REVISÃO CIENCIOMÉTRICA SOBRE A CONTAMINAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS POR 17α-ETINILESTRADIOL NO PERÍODO DE 2021 A 2025

Marcela dos Santos Rocha, Barbara Lima Sartorio, Poliany de Oliveira Barbosa, Lucimara Ribeiro Venial, Ester Ramos Pancieri, 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, marcela.rocha@edu.ufes.br, barbara.sartorio@edu.ufes.br, poliany.barbosa@ufes.br, lucimara.venial@ufes.br, pancierire@gmail.com, maria.f.santos@ufes.br, maristela.vicente@ufes.br.

Resumo
Hormônios esteroides são contaminantes emergentes capazes de interferir no sistema endócrino, destacando-se o 17α-etinilestradiol (EE2) por sua ocorrência em ambientes aquáticos. Este estudo realizou uma análise cienciométrica da produção científica sobre a contaminação por EE2 entre 2021 e 2025, utilizando artigos das bases Web of Science e Scopus e o pacote Bibliometrix/Biblioshiny. Dos 537 registros encontrados, 375 compuseram a base final após a remoção de duplicatas e aplicação dos critérios de seleção. A produção apresentou oscilações, com maior número de publicações em 2021. O tratamento de águas residuárias destacou-se como tema motor, enquanto China e Brasil concentraram a maior produção. Os resultados evidenciam a consolidação das pesquisas sobre ocorrência, efeitos ecotoxicológicos e remoção do EE2, reforçando a necessidade de monitoramento e aprimoramento das tecnologias de tratamento.

Palavras-chave: Bibliometria. Poluição aquática. Hormônio esteroide.

Área do Conhecimento: Ciências exatas e da Terra – Química

Introdução

Os hormônios esteroides são substâncias ativas biologicamente que regulam processos fisiológicos como desenvolvimento e reprodução e são considerados contaminantes emergentes desreguladores endócrinos provocando alterações fisiológicas em humanos e em animais ao estarem presentes em diferentes matrizes ambientais (Hang Lin, *et al*. 2024). Entre os principais compostos investigados estão os hormônios esteroides naturais, como a estrona (E1) e o 17β-estradiol (E2), e o hormônio sintético 17α-etinilestradiol (EE2), associado principalmente ao uso de contraceptivos (Da Silva *et al*. 2025; Hashem, *et al.* 2025).

Efluentes de estações de tratamento de esgoto são os maiores contribuintes para a presença de contaminantes emergentes em águas superficiais, pois os tratamentos convencionais não foram projetados para remover a maioria desses compostos (Morin-Crini, *et al*. 2022). Estudos recentes têm demonstrado a presença de hormônios em diferentes ambientes aquáticos, investigado seus efeitos sobre os organismos expostos e desenvolvido métodos de detecção, quantificação e remoção dos compostos. A sua persistência e atividade mesmo em concentrações traço reforçam a necessidade de monitoramento e avaliação de sua distribuição em ambiente aquático (Grzegorzek, M, *et al*. 2024; Waniek, *et al.* 2025)

Diante da crescente produção científica relacionada à ocorrência e aos impactos dos hormônios em ambientes aquáticos, torna-se relevante compreender como esse campo de pesquisa tem se desenvolvido. Assim, este estudo tem como objetivo realizar uma revisão cienciométrica das publicações científicas, entre 2021 e 2025 sobre a contaminação de ambientes aquáticos por hormônios, considerando a distribuição das publicações, países, periódicos, autores, citações e principais temas abordados.

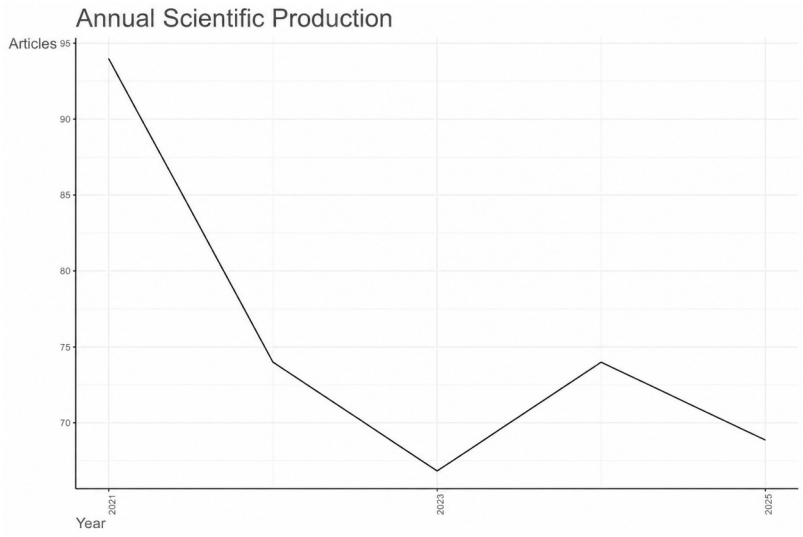
Metodologia

O estudo foi desenvolvido por meio de uma análise cienciométrica da produção científica relacionada à ocorrência e à contaminação ambiental por 17α-etinilestradiol (EE2). Foram considerados artigos publicados entre 2021 e 2025, recuperados nas bases Web of Science e Scopus. A estratégia de busca foi estruturada para recuperar estudos que abordassem o EE2 em ambientes aquáticos e sua ocorrência como contaminante ambiental. Para isso, foi utilizada a seguinte combinação de termos: *("ethinylestradiol" OR "17α-ethinylestradiol" OR "17 alpha-ethinylestradiol" OR EE2) AND ("surface water" OR river* OR *stream** OR *lake** OR *wastewater* OR *effluent** OR "*wastewater treatment plant**" OR WWTP* OR "aquatic environment*") AND (*contaminat** OR *pollut** OR *occurrence* OR "*environmental occurrence*"). A busca recuperou 202 registros na Web of Science e 335 registros na Scopus, totalizando 537 documentos. Após a integração das bases, os dados foram processados no ambiente RStudio (Posit Team, 2025), utilizando o pacote Bibliometrix e sua interface Biblioshiny. Ao todo foram removidos 157 registros duplicados, resultando em 380 documentos únicos. Em seguida, foi realizada a triagem manual dos trabalhos quanto à adequação ao escopo, sendo excluídos estudos que não apresentavam relação direta com contaminação ou poluição ambiental por EE2, saúde humana ou animal, além de publicações fora do período estabelecido. Ao final desse processo, a base foi constituída por 375 artigos. Foram analisados indicadores relacionados à análise descritiva, estrutura conceitual e estrutura social.

Resultados

A análise da produção científica ao longo do período avaliado (figura 1) demonstrou que a produção anual não apresentou crescimento contínuo ao longo do período. O maior volume de publicações ocorreu em 2021, com cerca de 93 artigos. Em 2022, a produção caiu para aproximadamente 74 trabalhos e atingiu o menor valor em 2023, com cerca de 66. Em 2024 houve recuperação, para aproximadamente 73 artigos, seguida de nova redução em 2025, com cerca de 68 publicações.

Figura 1: Número de documentos sobre o tema publicados entre 2021 e 2025



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

O mapa temático mostra que "*wastewater treatment*", "*wastewater*" e "*sewage*" são temas motores, indicando que o tratamento de águas residuárias é uma área bem desenvolvida e fortemente integrada à literatura. Já "*ethinylestradiol*" e "*water pollutant*" aparecem como temas básicos, apresentando alta centralidade, mas menor densidade. Os termos "estradiol", "*estrone*" e "*risk assessment*" formam um tema de nicho, caracterizado por maior especialização e menor conexão com os demais assuntos. Por fim, "*estrogens*", "*pharmaceuticals*", "*Emergent*" e "*water*" estão na categoria de temas emergentes ou

em declínio, com baixa centralidade e densidade, não sendo possível determinar, apenas pelo mapa, se estão ganhando ou perdendo relevância.

Figura 2: Mapa temático com termos mais representativos dos temas relacionando centralidade com a densidade com quadrantes: “motor thems’’, ‘’basic themes’’, ‘niche themes’’ e ‘’emerging themes’’.

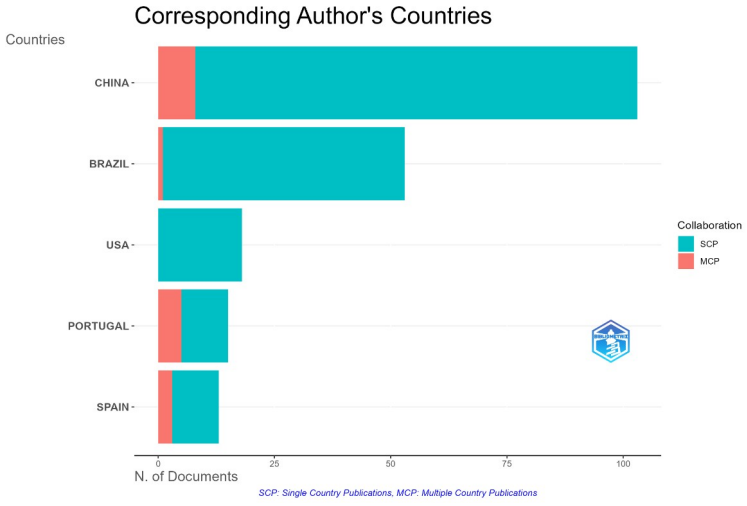


Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Em relação ao país do autor correspondente, a China apresentou o maior número de documentos, com aproximadamente 103 artigos. O Brasil apareceu em segundo lugar, com cerca de 53, seguido pelos Estados Unidos, com aproximadamente 18, Portugal, com cerca de 15, e Espanha, com aproximadamente 13 trabalhos.

A maior parte da produção chinesa e brasileira correspondeu a Single Country Publications (SCP), isto é, trabalhos cujos autores estão vinculados a um único país. Portugal, embora com menor número absoluto de documentos, apresentou visualmente uma participação proporcionalmente maior de *Multiple Country Publications* (MCP), relacionadas à colaboração internacional.

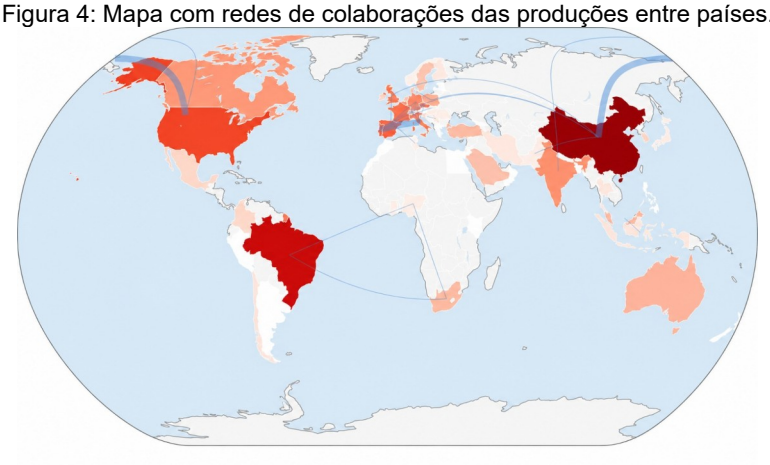
Figura 3: - Principais países dos autores correspondentes e distribuição das publicações segundo a colaboração nacional e internacional.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

O mapa mostra uma rede de colaboração com conexões entre diferentes regiões, especialmente a partir dos principais núcleos de produção na Ásia, Europa e Américas. A China aparece como um dos centros mais visíveis dessa rede, enquanto Brasil, países europeus e norte-americanos também participam das conexões internacionais.

Figura 4: Mapa com redes de colaborações das produções entre países.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Discussão

A produção científica sobre a contaminação por 17α-etinilestradiol (EE2) apresentou oscilações entre 2021 e 2025, sem crescimento contínuo, mas mantendo interesse científico pelo contaminante. Os estudos abrangem efeitos ecotoxicológicos, interação com outros contaminantes e estratégias de remoção. Wang *et al*. (2022) e Nobre *et al*. (2024), por exemplo, investigaram os efeitos da exposição combinada do EE2 com microplásticos em organismos aquáticos.

O mapa temático evidenciou o tratamento de águas residuárias como tema motor, indicando alta relevância e desenvolvimento na área, o que é compatível com estudos voltados à degradação e remoção do EE2 por diferentes tecnologias (Lenzi *et al.*, 2022; Song *et al.*, 2023; Liao *et al.*, 2023). Já "*ethinylestradiol*" e "*water pollutant*" foram classificados como temas básicos, enquanto estradiol, estrona e avaliação de risco formaram um tema de nicho. Esses resultados refletem a diversidade das pesquisas sobre ocorrência, efeitos e tratamento de hormônios em ambientes aquáticos (Grzegorzek *et al*., 2024; Waniek *et al.*, 2025).

China e Brasil concentraram a maior produção, com predominância de publicações nacionais, embora o mapa de colaboração demonstre conexões internacionais. Essa produtividade não indica necessariamente maior contaminação ambiental, pois também é influenciada pela estrutura científica e pelas redes de colaboração. Assim, a literatura sobre EE2 apresenta caráter internacional, mas permanece concentrada em determinados núcleos de pesquisa.

Conclusão

A análise cienciométrica evidenciou a consolidação das pesquisas sobre o 17α-etinilestradiol (EE2) em ambientes aquáticos, apesar das oscilações na produção científica entre 2021 e 2025. Os termos "*wastewater treatment*", "*wastewater*" e "*sewage*" destacaram-se como temas motores, evidenciando a importância do tratamento de águas residuárias nas pesquisas sobre o contaminante. A China e o Brasil concentraram a maior produção científica, enquanto as redes de colaboração demonstraram diferentes níveis de internacionalização. Os resultados reforçam a relevância ambiental do EE2 e a necessidade de ampliar estudos sobre sua ocorrência, efeitos ecotoxicológicos e remoção em ambientes aquáticos.

Referências

CUNHA, M. *et al.* Toxic effects of a mixture of pharmaceuticals in *Mytilus galloprovincialis*: The case of 17α-ethynylestradiol and salicylic acid. **Environmental Pollution**, v. 324, p 121070, 2023.

DA SILVA, R. L. *et al.* A systematic review of estrogens as emerging contaminants in water: A global overview study from the One Health perspective. **Journal of Xenobiotics**, v. 15, p. 148, 2025.

EQUIPE POSIT (2025). RStudio: Ambiente de Desenvolvimento Integrado para R. **Posit Software**, PBC, Boston, MA. Disponível em: http://www.posit.com.br.

GRZEGORZEK, M.; WARTALSKA, K.; KOWALIK, R. Occurrence and sources of hormones in water resources—environmental and health impact. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, p. 37907–37922, 2024.

HASHEM, J. S. *et al.* Diversity of estrogen biodegradation pathways and application in environmental bioremediation. **Frontiers in Microbiology**, v. 16, p. 1630636, 2025.

LENZI, G. G. *et al.* 17α-Ethinylestradiol degradation in continuous process by photocatalysis using Ag/Nb_2O_5 immobilized in biopolymer as catalyst. **Topics in Catalysis**, v. 65, p. 1225–1234, 2022.

LIAO, Z. *et al.* Photosensitivity sources of dissolved organic matter from wastewater treatment plants and their mediation effect on 17α-ethinylestradiol photodegradation. **Frontiers of Environmental Science & Engineering**, v. 17, p. 69, 2023.

LIN, H. *et al.* Occurrence and spatiotemporal distribution of natural and synthetic steroid hormones in soil, water, and sediment systems in suburban agricultural area of Guangzhou City, China. **Journal of Hazardous Materials**, v. 470, p. 134288, 2024.

MORIN-CRINI, N. *et al.* Worldwide cases of water pollution by emerging contaminants: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 20, p. 2311–2338, 2022.

NOBRE, C. R. *et al.* Microplastics and 17α-Ethinylestradiol: How do different aquatic invertebrates respond to this combination of contaminants? **Toxics**, v. 12, n. 5, p. 319, 2024.

POSIT TEAM. RStudio: Integrated Development Environment for R. **Posit Software, PBC**, Boston, MA, 2025.

SILVA, L. C. *et al.* Biodegradation and sorption of nutrients and endocrine disruptors in a novel concrete-based substrate in vertical-flow constructed wetlands. **Chemosphere**, v. 346, p. 140531, 2024.

SONG, J. *et al.* The comparative study on inhibitory effect of natural organic matters on the TiO_2 and activated carbon/TiO_2 composites for the removal of 17α-ethinylestradiol. **Chemosphere**, v. 333, p. 138930, 2023.

TANG, Z.; LIU, Z.-H.; WANG, H.; DANG, Z.; LIU, Y. A review of 17α-ethynylestradiol (EE2) in surface water across 32 countries: Sources, concentrations, and potential estrogenic effects. **Journal of Environmental Management**, v. 292, p. 112804, 2021.

WANG, J. *et al.* Polystyrene microplastics increase estrogenic effects of 17α-ethynylestradiol on male marine medaka (*Oryzias melastigma*). **Chemosphere**, v. 287, p. 132312, 2022.

WANIEK, J. J.; OSTERHOLZ, H.; FRAZÃO, H. C. A global inventory of natural and synthetic estrogens in aquatic systems. **Annual Review of Marine Science**, v. 17, p. 511–536, 2025.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), 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), do Laboratório de Preparo de Amostras e Análises Químicas (LaPAQui) e do Programa de Pós-graduação em Energia (PPGEN).