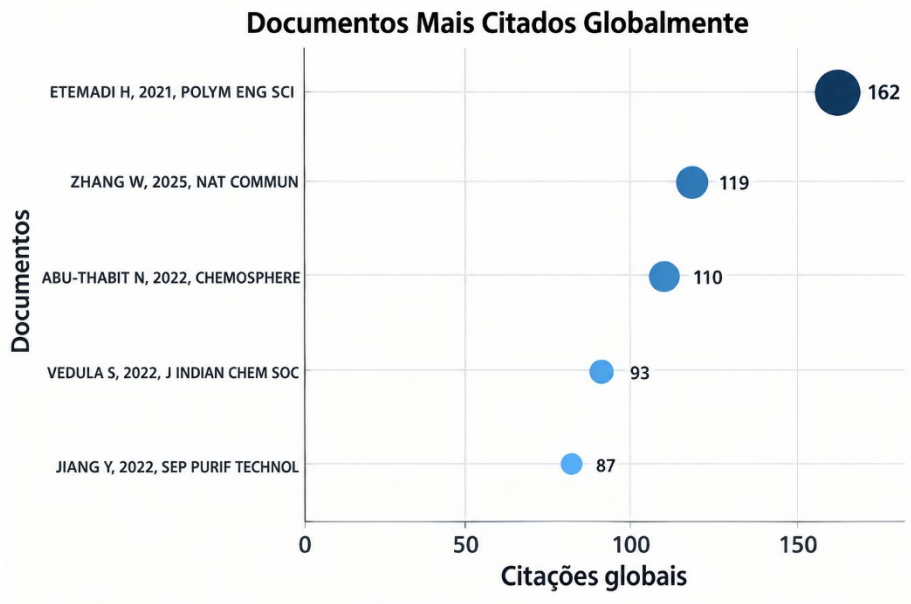
Figura 1 – Distribuição anual dos artigos no corpus analisado no período de 2021 a 2025.



Fonte: Elaborado pela autora.

Entre os documentos analisados, Etemadi *et al.* (2021) apresentou o maior número de citações globais, totalizando 162 citações. Na sequência, destacaram-se Zhang *et al.* (2025) com 119 citações; Abu-Thabit *et al.* (2022) com 110; Vedula e Yadav (2022), com 93 citações e Jiang *et al.* (2022), com 87 citações (Figura 2). Esses resultados evidenciam os trabalhos de maior impacto citacional dentro do conjunto analisado.

Figura 2 – Documentos com maior número de citações globais no corpus analisado.

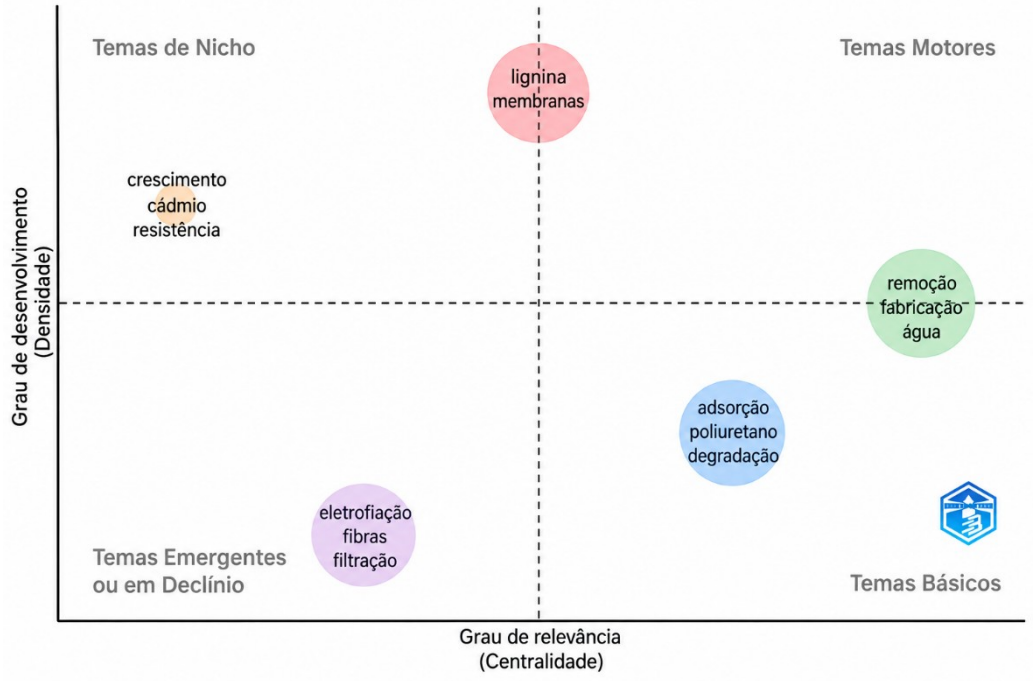


Fonte: Elaborado pela autora.

O mapa temático evidencia diferentes níveis de desenvolvimento e integração entre os tópicos investigados. “crescimento”, “cádmio" e “resistência” apresentaram caráter de nicho, indicando uma temática especializada e relativamente desenvolvida, porém menos conectada ao conjunto da literatura. O cluster formado pelos termos “lignina” e “membranas” apresentou elevada densidade e centralidade próxima ao limite entre temas de nicho e temas motores, sugerindo consolidação interna e posição de transição quanto à integração ao campo. “remoção”, “fabricação” e “água” apresentou elevada centralidade e densidade intermediária, situando-se próximo à transição entre temas motores

e básicos. Em contraste, “adsorção”, “poliuretano” e “degradação constituíram um tema básico, com forte conexão com a área, mas menor desenvolvimento interno. Finalmente, “eletrofiliação”, “fibras” e “filtração” foi posicionado entre os temas emergentes ou em declínio, embora a direção dessa dinâmica não possa ser determinada apenas pelo mapa temático.

Figura 3 – Mapa temático das tendências de pesquisa em membranas de lignina ou poliuretano.



Fonte: Elaborado pela autora.

Discussão

O crescimento observado indica expansão do interesse científico pelo tema ao longo do período analisado. O aumento mais acentuado ocorreu entre 2021 e 2022, seguido por uma fase de relativa estabilidade entre 2022 e 2024, e por novo avanço em 2025. Esse comportamento sugere a consolidação e continuidade da atividade científica no campo.

Nesse cenário, Kim *et al.* (2022), em uma revisão sistemática, destacaram a integração entre processos de adsorção e tecnologias de membranas como uma abordagem relevante para o tratamento de água e efluentes evidenciando a importância do desenvolvimento de técnicas para a remediação ambiental. Além do crescimento quantitativo da literatura, é importante avaliar quais estudos exerceram maior influência sobre o desenvolvimento do campo.

Entre os documentos mais citados, destacam-se Etemadi *et al.* (2021) e Zhang *et al.* (2025), cujos estudos evidenciam a contribuição de materiais poliméricos e lignocelulósicos para o desenvolvimento de tecnologias de separação e remediação ambiental. Etemadi *et al.* (2021) avaliaram uma membrana de policarbonato e poliuretano modificada com nanopartículas de alumina, na qual a incorporação do poliuretano contribuiu para o aumento da porosidade e da flexibilidade, ressaltando a importância da combinação de materiais com propriedades complementares. Zhang *et al.* (2025), por sua vez, demonstraram o potencial da lignina como componente funcional em membranas de nanofiltração, com características relevantes de seletividade e permeabilidade, além de sua contribuição para o uso de resíduos agroindustriais.

No mapa temático, a posição de “lignina” e “membranas” evidencia a consolidação desses temas e sua forte relação com o direcionamento das pesquisas, sobretudo pela crescente aplicação de materiais à base de lignina em membranas e processos de adsorção para tratamento de água (AlQasas; Johnson, 2025). Já “adsorção”, “poliuretano” e “degradação”, classificados como temas básicos, representam conceitos fundamentais que sustentam diferentes estratégias de desenvolvimento e

aplicação de materiais para remoção de contaminantes (Chen *et al*., 2025). Por sua vez, “remoção”, “fabricação” e “água” apresentaram elevada centralidade e desenvolvimento intermediário, refletindo o direcionamento das pesquisas para a produção de materiais aplicáveis à remoção de contaminantes em água (Kim *et al*., 2022).

A lignina e o poliuretano apresentam, individualmente ou em combinação com outros materiais, potencial para o desenvolvimento de sistemas aplicados à remoção de contaminantes. A lignina destaca-se pelo caráter renovável e pela presença de grupos funcionais capazes de interagir com diferentes contaminantes, enquanto o poliuretano apresenta versatilidade estrutural e propriedades adequadas à obtenção de materiais porosos e adsorventes.

Conclusão

A análise bibliométrica demonstrou o crescimento e a consolidação da produção científica relacionada ao desenvolvimento de membranas e materiais adsorventes aplicados ao tratamento de água e efluentes. Os estudos analisados evidenciam uma tendência de integração entre membranas, adsorção e materiais poliméricos e lignocelulósicos, com destaque para o poliuretano e a lignina no desenvolvimento de materiais destinados à remoção de contaminantes. Assim, a literatura aponta para o fortalecimento de estratégias que associam diferentes materiais e propriedades funcionais, ao mesmo tempo em que favorecem o aproveitamento de recursos agroindustriais e o desenvolvimento de alternativas para a remediação de sistemas aquosos.

Referências

ABU-THABIT, N. Y.; UWAEZUOKE, O. J.; ABU ELELLA, M. H. Superhydrophobic nanohybrid sponges for separation of oil/water mixtures. **Chemosphere**, v. 294, 133644, 2022.

ALQASAS, N.; JOHNSON, D. Lignin as an emerging material in membrane technology for water and wastewater treatment: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, p. 147101, 2025.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.

AYACH, J. *et al.* Comparing conventional and advanced approaches for heavy metal removal in wastewater treatment: an in-depth review emphasizing filter-based strategies. **Polymers,** v. 16, n. 14, p. 1959, 2024.

BRIÃO, G. *et al*. Electrochemical processes for the treatment of contaminant-rich wastewater: a comprehensive review. **Chemosphere**, v. 355, p. 141884, 2024.

CHEN, M. *et al.* Preparation of thiol-functionalized polyurethane foam and its adsorption performance for Hg (ii). **RSC advances**, v. 15, n. 47, p. 39871-39884, 2025.

ETEMADI, H. *et al*. Effect of alumina nanoparticles on the antifouling properties of polycarbonate-polyurethane blend ultrafiltration membrane for water treatment. **Polymer Engineering & Science**, v. 61, n. 9, p. 2364-2375, 2021.

JIANG, X.; KIRSTEN, K. L.; QADEER, A. Contaminants in the water environment: significance from the perspective of the global environment and health. **Water**, v. 17, n. 9, p. 1257, 2025.

JIANG, Y. *et al*. Superhydrophobic aerogel membrane with integrated functions of biopolymers for efficient oil/water separation. **Separation and purification technology**, v. 282, p. 120138, 2022.

KAVITHA, E. *et al.* Current status and future prospects of membrane separation processes for value recovery from wastewater. **Chemosphere.** v. 291, p. 132690, 2022.

KIM, S. *et al*. Review of adsorption-membrane hybrid systems for water and wastewater treatment. **Chemosphere**, v. 286, 131916, 2022.

KUMAR, V. *et al*. Sustainable valorization of rice straw lignin into functional derivatives for efficient remediation of organic pollutants and heavy metal ions from wastewater. **International Journal of Biological Macromolecules**, p. 153055, 2026.

LIU, Y. *et al.* Removal of copper ions from wastewater: a review. **International Journal of Environmental Research and Public Health,** v. 20, n. 5, p. 3885, 2023.

PASSAS, L. Análise bibliométrica: as principais etapas. **Enciclopédia**, v. 4, n. 2, 2024.

POSIT TEAM. RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software, PBC, Boston, MA, 2025. Disponível em: http://www.posit.co/.

QASEM, N. A. A; MOHAMMED, R. H.; LAWAL, D. U. Removal of heavy metal ions from wastewater: a comprehensive and critical review. **Npj Clean Water**, v. 4, n. 1, p. 36, 2021.

SHARMA, M. *et al.* Exploring the impact of heavy metals toxicity in the aquatic ecosystem. **International Journal of Energy and Water Resources**, v. 9, n. 1, p. 267-280, 2025.

VEDULA, S. S.; YADAV, G. D. Wastewater treatment containing methylene blue dye as pollutant using adsorption by chitosan lignin membrane: Development of membrane, characterization and kinetics of adsorption. **Journal of the Indian Chemical Society**, v. 99, n. 1, p. 100263, 2022.

WANG, X. *et al.* Effective removal of heavy metals from water using porous lignin-based adsorbents. **Chemosphere**, v. 279, p. 130504, 2021.

ZHANG, W. *et al.* Lignin alkali regulated interfacial polymerization towards ultra-selective and highly permeable nanofiltration membrane. **Nature Communications**, v. 16, p. 371, 2025.

ZHANG, Y. *et al.* Design and function of lignin/silk fibroin-based multilayer water purification membranes for dye adsorption. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 253, 126863, 2023.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), do Programa de Pós-graduação em Energia (PPGEN) e do Laboratório de Preparo de Amostras e Análises Químicas (LaPAQui).