

A utilização de *Lemna minor* em processos de biorremediação: uma revisão cienciométrica

The use of *Lemna minor* in bioremediation processes: a scientometric review

Amanda Eduarda da Silva Machado¹, Marjorye da Silveira Silva², Milene Oliveira Pereira³

RESUMO

Lentilhas d'água são tolerantes a condições ambientais adversas, como águas residuais e salobras. Sua capacidade de acumular metais pesados têm despertado interesse na comunidade científica. O objetivo do presente trabalho foi mapear, por meio de revisão cienciométrica, a produção científica referente às contribuições e aplicações das lentilhas-d'água da espécie *Lemna minor* para a área ambiental, especificamente biorremediação. A cienciométrica abrangeu o período de 1994 até 2023. Foi utilizado as bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, com o operador booleano "bioremediation" AND "duckweed", a pesquisa se restringiu a artigos de língua inglesa. As publicações encontradas foram analisadas por meio da ferramenta Bibliometrix. Houve aumento expressivo na produção científica relacionada ao uso da espécie *Lemna minor* para a biorremediação nos últimos anos, e isso pode estar relacionado à consolidação das *Wetlands* artificiais no setor ambiental. A *Lemna minor* é uma planta aquática de grande interesse para a biorremediação de lagos e águas residuais, principalmente no que tange à remoção de metais pesados e demais contaminantes ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: economia circular; fitorremediação; lentilhas d'água; pesquisa cienciométrica.

ABSTRACT

Duckweed is tolerant of adverse environmental conditions such as wastewater and brackish water. Its ability to accumulate heavy metals has sparked interest in the scientific community. The objective of this work was to map, through a scientometric review, the scientific production regarding the contributions and applications of duckweed of the *Lemna minor* species to the environmental area, specifically bioremediation. Scientometrics covers the period from 1994 to 2023. The *Scopus* and *Web of Science* databases were used, with the Boolean operator "bioremediation" AND "duckweed", the search was restricted to English-language articles. The publications discovered were verified using the Bibliometrix tool. There has been a significant increase in scientific production related to the use of the *Lemna minor* species for bioremediation in recent years, and this may be related to the compositions of artificial *Wetlands* in the environmental sector. *Lemna minor* is an aquatic plant of great interest for the bioremediation of lakes and wastewater, especially with regard to the removal of heavy metals and other environmental contaminants.

KEYWORDS: circular economy; phytoremediation; duckweed; scientometric research.

INTRODUÇÃO

A *Lemna minor* é uma monocotiledônea da família das *Araceae* que possui um pequeno tamanho e simplicidade estrutural (APG IV, 2016). Com uma alta taxa de

¹ Voluntária do Grupo Tutorial de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. E-mail: amandam@alunos.utfpr.edu.br ID Lattes: 3842508784582709.

² Voluntária do Grupo Tutorial de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. E-mail: marjorye.silva25@gmail.com. ID Lattes: 5957210408644933.

³ Docente no Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. E-mail: milenepereira@utfpr.edu.br. ID Lattes: 7045039505817648.



crescimento, devido ao seu modo de reprodução predominantemente vegetativo, seu peso é capaz de multiplicar em poucos dias, implicando em uma grande produção de biomassa (LANDOLT, 1986).

Além disso, lentilhas d'água possuem uma alta tolerância a condições ambientais adversas, como águas residuais e salobras (LENG *et al.*, 1995), e contribuem para a biorremediação desses sistemas, com potencial de serem utilizadas em sistemas de tratamento de efluentes suínos, devido a sua capacidade de remoção de nitrogênio, potássio e fósforo, e para o tratamento de drenagem de minas, por conta da sua grande capacidade de acumulação de metais pesados em seus tecidos, e, conseqüentemente, têm despertado interesse na comunidade científica (JOURNEY, 1993; KARA, 2004).

Estudos indicam que a lentilha d'água consegue acumular elevadas concentrações de níquel (Ni), cobre (Cu) e manganês (Mn) (JAIN *et al.*, 1988). Mas, apesar das vantagens citadas, as lentilhas d'água podem se tornar espécies invasoras e causar eutrofização de rios, por isso, em alguns casos, é necessário que se faça um controle da espécie, pois formam colônias aglutinadas que funcionam como tapetes que impedem a passagem de luz e oxigênio para a água, ainda assim, em ambientes controlados, podem ser importantes aliadas para o meio ambiente (CESCHIN *et al.*, 2019).

Para além da sua importância na área ambiental, as lentilhas d'água possuem outras polivalências. Devido a sua alta produção de amido, a *Lemna minor* também é de interesse para a produção de biocombustíveis como o etanol, e sua biomassa com alta taxa de proteínas é frequentemente utilizada em sistemas de aquaponia para a alimentação de peixes e outros animais (CHENG *et al.*, 2009).

O conceito de economia circular atualmente é uma pauta muito relevante no meio acadêmico e com grande potencial de expansão. E, considerando as diferentes aplicações da *Lemna minor*, essa macrófita tem grande potencial de aplicabilidade na bioeconomia, como, por exemplo, em sistemas de aquicultura integrada multitrófica, no qual as plantas aquáticas são introduzidas para reduzir o potencial de impacto ambiental dos resíduos gerados na aquaponia (KNOWLER, 2020).

Seguindo esta mesma linha teórica, essas macrófitas podem também ser introduzidas em *Wetlands* construídas, que são sistemas de tratamentos de efluentes de baixo custo projetadas para a utilização de plantas para remoção de nutrientes, sendo, muitas vezes, associadas ao paisagismo do local (ABRAHAM, 2019). Além de que, sua biomassa pode ser implementada na forma de ração, ou ser aproveitada para a produção de outros bioprodutos.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi mapear, por meio de uma revisão cienciométrica, a produção científica do uso de lentilhas-d'água para processos de fitorremediação, bem como identificar os pesquisadores atuantes e os principais periódicos em que é escoada sua produção científica.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada nas bases de dados de periódicos indexados *Scopus* (scopus.com) e *Web of Science* (WoS, webofknowledge.com), restringindo para artigos originais em língua inglesa no período de 1994 até abril de 2023. As palavras-chave e o operador booleano foram determinados como (*Lemna minor*) AND (*bioremediation*) com o campo "Tópico". Os resultados obtidos foram exportados em formato BibTeX, e, em

seguida, foram analisados com o auxílio dos pacotes *Bibliometrix* (<http://bibliometrix.org/>) e *Biblioshiny* em *software RStudio*® (versão 1.4.1106).

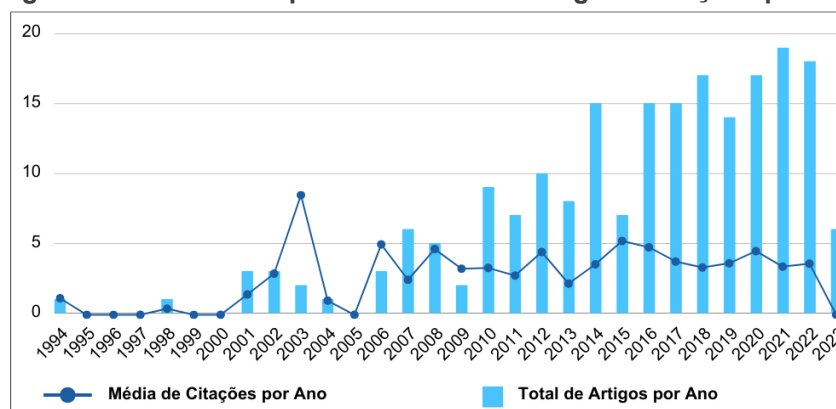
A partir das palavras-chave utilizadas foram obtidos 251 artigos. A execução da análise cienciométrica desempenhou a função de consolidar informações, eliminar duplicatas dos dados coletados das bases de dados no formato BibTeX e gerar planilhas e tabelas compatíveis com o *software* Microsoft Office Excel®. Após o refinamento dos dados, foi obtido um total de 205 documentos que foram publicados em 80 periódicos científicos por um total de 821 autores. Adicionalmente, o acesso à interface *Biblioshiny* viabilizou a análise cienciométrica de forma interativa, permitindo avaliar os tópicos sobre publicações, autores, periódicos e aplicações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

PUBLICAÇÕES

Interessante notar na Figura 1 que houve um aumento significativo no número de publicações nos últimos 10 anos, e, nesse período estão concentradas mais de 70% delas. Sugere-se que o aumento do número de publicações, a partir de 2014, ocorre em função de trabalhos de relevância científica publicados em revistas de alto fator de impacto - JCR entre 3,7 e 11,89 - onde a *Lemna minor* foi testada para fitorremediação de cádmio (Cd) (CHAUDHURI *et al.*, 2014; NEAGU *et al.*, 2014), urânio (U) (FAVAS *et al.*, 2014), arsênio (As) (GOSWAMI *et al.*, 2014) e mercúrio (Hg) (SITARSKA *et al.*, 2014). Quanto à média das citações, o valor máximo observado foi de 8.43 em 2003, e manteve valores regulares que variaram entre 2.20 e 4.96 nos anos de 2006 a 2022.

Figura 1 - Métricas da quantidade total de artigos e citações por ano



Fonte: Autoria própria, 2023.

AUTORES

A Tabela 1 mostra os 5 principais autores que publicaram nessa área de interesse. *Raj, P.* e *Tunca, E.* são os autores que mais publicaram artigos nesta área. No entanto, não são os autores mais citados. Entre os indicadores de impacto relativo aos autores, o índice-H, é considerado um parâmetro avaliativo robusto, por avaliar de forma simultânea os aspectos relativos à produção e ao impacto científico da pesquisa.

A análise dos autores pode ser complementada com a Lei de Lotka, que é útil para descrever a produtividade científica individual dos autores, verificando a contribuição de cada um para o desenvolvimento científico dentro da temática em estudo. Pela Figura 2-A

é possível observar que apenas um pequeno número de autores conseguem publicar mais de 3 artigos.

A nacionalidade dos autores reflete na produção científica por países. Na Figura 2-D, a intensidade da cor azul é proporcional ao número de publicações de cada país. Os países que se destacam em número de publicações são Índia (47 publicações) e Turquia (42 publicações), seguidos de Estados Unidos e China, com 31 e 30 publicações, respectivamente.

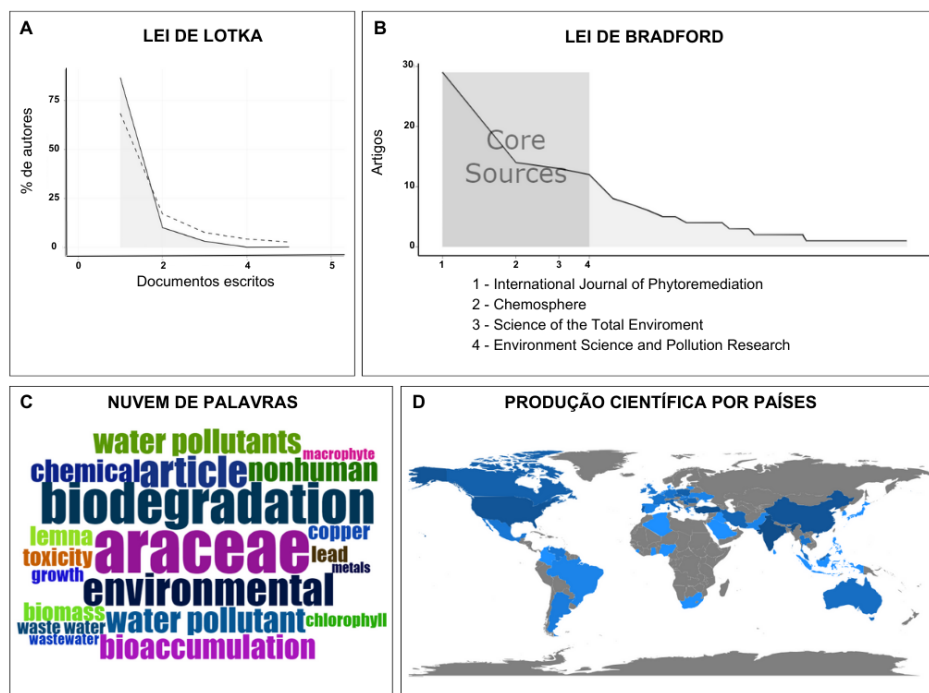
Uma notória observação obtida a partir da cienciometria é em relação aos índices de colaboração inter-países (MCP), onde China (4 publicações), Canadá (2 publicações), Índia e Irlanda (1 publicação) dispõem de artigos publicados por autores estrangeiros, indicando um intercâmbio de trabalhos de diferentes nacionalidades.

Tabela 1 - Principais autores que publicam na área

Autores	Artigos	H-Index	Total de Citações
Rai, P.	5	4	122
Tunca, E.	5	4	70
Upadhyay, A.	4	4	222
Altindag, A.	3	3	46
Chen, G.	3	2	17

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Figura 2 - Dados retirados do *Bibliometrix* (<http://bibliometrix.org/>)



Fonte: Autoria própria, 2023.

PERIÓDICOS

Entre os 4 periódicos mais relevantes nessa área de pesquisa destacam-se *Int. J. of Phytorem.* (29 publicações), *Chemosphere* (14 publicações), *Sci. Total Environ.* (13 publicações), *Environ. Sci. Pollut. Res.* (12 publicações). Do ponto de vista científico, a Lei de Bradford (Figura 2-B) permite, com a mensuração da produtividade dos periódicos, indicar o núcleo e as áreas dispersas a respeito de um assunto no mesmo conjunto de periódicos, sendo útil para auxiliar no desenvolvimento de novas pesquisas e descarte de revistas que tenham pouca relevância sobre determinado assunto.

A formação de nuvens de palavras permite identificar a incidência de termos relacionados à temática nos artigos, quanto maior a incidência dos termos, maior será seu destaque na nuvem. Dessa forma, observa-se que em relação às 20 palavras-chave mais frequentes (Figura 2-C), *biodegradation*, *water pollutant* e *bioaccumulation* foram palavras que apresentaram uma frequência regular, e que, relacionam-se aos principais objetivos dos artigos encontrados nessa pesquisa. As demais palavras encontradas também são coerentes não apenas com a temática ambiental proposta pela bibliometria mas também com a espécie *Lemna minor*, com grande ênfase à sua classificação taxonômica.

CONCLUSÃO

A pesquisa bibliométrica mostrou um aumento na produção científica relacionada ao uso da *Lemna minor* para a biorremediação nos últimos anos, tal fato pode estar diretamente relacionado à consolidação das *Wetlands* artificiais no setor ambiental. Há potencial para desenvolvimento de pesquisas para tratamento de efluentes da suinocultura, aquicultura, em sistemas de tratamento domésticos, e, principalmente em águas residuárias do setor de mineração, com a possibilidade de ser utilizada individualmente ou acoplada em estações de tratamento de esgoto convencionais, tornando-se uma tecnologia econômica, ecologicamente sustentável, e, em consonância com o conceito de economia circular.

Agradecimentos

Agradecemos à UTFPR – Dois Vizinhos, e ao suporte dado pelo Grupo Tutorial de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia (GTEBio) da UTFPR – Dois Vizinhos.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

ABRAHAM O. Ekperusi *et al.* Application of common duckweed (*Lemna minor*) in phytoremediation of chemicals in the environment: State and future perspective. *Chemosphere*, v. 223, p. 285-309, 2019.

APG IV. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV, **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, p. 1–20, 2016.

APPENROTH, Klaus-J *et al.* Resurgence of duckweed research and applications: report from the 3rd International Duckweed Conference. **Plant Molecular Biology**, v. 80, n. 6, 2015.

CESCHIN, Simona *et al.* Effects of the invasive duckweed *Lemna minuta* on aquatic animals: evidence from an indoor experiment. **Plant Biosyst.**, v. 153, p. 749-755, 2019.

CHAUDHURI, Devaleena *et al.* Cadmium removal by *Lemna minor* and *Spirodela polyrhiza*. **Int J Phytoremediation**, v. 16, p. 1119-1132, 2014

CHENG, Jay J.; STOMP, Anne M. Growing Duckweed to recover nutrients from wastewaters and for production of fuel ethanol and animal feed. **Clean Soil Air Water**, n. 37, p. 17-26, 2009.

FAVAS, Paulo *et al.* Accumulation of uranium by aquatic plants in field conditions: Prospects for phytoremediation. **Sci. Total Environ.**, v. 470, p. 993-1002, 2014.

GOSWAMI, Chandrima *et al.* Arsenic uptake by *Lemna minor* in hydroponic system. **Int J Phytoremediation**, v. 16, p. 1221-1227, 2014.

JAIN, Satynder K., *et al.* Heavy metal uptake by *Pleurotus sajor-caju* from metal enriched duckweed substrate. **Biol. Wastes**, v. 24, p. 275 - 282, 1988.

JOURNEY, William *et al.* **Duckweed Aquaculture** - A new aquatic farming system for developing countries. World Bank, Washington DC, 1993.

LANDOLT, Elias. **Biosystematic investigations in the family of duckweeds (*Lemnaceae*)** - The family of Lemnaceae - a monographic study v.1. Veröff. geobot. Inst. Zürich, c. 71, p. 1- 566, 1986.

LENG, R. A. *et al.* Duckweed - a potential high protein feed resource for domestic animals and fish. **Livest Res Rural**, v. 7, p. 1-9, 1995.

KARA, Yesim. Bioaccumulation of copper from contaminated wastewater by using *Lemna minor*. **Environmental Contamination and Toxicology**, v. 72, p. 467-471, 2004.

KNOWLER, Duncan *et al.* The economics of Integrated Multi-Trophic Aquaculture: where are we now and where do we need to go?. **Rev Aquacult.**, c. 12, p.1579 - 1594, 2020.

NEAGU, Daniela *et al.* Disposable electrochemical sensor to evaluate the phytoremediation of the aquatic plant *Lemna minor* L. toward Pb(2+) and/or Cd(2+). **Environ Sci Technol.**, v. 48, p. 7477-7485, 2014.

SITARSKA, Magdalena *et al.* Accumulation of mercury in the biomass of selected pleustophytes. **Environ Prot Eng.**, v. 40, p. 165-174, 2014.