

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA PARA CONTAMINANTES EMERGENTES

Data de submissão: 02/05/2023

Data de aceite: 16/06/2023

Arthur Arnoni Occhiutto

Graduando em Ciências Biológicas
Licenciatura, Universidade Federal de
Alfenas, Unifal-MG, Alfenas - MG.
<https://orcid.org/0009-0006-4306-1876>

João Vitor Barbosa Calvelli

Universidade Federal de Alfenas, Unifal-
MG, Programa de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais, Alfenas - MG.
<https://orcid.org/0000-0001-6075-6158>

Lucas Adriano Moreira

Graduando em Biotecnologia,
Universidade Federal de Alfenas, Unifal-
MG, Alfenas - MG. <https://orcid.org/0000-0002-5541-8709>

Antonio Rodrigues da Cunha Neto

Universidade Federal de Alfenas,
Programa de Pós-graduação em
biotecnologia, Alfenas - MG
<https://orcid.org/0000-0001-7107-2755>

RESUMO: O atual e agravado estado de degradação ambiental torna necessário uma avaliação detalhada do progresso atual nas ciências que estudam os contaminantes emergentes. A bibliometria é utilizada como metodologia para analisar e avaliar os

principais pontos de estudo da ciência atual em relação às publicações que investigam os contaminantes emergentes. A avaliação foi realizada utilizando a plataforma Web of Science (WoS), considerando palavras-chave em inglês relacionadas ao presente estudo: “Emerging contaminants” e “pharmaceutical”. No total, foram encontradas 16.165 publicações com a palavra-chave “Emerging contaminants” no banco de dados da WoS, das quais 2.029 estavam relacionadas ao estudo de produtos farmacêuticos. Nos últimos 5 anos, houve um crescimento de 60,8%, sendo que as três principais áreas de pesquisa são ciências ambientais e ecologia, engenharia e química. Estados Unidos e China estão na vanguarda da pesquisa, com o maior volume de publicações. O avanço da ecotoxicologia como ciência no estudo dos contaminantes emergentes mostra uma tendência crescente tanto em número de publicações quanto em relevância científica e impacto na saúde pública. Os resultados desses estudos, portanto, são de interesse tanto nas esferas administrativas quanto científicas, gerando subsídios para o desenvolvimento de políticas e regulamentações ambientais eficazes no Brasil e no mundo.

PALAVRAS-CHAVE: Contaminantes emergentes; Fármacos; Bibliometria; Tendências de pesquisa; Publicações científicas

ABSTRACT: The current and exacerbated state of environmental degradation necessitates a detailed assessment of the current progress in the sciences that study emerging contaminants. Bibliometrics is employed as a methodology to analyze and evaluate the key focal points of current scientific research concerning publications investigating emerging contaminants. The assessment was conducted using the Web of Science (WoS) platform, considering English keywords related to the present study: “Emerging contaminants” and “pharmaceutical.” In total, 16,165 publications with the keyword “Emerging contaminants” were found in the WoS database, of which 2,029 were related to the study of pharmaceutical products. Over the past 5 years, there has been a growth of 60.8%, with the three main research areas being environmental sciences and ecology, engineering, and chemistry. The United States and China are at the forefront of research, with the highest publication volume. The advancement of ecotoxicology as a scientific discipline in the study of emerging contaminants demonstrates an increasing trend both in terms of publication quantity and scientific relevance, as well as its impact on public health. Therefore, the results of these studies are of interest to both administrative and scientific spheres, providing valuable insights for the development of effective environmental policies and regulations in Brazil and worldwide.

KEYWORDS: Emerging contaminants; Pharmaceuticals; Bibliometrics; Research trends; Scientific publications

INTRODUÇÃO

A presença de contaminantes emergentes, como resíduos de fármacos, no ambiente tem se tornado uma preocupação crescente devido aos potenciais impactos, tanto para os ecossistemas aquáticos quanto para a saúde humana. Os contaminantes emergentes farmacêuticos consistem em uma ampla variedade de compostos, incluindo medicamentos prescritos, de venda livre e de uso veterinário, que são detectados em corpos d’água devido ao seu uso indiscriminado, descarte inadequado e à resistência dos sistemas convencionais de tratamento de água para removê-los. A compreensão dos padrões de publicações e distribuição das pesquisas sobre contaminantes é importante para avaliar a preocupação global com o impacto ambiental desses compostos e a relação com o rigor das leis e diretrizes ambientais de cada país. Nesse contexto, a análise bibliométrica surge como uma ferramenta valiosa para explorar e sintetizar a literatura científica relacionada aos contaminantes emergentes farmacêuticos. A análise bibliométrica permite a quantificação e a avaliação de diversas características das publicações científicas, como o número de artigos publicados, as tendências de pesquisa, os principais tópicos abordados e as colaborações entre pesquisadores. O objetivo desta pesquisa é realizar uma análise bibliométrica abrangente dos estudos científicos que abordam a presença de contaminantes emergentes relacionados a fármacos no ambiente. Por meio dessa análise, busca-se identificar os avanços no campo, as principais áreas de pesquisa e os principais países

investindo nesse setor. Além disso, pretende-se avaliar a evolução temporal da produção científica nesse tema. Os resultados dessa análise bibliométrica fornecem uma visão geral do estado atual da pesquisa sobre contaminantes emergentes relacionados a fármacos, permitindo uma compreensão mais abrangente dos avanços científicos, identificação de áreas de pesquisa em expansão e direcionamento de futuros estudos. Além disso, essa análise poderá subsidiar a tomada de decisões e a implementação de políticas públicas voltadas para a gestão adequada desses contaminantes, visando à proteção do meio ambiente e da saúde humana.

METODOLOGIA

A avaliação foi realizada utilizando a metodologia de bibliometria com busca sistemática na plataforma Web of Science *Clarivates* (WoS), levando em consideração palavras chaves no idioma inglês relacionadas ao presente estudo: *Emerging contaminants* e *pharmaceutical*, publicadas até dezembro de 2022. Em seguida foram extraídas as informações relevantes para análise (Número de publicações com as referidas palavras chaves por ano, área das publicações encontradas e países origem das publicações) e os gráficos foram gerados pela plataforma WoS.

RESULTADO E DISCUSSÕES

Ao total, foram encontradas 16.165 publicações com a palavra chave '*Emerging contaminants*' no acervo WoS. O resultado, contudo, não considera apenas os trabalhos relacionados à contaminação por fármacos ou por subprodutos da indústria farmacêutica. Nesse sentido, ao refinar a busca foram encontrados 2.029 trabalhos que continham a palavra chave 'farmacêutico' correlacionadas com 'contaminantes emergentes'. Nota-se no plano geral do estudo de contaminantes emergentes um crescimento significativo nos trabalhos publicados com a referida palavra chave (Figura 1).

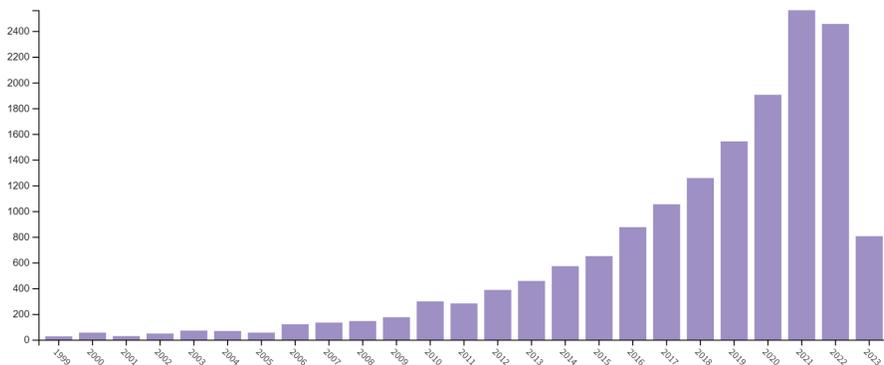


Figura 1. Número de publicações contendo a palavra-chave ‘Emerging contaminants’ de 1999 a 2022.
 FONTE: WEB OF SCIENCE, 2023

Analisando o histórico de publicações de 1999 a 2023, pode-se afirmar que os últimos 5 anos apresentaram um crescimento de 60,8% no volume de publicações dentro da coleção WoS, totalizando 9.829 artigos. O crescimento de publicações sobre contaminantes emergentes é especialmente significativo em dez áreas interdisciplinares, como pode ser visto na Figura 2. Dentre essas áreas, as Ciências Ambientais e Ecologia (*Environmental Sciences Ecology*) são as que mais se destacam no estudo desses compostos. Isso se deve à importância de se compreender os riscos que os contaminantes emergentes representam para a qualidade da água, solo, ar, saúde humana e da biota (MENON *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2023). Além disso, há um esforço conjunto entre as áreas de Engenharia e Química (Engineering and Chemistry) para avaliar os riscos associados à exposição e desenvolver estratégias eficazes de gestão de riscos. Esse ramo interdisciplinar, dos contaminantes emergentes, requer a avaliação dos efeitos ambientais dos contaminantes emergentes, bem como o uso de métodos analíticos para detecção e quantificação dessas substâncias e o desenvolvimento de tecnologias mais eficazes para sua remoção (QUINTELAS *et al.*, 2020).

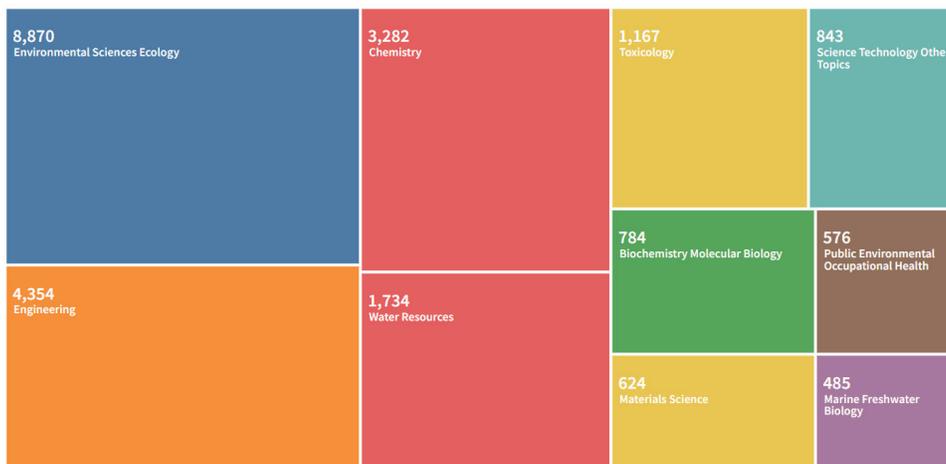


Figura 2. Área e soma do número das publicações contendo a palavra-chave 'Emerging contaminants' nos últimos 24 anos. FONTE: WEB OF SCIENCE, 2023

Nota-se também que a China e os Estados Unidos são, de acordo com a plataforma WoS, os países com mais publicações que contém a palavra chave 'contaminantes emergentes' (Figura 3). Esse resultado é comum a muitas áreas de pesquisa, pois esses países concentram institutos de pesquisa, editoras científicas e um suporte abrangente à pesquisa científica, que os colocam na maioria dos cenários nas mesmas posições. O Brasil por sua vez ocupa a 7ª posição nessa análise.

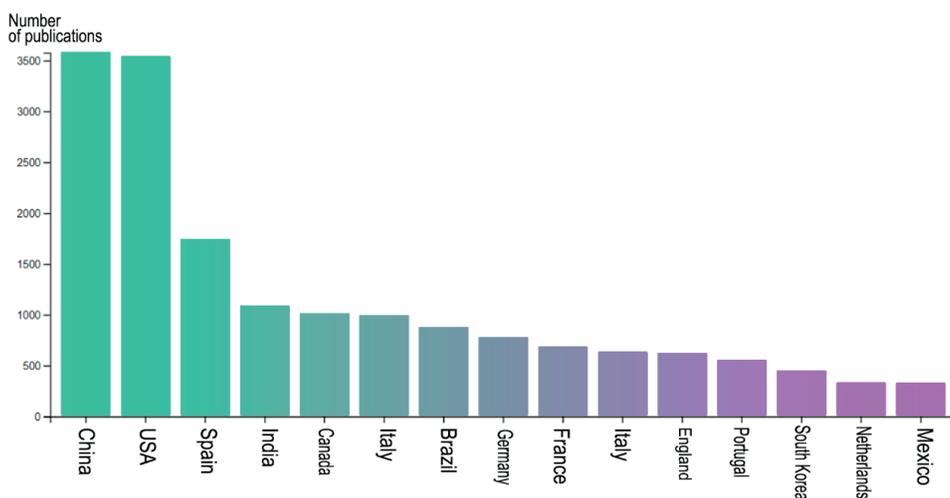


Figura 3. Países com mais publicações contendo a palavra-chave 'Emerging contaminants' nos últimos 24 anos. FONTE: WEB OF SCIENCE, 2023

Entre os poucos países não europeus com crescente interesse no estudo de novos poluentes, além da China e EUA, se destacam a Índia, Brasil, Coreia do Sul e México. Esse interesse reflete o significativo investimento em pesquisa e desenvolvimento feito por esses países nos últimos anos, resultando em um aumento notável na produção de publicações científicas, onde, apesar dos recursos ainda serem limitados, há uma abordagem estratégica para investimento em pesquisa, com políticas governamentais e programas de incentivo que promovem a cooperação entre academia e indústria. Reconhecendo a importância crítica que a ciência e a tecnologia desempenham no desenvolvimento econômico e social, estão investindo em pesquisa e inovação para abordar questões globais e diminuir os efeitos negativos no meio ambiente.

Conforme os novos contaminantes continuam a representar ameaças à saúde humana e ambiental, é fundamental o contínuo investimento em pesquisas que visam compreender as fontes, o destino e os efeitos dessas substâncias. Dessa forma, a colaboração entre academia, indústria e governo desempenham um papel crucial na promoção da inovação e na troca de conhecimento, permitindo o desenvolvimento de soluções sustentáveis para os desafios dos novos contaminantes.

Nesse sentido, além das informações contidas e observadas no acervo digital WoS, o relatório da *Organisation de coopération et de développement économiques* (OECD, 2015) elucida características ambientais e de gestão que interferem e se relacionam com a temática do presente trabalho. Assim, o Environmental Policy Stringency (EPS), que avalia o rigor das políticas ambientais adotadas pelos países, é um índice proposto pela OECD e abrange um conjunto de indicadores que avaliam o nível de exigência das leis e regulamentos ambientais, a efetividade das políticas em alcançar seus objetivos ambientais, a participação e transparência na tomada de decisões, e a implementação e execução efetiva das políticas. A Figura 4 destaca a métrica de EPS dos países da OECD com maior rigor nas políticas ambientais. A frente desse ranking, EUA, Espanha, Canadá, Alemanha, Itália, Holanda, Portugal, Inglaterra, França e Coreia do Sul figuram como os países com mais publicações com essa temática.

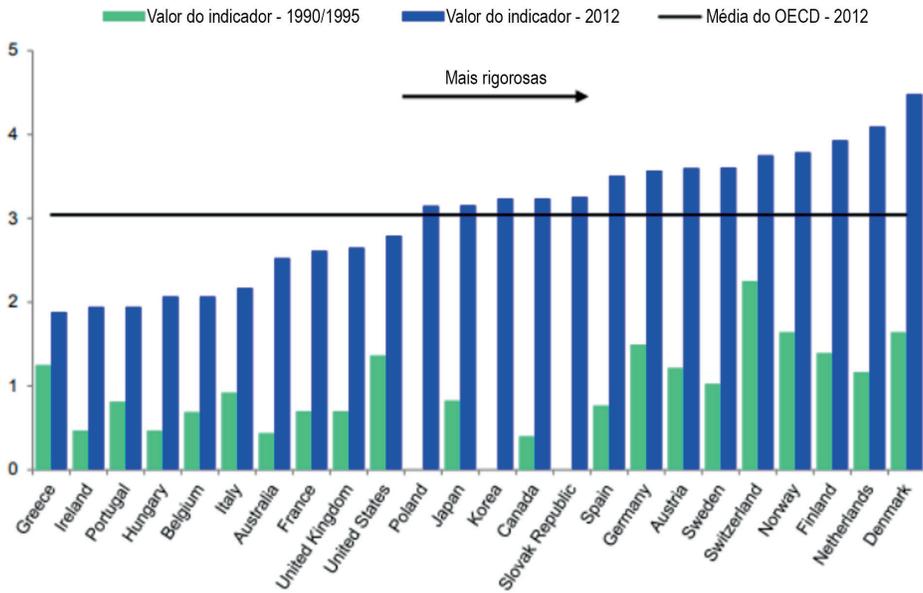


Figura 4. Pontuação do indicador EPS (Rigor das políticas Ambientais) para países que são parte do OECD (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) no período de 1990-1995 e em 2012. Traduzido de: OECD, 2016.

É possível apontar uma relação entre a efetividade das políticas ambientais e o interesse pela pesquisa e desenvolvimento de soluções para os contaminantes emergentes, essa correlação pode ainda ser extrapolada para outras áreas de interesse do estudo das ciências ambientais. O impacto desse estudo e a continuidade da análise desse tema no Brasil são evidenciados no relatório mais recente publicado pela OECD (2021). Dessa forma, a implementação de políticas rigorosas de proteção ambiental pode incentivar a busca por soluções sustentáveis para minimizar os efeitos desses poluentes no meio ambiente e na saúde humana. Essa abordagem deve ser continuamente avaliada e aprimorada por meio de pesquisas científicas e monitoramento constante, garantindo a segurança e preservação dos ecossistemas e da saúde pública, levando assim a um estreitamento e harmonização das leis no âmbito nacional, de forma a simplificar e otimizar os processos de fiscalização.

Nesse sentido, nota-se que na maioria dos países onde há grande interesse na pesquisa de contaminantes emergentes também há um crescente rigor das políticas ambientais. O Brasil e a Índia por sua vez, aparecem nesse mesmo relatório compondo os países do BRIICS (Brasil, Rússia, Índia, Indonésia, China e África do Sul) e demonstram ter historicamente um rigor de políticas ambientais significativamente menor (Figura 5a) em relação aos 38 países que compõem a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD). Na Figura 5b observa-se que durante 1990 a 1995 o rigor das

políticas ambientais (EPS) entre os países do BRIICS eram relativamente mais próximos entre si do que em 2012, quando os países mais populosos do bloco (Indonésia, Índia e China) chegaram a dobrar o índice de EPS. Devido a essa alta densidade populacional e, conseqüentemente, maior pegada ambiental, a Índia, China e Indonésia têm sido pressionadas a implementar políticas ambientais mais rigorosas nas últimas décadas (OECD, 2016). Embora a China com EPS de 1,2, tenha uma pontuação menor que a média do índice para a OECD (média = 3), apresenta alto índice de publicações, assim como o EUA que está abaixo da média, tomam a vanguarda dessa pesquisa. Esse crescimento da pesquisa chinesa tende a índices maiores, sendo previsto para 2023 um investimento de R\$ 250 bilhões no setor científico e tecnológico, um aumento 2% maior que em 2022.

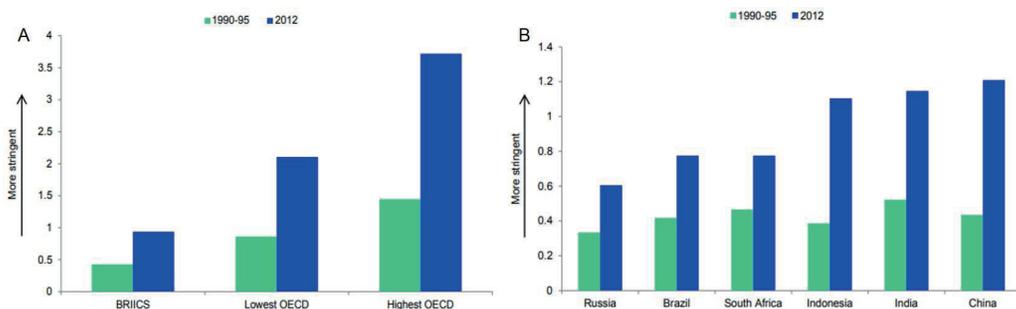


Figura 5. Rigor das políticas ambientais entre os países da OECD e o BRIICS (OECD, 2016). A) Países BRIICS são Brasil, Rússia, Índia, Indonésia, China e África do Sul. Os países da OECD com menor rigor ambiental são Grécia, Irlanda e Portugal. Os países da OECD com maior rigor ambiental são Finlândia, Países Baixos e Dinamarca; B) Rigor das políticas ambientais nos países BRIICS.

Em contramão do aumento de investimento em pesquisa, o Brasil nos últimos anos vem apresentando quedas acentuadas abaixo de 1% do PIB nacional. Isso representa uma queda de produtividade e de conhecimentos acerca da diversidade de ecossistemas e florestas com imensa biodiversidade, que estão sob constante ameaça de desmatamento, mineração e urbanização. Como um grande produtor agrícola, o Brasil tem sido uma das nações com os maiores índices de agrotóxicos e outros produtos químicos que podem contaminar o meio ambiente. Essas questões ambientais, aliadas à presença crescente de contaminantes emergentes, tornam essencial monitorar e regulamentar o impacto das atividades antrópicas e da produção de resíduos classificados. Outro fator de contaminação ambiental reside no Brasil, 6º maior consumidor de medicamentos do mundo e apresentar pouca gerência dos seus resíduos.

A redução dos padrões ambientais em países em desenvolvimento, como Brasil e Índia, que possuem grandes populações e territórios, além de desempenharem papéis significativos no comércio internacional, podem resultar em conseqüências ambientais negativas. Como resultado, é possível que os cientistas venham aumentando esforços na

compreensão e na busca de soluções para a questão dos contaminantes emergentes.

Muito embora o cenário apresentado não coloque o Brasil a par dos países da OECD em méritos legislativos, faz-se importante ressaltar que após 2012 houveram mudanças legais e atualizações de normativas antecessoras a esse relatório. Como a resolução CONAMA 430 de 2011 além da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), a atualização de 2019 da Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998). A resolução ANVISA RDC nº 222/2018 que estabelece critérios para o descarte de medicamentos vencidos ou em desuso, com o objetivo de evitar a contaminação ambiental foi atualizada em 2020 para incluir novas orientações sobre o descarte de medicamentos contendo substâncias classificadas com risco ambiental.

O avanço da ecotoxicologia como ciência no estudo dos contaminantes emergentes, mostra-se em tendência de crescimento em número de publicações como em relevância científica e saúde coletiva. Compreender o impacto dos contaminantes emergentes no meio ambiente é crucial para o desenvolvimento de políticas e regulamentações ambientais eficazes no Brasil e no mundo. Os resultados desses estudos são, portanto de interesse das esferas administrativa e científica.

REFERENCIAL

KHALIDI-IDRISSI, A. *et al.* Recent advances in the biological treatment of wastewater rich in emerging pollutants produced by pharmaceutical industrial discharges. **International Journal of Environmental Science and Technology** 2023, [s. l.], p. 1–22, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-023-04867-z>. Acesso em: 6 maio 2023.

MENON, N. G. *et al.* Review on Occurrence and Toxicity of Pharmaceutical Contamination in Southeast Asia. [s. l.], p. 63–91, 2020.

NIPPES, R. P. *et al.* A critical review on environmental presence of pharmaceutical drugs tested for the covid-19 treatment. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 152, p. 568, 2021. Disponível em: [/pmc/articles/PMC8243632/](https://www.sciencedirect.com/journal/process-safety-and-environmental-protection/article/pii/S0950423021001632). Acesso em: 6 maio 2023.

OECD. **Evaluating Brazil's progress in implementing Environmental Performance Review recommendations and promoting its alignment with OECD core acquis on the environment**. Paris: OECD Publishing, 2021. *E-book*. Disponível em: <https://www.oecd.org/environment/country-reviews/Brazils-progress-in-implementing-Environmental-Performance-Review-recommendations-and-alignment-with-OECD-environment-acquis.pdf>.

OECD. **How stringent are environmental policies? A review of OECD work on indicators of environmental policy stringency (EPS)**. OECD Publisher, 2016. *E-book*. Disponível em: <https://www.oecd.org/economy/greeneco/-How-stringent-are-environmental-policies.pdf>.

OECD. **OECD Environmental Performance Reviews: Brazil 2015**. Paris: OECD Publishing, 2015.

SILVA, V. W. P. da *et al.* Descarte de medicamentos e os impactos ambientais: uma revisão integrativa da literatura. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s. l.], v. 28, n. 4, p. 1113–1123, 2023. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/csc/a/6wySXd-YtDxp3vjcnxM8sWyH/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 3 maio 2023.

Embora exista grande avanço na gestão de processos de Boas Práticas de Fabricação nas indústrias farmacêuticas, ainda é insipiente o controle sobre o processamento final dos efluentes derivados dos resíduos líquidos, contendo fármacos e derivados potencialmente tóxicos ao meio ambiente. As legislações implementadas até o momento não são claras, se mostrando limitadas e com muitas brechas, o que gera subterfúgios na caracterização real da ecotoxicidade, pois como foi apresentado, esse efeito é variado de acordo com o teste empregado.

Assim, podemos esperar para um futuro próximo, maiores esforços das autoridades para que sejam realizadas abordagens mais amplas e decisivas para o controle da presença de poluentes emergentes nas águas superficiais com os tratamentos mais efetivos. Ademais, cabe às indústrias uma maior conscientização sobre o cumprimento da legislação e a preocupação com o meio ambiente. Também é necessário que haja maiores incentivos a pesquisas de monitoramento contínuo, particularmente por aqueles que buscam avaliar a variedade de parâmetros comportamentais, os períodos de exposição mais longos e as espécies adicionais de múltiplos níveis tróficos seja *in vivo* ou *in vitro*, sendo necessários para entender melhor os possíveis impactos que esses produtos farmacêuticos podem ter no ecossistema regional e nacional.

É inegável que ao longo da última década, com o desenvolvimento de novas técnicas analíticas e ensaios biológicos, a ciência produzida no ramo da ecotoxicologia obteve imensos avanços. Além disso, existem várias questões a serem respondidas e muito espaço para o desenvolvimento de trabalhos, com o objetivo de uma compreensão mais sólida das reais consequências da liberação de fármacos no meio ambiente.