



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

LÍVIA DE OLIVEIRA ROZINO

**INTERFERENTES ENDÓCRINOS EM CORPOS D'ÁGUA CONTINENTAIS
BRASILEIROS:**

Uma revisão sobre abordagens ecotoxicológicas

**PORTO ALEGRE
2022**

LÍVIA DE OLIVEIRA ROZINO

Interferentes Endócrinos em corpos d'água continentais brasileiros:
Uma revisão sobre abordagens ecotoxicológicas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do título
de Bacharel em Ciências Biológicas pela
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Orientadora: Prof^a Dr^a Luciane Oliveira Crossetti

PORTO ALEGRE
2022

LÍVIA DE OLIVEIRA ROZINO

Interferentes Endócrinos em corpos d'água continentais brasileiros:
Uma revisão sobre abordagens ecotoxicológicas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do título
de Bacharel em Ciências Biológicas pela
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Orientadora: Prof^a Dr^a Luciane Oliveira Crossetti

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dr^a Luciane Oliveira Crossetti
Instituto de Biociências – UFRGS

Prof Dr Alexandre Arenzon
Centro de Ecologia – UFRGS

Prof^a Dr^a Lúcia Helena Ribeiro Rodrigues
Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS

CIP - Catalogação na Publicação

de Oliveira Rozino, Livia
INTERFERENTES ENDOCRINOS EM CORPOS D'ÁGUA
CONTINENTAIS BRASILEIROS: Uma revisão sobre
abordagens ecotoxicológicas / Livia de Oliveira
Rozino. -- 2022.
36 f.
Orientadora: Luciane Oliveira Crossetti.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Biociências, Bacharelado em Ciências Biológicas,
Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. contaminantes emergentes. 2. poluição aquática.
3. ecotoxicologia. 4. água superficial. 5. sedimento.
I. Crossetti, Luciane Oliveira, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Raquel e Sérgio, pelo amor, dedicação, suporte, paciência e, principalmente, por me proporcionarem o privilégio de poder me dedicar integralmente aos estudos. Sem o empenho de vocês pelo meu futuro e do meu irmão, nada disso seria possível. Minha eterna admiração a vocês. Essa conquista é da nossa família!

Ao meu irmão, Henrique, por ser a luz da minha vida, por me fazer entender o real significado de amor incondicional e por estar sempre ao meu lado. A tua felicidade é a minha realização!

Ao meu namorado, Érick, por sempre ver o lado positivo das coisas, por acreditar em mim mesmo quando nem eu acredito e por sonhar comigo todos os dias. Obrigada por tudo!

À minha amiga-irmã, Betina, pelo apoio nas melhores e nas piores horas, pelas risadas, pelo amor, pelos melhores afilhados caninos e, claro, pelas fofocas. Sempre juntas, não importa onde!

Ao meu amigo, Ismael, por ter tornado essa jornada mais leve e engraçada, pela grande parceria nesse projeto e em tantos outros que ainda virão e também por estar sempre pronto para um cafezinho.

Aos meus avós maternos, Celina e Ubaiara, pelo carinho e incentivo incondicionais desde sempre.

Aos meus avós paternos, Creusa e Raulino (*in memoriam*), por fazerem parte da minha história mesmo que apenas em lembranças.

Às minhas amigas, Andressa, Caroline, Fernanda, Giovanna e Julia, pela linda parceria dos últimos 5 anos regada a muito desespero, filas do RU e docinhos da tia.

À minha orientadora, Prof^a Dr^a Luciane Crossetti, por ter aceitado me orientar nesse projeto e estar sempre disponível. Foi um prazer conviver nesses últimos meses e perceber como somos parecidas.

À minha orientadora durante toda a graduação, Prof^a Dr^a Vera Maria Ferrão Vargas, pela confiança e por abrir meus olhos quanto à importância da área da Ecotoxicologia Mutagênese Ambiental.

“A água de boa qualidade é como a saúde ou a liberdade: só tem valor quando acaba.”

Guimarães Rosa

SUMÁRIO

Resumo	8
Abstract	9
Artigo	10
Referências	31

ARTIGO

O manuscrito a seguir foi formatado seguindo as normas editoriais da Revista Biodiverso (revista do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul).

Interferentes Endócrinos em corpos d'água continentais brasileiros: uma revisão sobre abordagens ecotoxicológicas

Lívia de Oliveira Rozino¹ (lrozino@gmail.com)

1. Laboratório de Mutagênese Ambiental, Centro de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Interferentes endócrinos em corpos d'água continentais brasileiros: uma revisão sobre abordagens ecotoxicológicas

Resumo: O avanço tecnológico e a produção do consumo trouxeram consigo o desenvolvimento de diversos compostos com aplicações em variadas áreas da sociedade: medicamentos, agrotóxicos, produtos de uso pessoal, hormônios, entre vários outros que, após seu uso, são descartados nos corpos d'água. Além das suas aplicações, essas substâncias têm efeito na saúde dos animais, pois são capazes de interferir no sistema endócrino, sendo classificados como interferentes endócrinos (IE). Esse trabalho teve como objetivo revisar na literatura científica os trabalhos acerca dos IEs presentes em corpos d'água continentais brasileiros visando identificar informações acerca das principais regiões de estudo, os sistemas aquáticos e compartimentos mais estudados, as classes de interferentes, a presença da quantificação do interferente, ensaio biológico e resultado do ensaio. A revisão englobou artigos dos últimos 5 anos, 2017 a 2022, nos indexadores Google Acadêmico, Scielo e Web of Science, selecionando apenas trabalhos de instituições brasileiras com as seguintes palavras chaves: “endocrine-disrupting compounds OR endocrine-disrupting chemicals AND freshwater OR water OR river OR stream OR lake OR reservoir OR aquatic ecosystem OR aquatic system AND ecotoxicity OR toxicity NOT marine” e suas variações em português. A busca resultou em 38.755 artigos somando os três indexadores e foram selecionados 44 artigos (0,11% do total). A região brasileira com maior número de trabalhos selecionados foi a região Sudeste, com 24 artigos. Rios foram os sistemas aquáticos mais estudados, com 30 trabalhos. O compartimento ambiental mais explorado foi a água superficial, correspondendo a 38 trabalhos. A classe de interferente endócrino mais trabalhada foi a dos pesticidas, que apareceu em 12 trabalhos, seguida dos hormônios e estimulantes, que apareceram em 11 trabalhos. 13 artigos apresentaram resultados de algum ensaio biológico, sendo 7 deles ensaios ecotoxicológicos ou de genotoxicidade. Dessa forma, é evidente a necessidade de expansão dos estudos para regiões brasileiras menos contempladas, como a região Norte e Centro-Oeste, bem como maior análise de sedimentos e águas de reservatórios. A grande evidência dos pesticidas nos trabalhos selecionados pode estar relacionada ao fato de o Brasil ser o maior consumidor desses contaminantes, impactando diretamente os corpos hídricos. Sendo assim, é necessário que as águas continentais continuem a ser monitoradas a partir de bioensaios e que haja incentivo às metodologias voltadas à ecotoxicologia e genotoxicidade. Palavras-chave: contaminantes emergentes; poluição aquática; ecotoxicologia; água superficial; sedimento.

Endocrine-disrupting compounds in Brazilian continental water bodies: a review of ecotoxicological approaches

Abstract: Societies of mass consumption and technological advancements have led to the development of countless compounds, such as pharmaceuticals, pesticides, hormones and personal care products, that end up discarded into water bodies. In these circumstances, these substances indirectly affect the health of animals, by ultimately interfering in their endocrine systems, being classified as endocrine-disrupting compounds (EDCs). The objective of this work was to review the scientific literature comprising EDCs in Brazilian continental water bodies, aiming at identifying information regarding the most studied regions, the aquatic system and its most studied compartments, EDC class, the presence of EDC quantification, bioassay, and the result of the bioassay. The review included publications from the last 5 years, from 2017 to 2022, collected from the following search bases: Google Scholar, Scielo, and Web of Science. Only papers from Brazilian institutions with the following keywords were selected: “endocrine-disrupting compounds OR endocrine-disrupting chemicals AND freshwater OR water OR river OR stream OR lake OR reservoir OR aquatic ecosystem OR aquatic system AND ecotoxicity OR toxicity NOT marine” and its variations in Portuguese. The search resulted in 38,755 articles from the three search bases, and 44 articles were selected (0,11% of the total). The Southeast Region was the one with the largest number of selected publications, with 24 articles. The aquatic system with most works was river, with 30 articles. The most studied compartment was surface water, corresponding to 38 papers. Pesticides were the most analyzed EDC class, with 12 papers, followed by hormones and stimulants, totalizing 11 papers. Also, 13 articles presented results of some type of bioassay, 7 of which were ecotoxicological or genotoxicity assays. Thus, it becomes clear the necessity of more studies in the Northeastern and Midwestern regions of the country, which were less contemplated, as well as more analysis of sediments and reservoirs. The large evidence of pesticides in the papers selected might be related to the fact that Brazil is the biggest consumer of these pollutants, which may directly impact water bodies. Therefore, it is important that the continental waters keep being monitored from bioassays, and that there is an incentive of methodologies focused on ecotoxicology and genotoxicity.

Keywords: emerging contaminants; aquatic pollution; ecotoxicology; surface water; sediment.

Introdução

O aumento da população, o avanço tecnológico e a promoção do consumo vivenciado nos últimos anos proporcionaram o desenvolvimento de produtos cosméticos, medicamentos, agrotóxicos e bens de consumo cada vez mais inovadores que se tornaram parte do cotidiano. Junto a esse progresso de escala industrial, componentes antes desconhecidos e, até mesmo, considerados inofensivos, passaram a ser produzidos e descartados indiscriminadamente: os contaminantes emergentes. Sauv e e Desrosiers¹ levantam a questão da defini o de um contaminante emergente, dado que o termo geralmente significa um composto químico poluente identificado recentemente, podendo representar também um contaminante já conhecido e que a contamina o ambiental por ele só foi totalmente compreendida agora ou, ainda, contaminantes cujos efeitos poluentes já eram conhecidos, mas que voltaram a chamar aten o em decorrência da descoberta de novas consequências ambientais. Sendo assim, os autores propõem que os contaminantes emergentes sejam nomeados como contaminantes de preocupa o emergente (CPE) em virtude da necessidade de avalia o dos potenciais riscos ecotoxicológicos e epidemiológicos de um contaminante novo ou antigo.

Diversas classes de compostos são classificadas como contaminantes de preocupa o emergente: medicamentos, pesticidas, produtos de uso pessoal, subprodutos de desinfec o (DBPs), adoçantes artificiais, plastificantes, surfactantes, nanomateriais, entre outros (USEPA, 2021). Esses contaminantes, em sua maioria, têm origem de atividades antrópicas e são disponibilizados nos ecossistemas a partir dos efluentes domésticos, hospitalares, industriais e de lixiviados agrícolas, sendo lançados em concentra es muito baixas (ng.L^{-1} até $\mu\text{g.L}^{-1}$)² e, por isso, também são chamados de micropoluentes emergentes. Eles têm a capacidade de atingir diversos compartimentos ambientais, em especial as matrizes aquáticas, comprometendo a qualidade de águas superficiais, subterrâneas e também àquela destinada ao abastecimento p blico^{3,4}.

O lançamento constante desses compostos na água expõe de forma cr nica a biota aquática levando   bioacumula o e biomagnifica o na cadeia trófica, potencializadas pelo caráter lipofílico dos contaminantes⁵. Os seres humanos, por sua vez, também estão vulneráveis aos CPE através da água destinada ao abastecimento público. Mesmo passando por várias etapas de tratamento nas esta es de tratamento de  gua (ETA), o método convencional, por coagula o e clora o, não   eficiente na retirada dos CPE, levando   exposi o dos seres humanos aos contaminantes⁶ e retorno dos poluentes aos mananciais hídricos, principalmente para as águas superficiais que pode levar   infiltra o para águas subterrâneas e contaminá-las tamb m⁷.

A exposição a algumas dessas classes de compostos pode levar a efeitos adversos no organismo, afetando, principalmente, o sistema endócrino tanto de humanos quanto de outros animais. Quando esse efeito é observado, o composto é chamado de interferente endócrino (IE) ou desregulador endócrino, porém sua definição varia. Segundo a Endocrine Society⁸, um interferente endócrino é o componente que imita, bloqueia ou interfere os hormônios do corpo causando diversos problemas de saúde. A Organização Mundial da Saúde (OMS)⁹ vai mais além e define um desregulador endócrino como uma substância ou mistura exógena que altera a função do sistema endócrino e, como consequência, causa efeitos adversos à saúde de um organismo, à sua progênie ou a populações. Embora as definições sofram variações, o mecanismo de ação dos interferentes endócrinos é feito, basicamente, de duas formas: na ligação a um receptor imitando e se sobrepondo a um hormônio natural, induzindo o corpo a responder a estímulos em momentos inapropriados ou ao superestímulo da função a ser desempenhada; bloqueando a ligação de um hormônio com seu receptor; ou, ainda, estimulando ou inibindo a produção de hormônios¹⁰.

A natureza de um interferente endócrino é variada e depende da análise sobre os efeitos endócrinos causados pelos contaminantes já conhecidos. Até o momento, já foram identificadas atividades desreguladoras do sistema endócrino os seguintes compostos: estimulantes (cafeína), fármacos (triclosano, ácido acetilsalicílico), plastificantes (ftalatos, bisfenol A, trifetil fosfato), pesticidas (organoclorados, organofosforados, piretróides), hormônios naturais e sintéticos (17 β -estradiol, estrona, estriol, 17 α -etinilestradiol) e as bifenilas policloradas^{11,12}. A Comissão Europeia para o Meio Ambiente¹³ levantou a questão de que com frequência agências internacionais montam listas de componentes em que há suspeita de desregulação endócrina, porém os critérios para tal inclusão não são claros, sendo necessários trabalhos científicos e coleta de dados para acomodar substâncias em tais listas. Outro parâmetro que deve ser analisado para a inclusão de compostos nas listas de disruptores endócrinos suspeitos é a quantidade com que são encontrados no meio ambiente, dado que são encontrados em concentrações muito baixas, inclusive abaixo dos limites de quantificação dos métodos convencionais utilizados³.

O uso de biomarcadores é essencial para a identificação dos CPE, entre eles os interferentes endócrinos, dado que eles refletem uma resposta biológica através da exposição e, às vezes, aos efeitos tóxicos relacionados a um composto químico, sendo que essa resposta biológica varia de níveis moleculares até o funcionamento e estruturação de ecossistemas, dependendo do biomarcador utilizado^{14,15}. Tratando-se de amostras ambientais, um único biomarcador não é suficiente na avaliação de todos os possíveis efeitos de uma substância

tendo em vista a complexidade e mistura dos componentes ali presentes¹⁶. A nível molecular, biomarcadores de genotoxicidade acessam os danos ao material genético causados por xenobióticos, inclusive aqueles presentes nos ambientes sob baixa pressão antrópica, por meio de bioensaios. Ohe e colaboradores¹⁷ abordam o uso de métodos para a avaliação da atividade mutagênica e genotóxica em águas superficiais, dentre as mais comumente utilizadas estão o Teste de Ames, Ensaio do Micronúcleo e Ensaio do Cometa. No mesmo trabalho, os autores descrevem como acessar contaminantes presentes em concentrações muito baixas em amostras de água, sendo necessários métodos de extração e concentração, tais como extração líquido a líquido, extração em fase sólida e outros tipos de extração em colunas cromatográficas e concluem que a técnica mais utilizada é a de adsorção em resinas Amberlite XAD4 para a concentração de compostos orgânicos. Também é possível avaliar efeitos nocivos em níveis de organização como população, comunidade e ecossistema, através da exposição de indivíduos às amostras¹⁸. Neste caso, são utilizados ensaios ecotoxicológicos com organismos-modelo que compõem diferentes níveis da cadeia trófica e são analisadas respostas como comportamento, crescimento, mortalidade, reprodução, entre outros¹⁹.

Diante da relevância deste tema, alguns estudos têm sido feitos buscando identificar a presença e os danos genotóxicos e ecotoxicológicos dos IEs em sistemas aquáticos. Alguns estudos revisam e discutem a presença das diversas classes dos CPE presentes nas matrizes aquáticas brasileiras, bem como aspectos regulatórios e analíticos⁴, enquanto outros abordam a presença na água de abastecimento público e consequentes efeitos na saúde humana, além de discutir novos métodos de descontaminação da água²⁰. Outros estudos exploram a questão da genotoxicidade, como o estudo feito por Ho e colaboradores²¹ que analisou a presença, toxicidade e genotoxicidade dos contaminantes de preocupação emergente no rio Dnieper, na Ucrânia, que recebe os resíduos gerados por uma estação de tratamento de água, utilizando o Teste de Ames e ensaios de toxicidade aguda com os organismos *Daphnia magna* e *Colpoda stennii*. Neste trabalho, os autores detectaram a presença de interferentes endócrinos, como, a cafeína, o triclosano e o estriol, nas amostras analisadas, observando toxicidade para ambos os organismos-teste em locais próximos ao descarte dos efluentes, além de atividade mutagênica a jusante. No Brasil também há avanço na busca da compreensão dos efeitos dessas substâncias. Martini e colaboradores²² desenvolveram um trabalho em águas superficiais do estado de São Paulo, onde 7 rios e 3 reservatórios foram monitorados durante 2 anos com amostragens bimestrais. As amostras foram submetidas ao ensaio de toxicidade aguda em peixes (da sigla FET, em inglês) utilizando embriões de *Danio rerio* com o

objetivo de analisar mortalidade e anomalias morfológicas. Após 96 horas de exposição, foi observada mortalidade nas amostras de locais onde houve maior atividade antropogênica e descarte de esgoto doméstico. A coagulação do embrião e parada dos batimentos cardíacos foram as anomalias mais frequentes em todos os pontos.

Nesse sentido, ainda existem poluentes cuja investigação dos danos à biota, em diversos níveis, é necessária. Portanto, nesta revisão serão abordados os poluentes cuja descoberta e eventual preocupação ambiental são recentes e seus mecanismos de ação e efeitos adversos ainda necessitam de maior elucidação. O presente trabalho tem como objetivo definir o estado da arte dos estudos referentes aos IE presentes em corpos d'água brasileiros, buscando identificar os tipos de ecossistemas aquáticos em que estes compostos têm sido encontrados, o compartimento ambiental (sedimento ou água), a classe e quantificação do interferente, bem como as metodologias empregadas na análise do seu potencial ecotoxicológico e a região de estudo. Ao término deste trabalho, espera-se poder contribuir com conhecimentos acerca dos IE em diferentes sistemas aquáticos, identificando possíveis lacunas de estudos e sugerindo-se abordagens para trabalhos futuros.

Metodologia

Este trabalho foi realizado através de revisão bibliográfica. A revisão engloba publicações dos últimos 5 anos nos indexadores Google Acadêmico, Scielo e Web of Science através da busca das seguintes palavras-chave: “endocrine-disrupting compound OR endocrine-disrupting chemicals AND freshwater OR water OR river OR stream OR lake OR reservoir OR aquatic ecosystem OR aquatic system AND ecotoxicity OR toxicity NOT marine”. No Google Acadêmico e Scielo Brasil a pesquisa também foi feita com as palavras-chave em português, sendo elas: “interferentes endócrinos OU disruptores endócrinos E água OU rio OU riacho OU lago OU reservatório OU ecossistema aquático OU sistema aquático E ecotoxicidade OU toxicidade NÃO marinho”. No ano de 2022 foram selecionados artigos publicados até fevereiro. A partir de então, os estudos foram filtrados quanto à localidade “Brasil”, e também aqueles provenientes de grupos de pesquisas de universidades brasileiras, sendo incluídos artigos, teses e dissertações.

Diante dos resultados da busca, os artigos foram selecionados conforme os anos, primeiramente, analisando seus títulos. Então, foi feita a leitura do resumo a fim de analisar a pertinência do artigo quanto ao assunto, selecionando somente aqueles artigos cujo potencial de interferência endócrina dos contaminantes estivesse descrito, extraindo as seguintes

informações: referência, região, sistema aquático, compartimento, classe do interferente, quantificação do interferente, ensaio biológico, resultado do ensaio.

Resultados e Discussão

A busca das palavras-chave resultou em um total de 38.755 artigos nos três indexadores, sendo 37.496 do Web of Science, 686 do Scielo e 633 do Google Acadêmico. Da totalidade dos trabalhos, 44 foram selecionados com base nos objetivos do presente estudo, representando 0,11% do total. Os resultados estão demonstrados na Tabela 1.

Na Figura 1 está demonstrado o crescente número de publicações ao longo dos anos, com uma leve redução no ano de 2020 e aumento considerável em 2021, provavelmente em virtude de publicações represadas por causa da pandemia de COVID-19. O acréscimo nas publicações ano a ano pode ser atribuído ao reconhecimento de novas substâncias classificadas como IE, evidenciando o aumento do interesse científico acerca do tema. Atrelado a isso, está o fato de que os mananciais hídricos são pontos de contaminação por esgotos domésticos e rejeitos industriais e agrícolas, principais fontes de IE e outros CPE. Portanto, a partir do conhecimento da contaminação por compostos relativamente novos, há um conseqüente aumento dos estudos sobre a sua presença e efeitos biológicos.

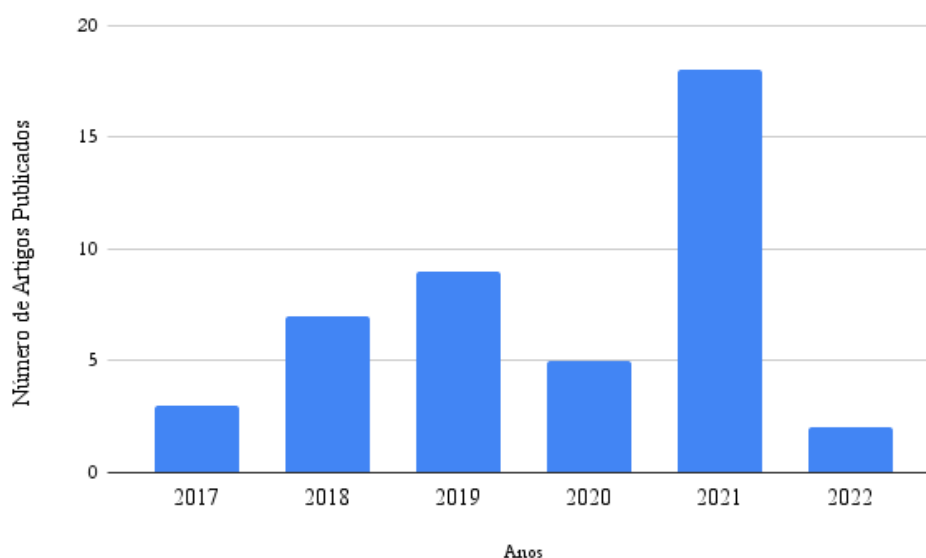


Figura 1. Número de artigos publicados sobre interferentes endócrinos em corpos d'água continentais brasileiros por ano, entre 2017 e 2022.

Os trabalhos selecionados englobam todas as regiões brasileiras, porém evidenciando uma defasagem dos estudos nas regiões Norte e Centro-Oeste que, juntas, contribuíram com apenas 4 trabalhos. Em contrapartida, estudos realizados na região Sudeste representam quase

metade dos artigos selecionados (Figura 2). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)²³, a região Sudeste concentra cerca de 50% do Produto Interno Bruto (PIB) do país e é onde 84,90% da população urbana possui coleta de esgoto, segundo o Painel Saneamento Brasil²⁴. É a região onde há maior financiamento para pesquisa no país, demonstrando um maior fomento à ciência nessa região brasileira. Em contrapartida, na região Norte apenas 17,30% da população urbana tem seu esgoto coletado²⁴, motivo suficiente para estimular estudos nos mananciais hídricos da região, e é o local em que há menor aporte de recursos para a pesquisa científica. Diferentemente do Norte, a região Centro-Oeste apresenta alta taxa de esgoto doméstico urbano coletado, 65,70%, mas sua semelhança com a região Norte é o baixo fomento à pesquisa, o que explica o baixo número de artigos publicados nos últimos 5 anos sobre os IE nos corpos d'água da região. Desta forma, fica evidente a razão pela qual a região Sudeste domina o número de artigos publicados sobre o assunto, porém é de grande preocupação a falta de recursos e, conseqüentemente, de estudos nas regiões Norte e Centro-Oeste.

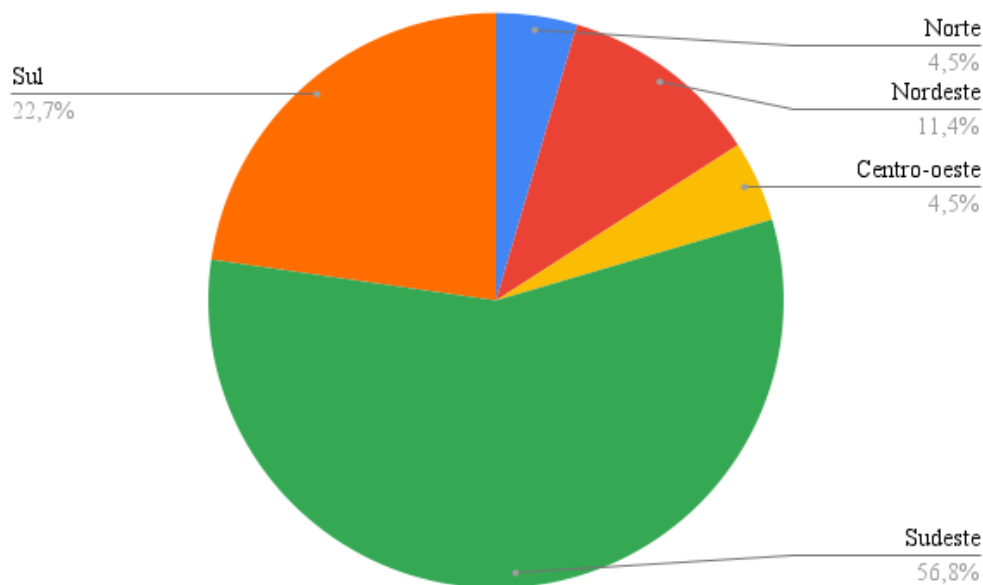


Figura 2. Número de publicações (%) sobre interferentes endócrinos em corpos d'água continentais nas diferentes regiões brasileiras, considerando o período de 2017 a 2022.

Tabela 1. Referências bibliográficas sobre interferentes endócrinos selecionadas para o presente trabalho e suas respectivas regiões, tipo de sistema aquático, compartimento estudado, classe do interferente, quantificação do interferente, presença de ensaio biológico e resultados do ensaio.

Referência	Região	Sistema aquático	Compartimento	Classe do interferente	Quantificação do interferente	Ensaio biológico	Resultado do ensaio
Rocha, <i>et al.</i> 2022. Environmental photochemical fate of pesticides ametryn and imidacloprid in surface water (Paranapanema River, São Paulo, Brazil). <i>Environmental Science and Pollution Research</i> . Aceito.	Sudeste (SP)	Rio	Água superficial	Pesticidas (imidacloprida e ametrina)	Não foi quantificado	-	-
de Souza, <i>et al.</i> 2022. Low levels of persistent organic pollutants in sediments of the Doce River mouth, South Atlantic, before the Fundao dam failure. <i>Science of the Total Environment</i> . 802:149882	Sudeste (ES)	Rio	Sedimento	Bifenilas policloradas (PCBs) e pesticidas organoclorados (OCPs)	Quantificados em ng.g ⁻¹	-	-
Martini, <i>et al.</i> 2021. Emerging contaminant occurrence and toxic effects on zebrafish embryos to assess the adverse effects caused by mixtures of substances in the environment. <i>Environmental Science and Pollution Research</i> 28:20313–20329	Sudeste (SP)	Rio e reservatório	Água superficial	Estimulante (cafeína), hormônios (etinilestradiol, estradiol, estriol, estrona, testosterona, dietilstilbestrol, mestranol, levonorgestrel, progesterona), bactericidas (triclosano), plastificantes (bisfenol A), alquilfenóis (octilfenol e nonilfenol) e pesticidas (2,4-D, ametrina, atrazina, simazina, hexazinona, hidroxiatrazina, clomazona, diuron, tebuturon)	Quantificados em ng.L ⁻¹	FET	Ecotoxicidade
Gemusse, <i>et al.</i> 2021. Micropollutants impair the survival of <i>Oreochromis niloticus</i> and threat local species from Iguaçu River, Southern of Brazil. <i>Environmental Toxicology and Pharmacology</i> . 83:103596	Sul (PR)	Rio	Água superficial	Metais (Cu, Mn, Fe, Ni, Zn), pesticidas organoclorados, PCBs e PAHs	Quantificados em ng.L ⁻¹	-	-

Escalante-Rojas, <i>et al.</i> 2021. Integrated use of biomarkers to evaluate the reproductive physiology of <i>Astyanax fasciatus</i> and <i>Hoplias malabaricus</i> males (Teleostei: Characiformes) in polluted reservoirs. <i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i> . 208:111502	Sudeste (SP)	Reservatório	Água superficial e sedimento	Análise qualitativa da presença de interferentes endócrinos através de análises histológicas, nível plasmático de esteroides, expressão gênica fshB e vtgA em <i>A. fasciatus</i> e <i>H. malabaricus</i>	Não foram quantificados	-	-
Viana, <i>et al.</i> 2021. High concentrations of metals in the waters from Araguari River lower section (Amazon biome): Relationship with land use and cover, ecotoxicological effects and risks to aquatic biota. <i>Chemosphere</i> . 285:131451	Norte (AM)	Rio	Água superficial	Metais (Cd, Pb, Fe, Hg, Cu, Zn)	Quantificados em mg.L ⁻¹	Toxicidade aguda em <i>Daphnia similis</i> e com eritrócitos de <i>Danio rerio</i>	Ecotoxicidade em <i>D. similis</i> e genotoxicidade em <i>D. rerio</i> .
Kuhn, <i>et al.</i> 2021. Ecotoxicological assessment of Uruguay River and affluents pre- and post-pesticides' application using <i>Caenorhabditis elegans</i> for biomonitoring. <i>Environmental Science and Pollution Research</i> . 28:21730–21741	Sul (RS)	Rio	Água superficial	Pesticida (tebuconazola)	Quantificado em mg/L	<i>Caenorhabditis elegans</i>	Ecotoxicidade
Galinaro, <i>et al.</i> 2021. Environmental risk assessment of parabens in surface water from a Brazilian river: the case of Mogi Guacu Basin, Sao Paulo State, under precipitation anomalies. <i>Environmental Science and Pollution</i> . 29:8816–8830.	Sudeste (SP)	Rio	Água superficial	Produto de uso pessoal (parabeno)	Quantificado em µg.L ⁻¹	-	-
da Cunha, <i>et al.</i> 2021. Estrogenic activity of endocrine disruptors in the surface water of Santa Maria Madalena, Southeastern Brazil. <i>Eng Sanit Ambient</i> . 26:21-28	Sudeste (RJ)	Córrego	Água superficial	Hormônios (estradiol)	Quantificado em ng.L ⁻¹	YES (<i>in vitro</i> yeast estrogen screen)	Estrogenicidade

Teixeira, <i>et al.</i> 2021. Occurrence and removal of drugs and endocrine disruptors in the Bolonha Water Treatment Plant in Belem/PA (Brazil). <i>Environ Monit Assess.</i> 193:246	Norte (PA)	Reservatório	Água superficial	Estimulante (caféina), medicamentos (ibuprofeno, paracetamol, gemfibrozila, naproxeno, metformina, diclofenaco, aciclovir, linezolida, propranolol, diltiazem, prometazina, losartana, benzafibrato, dexametasona, loratadina e sulfametoxazol), alquilfenóis (4-octilfenol, 4-nonilfenol e 4-n-nonilfenol-d4), hormônios (estrona, estradiol, etinilestradiol e estriol) e plastificante (bisfenol A)	Quantificados em ng.L ⁻¹	-	-
Ramos, <i>et al.</i> 2021. Phenolic compounds seasonal occurrence and risk assessment in surface and treated waters in Minas Gerais-Brazil. <i>Environmental Pollution.</i> 268:115782	Sudeste (MG)	Rio	Água superficial	Compostos fenólicos	Quantificados em ng.L ⁻¹	-	-
Ramos, <i>et al.</i> 2021. Phenolic compounds in surface water: methodology and occurrence in Doce River, Brazil. <i>Environ Monit Assess.</i> 193:687	Sudeste (MG)	Rio	Água superficial	Compostos fenólicos	Quantificados em ng.L ⁻¹	-	-
Corrêa, <i>et al.</i> 2021. Occurrence of contaminants of emerging concern in surface waters from Paraopeba River Basin in Brazil: seasonal changes and risk assessment. <i>Environmental Science and Pollution Research.</i> 28:30242–30254	Sudeste (MG)	Rio	Água superficial	Medicamentos (paracetamol, diclofenaco, ibuprofeno, gemfibrozil e naproxeno), plastificante (bisfenol A), alquilfenóis (4-nonilfenol e 4-octilfenol) e hormônios (estrona, estriol, estradiol e etinilestradiol)	Quantificados em ng.L ⁻¹	-	-
Marins, <i>et al.</i> 2021. Environmentally relevant pesticides induce biochemical changes in Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>). <i>Ecotoxicology.</i> 30:585–598	Sul (RS)	Rio	Água superficial	Pesticidas (atrazina, azoxistrobina e imidacloprida)	Quantificados em µg.L ⁻¹	<i>Oreochromis niloticus</i>	Estresse oxidativo, diminuição das defesas antioxidantes e indução da atividade da acetilcolinesterase.

de Melo, <i>et al.</i> 2021. Behavioral and reproductive effects in <i>Poecilia vivipara</i> males from a tropical estuary affected by estrogenic contaminants. <i>Marine Pollution Bulletin</i> . 169:112543	Nordeste (PE)	Rio	Água superficial	Hormônios (estrona, estradiol, estriol e etinilestradiol), plastificante (bisfenol A) e estimulante (cafeína)	Quantificados em ng.L ⁻¹	<i>Poecilia vivipara</i>	Indução de fosfoproteínas no fígado, diminuição na cópula e fecundação, nado lento.
Cais, <i>et al.</i> 2021. Analytical procedures for the determination of estrogen compounds in a surface water reservoir in Southeast Brazil. <i>Eclética Química</i> . 46:41-51	Sudeste (MG)	Reservatório	Água superficial	Hormônios (estriol, estradiol, etinilestradiol e estrona)	Quantificados em ng.L ⁻¹	-	-
Cristale, <i>et al.</i> 2021. Occurrence and risk assessment of organophosphate esters in urban rivers from Piracicaba watershed (Brazil). <i>Environmental Science and Pollution Research</i> . 28:59244–59255	Sudeste (SP)	Rio	Água superficial	Ésteres organofosforados (TNBP, TCEP, TCIPP, TDCIPP, TPHP, EHDPHP, TBOEP, TEHP, TMPP)	Quantificados em µg.L ⁻¹	Toxicidade aguda em <i>Daphnia similis</i>	Não foi detectada ecotoxicidade
de Souza, <i>et al.</i> 2021. Occurrence of caffeine, fluoxetine, bezafibrate and levothyroxine in surface freshwater of São Paulo State (Brazil) and risk assessment for aquatic life protection. <i>Environmental Science and Pollution Research</i> . 28:20751–20761.	Sudeste (SP)	Rio e reservatório	Água superficial	Estimulante (cafeína) e medicamentos (fluoxetina, benzafibrato e levotiroxina)	Quantificados em ng.L ⁻¹	-	-
Dolatto, <i>et al.</i> 2021. Evaluation of polar phenolic compounds in water samples close to shale exploitation area: a case study. <i>International Journal of Environmental Science and Technology</i> . 18:2459–2466	Sul (PR)	Rio	Água superficial	Compostos fenólicos polares (fenol, o-cresol, m-cresol, p-cresol, 2,4-dimetilfenol)	Quantificados em µg.L ⁻¹	-	-

Leme, <i>et al.</i> 2021. Billings reservoir (Brazil) chemical studies on water and chemical and morphological studies on zebrafish gills. Boletim do Instituto de Pesca. 47: e649.	Sudeste (SP)	Reservatório	Água superficial	Metais (Fe, Cd, Zn)	Quantificados em mg.L ⁻¹	Análise morfológica das brânquias de <i>Danio rerio</i>	Indução do espessamento das lamelas branquiais, diminuição dos níveis de cálcio, aumento dos níveis de nitrogênio, presença de potássio e zircônio.
Coelho, <i>et al.</i> 2020. Estrogenic Hormones in Sao Paulo Waters (Brazil) and Their Relationship with Environmental Variables and <i>Sinapis alba</i> Phytotoxicity. Water Air Soil Pollut. 231: 150	Sudeste (SP)	Reservatório	Água superficial	Hormônios estrogênicos (estradiol e etinilestradiol)	Quantificados em ng.L ⁻¹	<i>Sinapis alba</i>	Fitotoxicidade
Sabino, <i>et al.</i> 2020. Occurrence of organic micropollutants in an urbanized sub-basin and ecological risk assessment. Ecotoxicology. 30:130–141	Sudeste (RJ)	Rio	Água superficial	Hormônios estrogênicos (etinilestradiol), plastificante (bisfenol A), medicamento (ibuprofeno) e antibióticos (trimetoprima e sulfametoxazol)	Quantificados em µg.L ⁻¹	Ensaio de toxicidade crônica em <i>Raphidocelis subcapitata</i> e <i>Ceriodaphnia dubia</i> , testes do micronúcleo em <i>Oreochromis niloticus</i> e teste YES.	Identificado risco ecotoxicológico em microalga e microcrustáceo. Genotoxicidade em peixe. Estrogenicidade detectada.
de França, <i>et al.</i> 2020. Determination of 17α-ethinylestradiol and toxic metals in surface waters, and estimation of daily intake. Environ Monit Assess. 192: 21	Sudeste (SP)	Rio	Água superficial	Hormônio estrogênico (etinilestradiol)	Quantificados em µg.L ⁻¹	-	-

Chaves, <i>et al.</i> 2020. Pharmaceuticals and personal care products in a Brazilian wetland of international importance: Occurrence and environmental risk assessment. <i>Science of the Total Environment</i> . 734:139374	Nordeste (MA)	Rio	Água superficial e sedimento	Estimulante (cafeína), medicamentos e produtos de uso pessoal (acetaminofeno, albendazol, carbamazepina, diclofenaco, etilparabeno, furosemida, ibuprofeno, lidocaína, mebendazole, mietilparabeno, sulfametoxazol, avobenzona, benzofenona-3, cetoconazol, nifedipina, nimesulida, propranolol, triclosano, triclocarban)	Quantificados em ng.L ⁻¹	-	-
Derisso, <i>et al.</i> 2020. Occurrence of Parabens in Surface Water, Wastewater Treatment Plant in Southeast of Brazil and Assessment of Their Environmental Risk. <i>Water Air Soil Pollut.</i> 231: 468	Sudeste (SP)	Córrego	Água superficial	Produto de uso pessoal (parabenos)	Quantificados em µg.L ⁻¹	-	-
Maynard, <i>et al.</i> 2019. Assessing the presence of endocrine disruptors and markers of anthropogenic activity in a water supply system in Northeastern Brazil. <i>Journal of Environmental Science and Health, Part A</i> . 54:891-898	Nordeste (SE)	Reservatório	Água superficial	Plastificantes (ftalato de dietila, dibutilftalato, bisfenol A), alquilfenol (nonilfenol), desinfetante (pentaclorofenol), hormônios (androstano, estrona, estradiol, etinilestradiol, progesterona, coprostanol), colesterol e estimulante (cafeína)	Quantificados em µg.L ⁻¹	-	-
Veras, <i>et al.</i> 2019. Analysis of the presence of anti-inflammatories drugs in surface water: A case study in Beberibe river - PE, Brazil. <i>Chemosphere</i> . 222:961-969	Nordeste (PE)	Rio	Água superficial	Medicamentos (diclofenaco e paracetamol)	Quantificados em mg.L ⁻¹	-	-

Caldas, <i>et al.</i> 2019. Occurrence of Pesticides and PPCPs in Surface and Drinking Water in Southern Brazil: Data on 4-Year Monitoring. J. Braz. Chem. Soc. 30:71-80	Sul (RS)	Canal	Água superficial	Pesticidas (atrazina, azoxistrobina, bentazona, carbendazina, carbofurano, ciproconazol, clomazona, diuron, difeconazol, epoxiconazol, fripronil, imazapique, imazetapir, iprodiona, irgarol, pirazol sulfona de etila, propanil, propiconazol, quinclorac, simazina, tebuconazol, trifloxistrobina), produtos de uso pessoal e medicamentos (avobenzona, glibenclamida, metilparabeno, nimeuslida, propilparabeno, triclocarban e triclosnao) e estimulante (caféina)	Quantificadas em ng.L ⁻¹	-	-
de Souza, et al. 2019. Determination of pesticides in the source and drinking waters in Londrina, Paraná, Brazil. Semina: Ciências Agrárias. 40:1153-1164	Sul (PR)	Rio	Água superficial	Pesticidas (ametrina, atrazina, azoxistrobina, carbendazim, carbofurano, clomazona, clorpirifós, diuron, hexazinona, imidacloprid, malation, simazina, tebuconazol, tebutiuron)	Quantificadas em ng.L ⁻¹	-	-
Pivetta e Gastaldini. 2019. Presence of emerging contaminants in urban water bodies in Southern Brazil. Journal of Water and Health. 17.2	Sul (RS)	Rio	Água superficial	Hormônios (estradiol, estriol, estrona, etiestrona) e medicamentos (acetato de megestrol, diclofenaco, ibuprofeno, paracetamol)	Quantificados em µg.L ⁻¹	-	-
Peteffi, <i>et al.</i> 2019. Ecotoxicological risk assessment due to the presence of bisphenol A and caffeine in surface waters in the Sinós River Basin - Rio Grande do Sul - Brazil. Brazilian Journal of Biology. 79:712-721	Sul (RS)	Rio	Água superficial	Plastificante (bisfenol A) e estimulante (caféina)	Quantificados em ng.L ⁻¹	-	-

<p>Montagner, <i>et al.</i> 2019. Ten Years-Snapshot of the Occurrence of Emerging Contaminants in Drinking, Surface and Ground Waters and Wastewaters from São Paulo State, Brazil. <i>J. Braz. Chem. Soc.</i> 30:614-632</p>	<p>Sudeste (SP)</p>	<p>Rios</p>	<p>Água superficial</p>	<p>Pesticidas (ametrina, atrazina, azoxistrobina, bromacil, carbendazim, clomazona, difenoconazol, epoxiconazol, fipronil, fluquinconazol, imidacloprid, malation, picoxistrobin, piraclostrobin, simazina, tebuconazol, trifloxistrobina), medicamentos e produtos de higiene pessoal (acetaminofeno, ácido acetilsalicílico, amoxicilina, ampicilina, cefalexina, ciprofloxacina, diclofenaco, ibuprofeno, norflaxacina, fenoftaleína, sulfametoxazol, trimetoprim, triclosan), drogas ilícitas (cocaína, benzoilecgonina, morfina, morfina-6-glucuronida, 6-acetilmorfina, anfetamina, metanfetamina, 3,4-MDEA, 3,4-MDMA, 3,4-MDA), hormônios (etinilestradiol, estradiol, dietilstilbestrol, estriol, estrona, levonorgestrel, mestranol, progesterona, testosterona), plastificantes (bisfenol A, ftalato de butil benzílico, dibutilftalato, ftalato de dietila, bis-2-etil-hexil ftalato), alquilfenóis (4-n-nonilfenol, 4-m-octilfenol) e estimulante (caféina)</p>	<p>Quantificadas em ng.L⁻¹</p>	<p>-</p>	<p>-</p>
<p>Pusceddu, <i>et al.</i> 2019. Estrogen levels in surface sediments from a multi-impacted Brazilian estuarine system. <i>Marine Pollution Bulletin.</i> 142:576-580</p>	<p>Sudeste (SP)</p>	<p>Rios</p>	<p>Sedimento</p>	<p>Hormônios (estriol, estradiol e etinilestradiol)</p>	<p>Quantificados em ng.L⁻¹</p>	<p>-</p>	<p>-</p>

Nascimento, <i>et al.</i> 2019. Simple and effective dispersive micro-solid phase extraction procedure for simultaneous determination of polycyclic aromatic compounds in fresh and marine waters. <i>Talanta</i> . 204:776-791.	Nordeste (BA)	Rio	Água superficial	PAHs (naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno, crisenos)	Detectados em ng.L ⁻¹	-	-
Mizukawa, <i>et al.</i> 2018. Occurrence and Risk Assessment of Personal Care Products in Subtropical Urban Rivers. ENVIRONMENTAL ENGINEERING SCIENCE. 35:1263-1272	Sul (PR)	Rio	Água superficial	Produtos de uso pessoal (parabenos e triclosano)	Quantificados em µg.L ⁻¹	-	-
Sodré, <i>et al.</i> 2018. Seasonal and Spatial Distribution of Caffeine, Atrazine, Atenolol and DEET in Surface and Drinking Waters from the Brazilian Federal District. <i>J. Braz. Chem. Soc.</i> 29:1854-1865	Centro-oeste (DF)	Lago	Água superficial	Estimulante (caféina) e pesticidas (atrazina, atenolol e DEET (N,N-Dietil-m-toluamida))	Quantificados em ng.L ⁻¹	-	-
Sodré, <i>et al.</i> 2018. Method Development for Assessing Carbamazepine, Caffeine, and Atrazine in Water Sources from the Brazilian Federal District Using UPLC-QTOF/MS. <i>International Journal of Analytical Chemistry</i> . 2018:1-10	Centro-oeste (DF)	Lago	Água superficial	Estimulante (caféina), medicamento (carbamazepina) e pesticida (atrazina)	Quantificados em µg.L ⁻¹	-	-
Model, <i>et al.</i> 2018. Organochlorinated and Organophosphorus Pesticides in the Pelotas River Sediment. <i>Engenharia Agrícola</i> . 38:124-134	Sul (RS)	Rio	Sedimento	Pesticidas organoclorados e organofosforados	Quantificados em ng.g ⁻¹	-	-
Monte, <i>et al.</i> 2018. Spatial variability and seasonal toxicity of dredged sediments from Guanabara Bay (Rio de Janeiro, Brazil): acute effects on earthworms. <i>Environmental Science and Pollution Research</i> . 25:34496–34509	Sudeste (RJ)	Rio	Sedimento	Não foi feita análise química das amostras	Não foi quantificado	<i>Eisenia fetida</i>	Ecotoxicidade

Ragassi, <i>et al.</i> 2018. Monitoramento de Fármacos em Água Superficial e Efluente de Estação de Tratamento de Esgoto no Município de Dracena-SP. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista.	Sudeste (SP)	Córrego	Água superficial	Medicamentos (diclofenaco, ibuprofeno e naproxeno)	Quantificados em mg.L ⁻¹	-	-
Curado, <i>et al.</i> 2018. Urban influence on the water quality of the Uberaba River basin: an ecotoxicological assessment. Rev. Ambient. Água. 13:e2127	Sudeste (MG)	Rio	Água superficial	Não foi feita análise química das amostras	Não foi quantificado	<i>Allium cepa</i> , <i>Trandescantia pallida</i> , <i>Lactuca sativa</i>	Genotoxicidade
Machado, <i>et al.</i> 2017. Health risks of environmental exposure to metals and herbicides in the Pardo River, Brazil. Environ Sci Pollut Res. 24:20160–20172	Sudeste (MG)	Rio	Água superficial	Pesticidas (diuron, tebutiuron, simazina, atrazina, ametrina, hexazona)	Quantificados em µg/L	-	-
Vieira, <i>et al.</i> 2017. Avaliação da Contaminação por Agrotóxicos em Mananciais de Municípios da Região Sudoeste do Paraná. Rev. Virtual Quim. 9:1800-1812	Sul (PR)	Rio	Água superficial	Pesticida (atrazina)	Quantificado em µg.L ⁻¹	-	-
Weber, <i>et al.</i> 2017. Reproductive effects of oestrogenic endocrine disrupting chemicals in <i>Astyanax rivularis</i> inhabiting headwaters of the Velhas River, Brazil. Science of the Total Environment. 592:693-703	Sudeste (MG)	Rio	Água superficial	Hormônios (estrona, estradiol e estriol), plastificante (bisfenol A) e alquilfenol (nonilfenol)	Quantificados em ng/L	<i>Astyanax rivularis</i>	Feminização e aumento dos níveis de vitelogenina e proteínas da zona radiata. Em machos, diminuição dos níveis de IGF-1, menor diâmetro dos túbulos seminíferos, maior índice de espermatogônias e menor proporção de espermatozoides. Em fêmeas, deficiência de gema no oócitos e excessivo amadurecimento dos ovos.

Considerando-se os sistemas aquáticos continentais, os tipos de ecossistemas estudados foram canal, córregos, lagos, reservatórios e rios, sendo este último o mais contemplado (Figura 3). Dos 44 artigos, 38 analisaram águas superficiais e 4 analisaram sedimentos, enquanto apenas 2 artigos analisaram ambos os compartimentos ambientais.

O movimento unidirecional das águas dos rios é a grande característica desse sistema, condicionando a presença da biota e a estrutura do sedimento, bem como sua interação²⁵. No sedimento, os contaminantes se encontram acumulados e em maiores concentrações, permanecendo retidos no compartimento por mais tempo quando comparados à água superficial, impondo grande risco aos organismos bentônicos e, ao ser revolvido, para os organismos que ocupam diversos pontos da coluna d'água^{26,27}. Desta forma, são necessários mais estudos que tratem acerca da toxicidade de sedimentos com relação aos IE, pois muitos contaminantes sedimentam e não estão mais disponíveis na água superficial ou se encontram em concentrações baixíssimas. Somado isso, estudos tratando da toxicidade das águas superficiais seguem sendo necessários, visto que elas são utilizadas no abastecimento público, agricultura e recreação, recebendo diversos rejeitos¹⁷. A íntima relação estabelecida entre água superficial e sedimento, especialmente em rios, destaca a importância de estudos que englobem análises dos dois compartimentos.

O Brasil possui cerca de 12% a 16% de toda a água doce disponível no planeta e suas bacias hidrográficas somam uma área de 10.724.000 km², demonstrando a importância dos rios para o nosso país²⁵. Por consequência, os rios também são os principais receptores de contaminantes a partir de efluentes industriais, agrícolas e domésticos, expondo a biota aquática e, potencialmente, o ser humano. Segundo o ATLAS ÁGUAS²⁸, 43% dos municípios brasileiros são abastecidos por mananciais superficiais, isto é, rios, lagos e lagoas, sendo o principal rio usado para abastecimento público o rio São Francisco. Outro fator que explica o alto número de estudos realizados em rios é a facilidade de acesso, como nos trabalhos de Curado, *et al.* (2018), Weber, *et al.* (2017) e Veras, *et al.* (2019), que trabalharam com rios que passam por áreas urbanas de grandes cidades.

Os reservatórios também são de grande importância no abastecimento público e na aquicultura. A aquicultura no Brasil produziu, em 2016, cerca R\$ 4.61 bilhões e representa 70,9% da criação de peixes para consumo, com expectativa de crescimento de 104% até 2025²⁹. Dessa maneira, estudos sobre a qualidade das águas de reservatório são de suma importância, visto que impactam diretamente na saúde humana através do consumo de água e na alimentação.

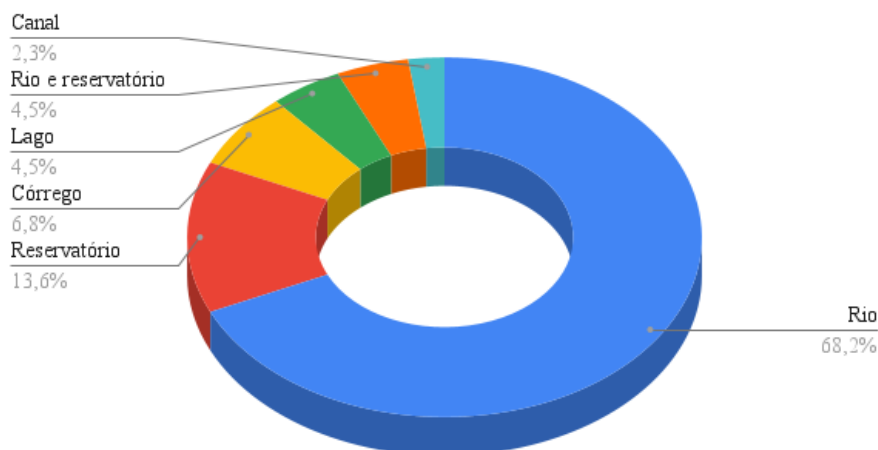


Figura 3. Número de publicações (%) sobre interferentes endócrinos em corpos d'água continentais brasileiros por tipo de sistema aquático, considerando o período de 2017 a 2022.

Nos trabalhos selecionados, 13 classes diferentes de interferentes endócrinos foram estudados: pesticidas, hormônios, estimulantes, plastificantes, medicamentos, alquilfenóis, produtos de uso pessoal (PCP), compostos fenólicos, metais, bifenilas policloradas (PCBs), compostos aromáticos policíclicos (PAHs), ésteres organofosforados (OPEs) e drogas ilícitas, representados na Figura 4. Apenas 3 artigos não descreveram as classes de interferentes trabalhados.

O alto número de estudos analisando a presença de pesticidas nos corpos d'água continentais brasileiros não surpreende. O Brasil é o segundo maior produtor agrícola do mundo, principalmente na produção e exportação de grãos³⁰. Além disso, o país é o maior consumidor de pesticidas no mundo e que só vem aumentando nos últimos 5 anos. Em 2017, o Brasil atingiu a marca de 540 mil toneladas de agrotóxicos comercializadas, segundo o IBAMA³¹. Em 2021, foi atingido o recorde de novos pesticidas autorizados no território nacional, 552 ao todo, incluindo substâncias proibidas na União Europeia, como o Ciclaniliprole e Fenpropimorfe. Em 2022, foi aprovada na Câmara dos Deputados a PL 2699/2002 que flexibiliza regras de controle e liberação de novos agrotóxicos, bem como impossibilita entidades de requererem o cancelamento de um determinado pesticida com base nos possíveis efeitos nocivos à saúde e ao meio ambiente. Esse projeto de lei significa um grande retrocesso à conservação ambiental, visto que a investigação do impacto de novas substâncias tem poucas chances de acarretar em mudanças.

Para os pesticidas organoclorados e carbamatos já foram evidenciados diversos efeitos em humanos, como infertilidade, má formação congênita, carcinogênese e alterações nos sistemas nervoso, respiratório e cardiovascular, além de serem conhecidos inibidores da enzima acetilcolinesterase^{32,33}. Quanto aos efeitos à biota aquática, Anderson e colaboradores³⁴ já haviam observado efeitos comportamentais e mortalidade em invertebrados dulcícolas causados por fenvalerato e permetrina. Efeitos agudos do pesticida endosulfan também foram avaliados através de ensaio com *Cichlasoma dimerus* onde foi observado neurotoxicidade, anemia e alterações histológicas³⁵. Ainda assim, estudos sobre os efeitos biológicos dos diversos agrotóxicos liberados no Brasil permanecem sendo necessários visando entender os impactos que a contaminação dos mananciais hídricos por esses contaminantes tem sobre a biota com enfoque nos efeitos genotóxicos e ecotoxicológicos.

Por terem importante papel na regulação de diversas funções fisiológicas de seres humanos e outros animais vertebrados, a contaminação por hormônios tende a ser subestimada. Os hormônios estrogênicos mais trabalhados nos artigos selecionados, estrona, estradiol e etinilestradiol, são lançados constantemente no esgoto e sua remoção é ineficaz pelas ETE, tendo como seu destino as águas superficiais³⁶. Esses hormônios são metabolizados e excretados na sua forma inativa, porém interações com enzimas bacterianas são capazes de ativá-los biologicamente e, em razão do seu alto grau de especificidade pelo receptor, causar efeitos deletérios na biota aquática³⁷. Seus principais efeitos se dão na modificação de aspectos reprodutivos, sendo considerados os principais IE e, desta forma, a investigação do seu papel ecotoxicológico é de suma importância.

Na classe de estimulantes o único composto presente é a cafeína, presente em diversos tipos de medicamentos e na segunda bebida mais consumida pelos brasileiros. Quando ingerida, ela não é totalmente metabolizada e é excretada pela urina e pelas fezes, indo parar diretamente na rede de esgoto municipal^{38,39}. Com um tratamento de esgoto deficitário no país, a cafeína se tornou um bioindicador de atividades antrópicas em corpos hídricos, visto que, muitas vezes, não é removida desses efluentes^{40,41}. Em estudo realizado por Benegossi e colaboradores⁴² não foi observada toxicidade em *Daphnia magna* e *Chironomus sanctiparoli* em concentrações de $\mu\text{g.L}^{-1}$, porém evidenciou o estudo realizado por Aguirre-Martínez⁴³ em que os efeitos tóxicos foram observados em concentrações de mg.L^{-1} em microalgas.

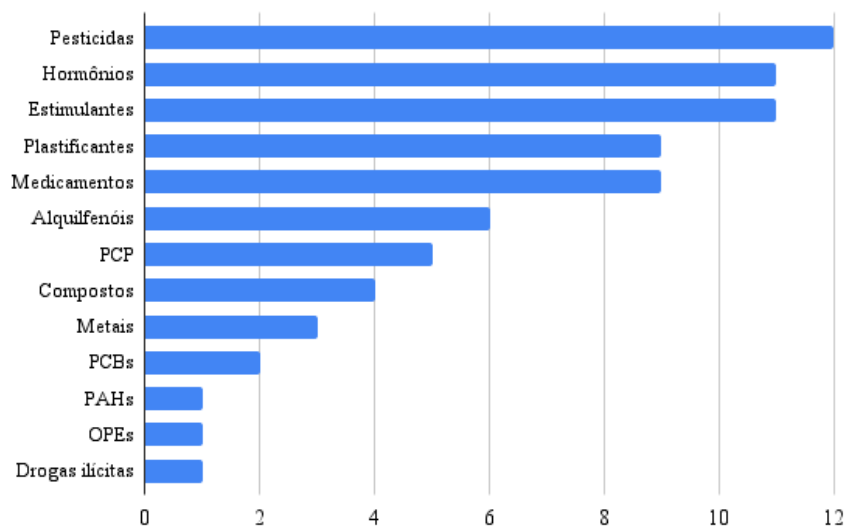


Figura 4. Classes de interferentes endócrinos citados nos artigos selecionados (n = 44), considerando o período de 2017 a 2022.

Da totalidade dos artigos analisados, 13 deles apresentaram resultados de ensaios biológicos, sendo que 7 realizaram ensaios de genotoxicidade ou ecotoxicidade. Outros fatores analisados foram estrogenicidade, estresse oxidativo, fitotoxicidade, alterações bioquímicas e morfológicas, bem como mudanças em aspectos reprodutivos, neste caso, em peixes. Os ensaios de genotoxicidade realizados foram o Teste do Micronúcleo com *Oreochromis niloticus*, com eritrócitos de *Danio rerio*, com *Allium cepa*, *Trandescantia pallia* e *Lactuca sativa*. Já os ensaios de ecotoxicidade foram feitos com embriões de *Danio rerio* (FET), toxicidade crônica *Raphidocelis subcapitata* e *Ceriodaphnia dubia*, toxicidade aguda em *Daphnia similis*.

Dos 7 trabalhos que realizaram ensaios ecotoxicológicos ou de genotoxicidade, 6 analisaram água superficial, enquanto apenas 1 analisou sedimento. Cristale e colaboradores foram os únicos que não detectaram ecotoxicidade nos ensaios de toxicidade aguda em *Daphnia similis*, testando os ésteres organofosforados em água superficial. O restante dos trabalhos detectou atividade genotóxica e/ou ecotoxicológica, evidenciando que há efeitos deletérios mesmo com lançamento em baixas concentrações em águas superficiais, onde os contaminantes tendem a estar mais diluídos. Os IE testados nos ensaios têm as mais diversas origens, doméstica, industrial e agrícola, como mencionado anteriormente, demonstrando que os rejeitos são descartados de forma inadequada ou que seu tratamento não é eficiente na sua remoção, levando à contaminação dos corpos d'água. Dessa forma, a contaminação das águas expõe a biota em todos os níveis da cadeia trófica, bem como na qualidade da água que

abastece a população, impondo um desafio no sistema de abastecimento público, cujos métodos convencionais já demonstraram ser incapazes de remover alguns contaminantes.

Com isso, está evidenciada a falta de ensaios nos últimos 5 anos. Apesar de ser um tema latente, os trabalhos ainda se voltam para a caracterização dos corpos hídricos quanto à presença desses poluentes, a distribuição sazonal e espacial dos contaminantes, bem como da compreensão dos métodos de tratamento de ETEs e ETAs quanto a eles. Ainda assim, os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados demonstraram o preocupante fato de que essas substâncias têm potencial genotóxico e ecotoxicológico e que a sua investigação deve ser ampliada para novas metodologias e diferentes concentrações, utilizando organismos-teste de diferentes níveis tróficos.

Conclusão

O alto número de artigos resultantes da busca das palavras-chave e o aumento do número de publicações, mostrado na Figura 1, evidenciam o grande interesse da comunidade científica sobre o assunto. Especialmente no Brasil, o interesse sobre a qualidade das águas continentais é primordial, dado que no território se encontra boa parte de toda a água doce disponível no mundo e que há constante liberação de novos contaminantes, principalmente de pesticidas. A flexibilização na legislação para a liberação de novos agrotóxicos impõe um grande desafio ao tema. Estudos nas regiões Norte e Centro-Oeste devem ser estimulados, pois a falta de evidências passa a errônea sensação de que a questão não é um problema, quando, na verdade, apenas não foi avaliado da forma devida. O enfoque nas águas superficiais é válido, porém deve haver maior atenção ao sedimento, visto que é nesse compartimento que os poluentes permanecem concentrados por mais tempo e, quando revolvidos, são suspensos novamente na coluna d'água. Estudos avaliando ambos os compartimentos são de extrema importância para a compreensão do comportamento dos IE nos corpos hídricos. Analisar os reservatórios também deve ser uma prioridade, uma vez que há captação de água para abastecimento e uso para aquicultura, levando potencial contaminação ao ser humano. A avaliação extensiva dos potenciais ecotoxicológicos e genotóxicos das águas continentais brasileiras deve ser um interesse de grupos de pesquisa e agências regulatórias, tendo em vista um maior entendimento dos impactos que os poluentes causam ao ecossistema, assim como uma maior compreensão dos padrões de qualidade da água oferecida à população. Ademais, é importante ressaltar que esses contaminantes estão em evidência e há bastantes publicações sobre, porém há pouca menção, principalmente nos

artigos brasileiros dos últimos 5 anos, sobre a capacidade de interferência endócrina dos mesmos.

Referências

- 1 – Sauv , S., & Desrosiers, M. (2014). A review of what is an emerging contaminant. In *Chemistry Central Journal* (Vol. 8). <http://journal.chemistrycentral.com/content/8/1/15>
- 2 – Bila, D. M., & Dezotti, M. (2007). DESREGULADORES ENDÓCRINOS NO MEIO AMBIENTE: EFEITOS E CONSEQ NCIAS. In *Quim. Nova* (Vol. 30, Issue 3).
- 3 – Jardim, W. F., Montagner, C. C., Pescara, I. C., Umbuzeiro, G. A., di Dea Bergamasco, A. M., Eldridge, M. L., & Sodré, F. F. (2012). An integrated approach to evaluate emerging contaminants in drinking water. *Separation and Purification Technology*, 84, 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.06.020>
- 4 – Montagner, C. C., Vidal, C., & Acayaba, R. D. (2017). Contaminantes emergentes em matrizes aqu ticas do Brasil: Cen rio atual e aspectos anal ticos, ecotoxicológicos e regulat rios. In *Quimica Nova* (Vol. 40, Issue 9, pp. 1094–1110). Sociedade Brasileira de Quimica. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170091>
- 5 – Carere, M., Zenker, A., Cicero, M. R., Prestinaci, F., & Bottoni, P. (2014). Bioaccumulation and biomagnification potential of pharmaceuticals with a focus to the aquatic environment. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 133, pp. 378–387). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.017>
- 6 – Westerhoff, P., Yoon, Y., Snyder, S., & Wert, E. (2005). Fate of endocrine-disruptor, pharmaceutical, and personal care product chemicals during simulated drinking water treatment processes. *Environmental Science and Technology*, 39(17), 6649–6663. <https://doi.org/10.1021/es0484799>
- 7 – Amorim, C. C., Starling, M. C. V. M., & Le o, M. M. D. (2019). Occurrence, control and fate of contaminants of emerging concern in environmental compartments in Brazil. *Journal of Hazardous Materials*, 17–36. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.04.043>
- 8 – Endocrine Society. (2021). *Endocrine-disrupting Chemicals*. Disponível em <https://www.endocrine.org/topics/edc>.
- 9 – World Health Organization (WHO). (2012). State of the science of endocrine disrupting chemicals 2012. *United Nations Environment Programme (UNEP)*.
- 10 – USEPA (United States Environmental Protection Agency). (2021). *What is Endocrine Disruption?*. Disponível em <https://www.epa.gov/endocrine-disruption/what-endocrine-disruption#chemicals>.

- 11 – Pereira, L. C., de Souza, A. O., Bernardes, M. F. F., Pazin, M., Tasso, M. J., Pereira, P. H., & Dorta, D. J. (2015). A perspective on the potential risks of emerging contaminants to human and environmental health. In *Environmental Science Pollution Research* (Vol 22, Issue 18, pp. 13800-13823). DOI 10.1007/s11356-015-4896-6.
- 12 – Motta, O., Pironti, C., Ricciardi, M., Proto, A., Bianco, P. M., & Montano, L. (2021). Endocrine-disrupting compounds: An overview on their occurrence in the aquatic environment and human exposure. In *Water (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 10). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/w13101347>
- 13 – European Commission (n.d). *Which substances are concern?*. Disponível em https://ec.europa.eu/environment/chemicals/endocrine/strategy/substances_en.htm
- 14 – Peakall, D. B. (1994). The role of biomarkers in environmental assessment (1). Introduction. In *Ecotoxicology* (Vol. 3).
- 15 – van der Oost, R., Beyer, J., & Vermeulen, N. P. E. (2002). Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. In *Environmental Toxicology and Pharmacology* (Vol 13, pp 57-149). [https://doi.org/10.1016/S1382-6689\(02\)00126-6](https://doi.org/10.1016/S1382-6689(02)00126-6)
- 16 – Han, Y., Li, N., Oda, Y., Ma, M., Rao, K., Wang, Z., Jin, W., Hong, G., Li, Z., & Luo, Y. (2016). Evaluation of genotoxic effects of surface waters using a battery of bioassays indicating different mode of action. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 133, 448–456. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.07.022>
- 17 – Ohe, T., Watanabe, T., & Wakabayashi, K. (2004). Mutagens in surface waters: A review. In *Mutation Research - Reviews in Mutation Research* (Vol. 567, Issues 2-3 SPEC. ISS., pp. 109–149). <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2004.08.003>
- 18 – Walker, C. H. (2008). Ecotoxicity testing science, politics and ethics. *Alternatives to Laboratory Animals*, 36, 103–112. <https://doi.org/10.1177/026119290803600111>
- 19 – Elonen, C. M., & Olker, J. H. (2021). *ECOTOX ECOTOXicology Knowledgebase System User Guide-Version 5.4 TDD 2-8 ECOTOX Application Development and Support*.
- 20 - Jasim, S. Y., Rahman, M. F., & Yanful, E. K., (2009). Endocrine disrupting compounds (EDCs) and pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the aquatic environment: Implications for the drinking water industry and global environmental health. In *Journal of Water and Health* (Vol. 7, Issue 2, pp. 224–243). <https://doi.org/10.2166/wh.2009.021>

- 21 - Ho, K. T., Konovets, I. M., Terletskaia, A. v., Milyukin, M. v., Lyashenko, A. v., Shitikova, L. I., Shevchuk, L. I., Afanasyev, S. A., Krot, Y. G., Zorina-Sakharova, K. Y., Goncharuk, V. v., Skrynnyk, M. M., Cashman, M. A., & Burgess, R. M. (2020). Contaminants, mutagenicity and toxicity in the surface waters of Kyiv, Ukraine. *Marine Pollution Bulletin*, 155, 111153. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111153>
- 22 - Martini, G. A., Montagner, C. C., Viveiros, W., Quinaglia, G. A., Dayrell, D. F., Munin, N. C. G., Lopes-Ferreira, M., Rogero, S. O., & Rogero, J. R. (2021). Emerging contaminant occurrence and toxic effects on zebrafish embryos to assess the adverse effects caused by mixtures of substances in the environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 20313–20329. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11963-x/Published>
- 23 - IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PIB – Produto Interno Bruto. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>. Acesso em 5 abr. 2022.
- 24 - Painel Saneamento Básico. Indicadores por ano – 2020. Disponível em: https://www.painelsaneamento.org.br/explore/ano?SE%5Ba%5D=2020&SE%5Bi%5D%5BPOP_SEM_AG%25%5D=POP_SEM_AG%25&SE%5Bi%5D%5BPOP_SEM_ES%25%5D=POP_SEM_ES%25&SE%5Bi%5D%5BVOL_ES_AG%5D=VOL_ES_AG&SE%5Bi%5D%5BVOL_ES_NTRATA%5D=VOL_ES_NTRATA&SE%5Bi%5D%5BINT_VH%5D=INT_VH&SE%5Bi%5D%5BBOBITO_VH%5D=OBITO_VH&SE%5Bi%5D%5BRENDA_G1%5D=RENDA_G1&SE%5Bi%5D%5BRENDA_G2%5D=RENDA_G2&media=. Acesso em 5. abr. 2022.
- 25 – Tundisi, J. G., & Tundisi, T. M. (2008). *Limnologia*. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos 631 p. ISBN 978-85-86238-66-6.
- 26 - Baudo, R.; Giesy, J. P.; Muntau, H. (ed.). **Sediments: Chemistry and Toxicity of In-Place Pollutants**. Florida: CRC Press, 1990. 109 p. ISBN 13: 978-0-87371-252-1.
- 27 - Cesar, A.; Pereira, C. D. S.; Santos, A. R.; Abessa, D. M. S.; Fernández, N.; Choueri, R. B.; DelValls, T. A. (2006). ECOTOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF SEDIMENTS FROM THE SANTOS AND SÃO VICENTE ESTUARINE SYSTEM – BRAZIL. In *Brazilian Journal of Oceanography*, 54, 55-63. <https://www.scielo.br/j/bjoce/a/8CwsYP4rbdCNLW7WJPxTnCb/?lang=en#>.
- 28 – ANA - Agência Nacional de Águas. (2021) Atlas Águas: segurança hídrica do abastecimento urbano. 2. ed. Brasil. 330 p. ISBN 978-65-88101-19-3.

- 29 - Zaniboni-Filho, E., Pedron, J. S. & Ribolli, J. (2018). Opportunities and challenges for fish culture in Brazilian reservoirs: a review. In *Acta Limnologica Brasiliensia*. (Vol. 30, e302). 10.1590/S2179-975X12617.
- 30 - Aragão, A. & Contini, E. O AGRO NO BRASIL E NO MUNDO: UMA SÍNTESE DO PERÍODO DE 2000 A 2020. *Embrapa SIRE*. Disponível em <https://www.embrapa.br/documents/10180/62618376/O+AGRO+NO+BRASIL+E+NO+MUNDO.pdf/41e20155-5cd9-f4ad-7119-945e147396cb>. Acesso em 5 abr. 2022.
- 31 - IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2017). Boletim de Comercialização de Agrotóxicos e Afins: histórico de vendas 2000-2017. Disponível em <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#historicodecomercializacao>. Acesso em 5 abr. 2022.
- 32 - Linhares, A. G. (2013). Efeito de pesticidas organofosforados e carbamatos sobre a acetilcolinesterase eritrocitária humana e seu potencial uso como biomarcador da exposição ocupacional. 2013. Tese (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Pernambuco, [S. l.], Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/13270>. Acesso em: 8 abr. 2022.
- 33 - Moreira, J. C., Jacob, S. C., Peres, F., Lima, J. S., Meyer, A., Oliveira-Silva, J. J., Sarcinelli, P.N., Batista, D. F., Egler, M., Faria, M. V. C., de Araújo, A. J., Kubota, A. H., Soares, M. O., Alves, S. R., Moura, C. M., Curi, R. (2002). Avaliação integrada do impacto do uso de agrotóxicos sobre a saúde humana em uma comunidade agrícola de Nova Friburgo, RJ. In *Ciência & Saúde Coletiva* (Vol. 7, Issue 2, pp. 299-311). <https://doi.org/10.1590/S1413-81232002000200010>.
- 34 - Anderson, R.L. (1982). Toxicity of Fenvalerate and Permethrin to Several Nontarget Aquatic Invertebrates. In *Environmental Entomology*. (Vol. 11, Issue 6, pp. 1251-1257). <https://doi.org/10.1093/ee/11.6.1251>.
- 35 - Lo Nostro, F. L., Da Cuña, R. H., Vázquez, G. R., Piol, M. N., Guerrero, N. V., Maggese, C. (2011). Assessment of the acute toxicity of the organochlorine pesticide endosulfan in *Cichlasoma dimerus* (Teleostei, Perciformes). In *Ecotoxicology and Environmental Safety* (Vol. 74, Issue 4, pp. 1065-1073). <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.02.002>.
- 36 - Lima, J. A. V., Stachiw, R. & Militão, J. S. L. T. (2019) The environmental problem of emerging pollutants: possible impacts by sex hormones. In *Nature and Conservation*. (Vol. 12, Issue 1, pp. 67-74). 10.6008/CBPC2318-2881.2019.001.0007

- 37 - Reis Filho, R. W., de Araújo, J. C. & Vieira, E. M. (2006). HORMÔNIOS SEXUAIS ESTRÓGENOS: CONTAMINANTES BIOATIVOS. In *Química Nova* (Vol. 29, Issue 4, pp. 817-822). 10.1590/S0100-40422006000400032.
- 38 - Spilki, F.R., Linden, R., Antunes, M.V., Heinzemann, L.S., Fleck, J.D., Staggemeier, R., Fabres, R.B., Vecchia, A.D., & Nascimento, C.A. (2015). Caffeine as an indicator of human fecal contamination in the Sinos River: a preliminary study. In *Brazilian Journal of Biology* (Vol. 75, Issue 2, pp. 81-84). <https://doi.org/10.1590/1519-6984.0513>
- 39 - Tang-Liu, D.D., Williams, R.L., & Riegelmann, S. (1983). Disposition of caffeine and its metabolites in man. In *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*. (Vol. 224, Issue 1, pp. 180-185). PMID: 6848742
- 40 - Gonçalves, E. S. (2008). O USO DA CAFEÍNA COMO INDICADOR DE CONTAMINAÇÃO POR ESGOTO DOMÉSTICO EM ÁGUAS SUPERFICIAIS. Dissertação (Mestre em Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, [S. l.], 2008. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/3603>. Acesso em: 7 abr. 2022.
- 41 - Wang, C., Shi, H.I., Adams, C. D., Gamagedara, S., Stayton, I., Timmons, T., & Ma, Y. (2011). Investigation of pharmaceuticals in Missouri natural and drinking water using high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. In *Water Research* (Vol. 45, Issue 4, pp. 1818-1828). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.11.043>
- 42 - Bernegossi, A.C., Ogura, A. P., Castro, G. B., Felipe, M. C., de Lima e Silva, M. R., Corb, J. C. (2021). Contaminação emergente de cafeína em ambientes tropicais: aspectos ecotoxicológicos aplicados à gestão dos recursos hídricos. In: CARVALHO, André Cutrim. GESTÃO AMBIENTAL NOS TRÓPICOS ÚMIDOS: impactos das ações humanas nos recursos naturais das fronteiras amazônicas. 1. ed. [S. l.]: Editora Científica, (Vol. 1, cap. 15, pp. 277-300). ISBN 978-65-87196-88-6. Disponível em: <https://www.editoracientifica.org/articles/code/210202967>. Acesso em: 11 abr. 2022.
- 43 - Aguirre-Martínez, G. V., DelVallas, A. T., & Martín-Díaz, M. L. (2015). Yes, caffeine, ibuprofen, carbamazepine, novobiocin and tamoxifen have an effect on *Corbicula fluminea* (Müller, 1774). In *Ecotoxicology and Environmental Safety* (Vol. 120, pp. 142-154). <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.05.036>