



## 358 - LEVANTAMENTO QUALITATIVO SOBRE OCORRÊNCIA DE MICROPOLUENTES EM MATRIZES AQUOSAS BRASILEIRAS

### **Mickaela Midon da Paixão** <sup>(1)</sup>

Engenheira Civil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET-RJ). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Assessora do CREA-RJ e diretora da ABES-RJ. Doutoranda em Engenharia Ambiental pela UERJ.  
(E-mail: [mickaelapaixao@hotmail.com](mailto:mickaelapaixao@hotmail.com))

### **Renata de Oliveira Pereira** <sup>(2)</sup>

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, 36036-900, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.  
(E-mail: [renata.pereira@ufjf.br](mailto:renata.pereira@ufjf.br)) <https://orcid.org/0000-0002-3414-7292> (Orcid).

### **Ana Silvia Pereira Santos** <sup>(3)</sup>

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, 20550-900, Brasil.  
(E-mail: [ana.pereira@eng.uerj.br](mailto:ana.pereira@eng.uerj.br))

## RESUMO

Este artigo apresenta os resultados de uma revisão sistemática da literatura que teve como objetivo identificar e relacionar os micropoluentes mais estudados nas matrizes aquáticas brasileiras a partir de 2018. O estudo dos micropoluentes é crucial devido aos seus impactos adversos na saúde humana e ecossistemas aquáticos, destacando a necessidade de regulamentação e práticas sustentáveis para mitigar esses efeitos. A pesquisa abrangeu tanto trabalhos acadêmicos de mestrado e doutorado quanto artigos científicos. Além disso, foram analisadas as pesquisas que abordaram micropoluentes em águas superficiais, esgoto sanitário ou ambos. A distribuição geográfica das pesquisas encontradas por estados brasileiros também foi examinada. Os resultados indicam que o 17 $\alpha$ -etinilestradiol, diclofenaco, cafeína, 17- $\beta$ -estradiol, ibuprofeno são os poluentes mais estudados no Brasil entre 2018 e novembro de 2023, destacando-as como as substâncias químicas de maior interesse em estudos ambientais e de saúde pública. A análise da distribuição geográfica demonstrou que as regiões sudeste e sul do país são mais proeminentes na pesquisa de micropoluentes, possivelmente devido a fatores como infraestrutura de pesquisa e disponibilidade de recursos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Águas Superficiais; Brasil; Distribuição geográfica; Crescimento da pesquisa; Esgoto.

## INTRODUÇÃO

Os micropoluentes são substâncias químicas que ocorrem em baixa concentração cujo impacto no meio ambiente e na saúde humana tem ganhado crescente atenção nos últimos anos (HEIDARI et al., 2022). Estes compostos, que incluem desde resíduos farmacêuticos e produtos de cuidados pessoais até produtos químicos industriais, podem ser encontrados em nossos sistemas aquáticos e têm o potencial de afetar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Essa crescente preocupação com os micropoluentes reflete-se na expansão das pesquisas sobre o tema em âmbito global (AJALA et al., 2022; PETEFFI et al., 2019; LIU et al., 2020).

No contexto brasileiro, onde a disponibilidade de recursos hídricos é fundamental para diversos setores, como agricultura, indústria e abastecimento público, a compreensão e o estudo dos micropoluentes tornam-se ainda mais cruciais (MARSON et al., 2022). O Brasil, um país vasto e diverso em termos geográficos e ambientais,



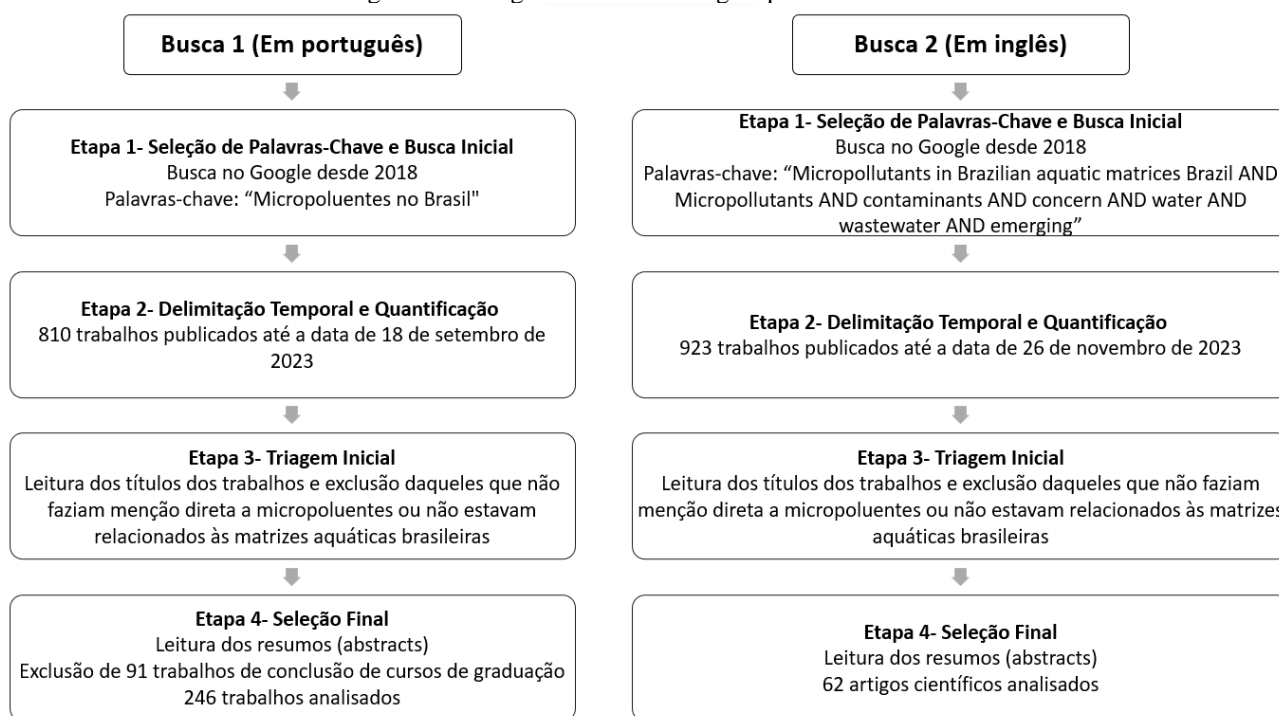
abriga uma variedade de ecossistemas aquáticos que são fundamentais para sua rica biodiversidade e para a sustentabilidade de muitas atividades econômicas. Portanto, a identificação e o monitoramento desses micropoluentes nas matrizes aquáticas brasileiras têm implicações diretas na gestão dos recursos hídricos, na saúde pública e na preservação do ambiente (Bellón et al., 2020).

Este artigo se propõe a identificar quais são os micropoluentes mais estudados qualitativamente no Brasil e identificar lacunas e tendências no país. Abordando a relevância do estudo dos micropoluentes nos esgotos e águas superficiais brasileiras, destacando sua influência na regionalização do país e a importância de apoiar pesquisas que ampliem o conhecimento sobre esse tema crítico. Ao compreender a importância dos micropoluentes nas matrizes aquáticas brasileiras e seu impacto em diversas regiões do país, se torna possível direcionar os esforços para uma gestão mais eficaz e sustentável dos recursos hídricos, contribuindo para a preservação ambiental e a melhoria da qualidade de vida da população.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para a elaboração desta pesquisa envolveu duas buscas sistemáticas da literatura com o objetivo de identificar e analisar estudos relacionados aos micropoluentes em matrizes aquáticas brasileiras, com enfoque no período de 2018 a novembro de 2023. O processo metodológico foi dividido em etapas que incluíram a seleção de palavras-chave, a delimitação temporal da busca, a triagem dos trabalhos encontrados e a seleção final dos trabalhos alvo da pesquisa. Foi realizada uma busca em português (busca 1) e uma busca em inglês (busca 2) a fim de coletar os resultados de produções acadêmicas e publicações científicas nacionais e internacionais. A figura 1 mostra a metodologia aplicada no presente trabalho.

Figura 1. Fluxograma da metodologia aplicada



### 2.1 Seleção de Palavras-Chave e Busca Inicial

A primeira etapa consistiu na seleção de palavras-chave adequadas para a busca de estudos relevantes. Utilizou-se o Google Acadêmico como ferramenta de pesquisa e as seguintes palavras-chave: "micropoluentes no Brasil" para a busca 1 e "Micropollutants in Brazilian aquatic matrices Brazil AND Micropollutants AND contaminants AND concern AND water AND wastewater AND emerging" para a busca 2.



Ambas as buscas foram refinadas a cada ano, permitindo verificar o número de trabalhos publicados anualmente no período de 2018 a 2023. Essa etapa inicial da pesquisa visou a obtenção de um panorama geral sobre a produção acadêmica relacionada ao tema no Brasil.

### *2.2 Delimitação Temporal e Quantificação*

Com a delimitação temporal estabelecida a partir de 2018, foram encontrados na busca 1 um total de 810 trabalhos publicados até a data de 18 de setembro de 2023. Já na busca 2 foram encontrados 923 trabalhos publicados até a data de 26 de novembro de 2023. Esta etapa da pesquisa permitiu identificar o volume de pesquisas recentes relacionadas aos micropoluentes em matrizes aquáticas brasileiras.

### *2.3 Triagem Inicial*

Após a obtenção dos resultados da busca, iniciou-se à triagem inicial dos trabalhos encontrados. Nessa fase, realizou-se a leitura dos títulos dos trabalhos e excluiu-se aqueles que não faziam menção direta a micropoluentes ou não estavam relacionados às matrizes aquáticas brasileiras. Adicionalmente, os trabalhos de graduação foram descartados visto que não possuem peso científico para as análises do presente trabalho. Na busca 2, foi realizada uma verificação para que os trabalhos encontrados nesta etapa não estivessem presentes na primeira busca.

### *2.4 Seleção Final*

A partir dos trabalhos que passaram pela triagem inicial, realizou-se a leitura dos resumos (abstracts) ou resumos estendidos, quando disponíveis. Durante essa etapa, excluiu-se os trabalhos que não abordavam o tema de micropoluentes em matrizes aquáticas brasileiras ou que não apresentavam relevância para a pesquisa. A aplicação dessa metodologia resultou pela busca 1 na seleção de 337 trabalhos que se encaixavam nos critérios de pesquisa, porém 91 deles eram trabalhos de conclusão de cursos de graduação e não foram considerados como alvo para a análise detalhada. Os 246 trabalhos restantes que eram oriundos de dissertações de mestrado, teses de doutorado ou artigos científicos foram então submetidos a uma análise aprofundada para identificar o nome dos micropoluentes de forma qualitativa, o estado onde foi realizado o estudo e em qual matriz (água e esgoto) o poluente foi avaliado, identificando assim as tendências de pesquisa no contexto brasileiro.

Seguindo os mesmos critérios, a busca 2 resultou na seleção de 62 artigos científicos considerados como alvo para a análise detalhada. Os trabalhos acadêmicos encontrados nesta etapa já haviam sido selecionados na busca 1, e por se tratar de uma busca em inglês esperava-se que os resultados fossem majoritariamente de artigos científicos publicados em revistas internacionais.

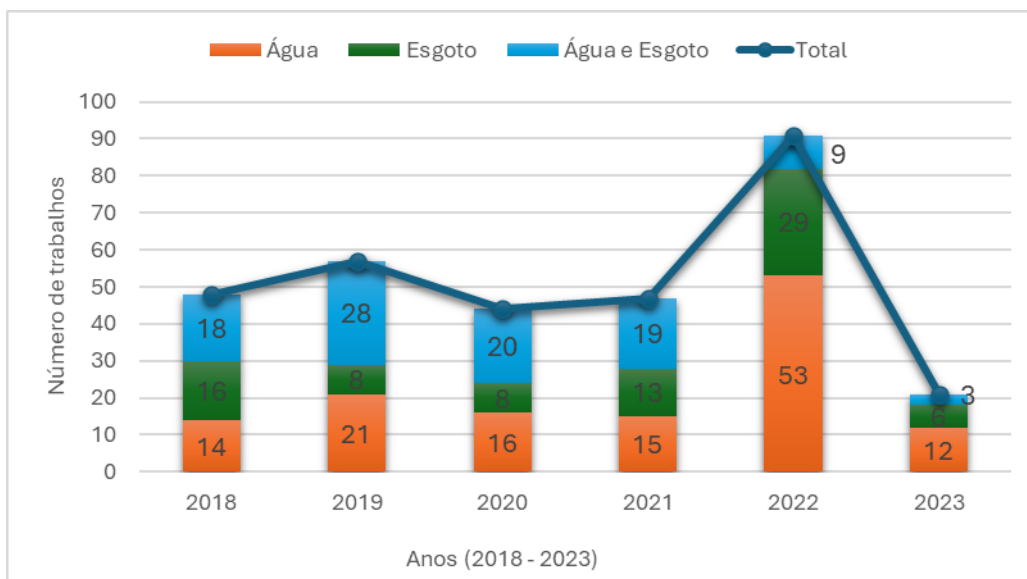
Após o levantamento de todos os trabalhos, realizou-se uma análise qualitativa para conhecimento dos micropoluentes mais estudados e sua divisão de acordo com suas classes, e com base nessa relação, buscou-se quais trabalhos traziam informações quantitativas sobre a presença e concentrações desses compostos nas matrizes aquáticas brasileiras. Como o resultado da busca qualitativa foi extenso, o trabalho focou nos micropoluentes mais estudados, colocando como linha de corte os micropoluentes abordados em 15 trabalhos ou mais.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nos últimos 5 anos, o Brasil testemunhou uma notável evolução no interesse e na pesquisa relacionada aos micropoluentes. Esses compostos químicos, muitas vezes presentes em concentrações mínimas, podem ter impactos significativos no meio ambiente e na saúde humana, a Figura 1 mostra a relação das pesquisas neste período.



Figura 1. Relação anual do número de pesquisas sobre micropoluentes nas matrizes aquáticas brasileiras de 2018 a 2023



O gráfico da Figura 1 ilustra a evolução do número de pesquisas sobre micropoluentes ao longo dos anos. No período de 5 anos pode se observar um pico no número de pesquisas no ano de 2022. A partir da Figura 1 e tabela 1 é possível observar que a matriz água é predominante em quase todos os anos, somente em 2018 o número de pesquisas focadas em esgotos supera o número de água. Ou seja, no período estudado as pesquisas sobre micropoluentes é mais relacionada à presença dos compostos nos corpos hídricos brasileiros do que nos esgotos.

Tabela 1. Relação das pesquisas por matriz aquáticas nas buscas 1 e 2

Matriz	Busca 1	Busca 2	Total de Pesquisas (Busca 1 + Busca 2)
Água	105	26	131
Esgoto	55	25	80
Água e Esgoto	86	11	97
Total	246	62	308

Os dados apresentados indicam que 175 compostos específicos foram objeto de estudo único, ressaltando a concentração em áreas específicas de pesquisa. É notável que, dentro desse conjunto, 83,7% dos micropoluentes analisados possuem um número de trabalhos igual ou inferior a quatro como mostra a Tabela 2.



Tabela 2. Distribuição do número de compostos em relação ao número de trabalhos

Nº de compostos	Nº de Trabalhos	Frequência
350	1 - 4 trabalhos	83,7%
38	5 - 9 trabalhos	9,1%
16	10 - 20 trabalhos	3,8%
14	21 - 82 trabalhos	3,3%

Os resultados da Tabela 2 indicam que a maioria dos compostos está associada a 1 a 4 trabalhos. Em seguida, 9,1% dos compostos têm entre 5 e 9 trabalhos relacionados. Compostos com 10 a 20 trabalhos representam 3,8% da amostra, enquanto aqueles com 21 a 82 trabalhos correspondem a 3,3% do total. Esses dados sugerem que a maioria dos compostos possui uma quantidade limitada de trabalhos associados, com uma pequena porcentagem apresentando um número mais significativo de publicações. Em resumo, a distribuição revela que a maioria dos compostos tem uma presença limitada na pesquisa, enquanto alguns recebem atenção mais intensiva. Esses resultados podem fornecer insights sobre a diversidade de compostos estudados, a profundidade da pesquisa associada a cada um e possíveis áreas de foco ou lacunas na literatura científica relacionada a esses compostos.

### 3.1 Resultados da Busca Sistemática quanto ao tipo de trabalho

No total, foram identificados e selecionados 337 documentos para análise em português. A seguir, está a distribuição desses documentos de acordo com sua natureza. Os documentos selecionados na busca sistemática da literatura se dividiram em quatro categorias principais, conforme apresentado a seguir:

Artigo Científico: 46

Trabalho Acadêmico (Graduação): 91

Trabalho Acadêmico (Mestrado): 134

Trabalho Acadêmico (Doutorado): 66

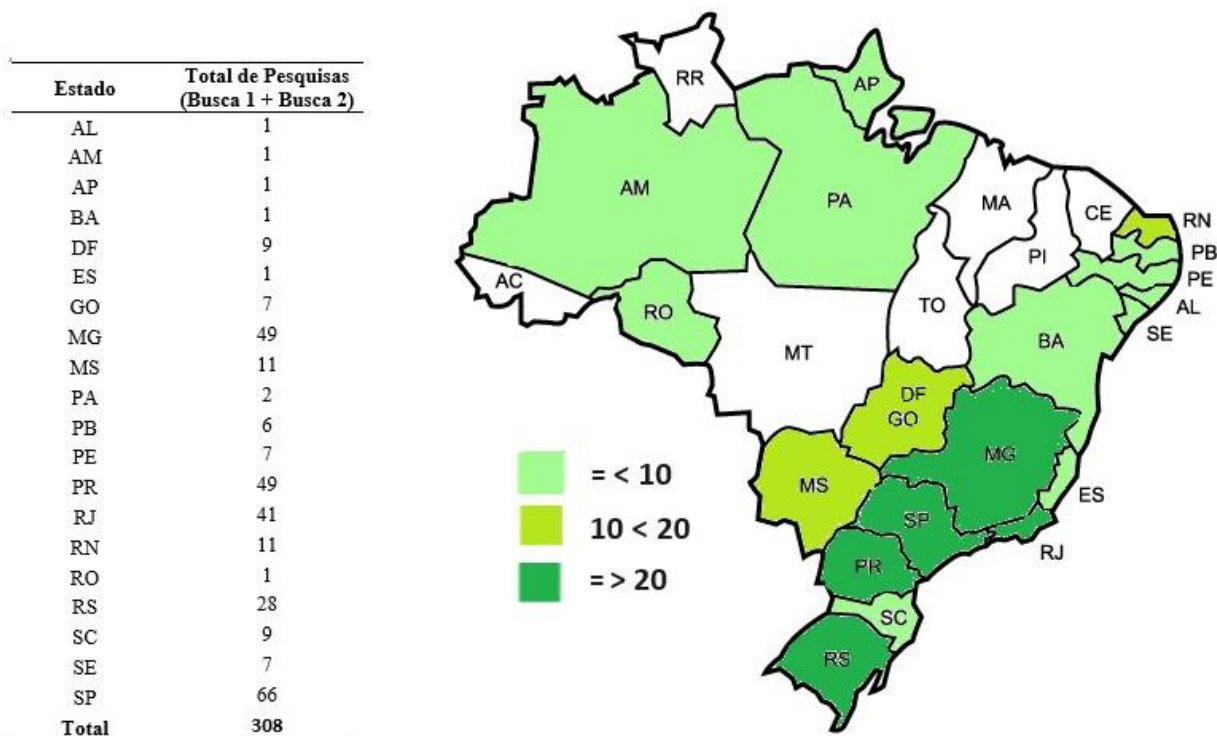
É importante observar que a maior parte dos documentos encontrados corresponde a trabalhos acadêmicos de nível de mestrado e graduação. Isso sugere que existe um interesse na pesquisa acadêmica em relação ao tema de estudo. Para a análise dos micropoluentes mais estudados não foram utilizados os trabalhos de graduação, visto que não possuem peso científico, sendo assim foram selecionados 246 trabalhos. Como mencionado anteriormente, como resultado da busca 2, foram selecionados 62 artigos científicos.

### 3.2 Distribuição Geográfica das Pesquisas

A distribuição dessas pesquisas por estados brasileiros é apresentada na figura 2.



Figura 2. Distribuição por estado das pesquisas nas buscas 1 e 2



A análise da distribuição geográfica das pesquisas revela algumas tendências interessantes. Os estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Rio de Janeiro se destacam com o maior número de trabalhos publicados respectivamente, indicando uma maior concentração de pesquisa nessas regiões. Essa concentração pode ser atribuída à presença de universidades de renome, centros de pesquisa e recursos acadêmicos nessas áreas.

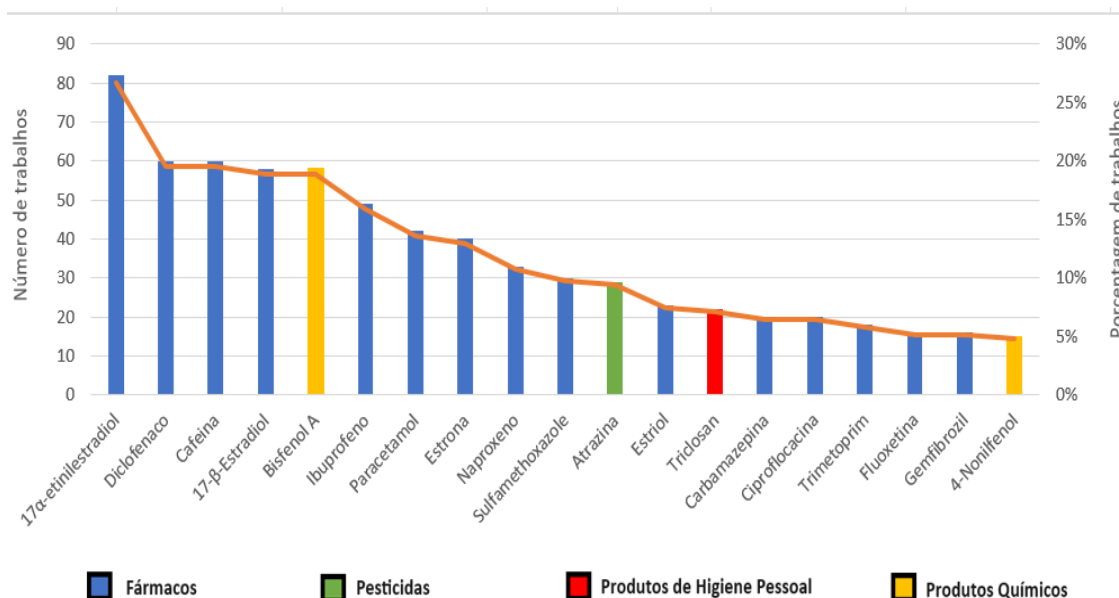
A distribuição geográfica das pesquisas encontradas indica que a produção de conhecimento sobre o tema não está uniformemente distribuída pelo país. Isso tem implicações importantes para a pesquisa futura, uma vez que pode ser relevante considerar as especificidades regionais ao planejar estudos ou intervenções relacionadas a regulamentação dos poluentes emergentes no Brasil. Além disso, pode ser benéfico promover a colaboração entre instituições de diferentes estados para compartilhar experiências e recursos.

### 3.3 Micropoluentes estudados

Após uma análise dos resultados provenientes das pesquisas sobre a presença de micropoluentes nas matrizes aquáticas brasileiras, foi possível identificar os compostos mais estudados desde 2018. Ao explorar os dados compilados, foi possível identificar padrões, tendências e áreas de preocupação específicas relacionadas a compostos de grande utilização pela população brasileira.

Nos últimos cinco anos, um total de 418 compostos foram estudados no Brasil, e a Figura 3 apresenta os resultados dessas substâncias mais estudadas em ambas as matrizes aquáticas nesse período separados por classe.

Figura 3. Compostos mais estudados nos últimos 5 anos no Brasil por classe



Na Figura 3 observa-se que a maior parte dos compostos listados são fármacos, com um total de 10 compostos, incluindo o 17 $\alpha$ -etinilestradiol, diclofenaco, cafeína, 17- $\beta$ -estradiol, ibuprofeno, paracetamol, estrona, naproxeno, carbamazepina e fluoxetina. Esses compostos farmacêuticos têm sido alvo de crescente atenção devido à sua presença frequente em águas superficiais e potencial impacto ambiental (KHAN et al., 2020). A classe de fármacos abrange uma variedade de substâncias que incluem analgésicos, anti-inflamatórios, hormônios, antidepressivos e outros medicamentos.

A presença proeminente de compostos farmacêuticos destaca a necessidade urgente de compreender os efeitos ambientais dessas substâncias. A classe de fármacos é particularmente relevante devido à sua capacidade de afetar organismos aquáticos e ecossistemas, mesmo em concentrações muito baixas. A exposição contínua a esses micropoluentes pode ter implicações para a vida selvagem e para a saúde humana, tornando crucial a implementação de medidas de gestão e regulamentação para mitigar esses impactos (PORRETTI et al., 2022). O aumento na pesquisa desses compostos reflete o reconhecimento da importância de abordar os desafios associados à presença de fármacos no meio ambiente e destaca a necessidade de desenvolver estratégias sustentáveis para o gerenciamento desses poluentes emergentes. Tanto nos estados brasileiros quanto a nível federal não há regulamentação para fármacos e produtos de higiene pessoal, dos compostos apresentados na Figura 3, apenas atrazina é regulamentada pela CONAMA 357 e portaria 888/2021.

A busca revelou que os cinco compostos mais frequentemente abordados nas pesquisas relacionadas ao cenário brasileiro são 17 $\alpha$ -etinilestradiol, diclofenaco, cafeína, 17- $\beta$ -estradiol e bisfenol A, com 82, 60, 60, 58 e 58 trabalhos, respectivamente. A análise conjunta das duas fontes de pesquisa contribui para uma compreensão mais completa do panorama de estudos sobre micropoluentes no Brasil, proporcionando insights valiosos para futuras pesquisas e ações mitigadoras.

A tabela 3 apresenta uma análise temporal dos micropoluentes mais abordados em amostras de água e esgoto ao longo dos anos de 2018 a 2023.



Tabela 3. Análise temporal dos micropoluentes mais estudados por matriz

Composto		17 $\alpha$ - etinilestradiol	Cafeína	Diclofenaco	17- $\beta$ - Estradiol	Bisfenol A
2018	Água	8 pesquisas	5 pesquisas	7 pesquisas	5 pesquisas	12 pesquisas
	Esgoto	6 pesquisas	6 pesquisas	9 pesquisas	5 pesquisas	7 pesquisas
2019	Água	13 pesquisas	3 pesquisas	6 pesquisas	7 pesquisas	4 pesquisas
	Esgoto	17 pesquisas	3 pesquisas	4 pesquisas	6 pesquisas	4 pesquisas
2020	Água	9 pesquisas	5 pesquisas	3 pesquisas	7 pesquisas	10 pesquisas
	Esgoto	5 pesquisas	4 pesquisas	2 pesquisas	5 pesquisas	6 pesquisas
2021	Água	10 pesquisas	10 pesquisas	7 pesquisas	7 pesquisas	9 pesquisas
	Esgoto	12 pesquisas	7 pesquisas	7 pesquisas	6 pesquisas	2 pesquisas
2022	Água	12 pesquisas	16 pesquisas	9 pesquisas	8 pesquisas	6 pesquisas
	Esgoto	10 pesquisas	5 pesquisas	10 pesquisas	4 pesquisas	8 pesquisas
2023	Água	3 pesquisas	2 pesquisas	5 pesquisas	3 pesquisas	4 pesquisas
	Esgoto	1 pesquisas	4 pesquisas	1 pesquisas	1 pesquisas	2 pesquisas

Essa análise revela mudanças nas prioridades de pesquisa ao longo do tempo, destacando a dinâmica na atenção dada a diferentes micropoluentes em água e esgoto. Essas variações podem ser influenciadas por fatores como avanços tecnológicos, preocupações emergentes na saúde pública e mudanças nas práticas industriais, refletindo a necessidade contínua de monitoramento e pesquisa para abordar os desafios associados à presença de micropoluentes no ambiente. Vale ressaltar que alguns trabalhos abordavam a presença dos micropoluentes tanto na matriz água superficial quanto esgoto.

O mais pesquisado foi o 17 $\alpha$ -etinilestradiol, estudado em 25% das pesquisas. É um derivado sintético do hormônio estrogênio, é amplamente utilizado em contraceptivos orais devido à sua eficácia na prevenção da gravidez. Este composto, ao chegar às águas residuais, pode persistir no ambiente e, devido à sua natureza endócrina, suscita preocupações sobre os efeitos nos organismos aquáticos e, conseqüentemente, na saúde humana (MACHADO et al., 2011). Segundo Klaica e Jirsa (2022) a exposição crônica ao 17 $\alpha$ -etinilestradiol pode influenciar o sistema endócrino, levando a desequilíbrios hormonais que, por sua vez, podem impactar a reprodução e o desenvolvimento de organismos, incluindo seres humanos. Este composto causa efeitos adversos mesmo em baixas concentrações, e ainda não é regulamentado em grande parte do mundo (HERRMANN et al., 2023). Como se pode observar na Tabela 3, o 17 $\alpha$ -etinilestradiol é estudado tanto na matriz água, quanto na matriz esgoto, em teoria como sua liberação ocorre pelas fezes, em se ter uma coleta e tratamento eficiente de efluentes domésticos seria possível controlar suas concentrações em águas superficiais (Wan et al., 2022). Todavia, se deve controlar outras fontes como o descarte incorreto de fármacos e tratamento de efluentes hospitalares que muitas vezes também estão associados à presença desses compostos nos corpos hídricos.

Em segundo lugar está o diclofenaco (19 % dos trabalhos), um anti-inflamatório não esteroide, é utilizado para alívio da dor e inflamação em pacientes humanos e animais. No entanto, a presença generalizada deste fármaco nas águas residuais levanta sérias preocupações ambientais e de saúde (AMANULLAH et al., 2023). A exposição a longo prazo ao diclofenaco pode resultar em efeitos adversos nos organismos aquáticos, com implicações para a cadeia alimentar. Além disso, a ingestão indireta de água contaminada por diclofenaco pode causar problemas renais e gastrointestinais em seres humanos, enfatizando a necessidade de avaliar e mitigar seus impactos ao longo do tempo (AZEVEDO et al., 2023).





Em terceiro a cafeína (também com 19 % dos trabalhos) é uma substância estimulante encontrada em café, chá, bebidas energéticas e alguns medicamentos. Embora seja considerada segura em doses moderadas para os humanos, a sua presença disseminada no ambiente aquático representa um desafio significativo. Segundo Clayman e Connaughton (2022) concentrações elevadas de cafeína podem afetar negativamente organismos aquáticos, como peixes e anfíbios, impactando seu comportamento e ciclo reprodutivo. Além disso, em humanos, a cafeína em excesso pode levar a distúrbios do sono, ansiedade e palpitações cardíacas, ressaltando a importância de regulamentações para controlar sua presença nas águas (REPANTIS et al., 2020). A cafeína, identificada como indicador de atividade antrópica, revela a presença de efluentes domésticos em corpos d'água urbanos. Essa detecção é crucial para avaliar a contaminação ambiental, orientando estratégias de gestão e tratamento de recursos hídricos e destacando a cafeína como biomarcador essencial para identificar impactos da ação humana nos ecossistemas aquáticos (BEGA et al., 2021).

Em quarto lugar o estradiol, que segundo Hajjalzadeh e Khaksari (2021) é um composto químico pertencente à classe dos estrogênios, que são hormônios sexuais predominantes nas fêmeas de mamíferos, incluindo os seres humanos. Este hormônio desempenha um papel crucial no desenvolvimento e funcionamento do sistema reprodutivo feminino, influenciando a regulação do ciclo menstrual, o crescimento dos tecidos mamários e a manutenção da saúde óssea. Apesar de sua importância biológica, o 17- $\beta$ -estradiol também é considerado um micropoluente preocupante devido à sua presença em sistemas aquáticos, muitas vezes proveniente de fontes como resíduos de produtos farmacêuticos, contraceptivos orais e excreção humana. A presença do 17- $\beta$ -estradiol em concentrações ambientais pode suscitar preocupações devido aos potenciais efeitos disruptivos endócrinos em organismos aquáticos e à possibilidade de impactos adversos na saúde ambiental. Em 2015, a União Europeia lançou uma lista de observação, “Watch List” para monitorizar, entre outros, o nonilfenol e o 17- $\beta$ -estradiol no âmbito da Diretiva Quadro da Água (DQA) com vista a uma eventual regulamentação (RAPP-WRIGHT et al., 2023).

Em quinto lugar o bisfenol A (BPA) é uma substância química amplamente usada na produção de plásticos, revestimentos de embalagens e resinas. Sua presença generalizada no meio ambiente levanta preocupações significativas, uma vez que estudos indicam que o BPA pode agir como um desregulador endócrino, interferindo nas vias hormonais naturais do corpo (XIAO et al., 2020). A exposição a esse composto tem sido associada a distúrbios hormonais, problemas reprodutivos e até mesmo ao desenvolvimento de certas condições de saúde, como diabetes e obesidade. A ampla utilização do BPA na fabricação de produtos do cotidiano, como garrafas plásticas e embalagens alimentícias, intensifica a importância de políticas de controle para limitar sua presença e minimizar os riscos à saúde humana (CIMMINO et al., 2020).

A crescente compreensão dos impactos desses compostos ressalta a necessidade urgente de políticas rigorosas de controle e regulamentação para monitorar e mitigar os efeitos adversos à saúde humana e ao meio ambiente. Dos 5 micropoluentes mais pesquisados, 3 são desreguladores endócrinos. Surpreendentemente, apenas a atrazina é regulamentada, enquanto, de modo geral, os compostos monitorados carecem de regulamentação no Brasil. A preocupação recente com compostos como PFOS/PFOA é evidenciada por apenas 2 estudos cada, embora sejam investigados internacionalmente (LEUNG et al., 2022).

A importância de realizar uma busca quantitativa nas matrizes aquáticas é crucial para verificar se esses compostos estão presentes. Isso não apenas fortalece a base de evidências, mas também orienta medidas regulatórias para proteger ecossistemas aquáticos e a saúde humana, considerando a possível contaminação por substâncias prejudiciais. O controle do uso dessas substâncias, o desenvolvimento de alternativas mais seguras e a implementação de tecnologias avançadas de tratamento de água e de efluentes são essenciais para garantir a proteção a longo prazo da qualidade da água para consumo humano e a saúde da população.

Rezende (2022) conduziu uma revisão de 20 estudos que investigaram a presença de 41 poluentes de preocupação emergente nas águas superficiais brasileiras. Os resultados dessa análise revelaram que o Bisfenol-A foi o composto mais frequentemente detectado, seguido pela cafeína, diclofenaco, 17- $\beta$ -estradiol, 17- $\alpha$ -etinilestradiol, naproxeno, triclosan e 4-n-nonilfenol. Essas descobertas alinham-se de maneira consistente com os resultados do presente trabalho, destacando uma correspondência direta entre os compostos mais estudados e aqueles mais frequentemente identificados no cenário brasileiro. Essa congruência ressalta a



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO  
DE ENGENHARIA SANITÁRIA  
E AMBIENTAL



relevância desses poluentes específicos nas preocupações ambientais do país, sublinhando a importância contínua da pesquisa e monitoramento desses compostos para uma gestão eficaz da qualidade da água.

De acordo com Gomes (2018) que realizou uma quantificação das concentrações de  $17\alpha$ -etinilestradiol na região do Lago Paranoá em Brasília, o  $17\alpha$ -etinilestradiol foi encontrado em todas as amostras de esgoto bruto (1,31 – 2,08 ng. L-1) e de efluente tratado (0,23 – 1,50 ng.L-1), e em uma das amostras de água superficial do Lago Paranoá (0,07 ng. L-1). Já no estado do Rio de Janeiro, o  $17\alpha$ -etinilestradiol foi encontrado no sistema lagunar de Itaipu com a concentração de 53,9 ng. L-1 (CUNHA, 2018). Rezende (2022) em sua avaliação encontrou 1,83 ng. L-1 como a menor concentração e 4390 ng. L-1 como a maior concentração quantificada.

O Diclofenaco foi quantificado em 40,8 ng. L-1 no rio lontra no estado do paraná (KOERICH et al., 2021). Já Rezende (2022) em sua avaliação encontrou 5,35 ng. L-1 como a menor concentração e 785 ng. L-1 como a maior concentração quantificada.

A cafeína foi quantificada em 230,4 ng. L-1 no rio lontra no estado do paraná (KOERICH et al., 2021). A cafeína foi também encontrada nas amostras das águas provenientes do Córrego Rico, que está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu no estado de São Paulo, com concentração máxima de 406,2 ng.L-1 no período mais seco (CARVALHO et al., 2022). Rezende (2022) em sua avaliação encontrou 0,3 ng. L-1 como a menor concentração e 41700 ng. L-1 como a maior concentração quantificada.

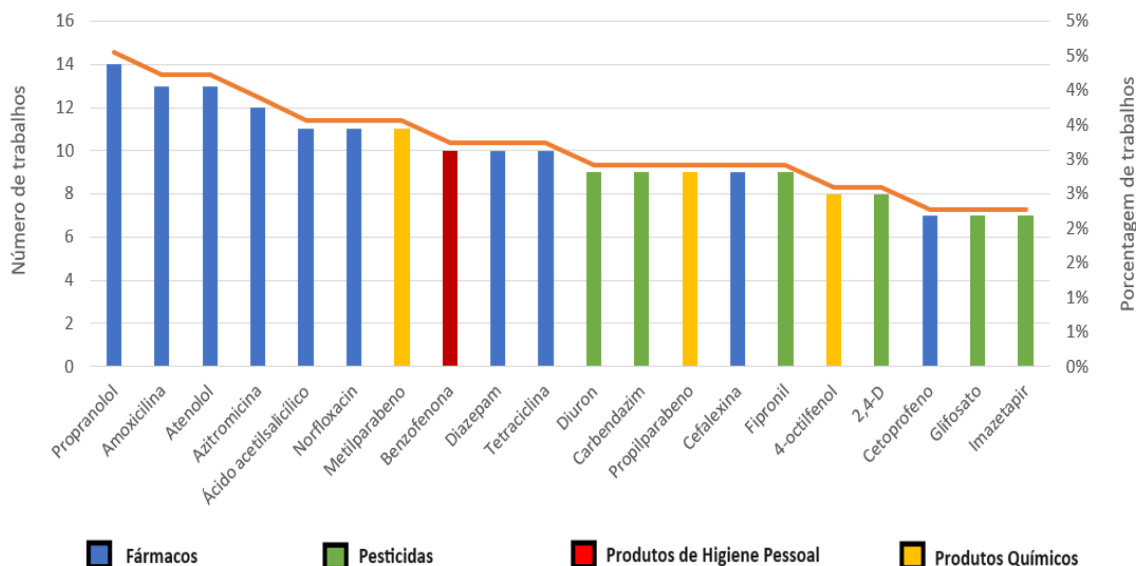
Rezende (2022) em sua avaliação encontrou 2,89 ng. L-1 como a menor concentração e 6806 ng. L-1 como a maior concentração de  $17\beta$ -Estradiol quantificada na Bacia do Rio Atibaia em Campinas, estado de São Paulo. No estado do Rio de Janeiro, o  $17\beta$ -Estradiol foi encontrado no sistema lagunar de Itaipu com a concentração de 11,4 ng. L-1 e 23,8 ng. L-1 foi a concentração quantificada no sistema lagunar de Piratininga (CUNHA, 2018).

No estado do Rio de Janeiro, o bisfenol A foi encontrado no sistema lagunar de Itaipu com a concentração de 368,4 ng. L-1 e 251,9 ng. L-1 foi a concentração quantificada no sistema lagunar de Piratininga (CUNHA, 2018). Rezende (2022) em sua avaliação encontrou 0,3 ng. L-1 como a menor concentração e 41700 ng. L-1 como a maior concentração de bisfenol A.

A análise de concentrações em diferentes locais, como no Lago Paranoá em Brasília, no rio lontra no estado do Paraná e na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu em São Paulo, mostra as concentrações variadas encontradas e ressalta a complexidade das fontes e dos padrões de contaminação. Fornecendo assim informações sobre os desafios enfrentados na gestão da qualidade da água. As variações observadas destacam a importância de uma vigilância contínua e estratégias eficazes para mitigar os impactos desses poluentes emergentes no ambiente aquático brasileiro.

Em relação à regulamentação, é notável que muitos dos compostos na encontrados neste estudo ainda não possuem uma regulamentação específica no Brasil, indicando uma lacuna regulatória que merece atenção. Esse é o caso especialmente para os compostos destacados na Figura 3, que representam os mais estudados na lista. Por outro lado, é interessante observar que os compostos destacados na Figura 4, que compõem o segundo grupo mais estudado, em sua maioria já têm uma regulamentação estabelecida. Isto sugere um alinhamento entre o aumento do escrutínio científico e a subsequente implementação de regulamentações para essas substâncias, indicando um movimento em direção ao controle e monitoramento mais efetivo desses compostos no país. Essa correlação ressalta a importância de pesquisas científicas na influência das políticas de regulamentação.

Figura 4. Compostos estudados por 7 a 14 trabalhos e suas classes



Os resultados da análise indicam uma diversidade de compostos químicos presentes na lista, classificados em quatro categorias principais: Fármacos, Pesticidas e Agrotóxicos, Químicos Industriais e Produtos de Higiene Pessoal. Os fármacos é a categoria mais extensa, refletindo um interesse substancial em substâncias farmacêuticas. Compostos como analgésicos, antibióticos, antivirais, anti-hipertensivos e outros medicamentos são prevalentes, indicando uma forte ênfase nas investigações relacionadas à saúde humana.

Pesticidas e Agrotóxicos são o segundo grupo mais presente nos resultados da pesquisa, o que sugere uma atenção considerável aos impactos ambientais e de saúde associados à agricultura. Esta categoria inclui herbicidas, fungicidas, inseticidas e outros produtos químicos agrícolas, refletindo preocupações sobre a segurança alimentar e os efeitos no ecossistema. Químicos Industriais são a terceira categoria mais encontrada, embora numericamente menor em comparação com as duas categorias anteriores, a presença de químicos industriais aponta para a investigação de substâncias utilizadas em processos industriais. Esses compostos podem ter diversas aplicações, desde produtos manufaturados até processos de fabricação.

Produtos de Higiene Pessoal é a categoria menos representada na lista, incluindo compostos encontrados em produtos de cuidado pessoal, como protetores solares, conservantes em cosméticos e antimicrobianos. Embora numericamente menor, reflete um interesse contínuo na segurança e eficácia desses produtos.



A busca sistemática da literatura resultou na identificação de um conjunto 308 documentos relacionados ao tema proposto. A distribuição dos documentos por categoria revelou uma predominância de trabalhos acadêmicos de nível mestrado nacionalmente. A análise da distribuição dos trabalhos por estados brasileiros mostrou que São Paulo foi o estado com o maior número de pesquisas, seguido por Paraná e Minas Gerais. Isso permite identificar regiões com maior concentração de estudos e possíveis disparidades regionais no conhecimento produzido.

A análise abrangente dos micropoluentes que resultou em 418 compostos estudados revela a extensão e a diversidade das substâncias químicas estudadas em ambientes aquáticos brasileiros. A predominância de compostos como 17 $\alpha$ -etinilestradiol, Diclofenaco, Cafeína, 17- $\beta$ -Estradiol e Bisfenol A que constam em 58 ou mais das pesquisas analisadas, reflete a crescente preocupação global sobre os potenciais impactos dessas substâncias na saúde humana e nos ecossistemas aquáticos. Recomenda-se um estudo quantitativo desses compostos para se avaliar se de fato a porcentagem de detecção e concentrações são preocupantes na realidade brasileira, complementando assim a análise qualitativa realizada no presente trabalho.

Os dados indicam que esses são os compostos mais estudados tanto em água como em esgoto. A necessidade urgente de políticas regulatórias e estratégias de gestão hídrica para limitar a presença dessas substâncias é evidente, já que o país ainda carece dessas regulamentações. Este trabalho fornece informações que podem auxiliar o processo de tomada de decisão para a implementação de medidas preventivas e soluções sustentáveis, destacando a importância de abordagens integradas para proteger os recursos hídricos brasileiros e promover a saúde a longo prazo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ajala, O., Tijani, J., Salau, R., Abdulkareem, A., Aremu, O. 2022. A review of emerging micro-pollutants in hospital wastewater: Environmental fate and remediation Options. Results in Engineering, Volume 16, December 2022, 10067.
2. Amanullah, A., Upadhyay, A., Dhiman, R., Singh, S., Kumar, A., Kumar, A., Ahirwar, D., Gutti, R., Mishra, A. 2022. Development and Challenges of Diclofenac-Based Novel Therapeutics: Targeting Cancer and Complex Diseases. Cancers 2022, 14(18), 4385; <https://doi.org/10.3390/cancers14184385>.
3. Azevedo, C., Machado, F., Souza, N., Silveira, L., Lima, E., Andreazza, R., Bergamnn, C. 2023. Comprehensive adsorption and spectroscopic studies on the interaction of carbon nanotubes with diclofenac anti-inflammatory. Chemical Engineering Journal. Volume 454, Part 2, 15 February 2023, 140102.
4. BEGA, J., Oliveira, J., Albertin, L., Isique, W. Uso da cafeína como indicador de poluição por esgoto doméstico em corpos d'água urbanos. *Eng Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 2, mar/abr 2021, p. 381-388.
5. Bellón, B., Blanco, J., De Vos, A., Roque, F., Pays, O., Renaud, P. 2020. Integrated landscape change analysis of protected areas and their surrounding landscapes: application in the Brazilian Cerrado. *Remote Sens.* 12(1413), 2-36.
6. Carvalho, A.; Silva, B.; Machado, A.; Santarossa, M.; Paganini, W. 2022. A ocorrência de cafeína em águas superficiais para abastecimento público. *Eng. Sanit. Ambient.* 27 (4), Jul-Aug 2022. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210201>.
7. Cimmino, I., Fiory, F., Perruolo, G., Miele, C., Beguinot, F., Formisano, P., Oriente, F. 2020. Potential Mechanisms of Bisphenol A (BPA) Contributing to Human Disease. *International Journal of Molecular Sciences.* 2020; 21(16):5761. <https://doi.org/10.3390/ijms21165761>.



8. Clayman, C., Connaughton, V. 2022. Neurochemical and Behavioral Consequences of Ethanol and/or Caffeine Exposure: Effects in Zebrafish and Rodents. *Curr Neuropharmacol*. 2022 Mar 4; 20(3): 560–578. Published online 2022 Mar 4. doi: 10.2174/1570159X19666211111142027.
9. Cunha, D. 2018. Avaliação da ocorrência e impacto de contaminantes no sistema lagunar Itaipu-Piratininga, Estado do Rio de Janeiro – Brasil. Tese (doutorado) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPGDOT.2018.d.11302153773>.
10. Freo, U., Ruocco, C., Valerio, A., Scagnol, I., Nisoli, E. 2021. Paracetamol: A Review of Guideline Recommendations. *Journal of Clinical Medicine*. 2021; 10(15):3420. <https://doi.org/10.3390/jcm10153420>.
11. Gao, Y., Zhou, J., Rao, Y., Ning, H., Zhang, J., Shi, J., Gao, N. 2022. Comparative study of degradation of ketoprofen and paracetamol by ultrasonic irradiation: Mechanism, toxicity and DBP formation. *Ultrasonics Sonochemistry* Volume 82, January 2022, 105906.
12. Gomes, J. 2018. Análise da ocorrência do hormônio estrogênico, 17 $\alpha$ -etinilestradiol, o Lago Paranoá. Dissertação (mestrado) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Brasília, 2018.
13. Hajializadeh, Z., Khaksari, M. The protective effects of 17- $\beta$  estradiol and SIRT1 against cardiac hypertrophy: a review. *Heart Fail Rev* 27, 725–738 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10741-021-10171-0>.
14. Heidari, A., Shahbazi, A., Aminabhavi, T., Barceló, D., Rtimi, S. 2023. A systematic review of clay-based photocatalysts for emergent micropollutants removal and microbial inactivation from aqueous media: Status and limitations. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Volume 10, Issue 6, December 2022, 108813.
15. Herrmann, . A.; Costa, A.; Martinhuk, . N.; Armas, . R. Utilização de Bactérias Como Alternativa Para Biodegradação Dos Desreguladores Endócrinos 17 Beta-Estradiol e 17 Alfa-Etinilestradiol. *Epitaya E-books*, [S. l.], v. 1, n. 27, p. 163-174, 2023. DOI: 10.47879/ed.ep.2023670p163. Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/635>. Acesso em: 23 jan. 2024.
16. Khan, H., Rehman, M., Malik, R. Fate and toxicity of pharmaceuticals in water environment: An insight on their occurrence in South Asia, *Journal of Environmental Management*, Volume 271, 2020, 111030, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111030>.
17. Klaica, M., Jirsa, F. 2022. 17 $\alpha$ -Ethinylestradiol (EE2): concentrations in the environment and methods for wastewater treatment – an update. DOI: 10.1039/D2RA00915C (Review Article) *RSC Adv.*, 2022, 12, 12794-12805.
18. Koerich, P.; Kael, I.; Vieira, M.; Barbosa, S.; Silva, M.; Primel, E.; Radunz, A.; Cabrera, L. 2021. DETERMINAÇÃO DE CONTAMINANTES EMERGENTES NO RIO LONTRA (SALTO DO LONTRA – PARANÁ). *Biodiversidade* - v.20, n.1, 2021 - pág. 106.
19. Leung, S., Shukla, P., Chen, D., Eftekhari, E., An, H., Zare, F., Ghasemi, N., Zhang, D., Nguyen, N., Li, Q. 2022. Emerging technologies for PFOS/PFOA degradation and removal: A review. *Science of The Total Environment*, v. 827, 2022, p. 153669. ISSN 0048-9697. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153669>.
20. Liu, N., Jin, X., Feng, C., Wang, Z., Wu, F., Johnson, A., Xiao, H., Hollert, H., Giesy, J., 2020. Ecological risk assessment of fifty pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in Chinese surface waters: a proposed multiple-level system. *Environ. Int.* 136, 105454. PMID:32032889. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2019.105454>.
21. Machado, R., Pompei, L., Giribela, A., Giribela, C. 2011. Drospirenone/ethinylestradiol: a review on efficacy and noncontraceptive benefits. *Women's Health*, 2011, 7, 19–30.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO  
DE ENGENHARIA SANITÁRIA  
E AMBIENTAL



22. Marson, E., Paniagua, C., Gomes Júnior, O., Gonçalves, B., Silva, V., Ricardo, I., Starling, M., Amorim, C., Trovó, A., 2022. A review toward contaminants of emerging concern in Brazil: Occurrence, impact and their degradation by advanced oxidation process in aquatic matrices. *Sci. Total Environ.* 836, 155605. PMID:35504382. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155605>.
23. Peteffi, G., Fleck, J., Kael, I., Rosa, D., Antunes, M., Linden, R., 2019. Ecotoxicological risk assessment due to the presence of bisphenol A and caffeine in surface waters in the Sinos River Basin - Rio Grande do Sul – Brazil. *Braz. J. Biol.* 79(4), 712-721. PMID:30427383. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.189752>.
24. Porretti, M., Arrigo, F., Di Bella, G., & Faggio, C. (2022). Impact of pharmaceutical products on zebrafish: An effective tool to assess aquatic pollution. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 261, 109439. ISSN 1532-0456.
25. Rapp-Wright, H.; Rodríguez-Mozaz, S.; Álvarez-Muñoz, D.; Barceló, D.; Regan, F.; Barron, L.P.; White, B. 2023. International Comparison, Risk Assessment, and Prioritisation of 26 Endocrine Disrupting Compounds in Three European River Catchments in the UK, Ireland, and Spain. *Molecules* 2023, 28, 5994. <https://doi.org/10.3390/molecules28165994>.
26. Repantis, D., Bovy, L., Ohla, K. 2020. Cognitive enhancement effects of stimulants: a randomized controlled trial testing methylphenidate, modafinil, and caffeine. *Psychopharmacology* 238, 441–451 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00213-020-05691-w>.
27. Rezende, A. 2022. Avaliação de risco ambiental associado a produtos Farmacêuticos e desreguladores endócrinos em águas Superficiais brasileiras. Dissertação (mestrado) apresentada à Universidade Federal de Viçosa, MG.
28. Wan, Y., Chai, B., Wei, Q., Hayat, W., Dang, Z., Liu, Z. 17 $\alpha$ -ethynylestradiol and its two main conjugates in seven municipal wastewater treatment plants: Analytical method, their occurrence, removal and risk evaluation. *Science of The Total Environment*, v. 812, 2022. p. 152489. ISSN 0048-9697.
29. Xiao, C., Wang, L., Zhou, Q., Huang, X. 2020. Hazards of bisphenol A (BPA) exposure: A systematic review of plant toxicology studies. *Journal of Hazardous Materials* Volume 384, 15 February 2020, 121488.