



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## **Análise de Risco Ambiental de Fármacos em Águas de Abastecimento: o que sabemos sobre o assunto?**

Luiz Eduardo Chaves de Azevedo<sup>1</sup>, Luiza Carla Girard Mendes Teixeira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Me. em Engenharia Química, Professor Assistente I, Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Universidade do Estado do Pará – Campus VIII Marabá/PA, Av. Hiléia s/n Bairro: Amapá, CEP: 68502-100, Marabá, Pará. (91) 982909993. [luiz.azevedo@uepa.br](mailto:luiz.azevedo@uepa.br) (autor correspondente). <sup>2</sup>Dr<sup>a</sup> em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Professora titular, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, nº 01 - Bairro: Guamá. CEP: 66075-110. Belém – Pará. (91) 98842-8600. [luiza.girard@gmail.com](mailto:luiza.girard@gmail.com)

Artigo recebido em 13/05/2025 e aceito em 03/02/2026

### RESUMO

A presença de fármacos em recursos hídricos utilizados para abastecimento humano tem se consolidado como uma questão ambiental emergente, em função do aumento do consumo desses compostos, de sua liberação contínua no ambiente e da limitada eficiência dos sistemas convencionais de tratamento de água e efluentes. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo analisar o cenário científico da avaliação de risco ambiental associada à presença de fármacos em águas de abastecimento e mananciais, por meio de uma abordagem bibliométrica sistemática. A metodologia baseou-se na coleta de dados na base Web of Science Core Collection, considerando artigos e revisões publicados entre 2010 e 2025, seguida da aplicação de critérios rigorosos de seleção. As análises bibliométricas e de visualização de dados foram realizadas com o auxílio do software VOSviewer, permitindo a avaliação temporal, espacial, de coautorias, coocorrência de palavras-chave e periódicos científicos. Os resultados evidenciaram um número ainda reduzido de estudos específicos sobre análise de risco ambiental de fármacos em águas de abastecimento, com maior concentração de publicações nos últimos anos e predominância de pesquisas desenvolvidas na China e na Índia. Observou-se, ainda, uma baixa representatividade de estudos brasileiros, refletindo lacunas relevantes no conhecimento científico nacional. Conclui-se que, apesar do crescente interesse internacional, a área permanece incipiente, especialmente no Brasil, reforçando a necessidade de ampliar pesquisas integradas que subsidiem políticas públicas, programas de monitoramento e futuras regulamentações voltadas à proteção dos recursos hídricos e da saúde ambiental.

Palavras Chaves: Contaminantes Emergentes, Bibliometria, Recursos Hídricos.

## **Environmental Risk Analysis of Pharmaceuticals in Water Supplies: *what do we know about the subject?***

### ABSTRACT

The presence of pharmaceuticals in water resources used for human supply has become established as an emerging environmental issue due to the increasing consumption of these compounds, their continuous release into the environment, and the limited efficiency of conventional water and wastewater treatment systems. In this context, this study aimed to analyze the scientific landscape of environmental risk assessment associated with the presence of pharmaceuticals in drinking water and water supply sources, through a systematic bibliometric approach. The methodology was based on data collection from the Web of Science Core Collection database, considering research articles and review papers published between 2010 and 2025, followed by the application of rigorous selection criteria. Bibliometric and data visualization analyses were conducted using VOSviewer software, enabling temporal and spatial assessments, as well as analyses of co-authorship networks, keyword co-occurrence, and scientific journals. The results revealed a still limited number of studies specifically addressing the environmental risk assessment of pharmaceuticals in drinking water sources, with a higher concentration of publications in recent years and a predominance of research conducted in China and India. A low representation of Brazilian studies was also observed, reflecting significant gaps in national scientific knowledge. It is concluded that, despite the growing international interest, this research field remains incipient, particularly in Brazil, reinforcing the need to expand integrated studies that support public policies, monitoring programs, and future regulations aimed at protecting water resources and environmental health.

Keywords: Emerging Contaminants; Bibliometrics, Water Resources

Comentado [A1]: Ajustar após as correções do resumo.

Comentado [A2R1]: Ajustado

## Introdução

Mundialmente, há produção e uso em larga escala de uma vasta gama de fármacos com compostos ativos, incluindo antibióticos, anti-inflamatórios, analgésicos e etc. Diferentes regiões do mundo têm diferentes níveis de restrição à prescrição e venda de medicamentos (Shigei et al., 2021), mas nem isso é o suficiente para que uma quantidade significativa fique disponível no planeta provocando riscos. Aliado a essa venda descontrolada e automedicação, a falta de gerenciamento adequado dos resíduos desses medicamentos pós uso provocam alterações no meio ambiente, particularmente em corpos hídricos, onde tais substâncias ocorrem em concentrações baixas na ordem de microgramas por litro ( $\mu\text{g/L}$ ) e nanograma por litro ( $\text{ng/L}$ ) (Teixeira et al., 2021).

Os produtos farmacêuticos desempenham um papel importante na garantia da saúde da população. No entanto, a sua utilização não está isenta de efeitos negativos cuja importância só mais recentemente foi reconhecida. De fato, todos os dias toneladas desses compostos são lançadas no meio ambiente, contaminando ecossistemas (Lolić et al., 2015). Recursos hídricos que servem para uso e abastecimento são um dos mais afetados pela contaminação dessas substâncias.

Os fármacos podem ser liberados no ambiente aquático de diferentes formas: durante sua produção, após o consumo, por meio do efluente de estações de tratamento de águas residuais (ETARs) ou por descarte direto (Li et al., 2020; Sangion & Gramatica, 2016). Infelizmente, neste século, o consumo de produtos farmacêuticos aumentou progressivamente principalmente devido ao uso excessivo frequente de medicamentos (Li et al., 2020).

No Brasil, a maioria dos fármacos que não são utilizados, seja por ser sobras de alguma prescrição médica, seja por estarem vencidos, são descartados de maneira inadequada no lixo comum, na pia ou no vaso sanitário das residências contaminando a rede de esgoto, o solo e consequentemente os corpos hídricos superficiais e subterrâneos (Almeida et al., 2019; Fonseca & Andrade, 2022). Dessa forma, podendo atingir mananciais responsáveis por abastecer cidades através da lixiviação, solubilização, escoamento superficial e infiltração nos componentes do meio ambiente mencionados.

Segundo Sengar e Vijayanandan (2022), os fármacos possuem características de contaminantes “pseudo-persistentes”, por serem difíceis de serem removidos do meio ambiente e possuírem propriedade físicas, químicas e

biológicas diferenciadas fazendo sofrer transformação. Além disso, possuem elevado potencial de bioacumulação e baixa biodegradabilidade, bem como são de difícil remoção nas Estações de Tratamento de Água (ETA) e Efluentes (ETE) (Pinto et al., 2014).

Atualmente, a capacidade analítica melhorou para permitir a quantificação de concentrações muito baixas com o alto grau de certeza graças ao uso de tecnologias como espectrometria de massa e cromatografia, os cientistas conseguiram quantificar esses fármacos nos sistemas aquáticos (águas superficiais, águas subterrâneas, águas tratadas e águas residuais não tratadas e até mesmo água da torneira) (Lolić et al., 2015; Loos et al., 2013; Loos et al., 2010).

Vários são os fármacos detectados nos mananciais e recursos hídricos que servem para abastecimento em diferentes áreas geográficas como por exemplo desreguladores endócrinos no Brasil e na Argentina (Babay et al., 2014; Teixeira et al., 2021), analgésicos e anti-inflamatórios em países europeus e nos EUA (Ziylan & Ince, 2011) e diclofenaco e Ibuprofeno na Letônia e Noruega (Reinholds et al., 2017).

Embora existam vários estudos sobre a presença de compostos farmacêuticos na água potável, até onde sabemos, nenhum programa sistemático de monitoramento de recursos hídricos de sistemas de abastecimento utilizando metodologias analíticas bem validadas foi realizado e os dados publicados. Além disso, existem poucos estudos científicos de avaliação dos riscos de exposição aos baixos níveis de produtos farmacêuticos detectados na água potável (Gaffney et al., 2015).

A Organização Mundial da Saúde (OMS), no seu relatório “Produtos Farmacêuticos na Água Potável”, concentrou-se na revisão dos riscos para a saúde humana associados à exposição a vestígios de concentrações de produtos farmacêuticos na água potável foram analisadas três avaliações de risco para a saúde humana realizadas no Inglaterra, na Austrália e nos Estados Unidos da América e, com base nos resultados, a OMS concluiu que os impactos adversos apreciáveis na saúde humana decorrentes do consumo das baixas concentrações de produtos farmacêuticos presentes na água potável são muito improvável (World Health Organization., 2011; World Health Organization, 2012). Porém, tais avaliações foram feitas com base apenas nas concentrações dos fármacos encontrados nos recursos hídricos, não foi levado em consideração os fatores variantes de cada pessoa como por exemplo o estágio da vida que ela se encontra (idade), que pode aumentar ou diminuir

a suscetibilidade ao risco de ingestão dessas substâncias de acordo com as concentrações encontradas.

Portanto, a comunidade científica tem feito esforços para aumentar os estudos relativos à avaliação dos riscos para a saúde humana associados aos produtos farmacêuticos, no entanto os estudos são escassos, sobretudo no Brasil.

A extensa quantidade de pesquisas publicadas sobre meio ambiente e seus impactos, e seu constante crescimento, exigem dos cientistas ambientais a capacidade de contextualizar cada caso – o que é publicado e por quem - para revelar as tendências científicas anteriormente desconhecidas (Gibert et al., 2018; Romanelli et al., 2021). A bibliometria pode contribuir fundamentalmente para esse fim, permitindo examinar como conteúdos estão se desenvolvendo e como evidências estão conectadas, revelando a estrutura de campos inteiros (Nakagawa et al., 2019). Além disso, fornece informações sobre o estado atual do conhecimento e apoia o desenvolvimento de futuras linhas de pesquisas (Cabeza-Ramírez et al., 2020; Romanelli et al., 2021).

Tendo em mente todo esse cenário de fragilidades: ausência de monitoramento desses microcontaminantes farmacêuticos, escassez de pesquisas na área, desconhecimento das principais locais onde são realizadas pesquisas sobre esse assunto, possíveis tendências de pesquisas envolvendo a análise de riscos desses contaminantes, gera-se o seguinte questionamento: qual o cenário da análise de riscos por farmacontaminação em águas de utilizadas para abastecimento?

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar de forma sistemática o panorama científico da pesquisa relacionada à avaliação de risco ambiental da presença de fármacos em águas de abastecimento e em seus mananciais associados, por meio de uma abordagem bibliométrica, visando identificar tendências de pesquisa, lacunas do conhecimento, principais núcleos temáticos, redes de colaboração científica e implicações para a gestão dos recursos hídricos e para a formulação de políticas públicas.

## **Materiais e métodos**

Primeiramente, para elaboração deste trabalho foi realizada uma revisão de literatura dos principais temas abordados pela análise bibliométrica, visando compreender os assuntos abordados ao longo do trabalho. Para tanto, foram consultadas diversas fontes de referências, como livros, artigos científicos publicados em periódicos

e publicações oficiais disponíveis online de órgãos relacionados ao tema. A fim de proporcionar abrangências das informações, as principais bases de dados foram utilizadas para esta etapa do trabalho: Web of Science, Scopus, Science Direct, Scielo e Google Acadêmico. Priorizou-se os últimos 15 anos, pois de acordo com Caldas et al. (2025) garante a inclusão das abordagens e inovações mais recentes presentes na literatura.

### **Análise Bibliométrica**

Os dados dos artigos de pesquisa foram coletados em 05 de fevereiro de 2026 no banco de dados da Web of Science Core Collection (WOS), com seleção do tema “análise de risco ambiental”, “fármacos” e “água de abastecimento”. Os artigos de pesquisa e revisão possuem grande quantidade de publicações e podem representar pesquisas independentes, dessa forma foram adotados os dois tipos de dados para este estudo. A busca avançada foi realizada da seguinte forma: (TS = (Environmental Risk Analysis) AND TS = (pharmaceuticals) AND TS = (supply water)) AND (DT = (Article) OR DT = (review)), abrangendo o período de 2010 a 2025. Desses artigos foi feita uma triagem mais aprofundada, através da leitura parcial dos mesmos (resumo e/ou título) e seguindo os critérios de exclusão:

- Não estivessem na escala temporal pré-definida (2010– 2025);
- Artigos que não realizavam análise de risco ambiental de fármacos em matrizes aquáticas;
- A análise de risco ambiental foi realizada em matrizes não aquáticas;
- Os fármacos foram analisados somente em águas subterrâneas;
- Artigos que não informavam a concentração dos fármacos;
- A análise de risco ambiental foi realizada somente em águas residuárias.

Os artigos que não se enquadraram nos critérios de pesquisa proposto foram excluídos, restando somente aqueles que tinham ligação direta com o tema proposto deste trabalho e que pudessem contribuir com o desenvolvimento do mesmo. Um resumo do método utilizado está na Figura 1.

### **Visualização dos Dados**

A ferramenta utilizada para avaliar os dados dos artigos pesquisados foi o VOSviewer. Com ele foi possível realizar medições científicas, análises de visualização, status atual e tendências de publicações e pesquisas na área do tema

Comentado [A3]: Material e métodos

proposto no trabalho. O VOSviewer é uma ferramenta de visualização para construir redes bibliométricas e desenhar mapas de coocorrência, que é conveniente e eficiente na tecnologia de clustering e na renderização de mapas (Jin et al., 2023; van Eck & Waltman, 2010). Além disso,

com esta ferramenta, podemos analisar autores e os países que tiveram maior número de publicações, palavras-chaves mais utilizadas e suas ligações, entre outras análises. Para tabulação e organização de dados quantitativos foi utilizado o Microsoft Excel.

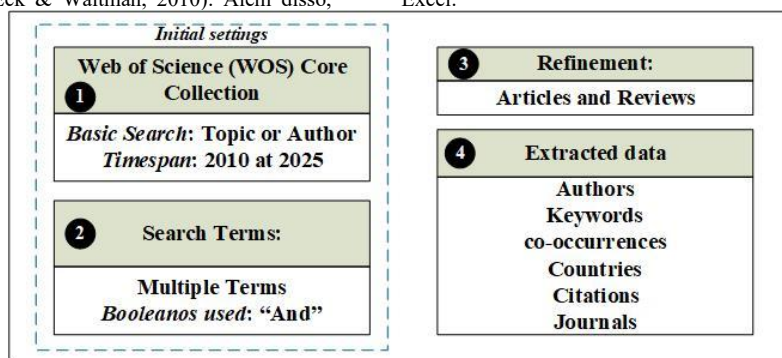


Figura 1. Resumo das etapas de análises e metodológicas deste artigo.

#### Análise dos Dados dos Artigos

A análise bibliométrica foi usada para determinar os temas mais pesquisados, a distribuição regional e a tendência de pesquisa de artigos relacionados na área de análise de risco ambiental por contaminação de fármacos na água de abastecimento. Primeiramente foi realizada a análise temporal e de distribuição geográfica, depois foram analisadas a frequência e a tendência das palavras-chave. Devido ao grande número de deformações lexicais e sinônimos nos dados originais, o pré-processamento de palavras-chave foi crucial para obter resultados de análise confiáveis. Se for realizado um processamento inadequado, a frequência da palavra pode ser subestimada, obtendo-se assim conclusões não confiáveis (Qin et al., 2022; Jin et al., 2023).

A análise de coocorrência de palavras-chave ajuda a revelar o agrupamento, a relevância e a estrutura de conhecimento de um campo de pesquisa (Zhu et al., 2021). Seguindo o propósito da pesquisa de revelar a relação entre a análise de risco ambiental, águas de abastecimento e fármacos, estes foram relacionados a outros termos dentro de suas redes e as lacunas de pesquisa emergentes no campo, os links de coocorrência recuperados dos artigos da amostra foram especificamente explorados. O grande volume de coocorrência faz com que as palavras-chave apareçam juntas no mesmo artigo com alta frequência (Jin et al., 2023). O VOSviewer traçou relações entre os termos com base nos resultados das propriedades quantitativas (densidade de ocorrência), auxiliando na construção e

compreensão da natureza do campo de pesquisa. Em seguida, as principais palavras-chave de correlação foram agrupadas (Análise de Cluster) pelo VOSviewer para visualizar as conexões e formar um espectro de conhecimento.

Por fim, também foram avaliados os principais autores, os artigos mais citados, as revistas que tiveram publicações mais relevantes e os países que tiveram maiores publicações. A Figura 1 mostra um resumo das etapas de análises e metodológicas deste artigo.

#### Resultados e discussões

##### Fármacos como Microcontaminantes Emergentes

A discussão sobre contaminantes emergentes não é antiga, ganhando destaque a partir deste último século, e com abordagem das mais variadas por pesquisadores do mundo inteiro. São várias as substâncias encontradas nos diferentes componentes abióticos do meio ambiente (água, solo e ar), tendo suas origens antrópicas (efluentes domésticos, industriais, hospitalares e aqueles provenientes das atividades agrícola e pecuária) e naturais (fazendo parte por exemplo de espécies de plantas) (Chaves, 2020; Montagner et al., 2017).

Tais contaminantes foram denominados de Micropoluentes ou Microcontaminantes de Preocupação Emergente (MPE), em inglês conhecido como Contaminants of Emerging Concern (CEC), e poluentes traço devido serem encontrados comumente em baixas concentrações no meio ambiente, em especial nos recursos

Comentado [A4]: Resultados e discussão

hídricos, sendo da ordem de ng/L e µg/L (Gabriel, 2022; Ribeiro, 2022). Os valores de concentração baixo dificultam a análise e os procedimentos de detecção, além da dificuldade de remoção em Estações de Tratamento de Água (ETA) e efluentes (ETE) (Cartaxo et al., 2019; Sengar & Vijayanandan, 2022). Porém, o avanço tecnológico de instrumentos capazes de analisar esses compostos em associação com metodologias de preparo de amostras eficazes, tornou-se possível a avaliação dos mesmos em compartimentos ambientais de complexidade avançada (Machado, 2022).

Pesquisas envolvendo o tema de MPE's se elevaram nos anos 70, a partir do momento que começaram a serem detectados no ambiente por várias nações (Aquino et al., 2013; Machado, 2022). Já no Brasil, iniciou-se a partir dos anos 90, mais precisamente em 1995, com os resultados do trabalho de Lanchote et al., (2000), no qual foram detectados pesticidas (da classe das triazinas) no Córrego Espriado, localizado na região de Ribeirão Preto (Lanchote et al., 2000; Machado, 2022). Além deste trabalho, Stumpf et al. (1999) detectaram a existência de 60 pesticidas na Lagoa de Juturnaíba, no Rio de Janeiro (região dos Grandes Lagos). Depois disso, várias pesquisas começaram a ser desenvolvidas tendo como tema central os MPE's.

Durante as duas últimas décadas, numerosos estudos documentaram a ocorrência de MPE's em águas residuais e mananciais de muitas regiões (Sharma et al., 2019; Y. Y. Yang et al., 2017). Por isso são chamados de contaminantes emergentes (ECs) porque foram analisados recentemente e acredita-se que afetem negativamente a saúde humana ou o meio ambiente. Segundo os autores Montagner et al. (2017) e Teixeira et al. (2021), as principais características dos MPE's são a capacidade de bioacumulação, serem substâncias persistentes no meio ambiente, baixa biodegradabilidade e possuírem propriedades tóxicas. Tais características trazem riscos ao ecossistema provocando alterações da qualidade da água, comprometendo sua flora e fauna (Cartaxo et al., 2019). Na maioria dos casos, o monitoramento de MPE em recursos hídricos não fazem parte dos programas de rotina, e mesmo que sejam incluídos, as vezes precisam passar por revisão. Dessa forma, tornam-se sérios candidatos para uma futura regulamentação a depender de resultados de pesquisas de ecotoxicidade, efeitos adversos à saúde de seres humanos, potencial de bioacumulação, transporte e destino em componentes abióticos do meio ambiente, sendo a

concentração um dos principais fatores (Alves, 2020; Cartaxo et al., 2019).

Muitas vezes, resíduos desses contaminantes são coletados em efluentes de águas residuais após seu consumo e devido à sua baixa remoção em ETEs, esses compostos entram nos ecossistemas de água doce, como mananciais de abastecimento. Em vários casos onde não existem ETE, estas substâncias entram no meio ambiente aquoso diretamente após a excreção humana e veterinária e efluentes de águas residuais municipais. Nesses ambientes (isto é, ambiente aquático) a ocorrência tem sido apontada como um indicador direto da poluição derivada de águas residuais (Sharma et al., 2019).

A presença dos produtos farmacêuticos nestas águas poderia promover a disseminação de genes de resistência a antibióticos, que podem interagir com o intestino humano flora e disseminar os determinantes da resistência, potencialmente impactando a saúde humana (Molnarova et al., 2023).

Como alguns dos MPE's são biologicamente ativos em baixas concentrações e têm potencial para se acumular em organismos aquáticos (Molnarova et al., 2023), a ocorrência desses contaminantes na água potável podem prejudicar a saúde preocupações e um desafio de gestão da água em muitas regiões do mundo. Áreas sofrendo com a escassez de água potável e a má gestão de águas residuais são particularmente sensíveis a contaminantes emergentes. Isso é, normalmente, o caso dos países em desenvolvimento com economias em transição, crescentes populações urbanas, infraestruturas insuficientes de controle da poluição (Sharma et al., 2019).

De acordo com Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), mundialmente conhecida e referência sobre o assunto, classifica esses compostos em categorias, como (Chaves, 2020; Ribeiro, 2022).

- **Poluentes orgânicos persistentes (Persistent Organic Pollutants - POPs):** como éter difenílico polibromado (PBDEs) usado em retardantes de chamas; espuma de móveis; plásticos e outros contaminantes tais como ácidos orgânicos perfluorados;
- **Produtos farmacêuticos e produtos para cuidados pessoais (Pharmaceuticals and personal care products – PPCPs):** amplo conjunto de medicamentos prescritos (por exemplo, antidepressivos, pressão arterial); medicamentos de venda livre (por exemplo, ibuprofeno); bactericidas (por exemplo, triclosan); filtros solares; almíscares sintéticos;

Comentado [A5]: Não fazer citação de citação, consultar o trabalho original e fazer a citação do mesmo.

Comentado [A6R5]: Ajustado

- **Medicamentos veterinários:** como antimicrobianos; antibióticos; antifúngicos; promotores de crescimento e hormônios;

- **Produtos químicos de desregulação endócrina (Endocrine-disrupting chemicals - EDCs):** estrogênios sintéticos (por exemplo, 17 $\alpha$ -etinilestradiol, que também é um PCPP); andrógenos (por exemplo, trembolona, um medicamento veterinário droga); estrógenos de ocorrência natural (por exemplo, 17 $\beta$ -estradiol, testosterona); bem como muitos outros (por exemplo, pesticidas organoclorados, alquilfenóis) capazes de modular funções hormonais e síntese esteróide em organismos aquáticos;

- **Nanomateriais:** como nanotubos de carbono ou dióxido de titânio em escala nanométrica.

Alguns autores como Cartaxo et al. (2019), vão um pouco mais além, mencionando que diversos grupos de substâncias são consideradas microcontaminantes emergentes, a saber: agrotóxicos, drogas ilícitas, fármacos, produtos de higiene pessoal, protetores solares, estrogênios, alquilfenóis e seus derivados, alguns sub-produtos provenientes de processos de desinfecção de água, retardantes de chama bromados, compostos perfluorados, siloxanos, benzotriazóis, ácidos naftênicos, percloratos, líquidos iônicos, dioxinas, o antimônio, dentre os adoçantes a sucralose, além dos nanomateriais e alguns microrganismos e cianotoxinas.

De acordo com Ribeiro (2022) e Cantoni et al. (2021) das classes mencionadas de MPE's, os fármacos estão entre as mais estudadas, sendo a segunda mais pesquisada no Brasil, principalmente por ocasionar efeitos adversos nos ecossistemas, mesmo em baixas concentrações.

No início do século XXI, aproximadamente uma década após os primeiros estudos realizados no Brasil, a produção científica sobre a contaminação de ambientes aquáticos por fármacos ainda se mostrava incipiente. Contudo, a partir de 2017, observa-se uma expansão significativa e consistente do número de pesquisas publicadas sobre o tema. No contexto nacional, a maior parte desses estudos concentra-se no eixo Sul-Sudeste, que reúne mais de 70% das pesquisas desenvolvidas no país. Essa assimetria regional pode estar associada tanto à maior densidade populacional quanto à maior disponibilidade de investimentos em ciência e tecnologia nessas regiões. Esse cenário evidencia uma lacuna relevante no monitoramento e na investigação da contaminação por fármacos em regiões menos favorecidas do Brasil, refletindo uma atenção ainda limitada à problemática em escala nacional e

contribuindo para a ausência de marcos regulatórios específicos voltados ao controle desses contaminantes emergentes nos recursos hídricos (Gabriel, 2022).

Historicamente, o modelo de “vida americano”, baseado no consumismo desregrado sempre foi o desejo de muitas pessoas no mundo todo, principalmente daqueles que vivem em países em desenvolvimento, porém este estilo de vida trouxe consigo variadas formas de impactos ambientais apoiado no desenvolvimento tecnológico e industrial que resulta na criação de novos produtos e, conseqüentemente, novos compostos químicos no dia a dia das pessoas (Ferronato & Torretta, 2019).

De acordo com Wang et al. (2020) Machado (2022), pesquisadores representantes do mundo inteiro realizaram uma revisão global sobre a quantidade de produtos industrializados registrados, e como resultado identificaram 350.000 substâncias químicas diferentes são produzidas e comercializadas, sendo que 50.000 delas são consideradas sigilosas e, portanto, somente os fabricantes conhecem a toxicidade e periculosidade destas substâncias.

Juntamente a essa variedade de substâncias químicas ocorrem, também, a precariedade dos serviços de saneamento e fragilidade de políticas públicas, fazendo com que vários desses compostos atinjam os diferentes componentes do meio ambiente. E os fármacos, continuamente tem sido encontrado em ambientes hídricos, independente da forma (inalterada ou como metabólitos) que se encontram, tornando-se a classe de MPE's mais pesquisada no mundo nos últimos anos, visto que possuem compostos biologicamente ativos (Machado, 2022).

As fontes mais comuns de contaminação por fármacos são de origem antropogênica, principalmente de efluentes industriais e domésticos (Santos et al., 2020). Após o uso muitos fármacos são expelidos dos organismos de seres vivos por fezes ou urinas e lançados nos esgotos domésticos (Rodayan et al., 2016), após isso chegam nas ETE's, porém não são removidos da água, devido a utilização de processos convencionais que são incapazes de remover com eficiência tais compostos.

Além dos efluentes, as embalagens contaminadas e resíduos gerados são descartados de qualquer forma no meio ambiente, ou até mesmo nos aterros sanitários onde sofrem processos de lixiviação dos compostos químicos e que mais tarde atingem os compartimentos aquáticos.

Comentado [A7]: Não consta nas referências.

Comentado [A8R7]: Consta nas referências. Resolvido

A falta de dados dos efeitos ecotoxicológicos dos MPE's e principalmente dos fármacos e desreguladores endócrinos, para subsidiar a elaboração de legislações de controle para tais compostos que venham prevenir a contaminação de recursos hídricos, refletem a não inclusão destes em monitoramentos de rotina por órgãos ambientais (Machado, 2022).

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão responsável por elaboração de normas e resoluções de controle da qualidade dos recursos hídricos no Brasil. Desta forma, tem-se a resolução CONAMA nº 357 de 2005 (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005) posteriormente complementada pela Resolução CONAMA nº 430 de 2011 (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2011), que diz respeito ao enquadramento de corpos d'água superficial em classes, estabelecendo padrões e condições de lançamento de efluentes em recursos hídricos, além também da resolução CONAMA 396 de 2008 que classifica e estabelece diretrizes ambientais para enquadramento de águas subterrâneas.

Por via de regra, essas normas dispõem de parâmetros físicos, químicos, biológicos e limites de concentrações para certas substâncias químicas orgânicas e inorgânicas, levando-se em consideração a classe que foi enquadrado o corpo hídrico, ou seja, para cada classificação dos corpos hídricos haverá diferentes limites de concentrações para os parâmetros. Sobre poluentes químicos persistentes (POPs), o Brasil considera a lista elaborada pela Convenção de Estocolmo sobre os POPs como base, a qual descreve as substâncias que o uso e produção precisam ser cessado (aldrin, heptacloro, bifenilas policloradas e outros), restritos (DDT) e cujas emissões e liberações por fontes antropogênicas devem ser reduzidas (dibenzofuranos policlorinados, hexaclorobenzeno, dibenzo-p-dioxinas e bifenilas policloradas) (Machado, 2022).

No ano de 2012 foi publicado pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental do Estado de São Paulo (ABES/SP), um documento intitulado de "Guia de Potabilidade para Substâncias Químicas" o qual contém uma lista de 291 substâncias tidas como prioritárias e ainda não regulamentadas para o estado de São Paulo, ou seja, aquelas que promovem algum risco significativo para o ecossistema aquático ou para a saúde das pessoas, porém após várias reuniões e avaliações houve algumas exclusões da lista restando apenas 72 substâncias, das quais a maioria são agrotóxicos (Umbuzeiro, 2012).

Hoje, a principal referência para normatização de padrões de potabilidade no Brasil

é a portaria GM/MS nº 888 de 2021 (que alterou o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017) que está vigente e dispõe das etapas de controle e de vigilância da qualidade da água para abastecimento humano (Brasil, 2021).

Sobre a avaliação da normatização fora do Brasil, o controle de padrões de potabilidade também não contempla ainda muitos microcontaminantes emergentes, porém alguns fármacos são colocados em destaques como substâncias prioritárias. A União Europeia tem progredido nesse aspecto, tomando várias medidas por conta de ter rios fronteiriços entre os países. Desse modo, tem elaborado documentos chamados "Diretivas" com o intuito de melhorar a qualidade de seus corpos hídricos. No final do ano 2000 foi promulgada a Diretiva 2000/60/CE, chamada de Water Framework Directive, visando a sustentabilidade das águas na Europa. A aplicação desta Diretiva iniciou com 33 substâncias prioritárias, mas não se definiu as concentrações limites em recursos hídricos, o que acabou acontecendo mais tarde em 2008 com a Diretiva 2008/105/CE (Boxall et al., 2024).

Alguns anos depois, em 2012, após reavaliações e atualizações, uma nova Diretiva foi publicada pela Comissão Europeia chamada de "COM (2011)876", a qual incluiu uma segunda lista com 15 novas substâncias prioritárias e seus respectivos limites de concentração. Algumas das substâncias contempladas foram: hormônios 17- $\beta$ estradiol e 17- $\alpha$ -etinilestradiol, diclofenaco, dioxinas, terbutrina, bifenox, heptacloro e etc.

Já a normatização dos recursos hídricos americana é regulamentada pela Agência de Proteção Ambiental (EPA, em inglês Environmental Protection Agency), e em 1948, criou a lei Clean Water Act (CWA), que estabeleceu a estrutura inicial para regulamentar o lançamento de poluentes nas águas dos Estados Unidos e regular os padrões de qualidade para as águas superficiais. Porém, em 1972, ela foi significativamente revisada passando a se chamar de Lei Federal de Controle da Poluição da Água (em inglês Federal Water Pollution Control Act) (Environment Protection Agency, 2018; United States of American, 2002). De acordo com a mesma, os estados da federação americana precisam fazer uma revisão a cada 3 anos, por meio de audiências públicas, dos padrões de potabilidade das águas para garantir de que estarão em sintonia com a ciência.

Atualmente a lei que está em vigência é a Safe Drinking Water Act (SDWA), que regulamenta os padrões de todos os recursos hídricos dos EUA utilizados para fins de

Comentado [A11]: Fazer a citação de acordo com as normas da RBGF que segue as normas da APA e referenciar

Comentado [A12R11]: Feito a citação

Comentado [A13]: Fazer a citação de acordo com as normas da RBGF que segue as normas da APA e referenciar

Comentado [A14R13]: Resolvido

Comentado [A9]: Informações seguidas com a mesma fonte devem ser revistas, intercalando com outras fontes ou ajustando as informações em uma única citação.

Comentado [A10R9]: Ajustado

abastecimento humano ou que possui potencial para tal uso, sendo aprovada em 1974. Junto a lei foi estabelecido um programa de monitoramento para poluentes não regulamentados chamado de Unregulated Contaminant Monitoring (UCM), nele é feita a publicação a cada cinco anos de uma lista (Contaminant Candidate List – CCL) dessas substâncias que possuem potenciais de risco a saúde quando presente em águas de consumo humano, sendo a última lista publicada em 2015, a CCL-4, contendo 112 contaminantes (12

microbiológicos e 100 químicos). Esta lista encontra-se em tramitação, e tais substâncias só serão incluídas na lista após serem avaliadas e possuírem dados o bastante para que cumpram critérios para a Determinação Regulamentar, podendo finalmente a lista ser emitida (Machado, 2022). Na Tabela 1, foi resumido as normatizações nacionais e internacionais sobre contaminações de substâncias químicas em recursos hídricos de abastecimento

**Tabela 1.** Resumo das normatizações Nacionais e Internacionais sobre contaminação por substâncias químicas em recursos hídricos para abastecimento público.

País	Normatização	Conteúdo	Ano
Brasil	Resolução CONAMA 357	Enquadramento de corpos d'água superficial em classes	2005
	Resolução CONAMA 396	Classifica e estabelece diretrizes ambientais para enquadramento de águas subterrâneas	2008
	Resolução CONAMA 430	Padrões e condições de lançamento de efluentes em corpos hídricos	2011
	Guia de Potabilidade para Substâncias Químicas GM/MS nº 888	291 substâncias tidas como prioritárias e ainda não regulamentadas para o estado de São Paulo	2012
		Padrões de potabilidade da água de abastecimento	2021
União Europeia	Diretiva 2008/105/CE	33 substâncias prioritárias para controle em recursos hídricos	2008
	COM(2011)876	15 novas substâncias prioritárias para controle em recursos hídricos	2012
EUA	<i>Clean Water Act (CWA)</i>	regulamentar o lançamento de poluentes nas águas dos Estados Unidos e regular os padrões de qualidade para as águas superficiais	1948
	<i>Federal Water Pollution Control Act</i>	Atualização da CWA, incluindo novas diretrizes para regulamentação de substâncias contaminantes	1972
	<i>Safe Drinking Water Act (SDWA)</i>	regulamenta os padrões de todos os recursos hídricos	1974
	<i>Unregulated Contaminant Monitoring (UCM)</i>	programa de monitoramento para poluentes não regulamentados, instituído junto a SDWA.	1974

#### Análise Bibliométrica

Feito a aplicação dos critérios de pesquisa mencionados anteriormente, obteve-se um total de 911 artigos na base de dados escolhida (Figura 2). Sendo assim, foi realizada a leitura do título e/ou resumo dos artigos, nos quais, foram excluídos 823 artigos que não atendiam os critérios aplicados para seleção da pesquisa. Por fim, após realização da triagem e a identificação das pesquisas que se encontravam duplicadas, restaram apenas 29 artigos. Estes foram analisados e lidos por completo para embasar o desenvolvimento da pesquisa.

A quantidade de artigos encontrados na pesquisa inicial e após a triagem aplicada, não mostrou um número significativo de trabalhos publicados como em outras pesquisas

bibliométricas, isso se deve principalmente a especificidade da pesquisa, por ser uma área da qualidade e monitoramento de recursos hídricos restrita a apenas fármacos e as formas de avaliações dos riscos associados da presença deles em matrizes aquáticas de abastecimento. Dito isso, outro fator importante que contribui também para um número menor de artigos encontrados através dos critérios selecionados é o uso do operador booleano “And” para combinação de múltiplos termos (nesse caso três: análise de risco ambiental, fármacos e água de abastecimento) na pesquisa, já que este operador seleciona os artigos que aparecem os 3 termos juntos, restringindo ainda mais o campo da pesquisa e influenciando na quantidade de artigos encontrados. Romanelli et al., (2021) afirma que quanto mais termos

combinados na busca, menor será o número de trabalhos encontrados. Sendo assim, o uso da estratégia aplicada condiz com o objetivo e especificidade da pesquisa proposta.

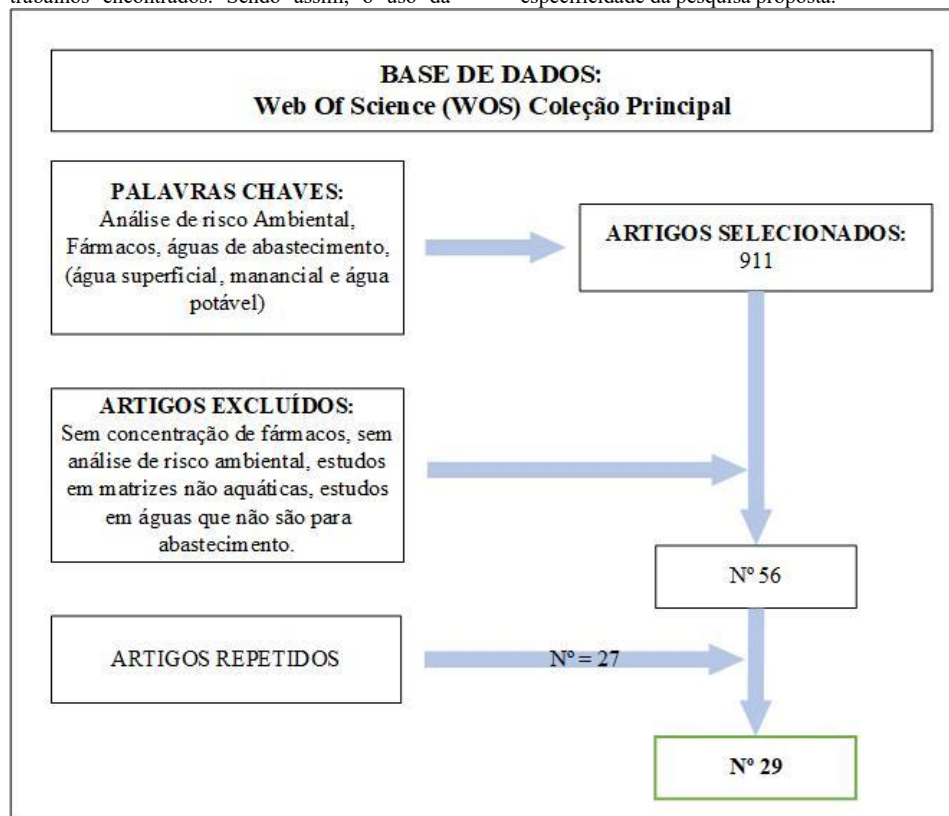


Figura 2 - Fluxograma do resultado das buscas do banco de dados da pesquisa.

#### Análise dos dados Bibliométricos Análise Espacial e Temporal

Na Tabela 2, podemos ver que a maior quantidade de pesquisas realizadas foi no continente Asiático, com a China sendo o país que mais possui coautores presentes dos 30 países encontrados. Isso pode ter ligação com a quantidade populacional desses países (principalmente a China, que é o país mais populoso do mundo) que aumenta o consumo desses produtos, pois de acordo Pereira et al. (2017) a principal fonte de resíduos farmacêuticos no ambiente aquático é a excreção humana, e como as estações de tratamento de efluentes (ETE) não são capazes de remover completamente os fármacos, estes, juntamente com os seus metabólitos e produtos de transformação, são disseminados principalmente através dos efluentes das ETE's para as águas superficiais, as quais

podem vir a ser mananciais de abastecimento da população, havendo necessidade elevada de pesquisas sobre os riscos ambientais da presença desses contaminantes nestes locais.

**Tabela 2.** Países dos autores e publicações na área de análise de risco ambiental em águas de abastecimento.

Países	Quantidade de documentos	Citações
China	7	373
Índia	6	525
Inglaterra	2	795
Itália	2	61
Japão	2	53
Portugal	2	357

Korea do Sul	2	74
EUA	2	301
Brasil	1	7

Apesar dos trabalhos dos autores chineses serem em números maiores, podemos ver ainda na Tabela 2, que os autores mais citados se encontram na Inglaterra, isso acontece devido um dos artigos destes autores ser mais antigo (2015), que dos países asiáticos (maioria das publicações 2020 a 2023), fazendo com possa ter um número de citações elevada.

Como pode ser visto ainda na Tabela 2, o Brasil possui um baixo número de pesquisa na área de análise de risco da presença de fármacos nas águas de abastecimento, o que evidencia uma preocupação mais recente do país com os riscos associados a estes contaminantes. O que pode ser evidenciado pela não inclusão ainda desses contaminantes na Portaria de Água Potável do país, já que esta legislação se baseia em critérios científicos e que a metodologia de Avaliação Quantitativa de risco químico (AQRQ) utilizada no processo se baseia na combinação de exposição versus toxicidade (Teixeira et al., 2021), dessa forma faz-se necessário pesquisas sobre riscos de fármacos e desreguladores endócrinos em fontes de abastecimento e em águas tratadas no Brasil.

Em relação a análise temporal e o período de publicação dos artigos, vale ressaltar primeiramente que a escolha do recorte temporal de 2010 a 2025 foi por não ter sido encontrado artigos que atendessem os critérios de buscas e refinamento aplicados antes de 2010. Fármacos como contaminantes de recursos hídricos tornou-se preocupante a partir deste século XXI, pois a tecnologia disponível antes não conseguia detectar concentrações muito baixas destes contaminantes, e mais recente ainda é a preocupação em avaliar os riscos da presença dos fármacos em águas de abastecimento, tanto é que de acordo com (World Health Organization., 2011; World Health Organization, 2012) somente a partir de 2011 a instituição preocupou-se em revisar os riscos para saúde humana da exposição a concentrações vestigiais de produtos farmacêuticos na água potável. Dito isso, pode-se observar na Figura 3, que a grande maioria dos artigos encontrados estão concentrados no período a partir de 2016,

corroborando com a afirmativa anterior que uma preocupação mais recente tem ocorrido sobre essa temática de análise de risco ambiental da presença de fármacos nas águas de abastecimento. Esse elevado número de artigos nesse período pode não estar relacionado apenas ao interesse crescente em pesquisa, mas também à ocorrência de eventos catastróficos e à execução de leis, regulamentos e políticas ambientais mais rigorosas relacionados à qualidade da água. Por exemplo, o Plano de Ação para Prevenção e Tratamento da Poluição da Água da China foi lançado em 2015, resultando no aumento do número de artigos em 20,09% em comparação com o de 2014 (Jin et al., 2023).

Podemos inferir também, através da Figura 3, que Índia possui mais coautores publicando em conjunto com pesquisadores de outros países, isto pode estar ligado, de acordo com Sharma et al. (2019), ao país ter tido um grande crescimento no setor de produção de produtos farmacêuticos nas últimas décadas, representando atualmente o 3º maior do mundo com 10% da produção farmacêutica global, sendo assim aumentando os riscos da presença desses contaminantes em águas de abastecimento neste país. Além disso, Jin et al. (2023) afirmam que os mercados promissores atraem instituições de pesquisa e empresas para promover melhor pesquisa e desenvolvimento em tecnologias para tratamento de água.

Quando esses resultados são analisados em conjunto com a distribuição espacial da produção científica (Tabela 2), observa-se que os países com maior número de publicações e coautores, como China e Índia, também apresentam maior diversidade de colaborações internacionais, refletida nas redes de coautorias entre países (Figura 3). Essa predominância pode ser associada a fatores como elevada densidade populacional, crescimento expressivo do setor farmacêutico e maior pressão sobre os recursos hídricos, o que intensifica a necessidade de estudos voltados à avaliação de risco ambiental (Sharma et al., 2019).

Além disso, políticas ambientais mais rigorosas e investimentos contínuos em ciência e tecnologia nesses países tendem a estimular a formação de redes colaborativas mais amplas e produtivas (Jin et al., 2023).

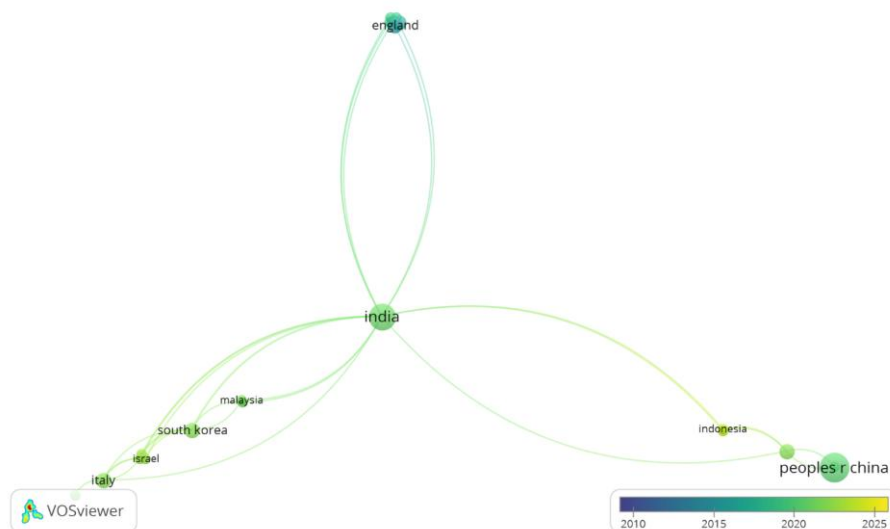


Figura 3. Relação das coautorias entre países para o tema pesquisado.

**Análise das Coautorias**

A análise de coautorias evidenciou características relevantes sobre a estrutura e o grau de maturidade da produção científica relacionada à análise de risco ambiental da presença de fármacos em águas de abastecimento. Conforme apresentado na Tabela 3, observa-se que a maior parte dos pesquisadores identificados contribuiu com apenas um artigo no período analisado, indicando que o campo ainda se encontra em fase de consolidação científica. Apenas um autor, Li, Y., apresentou duas publicações associadas diretamente à temática, reforçando o caráter incipiente e disperso da rede de colaboração acadêmica nesse domínio específico de pesquisa.

Embora Li, Y. seja o autor com maior número de documentos publicados, seus trabalhos apresentaram um número relativamente baixo de citações (81 citações no total), quando comparados a outros autores que, mesmo com apenas uma publicação, obtiveram elevado impacto científico. Destaca-se o conjunto de autores associados ao estudo de Stuart et al. (2012) que concentrou 504 citações, configurando-se como o trabalho mais influente do conjunto analisado. Esse resultado pode ser parcialmente explicado pelo maior tempo de publicação desse artigo, o que favorece sua disseminação e incorporação em estudos subsequentes, conforme amplamente discutido em

análises bibliométricas (Jin et al., 2023; Romanelli et al., 2021).

**Tabela 3.** Principais coautores para a temática abordada.

Autores	Quantidade de documentos	Citações	Referências	
Li, Y	2	81	(He et al., 2020; Li et al., 2020)	
Crane, E	1	504	(Stuart et al., 2012)	
Hart, A	1	504		
Lapworth, D	1	504		
Stuart, M	1	504		
Becanova, J	1	291	(Sharma et al., 2019)	
Bharat, Gk	1	291		
Klanova, J	1	291		
Nizzetto, L	1	291		
Scheringer, M	1	291		
Sharma, A	1	291		
Sharma, Bm	1	291		
Whitehead, Pg	1	291		
Almeida, Cmm	1	276		(de Jesus Gaffney et al., 2015)
Benoliel, Mj	1	276		

Cardoso, Vv	1	276
Ferreira, E	1	276
Gaffney, V	1	276
Rodrigues, A	1	276

Resultados semelhantes foram observados para outros grupos de coautores, como Sharma et al. (2019), cujos trabalhos apresentaram 291 citações, evidenciando que o impacto científico não está necessariamente associado ao número de publicações, mas à relevância temática, abrangência metodológica e pioneirismo dos estudos desenvolvidos. Segundo Jin et al. (2023), redes de coautoria pouco densas e com elevada concentração de citações em poucos artigos são características típicas de campos científicos emergentes, nos quais alguns estudos-chave atuam como referência conceitual e metodológica para pesquisas posteriores.

A análise da rede de coautorias entre países (Figura 3) reforça essa interpretação, ao demonstrar maior integração internacional entre pesquisadores de países como Índia e China, os quais apresentam colaborações mais amplas com instituições estrangeiras. Esse padrão pode estar associado ao expressivo crescimento do setor farmacêutico nesses países e à intensificação das preocupações ambientais relacionadas à qualidade da água, fatores que estimulam parcerias científicas e investimentos em pesquisa aplicada (Jin et al., 2023; Sharma et al., 2019)

Em contrapartida, a reduzida participação de autores brasileiros na rede de coautorias evidencia a fragilidade da inserção nacional nesse campo de pesquisa, refletindo limitações estruturais, menor financiamento e a ausência de políticas públicas específicas voltadas ao monitoramento e à avaliação de risco de fármacos em águas de abastecimento. Tal cenário reforça a necessidade de fortalecimento de redes colaborativas nacionais e internacionais e de maior integração entre pesquisadores, gestores e formuladores de políticas públicas, a fim de ampliar a produção científica e a aplicabilidade dos resultados no contexto brasileiro para subsidiar avanços regulatórios e de gestão dos recursos hídricos.

Os coautores mais citados foram do artigo de Stuart et al., (2012) com um total de 504 citações, entretanto o trabalho é também um dos que possui ano de publicação mais antigo, portanto com maior tempo de disponibilidade para ser

citado por outros autores, dessa forma justificando a quantidade elevada de menções.

#### Análise de coocorrência de Palavras Chaves

As análises de dados evidenciaram a coocorrência total de 228 diferentes palavras chaves (incluindo palavras-chave do autor, mais formadas com base no título e no resumo) dos 29 artigos encontrados na pesquisa bibliométrica. Na Tabela 4, estão listadas as palavras-chaves mais relevantes e a quantidade de ocorrência de cada uma. E na Figura 4, pode-se observar em forma mapa de densidade essa quantificação das palavras com maiores coocorrências em que aquelas com maiores ocorrências estão com a cor mais sólida.

**Tabela 4.** Principais ocorrências de Palavras Chaves.

Palavras-Chaves	Ocorrências
Ambiente aquático	13
Produtos farmacêuticos	13
Análise de risco	12
Águas residuais	12
Produto de cuidado pessoal	11
Águas superficiais	11
Contaminantes emergentes	8
Água potável	7
destino	6
Gerenciamento de risco ambiental	5
Remoção	5
Toxicidade	5
Contaminantes orgânicos	4
Estações de tratamento de esgoto	4
Produtos de transformação	4
Plantas de tratamento	4

É importante ressaltar, que as 3 palavras chaves com maiores quantidades (Tabela 4) de coocorrência (ambientes aquáticos, fármacos e análise de risco) estão estritamente relacionadas com o campo de busca da pesquisa bibliográfica, mostrando que os artigos que compunham o banco de dados possuem forte relação com o tema pesquisado. Sobre isso, Jin et al. (2023) menciona que a análise de coocorrência de palavras-chave pode refletir a relação entre tópicos de pesquisa e prever tendências de pesquisa mais detalhadas e significativas.

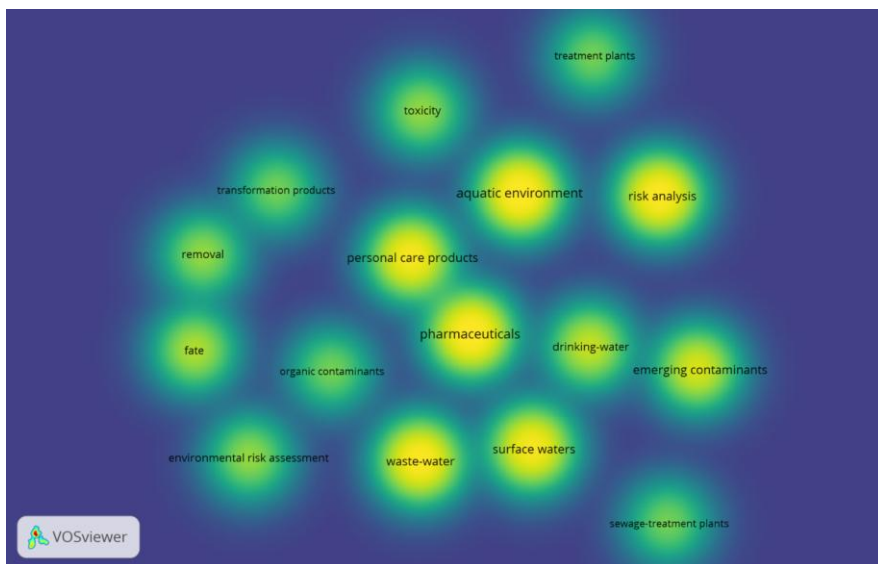


Figura 4. Densidade de coocorrência das Palavras Chaves

É importante destacar nas palavras-chaves mais recorrentes na Tabela 4, que a palavra “toxicidade” ainda é um termo periférico quando comparado com as outras. O que sugere que os fármacos em águas de abastecimento, ainda de maneira lenta, são tratados com negligência em relação a sua toxicidade pelos órgãos responsáveis pelo monitoramento de água, isso se deve principalmente por estarem em concentrações baixas fazendo com que não seja dada a devida importância (Ojemaye & Petrik, 2022).

As Palavras-chave com mais coocorrência na pesquisa foram examinadas para gerar a visualização da rede (Figura 5) entre elas. Cada nó representa uma palavra-chave, e algumas consideradas irrelevantes não foram exibidas para evitar sobreposição. Essa abordagem permite identificar núcleos temáticos, relações conceituais dominantes e tendências emergentes do campo científico, revelando como o conhecimento está estruturado e interconectado (van Eck & Waltman, 2010; Zhu et al., 2021). O tamanho do círculo indica a frequência com que cada palavra-chave ocorre. A curva que conecta os círculos representa a coocorrência, e a espessura da curva corresponde à magnitude da intensidade da associação (Colares et al., 2020; Jin et al., 2023). Normalmente, as palavras-chave próximas são mais intimamente relacionadas do que as distantes e as cores indica clusters de categorização de palavras-chave. Na Figura 5, pode-se observar que as palavras chave “produtos de cuidado pessoal” e “fármacos”

possuem uma estreita relação, isso se deve pois ambos são considerados “contaminantes emergentes” ou “microcontaminantes emergentes” composto por antibióticos, analgésicos, esteroides, antidepressivos, antipiréticos, estimulantes, antimicrobiais, desinfetantes, fragrâncias, cosméticos e muitas outras substâncias químicas, utilizados largamente e diariamente (Pereira et al., 2021).

Na Figura 5, pode-se ainda se observar a clusterização feita pelo VOSviewer e dividida em 3 grupos: vermelho, verde e azul. Destaca-se o grupo de cluster em vermelho formado de palavras chaves que mostram uma tendência de pesquisa envolvendo fármacos/produtos de cuidado pessoal na área de análise de risco para águas de abastecimento (representado pelas palavras chaves: “plantas de tratamento” de água, “águas superficiais” e “ambientes aquáticos”), principalmente no que diz respeito aos níveis de toxicidade e efeitos para saúde humana. Esse agrupamento reflete a consolidação de um corpo de estudos que reconhece os fármacos como microcontaminantes biologicamente ativos, capazes de provocar efeitos adversos mesmo em concentrações da ordem de  $\text{ng L}^{-1}$  e  $\mu\text{g L}^{-1}$  (Boxall et al., 2012; Montagner et al., 2017). A proximidade conceitual entre “ambientes aquáticos” e “águas superficiais” indica que grande parte das pesquisas ainda se concentra em mananciais naturais, especialmente rios e reservatórios, que funcionam simultaneamente

como receptores de efluentes e fontes de água para consumo humano. Além disso, a associação com “plantas de tratamento” sugere uma preocupação crescente com a transferência do risco ambiental para o risco à saúde humana, uma vez que muitos desses compostos não são completamente removidos em Estações de Tratamento de Água (ETA), podendo alcançar a água distribuída à

população (Gaffney et al., 2015; Teixeira et al., 2021). Esse cluster dialoga diretamente com estudos que defendem a necessidade de integrar avaliações ecotoxicológicas e de exposição humana em análises de risco mais abrangentes (Hernando et al., 2006; World Health Organization, 2012).

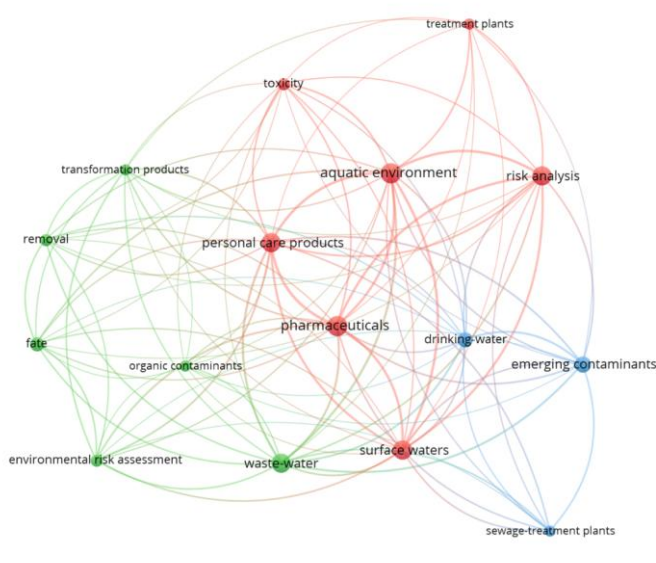


Figura 5. Clusterização das principais palavras chaves

O cluster em azul focou em uma das principais formas de contaminantes emergentes (que nesse caso são representados por fármacos e produtos de cuidado pessoal) atingirem a água de abastecimento, sendo através da ineficiência de estações de tratamento de esgoto, que no geral não possuem tecnologias adequadas para remoção destes contaminantes, sendo os seus efluentes uma das principais formas de contaminação por fármacos em recursos hídricos. A forte conectividade desse cluster com os demais indica que a literatura reconhece a ineficiência dos tratamentos convencionais como um fator crítico na cadeia de risco ambiental. Estudos apontam que processos tradicionais, como lodos ativados e filtração rápida, não foram projetados para remover compostos farmacêuticos, favorecendo sua liberação contínua no ambiente e caracterizando-os como contaminantes pseudo-persistentes (Sengar & Vijayanandan, 2022). Do ponto de vista da análise de risco ambiental, esse cluster evidencia uma mudança de foco: de estudos meramente descritivos de ocorrência para abordagens que buscam compreender o papel sistêmico das ETEs como elementos centrais na dinâmica de exposição ambiental, alinhando-se às discussões internacionais sobre saneamento, urbanização e pressão antrópica sobre os recursos hídricos (Jin et al., 2023; Y. Y. Yang et al., 2017)

Finalmente, o cluster em verde indicou uma tendência nas pesquisas de que o gerenciamento de risco ambiental de contaminantes orgânicos (como fármacos e produtos de cuidado pessoal) passa pela remoção destes compostos de águas residuárias, destinação adequada destes efluentes e/ou transformação desses produtos em outros, a fim de neutralizar os riscos para saúde humana e o meio ambiente, refletindo uma vertente de pesquisa orientada à mitigação dos riscos identificados. Esse agrupamento indica que, à medida que a ocorrência e os efeitos dos fármacos em ambientes aquáticos se tornam mais evidentes, cresce o interesse por estratégias de controle e redução desses contaminantes. A presença do termo “produtos de transformação” é particularmente relevante, pois demonstra um amadurecimento conceitual do campo, reconhecendo que os

processos de tratamento e degradação nem sempre resultam na eliminação do risco, podendo gerar subprodutos com toxicidade igual ou superior à dos compostos originais (Luo et al., 2014; Y. Yang et al., 2017). Essa preocupação é central em avaliações de risco mais recentes, que passam a considerar não apenas a remoção quantitativa, mas também os impactos qualitativos das tecnologias empregadas.

#### Co-citações e principais revistas científicas

A análise das referências mais co-citadas, apresentada na Tabela 5, permite identificar os trabalhos que estruturam o arcabouço teórico e metodológico da pesquisa sobre a avaliação de risco ambiental da presença de fármacos em ambientes aquáticos, incluindo águas de abastecimento. Do total de 2.052 referências co-citadas nos artigos analisados, observa-se que um conjunto reduzido de publicações concentra o maior número de citações, caracterizando estudos considerados fundacionais para o desenvolvimento dessa área de conhecimento.

Nota-se que a referência mais utilizada foi de Hernando et al. (2006), citado em sete dos 28 artigos encontrados. Esse estudo apresenta uma abordagem abrangente da avaliação de risco ambiental de resíduos farmacêuticos em efluentes, águas superficiais e sedimentos, sendo amplamente reconhecido por consolidar conceitos, metodologias e critérios de priorização de fármacos

com base em exposição e toxicidade. A elevada frequência de co-citação desse trabalho indica sua relevância como base conceitual para pesquisas posteriores, fenômeno típico de áreas científicas ainda em consolidação (Romanelli et al., 2021). Entretanto ele não está indexado ao banco de dados da Web of Science e por isso não foi encontrado na busca bibliométrica deste trabalho.

Outro dado importante é que a maioria dos temas das referências co-citadas (Tabela 5), são pesquisas que também buscam analisar tecnologias de remoção e tratamento dos fármacos presente em ambientes aquáticos (Yang et al. 2017; Luo et al. 2014; Stackelberg et al. 2007). Isso mostra uma tendência de que os pesquisadores, além de analisar e avaliar os riscos dos fármacos em ambientes aquáticos, estão em busca de soluções tecnológicas mais eficientes para remoção dos mesmos, visto que atualmente as estações de tratamento de água não utilizam processos específicos para remoção destes contaminantes.

**Tabela 5.** Referências mais co-citadas nos artigos.

Referências	Citações
hernando md, 2006, talanta, v69, p334, doi 10.1016/j.talanta.2005.09.037	7
boxall aba, 2012, environ health persp, v120, p1221, doi 10.1289/ehp.1104477	5
kolpin dw, 2002, environ sci technol, v36, p1202, doi 10.1021/es011055j	5
luo yl, 2014, sci total environ, v473, p619, doi 10.1016/j.scitotenv.2013.12.065	5
stackelberg pe, 2007, sci total environ, v377, p255, doi 10.1016/j.scitotenv.2007.01.095	5
yang y, 2017, sci total environ, v596, p303, doi 10.1016/j.scitotenv.2017.04.102	5

Outras referências de destaque incluem Kolpin et al. (2002) e Boxall et al. (2012), que figuram entre as mais co-citadas por abordarem, respectivamente, a ocorrência generalizada de fármacos em ambientes aquáticos e os riscos ambientais associados a esses compostos. O estudo de Kolpin et al. (2002) é amplamente reconhecido como um marco inicial na identificação da presença de fármacos em águas superficiais, enquanto Boxall et al. (2012) contribui de forma significativa para a discussão dos impactos ecotoxicológicos e da necessidade de avaliação de risco ambiental, reforçando a importância da

temática no contexto da gestão dos recursos hídricos.

De forma geral, os resultados da Tabela 5 demonstram que a análise de risco ambiental de fármacos em águas de abastecimento está fortemente ancorada em estudos internacionais que abordam a ocorrência, o destino ambiental, a toxicidade e as limitações dos sistemas de tratamento. A ausência de trabalhos nacionais entre as referências mais co-citadas reforça a lacuna existente na produção científica brasileira e evidencia a necessidade de ampliar estudos locais que contribuam para a construção de bases

científicas voltadas à realidade dos sistemas hídricos e de abastecimento do país.

Sobre os periódicos, onde foram publicados os artigos que compunham o banco de dados deste trabalho, a Tabela 6 mostra as que foram mais relevantes do total de 17 que foram encontradas. Destaca-se o periódico *Science of the Total Environment*, responsável por nove publicações do total analisado, acumulando 1.144 citações, o que o posiciona como o principal veículo de disseminação do conhecimento nessa temática. Analisando o perfil desta revista, nota-se que é um periódico internacional multidisciplinar

de ciências naturais para publicação de pesquisas inovadoras,

baseadas em hipóteses e de alto impacto sobre o ambiente total, com um fator de impacto elevado (8.2) e um grau de exigência sobre a pesquisa elevada. Além disso, a revista preza pela publicação de estudos inovadores e de alta relevância envolvendo qualidade ambiental, contaminação de recursos hídricos e avaliação de riscos ambientais, conforme também observado em revisões bibliométricas semelhantes (Romanelli et al., 2021; Zhu et al., 2021).

**Tabela 6.** Revistas onde foram publicados os artigos utilizados como dados da pesquisa.

Revistas	Quantidade de documentos	Citações
science of the total environment	9	1144
chemosphere	2	340
environmental monitoring and assessment	2	74
water research	2	292
international journal of environmental analytical chemistry	1	68
chemical engineering journal	1	50

Outros periódicos de destaque incluem *Chemosphere* e *Water Research*, que, embora apresentem menor número de artigos publicados, concentram elevado número de citações, indicando alto impacto científico e relevância temática. Esses periódicos são amplamente reconhecidos por abordarem aspectos relacionados à ocorrência, ao destino ambiental, à toxicidade e às tecnologias de remoção de contaminantes emergentes, incluindo fármacos e produtos de cuidado pessoal, reforçando a tendência observada de integração entre avaliação de risco e soluções tecnológicas (Luo et al., 2014; Stackelberg et al., 2007; Y. Y. Yang et al., 2017).

A presença dos periódicos *Environmental Monitoring and Assessment* e *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* na Tabela 6 evidencia a importância do monitoramento ambiental e do desenvolvimento de métodos analíticos sensíveis e confiáveis para a detecção de fármacos em matrizes aquáticas. Esses aspectos são fundamentais para subsidiar avaliações de risco ambiental robustas, uma vez que a confiabilidade dos dados analíticos influencia

diretamente a estimativa de exposição e a caracterização dos riscos à saúde humana e aos ecossistemas aquáticos (Hernando et al., 2006; World Health Organization., 2011).

Vale destacar ainda sobre os periódicos (Tabela 6), que todos possuem qualificação Qualis A1 na capes, a classificação mais alta periódicos científicos, indicando que as publicações sobre análise de risco de fármacos em águas de abastecimento são de excelência internacional e tem um impacto significativo na sua área de atuação. Isso mostra a importância que o tema de análise de riscos ambientais da presença de fármacos em águas de abastecimento tem ganhado muita atenção de pesquisadores e periódicos no mundo, devido principalmente os danos à saúde das pessoas que podem provocar esses poluentes emergentes.

Ainda sobre os periódicos, vale destacar uma área de interesse em comum entre eles, o monitoramento ambiental, mais especificamente o monitoramento da qualidade da água, uma área de pesquisa estritamente relacionada com o objetivo desta análise bibliométrica, visto que

contaminantes emergentes como fármacos ganharam importância mais recente e precisam ser considerados, principalmente pelos governos e órgãos de monitoramento ambiental, como substâncias químicas que causam riscos ao meio ambiente quando presente nos recursos hídricos, incluindo riscos à saúde da população.

De forma geral, a concentração das publicações em periódicos de alto impacto e com foco em ciências ambientais, recursos hídricos e engenharia sanitária evidencia que a análise de risco ambiental de fármacos em águas de abastecimento é tratada como uma temática estratégica e interdisciplinar. Esses resultados corroboram a literatura internacional, que aponta a necessidade de abordagens integradas envolvendo monitoramento, avaliação de risco e desenvolvimento de tecnologias de tratamento como pilares fundamentais para o enfrentamento da farmacontaminação dos recursos hídricos (Sangion & Gramatica, 2016; Y. Y. Yang et al., 2017).

### Conclusão

A presente pesquisa, fundamentada em uma abordagem bibliométrica sistemática, permitiu caracterizar de forma abrangente o estado da arte da produção científica relacionada à análise de risco ambiental da presença de fármacos em águas de abastecimento, mananciais e águas superficiais. Os resultados evidenciaram que, apesar do reconhecimento crescente dos fármacos como microcontaminantes emergentes de relevância ambiental, o volume de estudos que avaliam de maneira integrada seus riscos ambientais e potenciais implicações para a saúde humana ainda é limitado, especialmente quando se considera o contexto específico de águas destinadas ao abastecimento público.

A análise espacial e temporal das publicações revelou que a pesquisa nessa área apresenta crescimento mais expressivo a partir de meados da década de 2010, refletindo avanços metodológicos na detecção analítica desses compostos e uma ampliação da preocupação global com a qualidade dos recursos hídricos. No entanto, esse crescimento ocorre de forma desigual entre as regiões do mundo, com clara predominância de estudos desenvolvidos na Ásia, sobretudo na China e na Índia. Essa concentração geográfica sugere forte relação com fatores como elevada densidade populacional, intenso consumo de produtos farmacêuticos, expansão industrial e maior pressão sobre os sistemas hídricos, além da implementação de políticas ambientais mais restritivas que impulsionam a produção científica.

Em contrapartida, o cenário brasileiro mostrou-se ainda incipiente, com reduzido número de publicações voltadas especificamente à análise de risco ambiental de fármacos em águas de abastecimento. Essa limitação reflete não apenas a escassez de programas sistemáticos de monitoramento desses contaminantes, mas também a fragilidade na integração entre pesquisa científica, gestão dos recursos hídricos e formulação de políticas públicas. Tal contexto contribui para a ausência desses compostos nas legislações nacionais de potabilidade e enquadramento de corpos hídricos, apesar das evidências crescentes de sua ocorrência e persistência no ambiente aquático.

A análise de coocorrência de palavras-chave evidenciou que os estudos se concentram majoritariamente na identificação de fármacos e produtos de cuidado pessoal em ambientes aquáticos, na avaliação preliminar de riscos e na eficiência dos sistemas de tratamento de água e esgoto. Contudo, observou-se que a toxicidade e os efeitos crônicos associados à exposição prolongada a baixas concentrações desses contaminantes ainda ocupam posição periférica nas pesquisas analisadas, indicando lacunas relevantes no entendimento dos impactos ecotoxicológicos e sanitários em médio e longo prazos.

Adicionalmente, a análise de co-citações e dos periódicos científicos demonstrou que as pesquisas mais influentes estão fortemente associadas à busca por soluções tecnológicas para a remoção de fármacos em estações de tratamento, evidenciando uma tendência de articulação entre avaliação de risco e desenvolvimento de estratégias de mitigação. Esse direcionamento reforça a necessidade de abordagens interdisciplinares que integrem aspectos químicos, ecotoxicológicos, sanitários e territoriais, especialmente no planejamento e na gestão de sistemas de abastecimento de água.

Dessa forma, conclui-se que o avanço do conhecimento sobre a farmacontaminação em águas de abastecimento demanda esforços científicos contínuos e integrados, com especial atenção às realidades regionais brasileiras. A ampliação de estudos de avaliação de risco ambiental, aliada ao monitoramento sistemático e à incorporação desses dados nos instrumentos de gestão e regulação, é fundamental para subsidiar políticas públicas eficazes, garantir a proteção dos recursos hídricos e fortalecer a segurança hídrica e ambiental no país.

### Agradecimentos

Os autores agradecem as Universidades do Estado do Pará e a Universidade Federal do Pará que fundamentaram nossa busca pelo conhecimento e forneceram os recursos necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

#### Referências

- Almeida, A. A. de, Sousa, M. C. B. da C., Soares, T. de O., Morais, A. E. F., & Assunção, N. B. de. (2019). Descarte inadequado de medicamentos vencidos: Efeitos nocivos para a saúde e para a população. *Revista Saúde e Meio Ambiente-RESMA*, (2), 155–162.
- Alves, A. (2020). *Avaliação de Riscos Ambientais*. Unisa Digital.
- Aquino, S. F. de, Manfred, E., Brandt, F., Augusto, C., & Chernicharo, L. (2013). Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto: revisão da literatura. *Eng Sanit Ambient*, 18(3), 187–204.
- Babay, P. A., Itria, R. F., Romero Ale, E. E., Becquart, E. T., & Gautier, E. A. (2014). Ubiquity of Endocrine Disruptors Nonylphenol and Its Mono- and Di-Ethoxylates in Freshwater, Sediments, and Biosolids Associated with High and Low Density Populations of Buenos Aires, Argentina. *Clean - Soil, Air, Water*, 42(6), 731–737. <https://doi.org/10.1002/clen.201300230>
- Boxall, A. B. A., Collins, R., Wilkinson, J. L., Swan, C., Bouzas-Monroy, A., Jones, J., Winter, E., Leach, J., Juta, U., Deacon, A., Townsend, I., Kerr, P., Paget, R., Rogers, M., Greaves, D., Turner, D., & Pearson, C. (2024). Pharmaceutical Pollution of the English National Parks. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 43(11), 2422–2435. <https://doi.org/10.1002/etc.5973>
- Boxall, A. B. A., Rudd, M. A., Brooks, B. W., Caldwell, D. J., Choi, K., Hickmann, S., Innes, E., Ostapyk, K., Staveley, J. P., Verslycke, T., Ankley, G. T., Beazley, K. F., Belanger, S. E., Berninger, J. P., Carriquiriborde, P., Coors, A., DeLeo, P. C., Dyer, S. D., Ericson, J. F., ... Van Der Kraak, G. (2012). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: What are the big questions? *Environmental Health Perspectives*, 120(9), 1221–1229. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104477>
- Brasil. (2021). *Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021*. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>
- Cabeza-Ramírez, L. J., Cañizares, S. M. S., & Fuentes-García, F. J. (2020). From bibliometrics to entrepreneurship: A study of studies. *Revista Espanola de Documentacion Cientifica*, 43(3). <https://doi.org/10.3989/redc.2020.3.1702>
- Caldas, H., Marques, Ê., Soares Fernandes, B., & Sobral, M. do C. (2025). O Papel da Fertirrigação e dos Agroquímicos Associados ao Cultivo da Cana-de-açúcar na Qualidade das Águas Doces do Brasil: Uma Revisão. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 18(4), 2573–2595. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v18.4.p2573-2595>
- Cantoni, B., Penserini, L., Vries, D., Dingemans, M. M. L., Bokkers, B. G. H., Turolla, A., Smeets, P. W. M. H., & Antonelli, M. (2021). Development of a quantitative chemical risk assessment (QCRA) procedure for contaminants of emerging concern in drinking water supply. *Water Research*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116911>
- Cartaxo, A. da S. B., Leite, V. D., Albuquerque, M. V. C., Silva, M. C. C. de P., Cartaxo, M. A. A., & Lopes, W. S. (2019). Microcontaminantes emergentes em Matrizes aquáticas: Aspectos gerais, Classificação e ocorrência. *Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*. <http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas/>
- Chaves, J. R. das. (2020). *Ocorrência de fármacos em manancial de abastecimento e em água para consumo humano: Complexo Bolonha, Belém -PA* [Dissertação, Universidade Federal do Pará].
- Colares, G. S., Dell’Osbel, N., Wiesel, P. G., Oliveira, G. A., Lemos, P. H. Z., da Silva, F. P., Lutterbeck, C. A., Kist, L. T., & Machado, Ê. L. (2020). Floating treatment wetlands: A review and bibliometric analysis. *Science of the Total Environment*, 714. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136776>
- Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005). *Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005*. [https://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=450](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450)
- Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2011). *Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011*. <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/CONAMA/RE0430-130511.PDF>
- de Jesus Gaffney, V., Almeida, C. M. M., Rodrigues, A., Ferreira, E., Benoliel, M. J., &

- Cardoso, V. V. (2015). Occurrence of pharmaceuticals in a water supply system and related human health risk assessment. *Water Research*, 72, 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.10.027>
- Environment Protection Agency. (2018). *Summary of the Clean Water Act*.
- Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph16061060>
- Fonseca, Keli da Silva, & Andrade, L. G. de. (2022). O descarte incorreto de fármacos e seus impactos no Meio Ambiente. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 8(5), 443–450. <https://doi.org/10.51891/rease.v8i5.5239>
- Gabriel, F. G. (2022). *Contaminantes emergentes no Brasil: Ocorrência de fármacos em matrizes aquáticas e Educação Ambiental. O que sabemos sobre essa temática?* [Dissertação, Memória, Repositório institucional do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte]. <https://memoria.ifrn.edu.br/handle/1044/2492>
- Gaffney, V. de J., Almeida, C. M. M., Rodrigues, A., Ferreira, E., Benoliel, M. J., & Cardoso, V. V. (2015). Occurrence of pharmaceuticals in a water supply system and related human health risk assessment. *Water Research*, 72, 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.10.027>
- Gibert, K., Horsburgh, J. S., Athanasiadis, I. N., & Holmes, G. (2018). Environmental Data Science. *Environmental Modelling and Software*, 106, 4–12. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.04.005>
- He, K., Borthwick, A. G., Lin, Y., Li, Y., Fu, J., Wong, Y., & Liu, W. (2020). Sale-based estimation of pharmaceutical concentrations and associated environmental risk in the Japanese wastewater system. *Environment International*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105690>
- Hernando, M. D., Mezcuca, M., Fernández-Alba, A. R., & Barceló, D. (2006). Environmental risk assessment of pharmaceutical residues in wastewater effluents, surface waters and sediments. *Talanta*, 69(2), 334–342. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2005.09.037>
- Jin, L., Sun, X., Ren, H., & Huang, H. (2023). Hotspots and trends of biological water treatment based on bibliometric review and patents analysis. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 125, 774–785. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.03.037>
- Kolpin, D. W., Furlong, E. T., Meyer, M. T., Thurman, E. M., Zaugg, S. D., Barber, L. B., & Buxton, H. T. (2002). Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U.S. streams, 1999-2000: A national reconnaissance. *Environmental Science and Technology*, 36(6), 1202–1211. <https://doi.org/10.1021/es011055j>
- Lanchote, V. L., Bonato, P. S., Cerdeira, A. L., Santos, N. A. G., de Carvalho, D., & Gomes, M. A. (2000). HPLC Screening and GC-MS Confirmation of Triazine Herbicides Residues in Drinking Water from Sugar Cane Area in Brazil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 118(3/4), 329–338. <https://doi.org/10.1023/A:1005147405509>
- Li, Y., Zhang, L., Ding, J., & Liu, X. (2020). Prioritization of pharmaceuticals in water environment in China based on environmental criteria and risk analysis of top-priority pharmaceuticals. *Journal of Environmental Management*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109732>
- Lolić, A., Paíga, P., Santos, L. H. M. L. M., Ramos, S., Correia, M., & Delerue-Matos, C. (2015). Assessment of non-steroidal anti-inflammatory and analgesic pharmaceuticals in seawaters of North of Portugal: Occurrence and environmental risk. *Science of the Total Environment*, 508, 240–250. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.11.097>
- Loos, R., Carvalho, R., António, D. C., Comero, S., Locoro, G., Tavazzi, S., Paracchini, B., Ghiani, M., Lettieri, T., Blaha, L., Jarosova, B., Voorspoels, S., Servaes, K., Haglund, P., Fick, J., Lindberg, R. H., Schwesig, D., & Gawlik, B. M. (2013). EU-wide monitoring survey on emerging polar organic contaminants in wastewater treatment plant effluents. *Water Research*, 47(17), 6475–6487. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.08.024>
- Loos, R., Locoro, G., & Contini, S. (2010). Occurrence of polar organic contaminants in the dissolved water phase of the Danube River and its major tributaries using SPE-LC-MS2 analysis. *Water Research*, 44(7), 2325–

2335.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.12.035>
- Luo, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Zhang, J., Liang, S., & Wang, X. C. (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 473–474, 619–641.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.065>
- Machado, R. G. (2022). *Estudo da remoção de contaminantes emergentes em estação de tratamento de esgoto equipada com biorreator acoplado a filtração por membrana: Uma alternativa para a produção de água de reuso* [Tese, Universidade Federal de São Carlos].  
<https://repositorio.ufscar.br/items/68c1b6e6-bd4c-4b11-bc32-4cb8b3405543>
- Molnarova, L., Halesova, T., Vaclavikova, M., & Bosakova, Z. (2023). Monitoring Pharmaceuticals and Personal Care Products in Drinking Water Samples by the LC-MS/MS Method to Estimate Their Potential Health Risk. *Molecules*, 28(15).  
<https://doi.org/10.3390/molecules28155899>
- Montagner, C. C., Vidal, C., & Acayaba, R. D. (2017). Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: Cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. *Química Nova*, 40(9), 1094–1110.  
<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170091>
- Nakagawa, S., Samarasinghe, G., Haddaway, N. R., Westgate, M. J., O’Dea, R. E., Noble, D. W. A., & Lagisz, M. (2019). Research Weaving: Visualizing the Future of Research Synthesis. Em *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 34, Número 3, p. 224–238). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.11.007>
- Ojemaye, C. Y., & Petrik, L. (2022). Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Marine Environment Around False Bay, Cape Town, South Africa: Occurrence and Risk-Assessment Study. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 41(3), 614–634.  
<https://doi.org/10.1002/etc.5053>
- Pereira, A. M. P. T., Silva, L. J. G., Laranjeiro, C. S. M., Meisel, L. M., Lino, C. M., & Pena, A. (2017). Human pharmaceuticals in Portuguese rivers: The impact of water scarcity in the environmental risk. *Science of the Total Environment*, 609, 1182–1191.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.200>
- Pereira, S., Abreu, A., & Marques, A. (2021). Fármacos e Produtos de Cuidado Pessoal na água subterrânea: Revisão de literatura. *Águas Subterrâneas*.  
<https://doi.org/10.1007/s12665-014-3489-x>
- Pinto, G. M. F., da Silva, K. R., Pereira, R. de F. A. B., & Sampaio, S. I. (2014). Study of residential expired medicines disposal in Paulínia (SP) area, Brazil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 19(3), 219–224.  
<https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000000472>
- Qin, F., Li, J., Zhang, C., Zeng, G., Huang, D., Tan, X., Qin, D., & Tan, H. (2022). Biochar in the 21st century: A data-driven visualization of collaboration, frontier identification, and future trend. *Science of the Total Environment*, 818.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151774>
- Reinholds, I., Pugajeva, I., Zacs, D., Lundanes, E., Rusko, J., Perkons, I., & Bartkevics, V. (2017). Determination of acidic non-steroidal anti-inflammatory drugs in aquatic samples by liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometry combined with carbon nanotubes-based solid-phase extraction. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(11).  
<https://doi.org/10.1007/s10661-017-6304-9>
- Ribeiro, C. M. (2022). *Avaliação da presença de anti-inflamatórios não esteróides no sistema de abastecimento de água bolonha Belém/PA* [Dissertação, Universidade Federal do Pará].
- Rodayan, A., Afana, S., Segura, P. A., Sultana, T., Metcalfe, C. D., & Yargeau, V. (2016). Linking drugs of abuse in wastewater to contamination of surface and drinking water. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(4), 843–849.  
<https://doi.org/10.1002/etc.3085>
- Romanelli, J. P., Carolina, M., Gonçalves, P., Fernando De Abreu Pestana, L., Akemi, J., Soares, H., Boschi, R. S., & Fernandes Andrade, D. (2021). Four challenges when conducting bibliometric reviews and how to deal with them. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 60448–60458.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-021-16420-x/Published>
- Sangion, A., & Gramatica, P. (2016). Hazard of pharmaceuticals for aquatic environment: Prioritization by structural approaches and prediction of ecotoxicity. *Environment*

- International*, 95, 131–143.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.08.008>
- Santos, L. V. de S., Jacob, R. S., Lange, L. C., Moreira, V. R., Lebron, Y. A. R., & Do Amaral, M. C. S. (2020). Study of fluoroquinolone biodegradability by using aerobic and anaerobic biomass. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 25(1), 69–77.  
<https://doi.org/10.1590/s1413-41522020151522>
- Sengar, A., & Vijayanandan, A. (2022). Human health and ecological risk assessment of 98 pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) detected in Indian surface and wastewaters. Em *Science of the Total Environment* (Vol. 807). Elsevier B.V.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150677>
- Sharma, B. M., Bečanová, J., Scheringer, M., Sharma, A., Bharat, G. K., Whitehead, P. G., Klánová, J., & Nizzetto, L. (2019). Health and ecological risk assessment of emerging contaminants (pharmaceuticals, personal care products, and artificial sweeteners) in surface and groundwater (drinking water) in the Ganges River Basin, India. *Science of the Total Environment*, 646, 1459–1467.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.235>
- Shigei, M., Assayed, A., Hazaymeh, A., & Dalahmeh, S. S. (2021). Pharmaceutical and antibiotic pollutant levels in wastewater and the waters of the zarqa river, Jordan. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(18).  
<https://doi.org/10.3390/app11188638>
- Stackelberg, P. E., Gibs, J., Furlong, E. T., Meyer, M. T., Zaugg, S. D., & Lippincott, R. L. (2007). Efficiency of conventional drinking-water-treatment processes in removal of pharmaceuticals and other organic compounds. *Science of the Total Environment*, 377(2–3), 255–272.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.01.095>
- Stuart, M., Lapworth, D., Crane, E., & Hart, A. (2012). Review of risk from potential emerging contaminants in UK groundwater. *Science of the Total Environment*, 416, 1–21.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.11.072>
- Stumpf, M., Ternes, T. A., Wilken, R.-D., Rodrigues, S. V., Baumann, W., & Brazii', B. (1999). Polar drug residues in sewage and natural waters in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *The Science of the Total Environment*, 225, 135–141.  
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(98\)00339-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0048-9697(98)00339-8)
- Teixeira, L. C. G. M., das Chaves, J. R., Mendonça, N., Sanson, A. L., Alves, M. C. P., Afonso, R. J. C. F., & Aquino, S. F. (2021). Occurrence and removal of drugs and endocrine disruptors in the Bolonha Water Treatment Plant in Belém/PA (Brazil). *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(5).  
<https://doi.org/10.1007/s10661-021-09025-x>
- Umbuzeiro, G. de A. (2012). *Guia de potabilidade para substâncias químicas*.
- United States of American. (2002). *Federal Water Pollution Control Act*.  
<https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-08/documents/federal-water-pollution-control-act-508full.pdf>
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538.  
<https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Wang, Z., Walker, G. W., Muir, D. C. G., & Nagatani-Yoshida, K. (2020). Toward a Global Understanding of Chemical Pollution: A First Comprehensive Analysis of National and Regional Chemical Inventories. *Environmental Science and Technology*, 54(5), 2575–2584.  
<https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06379>
- World Health Organization. (2011). *Guidelines for drinking-water quality*. World Health Organization.
- World Health Organization. (2012). *Pharmaceuticals in drinking-water*.
- Yang, Y., Ok, Y. S., Kim, K. H., Kwon, E. E., & Tsang, Y. F. (2017). Occurrences and removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in drinking water and water/sewage treatment plants: A review. *Science of the Total Environment*, 596–597, 303–320.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.102>
- Yang, Y. Y., Toor, G. S., Wilson, P. C., & Williams, C. F. (2017). Micropollutants in groundwater from septic systems: Transformations, transport mechanisms, and human health risk assessment. *Water Research*, 123, 258–267.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.054>
- Zhu, J. J., Dressel, W., Pacion, K., & Ren, Z. J. (2021). ES&T in the 21st century: A data-driven analysis of research topics, interconnections, and trends in the past 20 years. *Environmental Science and Technology*, 55(6), 3453–3464.  
<https://doi.org/10.1021/acs.est.0c07551>
- Ziylan, A., & Ince, N. H. (2011). The occurrence and fate of anti-inflammatory and analgesic pharmaceuticals in sewage and fresh water: Treatability by conventional and non-conventional processes. *Journal of Hazardous Materials*, 187(1–3), 24–36.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.057>