TENDÊNCIAS CIENTÍFICAS NO USO DE ALGAS PARDAS E *Sargassum* PARA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES (2021–2026)

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

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

Resumo

A crescente preocupação com a remoção de contaminantes e a valorização da biomassa algal tem ampliado o interesse pelo uso de algas pardas em aplicações sustentáveis. Este estudo teve como objetivo realizar uma análise cienciométrica das publicações sobre o uso de *Sargassum* spp. e algas pardas em processos de adsorção, biossorção e membranas entre 2021 e 2025. Foram analisados artigos das bases Scopus e Web of Science, totalizando 442 registros, dos quais 269 compuseram o corpus final após a remoção de 149 duplicatas e a exclusão de 24 documentos na triagem de elegibilidade. Os resultados mostraram maior produção científica da China e destaque para estudos envolvendo biomassa algal, biochar e remoção de contaminantes. O mapa temático evidenciou *Sargassum*, seaweed e heavy metals como temas motores, enquanto adsorption, removal e biosorption foram temas básicos. Esses resultados representam o destaque do uso da biomassa algal e do *Sargassum* em estudos relacionados à remoção de contaminantes, mostrando a importância desses temas no período de estudo. Assim, conclui-se que a literatura analisada apresenta destaque para o uso de algas pardas e *Sargassum* em estudos relacionados à remoção de contaminantes e à valorização da biomassa.

Palavras-chave: Adsorção. Biossorção. Metais pesados. *Sargassum.*

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra - Química

Introdução

A contaminação dos ambientes aquáticos por metais pesados vem se tornando uma preocupação ambiental devido aos impactos que esses elementos podem causar no meio ambiente e na qualidade da água (Abubakar *et al*. 2024). Uma alternativa para extrair esses contaminantes é por meio de membranas adsortivas, nesse cenário, as algas marinhas pardas exibem alta capacidade de acumular e remover metais presentes em ambientes aquáticos (Ordóñez *et al*. 2023). Essa propriedade de biossorção das algas pardas decorre, em grande parte, da composição de sua parede celular, rica em polissacarídeos que contém diversos grupos funcionais capazes de interagir com íons metálicos (Carreira et al. 2022).

O uso das algas pardas, pertencentes ao gênero Sargassum, vem se provando um grande elemento crucial para reduzir seu impacto ambiental, ressaltando seu potencial como biossorvente para a descontaminação de águas. Essa biomassa in natura de Sargassum mostra capacidade de adsorver chumbo (Pb) e cádmio (Cd), apontando para sua utilização como uma alternativa ambientalmente menos prejudicial aos adsorventes tradicionais (Fernández et al. 2023). Além da biomassa in natura, investigações recentes têm avaliado o aproveitamento de Sargassum na confecção de biochars e de outros materiais adsorventes, expandindo suas possibilidades na remoção de contaminantes (Raj et al. 2026). Tal aplicação promove o aproveitamento da biomassa e impulsiona o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de remediação de águas contaminadas por metais pesados, alinhando-se também aos princípios da economia circular.

Nesse contexto, a relação entre Sargassum, adsorção e biossorção, bem como o desenvolvimento ou aplicação de membranas adsortivas, possibilita ampliar as possibilidades de utilização da biomassa algal na remoção de contaminantes. A avaliação da produção científica possibilita mapear a trajetória

das investigações, destacar os temas centrais abordados e revelar tendências. Dessa forma, este estudo propôs-se a realizar uma análise cienciométrica das publicações entre 2021 e 2025 que tratam do uso de algas pardas em processos de adsorção, biossorção e no desenvolvimento ou aplicação de membranas no cenário da economia circular.

Metodologia

O estudo foi desenvolvido por meio de uma análise cienciométrica, fundamentada na avaliação da produção científica e no mapeamento da literatura relacionada ao uso de Sargassum em processos de adsorção, biossorção e desenvolvimento ou aplicação de membranas. Foram considerados artigos publicados entre 2021 e 2025, recuperados nas bases de dados disponibilizadas pela plataforma de Periódicos da CAPES nas bases de dados Web of Science e Scopus. O período de 2021 a 2025 foi escolhido para concentrar a análise na produção científica mais recente, permitindo identificar tendências atuais e mudanças no direcionamento das pesquisas. A busca foi realizada nos campos correspondentes a título, resumo e palavras-chave dos documentos, utilizando-se estratégias de busca específicas para cada base de dados:

TITLE-ABS-KEY ("sargassum" OR "brown algae") AND ("adsorpt" OR "membrane" OR "membrane acetate" OR "biosorbent") AND NOT ("cancer" OR "animal" OR "bacter" OR "virus" OR "human" OR "cells" OR "pharmac") .O operador NOT foi empregado para reduzir a recuperação de estudos predominantemente biomédicos, farmacológicos, microbiológicos ou relacionados a sistemas animais e celulares, por não corresponderem ao escopo da análise.

A busca resultou em 222 registros na Scopus e 220 na Web of Science, totalizando 442 documentos. Os registros recuperados nas duas bases foram exportados e integrados ao ambiente RStudio (Posit Team, 2025). Durante a etapa de consolidação das bases, foram identificados e removidos 149 registros duplicados, resultando em 293 documentos únicos.

Posteriormente, os 293 documentos foram submetidos a uma triagem de elegibilidade com base em título, resumo e palavras-chave, utilizando como referência os mesmos critérios conceituais estabelecidos pela estratégia de busca. Nessa etapa, 24 documentos foram excluídos por não atenderem integralmente aos critérios estabelecidos, permanecendo 269 artigos no corpus.

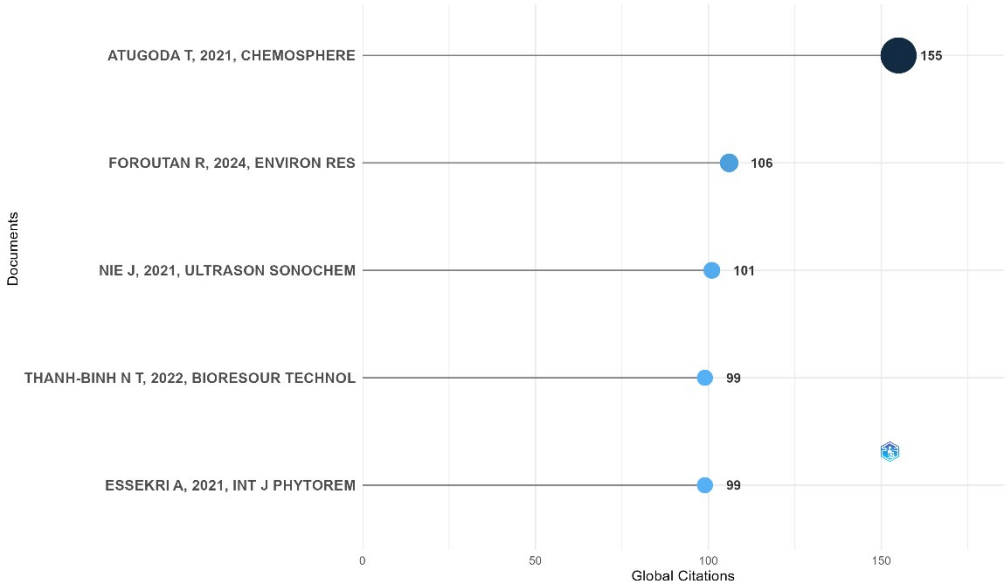
A organização e o tratamento final dos metadados foram realizados com auxílio do Microsoft Excel, no qual as informações bibliográficas foram estruturadas em categorias como autores, título, resumo, ano de publicação, palavras-chave, periódico, base de origem, idioma e tipo de documento. Essa organização possibilitou a conferência da consistência dos registros e subsidiou as etapas posteriores de análise quantitativa e mapeamento científico.

A partir do corpus final de 269 artigos, foram avaliados indicadores relacionados à estrutura intelectual, social e conceitual.

Resultados

A análise da produção científica permitiu identificar os autores com maior número de publicações sobre o uso de Sargassum spp. e algas pardas em processos de adsorção, biossorção e membranas, no período de 2021 a 2025. Entre os autores presentes no conjunto de estudos analisados, destacam-se aqueles envolvidos em pesquisas sobre biomassa algal, biochar, adsorção, biossorção e remoção de contaminantes (Figura-1).

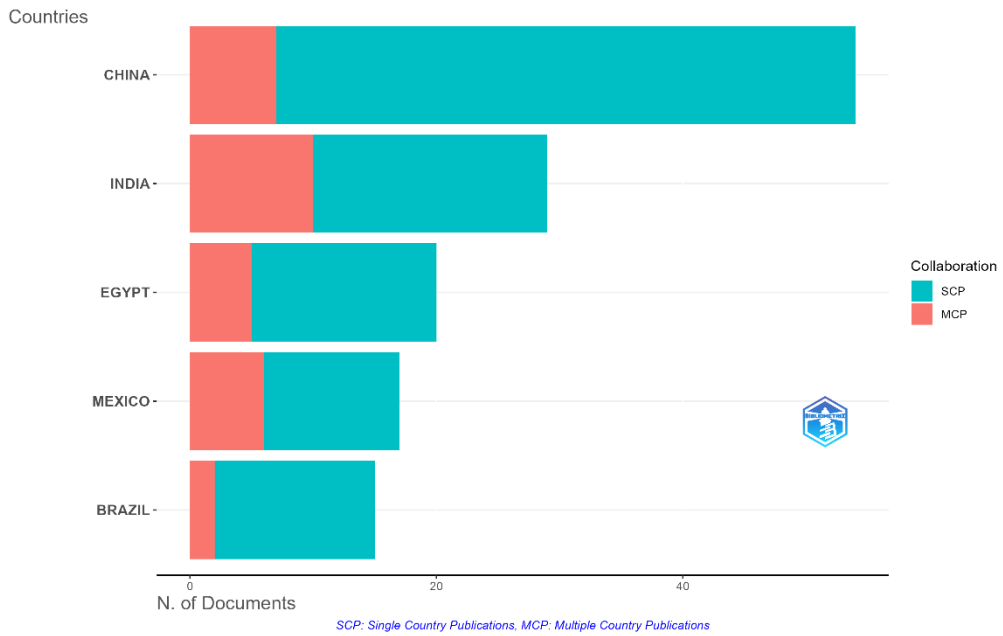
Figura 1– Autores mais produtivos



Fonte: Elaborado pela autora.

A distribuição por país do autor correspondente mostra os país com maior número de documentos, superando os demais países listados (Índia, Egito, México e Brasil). Em termos de padrão de colaboração, observa-se que a produção chinesa é majoritariamente composta por publicações de país único (SCP – Single Country Publications), com participação proporcionalmente pequena de publicações multinacionais (MCP – Multiple Country Publications). Já Índia e Egito apresentam uma proporção de MCP visivelmente maior em relação ao total de suas publicações, quando comparados à China. México e Brasil fecham a lista dos cinco países mais relevantes, com volumes de produção menores, mas também presentes na amostra (Figura 2)

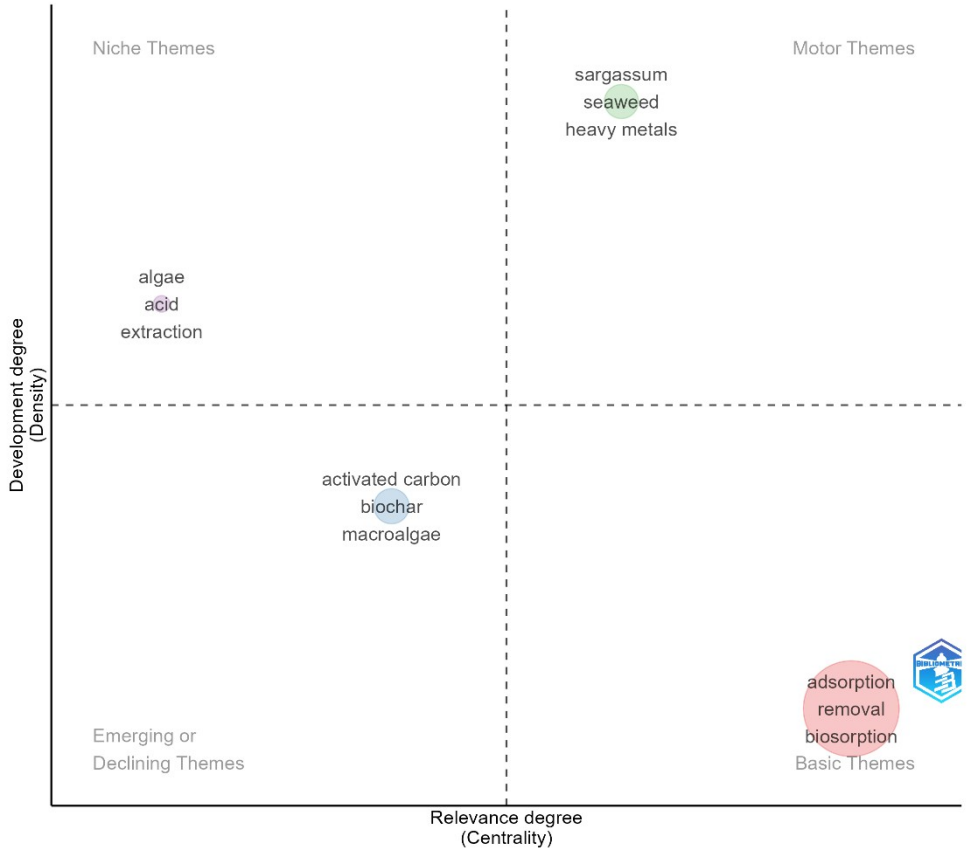
Figura 2– Produção científica e colaboração entre países no período de 2021 a 2025.



Fonte: Elaborado pela autora.

O mapa temático indica que "*Sargassum*", "seaweed" e "heavy metals" constituem os principais temas motores, pois apresentam elevada centralidade e maior grau de desenvolvimento. Esse agrupamento evidencia a forte associação entre algas pardas e estudos voltados à remoção de metais pesados. Em contraste, "adsorption", "removal" e "biosorption" aparecem como temas básicos, com alta relevância para a estrutura do campo, mas menor desenvolvimento interno, indicando que esses conceitos funcionam como eixos transversais da literatura analisada. "Algae", "acid" e "extraction" formam temas de nicho, mais especializados, enquanto "activated carbon", "biochar" e "macroalgae" ocupam a região de temas emergentes ou em declínio. De modo geral, o mapa confirma que a literatura se organiza principalmente em torno da aplicação de *Sargassum* e outras algas pardas em processos de adsorção e biossorção de contaminantes, especialmente metais pesados (Figura 3).

Figura 3– mapa temático de pesquisas em remoção de metais com Sargassum



Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados evidenciam que a produção científica sobre *Sargassum*. E algas pardas concentra-se principalmente em estudos de adsorção e biossorção, com destaque para a remoção de metais pesados.

Discussão

Os documentos mais citados mostram que a produção de maior impacto está concentrada no aproveitamento de biomassa algal como material adsorvente. O estudo de Atugoda et al., (2021), o mais citado do conjunto, demonstrou o uso de biochar derivado de *Sargassum crassifolium* modificado com zeólita para adsorção de ciprofloxacina, enquanto (Foroutan et al., (2024) avançaram nessa abordagem ao modificar biochar de *Sargassum oligocystum* para remoção de fluoreto. Esses trabalhos refletem a evolução de biomassa bruta para materiais funcionalizados com maior capacidade de remoção.

A distribuição por países evidencia maior participação da China, seguida por Índia, Egito, México e Brasil. A predominância de publicações realizadas dentro de um único país indica que a produção ainda apresenta espaço para ampliação das redes internacionais de colaboração. O Brasil aparece entre os principais países produtores, mas com participação internacional proporcionalmente reduzida, o que sugere oportunidade de maior integração com grupos estrangeiros que atuam em valorização de macroalgas e tratamento de águas.

O mapa temático confirma essa organização científica: "*Sargassum*", "seaweed" e "heavy metals" aparecem como temas motores, enquanto "adsorption", "removal" e "biosorption" constituem a base conceitual do campo. A posição de "activated carbon", "biochar" e "macroalgae" entre os temas de nicho ou emergentes/declínio deve ser interpretada com cautela, pois o mapa isoladamente não permite distinguir crescimento de perda de interesse. De modo geral, esses termos indicam diferentes posições na estrutura temática da literatura analisada, sem permitir afirmar, isoladamente, uma tendência de crescimento ou declínio.

Conclusão

A análise cienciométrica monstrou a relevância das pesquisas sobre o uso de *Sargassum* e algas pardas em processos de adsorção, biossorção e desenvolvimento de materiais adsorventes. A China apresentou maior destaque na produção científica, enquanto os principais temas estiveram relacionados à remoção de metais pesados e outros contaminantes. Os resultados reforçam o potencial de valorização da biomassa de *Sargassum* como alternativa sustentável para o tratamento de águas contaminadas, destacando também a necessidade de ampliar as colaborações internacionais e aprofundar estudos nessa área.

Referências

ATUGODA, Thilakshani *et al.* Mechanistic interaction of ciprofloxacin on zeolite modified seaweed (Sargassum crassifolium) derived biochar: Kinetics, isotherm and thermodynamics. **Chemosphere**, v. 281, p. 130676, out. 2021.

FOROUTAN, Rauf *et al.* Amendment of Sargassum oligocystum bio-char with MnFe2O4 and lanthanum MOF obtained from PET waste for fluoride removal: A comparative study. **Environmental Research**, v. 251, p. 118641, jun. 2024.

Ordóñez, J., Cortés, S., Maluenda, P., & Soto, I. (2023). Biossorção de metais pesados com algas: revisão crítica de sua aplicação em efluentes reais. *Sustainability* .

Alvarez-Galvan, Y., Minofar, B., Futera, Z., Francoeur, M., Jean-Marius, C., Brehm, N., Yacou, C., Jáuregui-Haza, U., & Gaspard, S. (2022). Adsorção de cromo hexavalente usando carvão ativado produzido a partir de Sargassum ssp.: comparação entre experimentos de laboratório e simulações de dinâmica molecular.

Raj, R., Ss, G., Sharaf, S., Chatterjii, NS, A, A., L., & KK, A. (2026). Valorização de Sargassum wightii por meio da produção de biochar: desenvolvimento, caracterização e aplicações potenciais. *Scientific Reports,* 16.

Jha, S., Gaur, R., Shahabuddin, S., & Tyagi, I. (2023). Biochar como alternativa sustentável e adsorvente verde para a remediação de poluentes nocivos: uma revisão abrangente. *Toxics,* 11.

Serafín Mancera, E., Rodriguez, Á., Gomez-Paredes, M., Velázquez-Hernández, I., Lopez-Miranda, J., & Estévez, M. (2026). Síntese e caracterização de hidrocarvão à base de sargaço para remoção de contaminantes emergentes em meio aquoso. *A MRS avança* .

Jayakumar, V., Govindaradjane, S., Rajamohan, N., & Rajasimman, M. (2021). Potencial de biossorção da alga marrom Sargassum polycystum para a remoção de metais tóxicos, cádmio e zinco. *Environmental Science and Pollution Research, 29* , 41909-41922 .

González Fernández, LA, Navarro Frómeta, AE, Carranza Álvarez, C., Flores Ramírez, R., Díaz Flores, PE, Castillo Ramos, V., Sánchez Polo, M., Carrasco Marín, F., & Castillo, NAM (2023). Valorização da Biomassa de Sargaços como Potencial Material para Remediação de Águas Contaminadas por Metais Pesados. *Revista Internacional de Pesquisa Ambiental e Saúde Pública, 20* .

Mohammed, A., Mohammed, C., Mautner, A., Kistow, M., Chaitram, P., Bismarck, A., & Ward, K. (2024). Sobre o desempenho de resinas de troca iônica de alginato de cálcio derivadas de Sargassum para adsorção de Pb2+: aplicações em lote e leito fixo. *Environmental Science and Pollution Research International, 31* , 31224-31239.

Raj, R., Ss, G., Sharaf, S., Chatterjii, NS, A, A., L., & KK, A. (2026). Valorização de Sargassum wightii por meio da produção de biochar: desenvolvimento, caracterização e aplicações potenciais. *Scientific Reports,* 16.

Hernández-Navarro, C., Pérez, S., Flórez, E., Acelas, N., & Muñoz-Saldaña, J. (2023). Sargassummacroalgae from Quintana Roo as raw material for the preparation of high-performance phosphate adsorbent from aqueous solutions.. *Journal of environmental management, 342*, 118312 .

Abubakar, M. Y., Ahmad, K. B., Mathew, T. S., Shamsudden, R., Muhammad, H. M., Haladu, M., & Adam, A. B. (2024). Heavy Metal Pollution in Aquatic Ecosystems: A Review of Toxic Impacts and Remediation Strategies. Kwaghe International Journal of Sciences and Technology.

Agradecimentos

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