



ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DO USO DE WETLANDS CONSTRUÍDOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES ORIUNDOS DA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS

EDUARDO NEIVA DE REZENDE NETO; MARIANA RICKEN BARBOSA; FERNANDA FALQUETO SALVADOR

RESUMO

A análise bibliométrica do uso de wetlands construídos no tratamento de efluentes oriundos da indústria de laticínios revela um crescente interesse nessa tecnologia sustentável. Utilizando dados de plataformas disponíveis no site dos periódicos da CAPES e abrangendo um período de pesquisa de 10 anos, foram identificados 92 autores, 26 documentos e 1644 referências citadas. A análise bibliométrica foi realizada com a ferramenta “bibliometrix”, a partir da qual se destacaram as principais tendências de pesquisa, avanços tecnológicos e contribuições desses sistemas de depuração. Os resultados mostraram um aumento na produção científica anual, com picos notáveis em 2017 e 2020, além de uma colaboração internacional significativa de pesquisadores do Brasil, Índia, Polônia e Austrália. Além disso, a análise identificou os manuscritos mais citados, com destaque para estudos em Portugal e Reino Unido. Este estudo contribui para evidenciar o potencial do uso de soluções baseadas na natureza na gestão de resíduos sólidos na indústria de laticínios.

Palavras-chave: Wetlands construídos; Tratamento de efluente; Laticínio; Bibliometrix; Sustentabilidade

1 INTRODUÇÃO

O soro do leite, um resíduo que apresenta elevado teor de poluentes devido à presença de proteínas, gordura, lactose e sais minerais (Poppi *et al.*, 2010) é um subproduto da produção de derivados lácteos que pode ser definido como a parte líquida, de cor amarelo-esverdeado, resultante da coagulação do leite por ácido ou por enzimas proteolíticas (Oliveira, 2009).

Os impactos negativos do descarte inadequado do soro do leite não tratado são significativos. Este efluente, quando liberado diretamente em corpos d’água, como rios e lagos pode levar à depleção de oxigênio, o que resulta num crescimento excessivo de algas e outras plantas aquáticas, o que pode causar a morte da fauna e flora locais devido à redução significativa dos níveis de oxigênio na água. Além disso, o soro do leite contém altos níveis de nitrogênio e fósforo, que contribuem para a eutrofização, contaminam o solo e favorecem a proliferação de bactérias (Rohlfes *et al.*, 2011).

A destinação inadequada do soro do leite gerado pelos laticínios brasileiros continua a causar impactos ambientais negativos, como a contaminação de recursos hídricos e do solo (Soares; Vendramel; Souza, 2021). Silva (2011) relatou que o soro de leite é aproximadamente cem vezes mais poluente que o esgoto doméstico devido sua elevada carga orgânica, por isso foi sugerido que o efluente deve ser coletado e conduzido separadamente para viabilizar o seu aproveitamento, seja na fabricação de novos produtos ou para alimentação de animais.

Os wetlands construídos representam uma tecnologia simples, porém altamente eficaz no tratamento de resíduos. Geralmente esse sistema é impermeabilizado ao fundo e preenchido com materiais do tipo argila ou pedregulhos, que funcionam como um meio filtrante e suporte para macrófitas, que são espécies aquáticas responsáveis pela concepção de um ambiente

favorável para a depuração do efluente por processos físicos, químicos e biológicos (Sperling, 1996; Kadlec; Wallace, 2008; Hoffmann *et al.*, 2011).

Este estudo teve como objetivo a realização de uma análise bibliométrica abrangente sobre a aplicação de wetlands construídos para o tratamento de efluentes da indústria de laticínios, como é o caso do soro de leite. A análise visou identificar as principais tendências de pesquisa, avanços tecnológicos, contribuições relevantes e perspectivas futuras no campo, a fim de contribuir para o desenvolvimento de soluções sustentáveis e eficazes para a gestão desses poluentes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

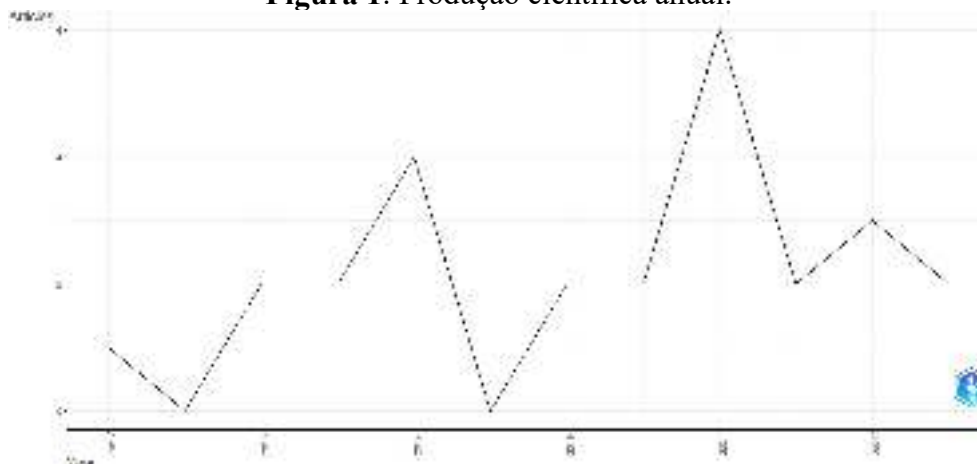
A metodologia empregada neste estudo envolveu a utilização das plataformas Scopus e Web of Science numa pesquisa bibliográfica sobre o uso de wetlands construídos para tratar efluentes oriundos da indústria de laticínios. A busca foi conduzida com palavras relevantes ao tema da pesquisa, como “wetlands”, “constructed wetlands”, “dairy”, “industrial waste” e “treatments”. Esses termos foram inseridos na pesquisa de forma agrupada, alterando algum dos termos durante a consulta. A pesquisa abrangeu o período de 2013 a 2024, resultando em 26 documentos relevantes, 92 autores diferentes e 1644 referências captadas.

A análise bibliométrica foi realizada através da ferramenta “bibliometrix”, um programa incorporado no compilador “R Studio” que requer instalação prévia do *software*. Após a instalação, é integrada a biblioteca “biblioshiny”, através do comando “biblioshiny()”, permitindo a abertura da ferramenta de busca, proporcionando acesso a informações cruciais, como a identificação de tendências, os países que mais produzem conteúdo sobre o tema, os autores mais citados, as fontes e afiliações mais relevantes e, principalmente, os trabalhos com maior número de citações. Essa abordagem permitiu uma análise detalhada e abrangente das publicações relacionadas ao uso de wetlands construídos no tratamento de efluentes da indústria de laticínios.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise bibliométrica realizada revelou que o uso de wetlands construídos para o tratamento de efluentes da indústria de laticínios tem ganhado crescente atenção ao longo dos anos. Como mostrado na Figura 1, a produção científica anual sobre este tema apresentou um crescimento significativo a partir de 2013, com picos notáveis em 2017 e 2020. Este crescimento reflete um interesse crescente pela busca de soluções sustentáveis e eficazes para a gestão desses resíduos industriais, impulsionado por uma maior conscientização ambiental e por regulamentações mais rígidas.

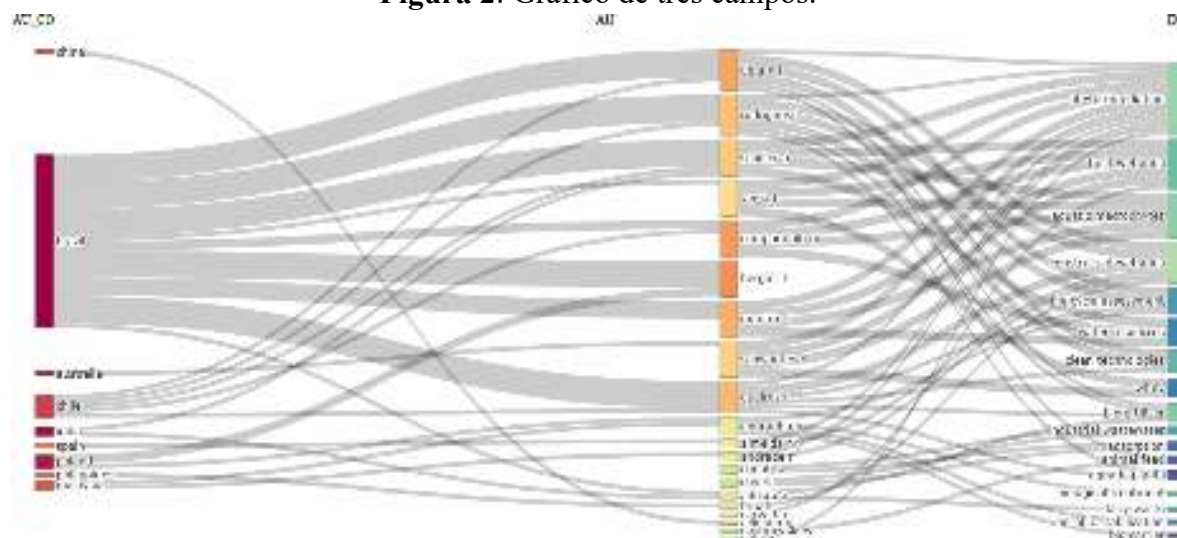
Figura 1: Produção científica anual.



Fonte: Bibliometrix

Outro ponto importante da análise bibliométrica é a colaboração internacional e as áreas de foco dos pesquisadores, conforme ilustrado pelo gráfico de três campos na Figura 2. Esse gráfico conecta os países dos autores (AU_CO), os próprios autores (AU) e as palavras-chave principais (DE) de seus estudos, revelando um panorama das contribuições científicas no campo.

Figura 2: Gráfico de três campos.

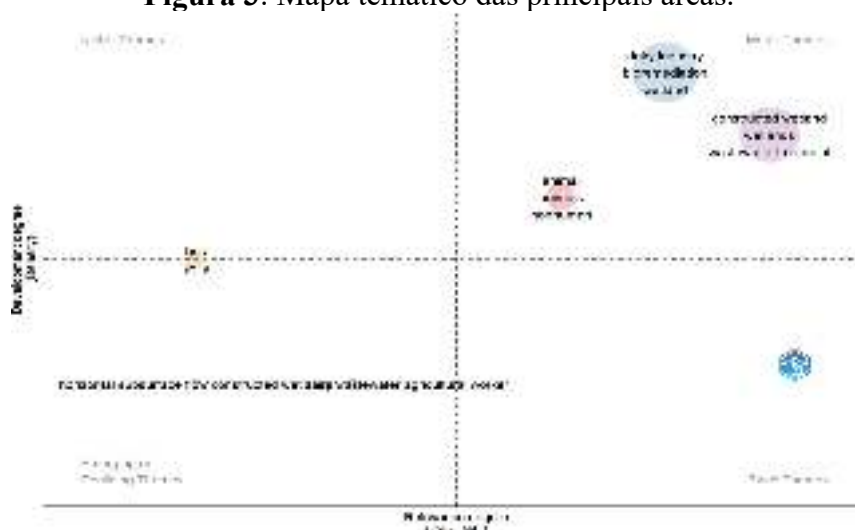


Fonte: Bibliometrix

A Figura 2 mostra que o Brasil é um dos principais países que contribuem para a pesquisa nesta área, com os autores (queiroz r) Rita de Cássia Souza de Queiroz e (schwantesd) Daniel Schwantes, destacando-se pelas suas publicações. Além disso, a Índia, a Polônia e a Austrália também aparecem como contribuintes significativos. As palavras-chave mais recorrentes, como "constructed wetlands", "phytoremediation" e "aquatic macrophytes", indicam os principais temas abordados nas pesquisas.

A Figura 3 apresenta um mapa temático que classifica os temas de pesquisa em quatro quadrantes: temas emergentes ou em declínio, temas básicos, temas motores e temas de nicho.

Figura 3: Mapa temático das principais áreas.



Fonte: Bibliometrix.

Os temas localizados no quadrante superior direito (Motor Themes) são aqueles que possuem alta relevância e desenvolvimento. Neste caso, temas como “dairy industry”, “biorremediation”, “wetland” e “constructed wetland” aparecem como palavras principais da pesquisa, indicando sua importância e uma alta densidade de estudos. No quadrante inferior esquerdo (Emerging or Declining Themes) encontram-se os temas emergentes ou em declínio, nessa parte, são encontrados temas como: “horizontal subsurface”, “flow” e “agricultural worker”. Esses termos podem indicar áreas que estão começando a ganhar relevância ou que estão perdendo interesse. Por fim, no quadrante superior esquerdo (Niche Themes), encontram-se termos como "bos" e "soils", que representam áreas bem desenvolvidas, mas com menor centralidade no campo de estudo.

Os países que mais produziram artigos sobre o tema incluem Brasil, Índia, Polônia, Argentina e Austrália, conforme mostrado na Figura 4. O Brasil lidera com a maior quantidade de publicações (5), seguido da Índia, com 4 e da Polônia com 3 artigos publicados.

Figura 4: Distribuição geográfica das publicações.



Fonte: Bibliometrix

No entanto, quando se analisa o impacto dessas publicações, medido pelo número de citações, Portugal surge como o país com maior relevância, acumulando 448 citações no total. Em seguida, o Reino Unido alcança um total de 228 citações e Bangladesh chega em 81 citações. Apesar de ser um dos maiores produtores de artigos, o Brasil apresenta um total de 54 citações, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1: Países que mais produziram.

País	Total de Citações	Total de Publicações
Portugal	448	1
Reino Unido	228	1
Bangladesh	81	1
Índia	55	4
Brasil	54	5
Polônia	25	3
Austrália	6	2

Fonte: Bibliometrix

Além de analisar os países com maior produção científica, é essencial destacar os

manuscrtos mais citados na área de wetlands construídos no tratamento de efluentes da indústria de laticínios. A Tabela 2 apresenta uma lista com os 10 principais artigos com maior número de citações.

Tabela 2: Periódicos mais relevantes.

Publicação	Autor	País	DOI	Nº de citações
Cheese whey wastewater: Characterization and treatment	Fátima Carvalho Ronald Fuge	Portugal	https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.038	448
Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review		Reino Unido	https://doi.org/10.1016/j.pgeochem.2015.09.013	228
Treatment of industrial effluents in constructed wetlands: Challenges, operational strategies and overall performance	Shubiao Wu	Dinamarca	https://doi.org/10.1016/j.nvpol.2015.03.006	165
A comprehensive review on nutrients and organics removal from different wastewaters employing subsurface flow constructed wetlands	Tanveer Saeed	Bangladesh	https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1318615	81
Valorization of Dairy Wastes: Integrative Approaches for Value Added Products	Ankita Adesra	Índia	https://doi.org/10.1007/s12088-021-00943-5	55
Application of subsurface vertical flow constructed wetlands to reject water treatment in dairy wastewater treatment plant	Wojciech Dąbrowski	Polônia	https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1262459	25
Vancomycin resistant Enterococcus spp. from crows and their environment in metropolitan Washington State	Marilyn Roberts	C.EUA	https://doi.org/10.1016/j.etmic.2016.01.022	23
Life cycle thinking applied to phytoremediation of dairy wastewater using aquatic macrophytes for treatment and biomass production	Rita de Cassia Queiroz	Brasil	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122006	19
Use of native aquatic macrophytes in the reduction of organic matter from dairy effluents	Rita de Cassia Queiroz	Brasil	https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1284750	13

Salvinia auriculata in Daniel
post- treatment of dairySchwantes Brasil <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1633260>
industry wastewater

Fonte: Bibliometrix

O artigo mais citado é o de Carvalho (2013) publicado na *Science of the Environment*, com 448 citações, destacando-se pela caracterização e o tratamento do soro do leite, o segundo mais citado é de Fuge (2015) na *Applied Geochemistry*, com 228 citações, que aborda a geoquímica ambiental e a saúde humana. Em seguida, Wu (2015) na *Environmental Pollution*, com 165 citações, discute os desafios apresentados quando se trata efluentes industriais com wetlands construídos.

Outros documentos notáveis incluem Saeed (2017) na *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Adesra (2021) no *Indian Journal of Microbiology* e Queiroz (2020) no *Journal of Cleanes Production*.

4 CONCLUSÃO

A análise bibliométrica realizada destaca o crescente interesse e a relevância do uso de wetlands construídos no tratamento de efluentes da indústria de laticínios. A pesquisa identificou as principais tendências, destacando a importância de abordagens sustentáveis para a gestão desses resíduos sólidos. A colaboração internacional e a produção científica, especialmente do Brasil, Índia, Polônia e Austrália, reforçam a necessidade de soluções globais para este problema ambiental. A identificação dos manuscritos mais citados revela a importância de estudos detalhados e bem fundamentados na disseminação de conhecimento e no avanço tecnológico.

REFERÊNCIAS

HOFFMANN, H.; PLATZER, C.; MÜNCH, E. von; WINKER, M. **Technology review of constructed wetlands - Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment**. Eschborn, Germany: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2011.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. *Treatment wetlands*. [S.l.]: CRC press, 2008.

OLIVEIRA, M. N. d. **Tecnologia de produtos lácteos funcionais**. 1. ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2009. 404 p. Capítulo 10 - Produtos lácteos funcionais. ISBN 978-8538800583.

POPPI, F. A.; COSTA, M. de R.; RENSIS, C. M. V. B. D.; SIVIERI, K. **Soro de leite e suas proteínas: composição e atividade funcional**. *Journal of Health Sciences*, v. 12, n. 2, 2010.

ROHLFES, A. L. B.; BACCAR, N.; OLIVEIRA, M.; MARQUARDT, L.; RICHARDS, N. **Indústrias lácteas: alternativas de aproveitamento do soro de leite como forma de gestão ambiental.** Tecno-Lógica, v. 15, n. 2, p. 79–83, 2011.

SILVA, A. **Modelagem, simulação e análise técnico-financeira de uma unidade de processamento de soro de leite para produção integrada de concentrado proteico, lactose e etanol.** 2011.

SOARES, B. C. V.; VENDRAMEL, S. M.; SOUZA, S. L. de. **Soro de leite: Uma visão ambiental.** Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, v. 2, n. 4, p. 31–40, 2021.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** [S.l.]: Editora UFMG, 1996. v. 1.