






## Do rio ao laboratório: a análise hematológica como chave para o monitoramento da poluição aquática

Mário Junior Saviato<sup>1\*</sup>  José Carlos Guimarães Júnior<sup>2</sup>  & Charles Cesar Couto<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Departamento de Biotecnologia, Universidad Federal de Amapá, Macapá-AP, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Biotecnologia, Universidad Estatal de Amazonas, Manaus-AM, Brasil.

<sup>3</sup> Psychology Department, Absolute Christian University, Miami Gardens, Florida, United States of America.

Recebido 1 abril 2025 / Aceito 8 abril 2025

### Resumo

A ecotoxicologia aquática tem se consolidado como uma área essencial para a compreensão dos impactos ambientais, com a ictiofauna desempenhando um papel crucial como bioindicador. O presente trabalho investiga os efeitos da contaminação hídrica sobre peixes, especialmente em parâmetros hematológicos, contribuindo para estratégias de monitoramento e conservação dos ecossistemas aquáticos. A metodologia baseia-se em uma revisão sistemática da literatura entre 2020 e 2024, utilizando bases como Web of Science, Scopus, SciELO e PubMed. Foram analisadas publicações sobre impactos ecotoxicológicos em peixes de água doce, com ênfase em biomarcadores hematológicos e histológicos. Os resultados indicam que resíduos urbanos e industriais afetam significativamente a saúde dos peixes, reforçando sua sensibilidade como bioindicadores. A análise hematológica se mostra uma ferramenta eficiente para avaliação da qualidade ambiental, evidenciando a necessidade de políticas públicas voltadas à mitigação da poluição e à preservação dos recursos hídricos.

**Palavras-chave:** contaminação ambiental, biomarcadores fisiológicos, toxicidade aquática, monitoramento ecológico, degradação hídrica

### Abstract - From the river to the laboratory: hematological analysis as a key to monitoring aquatic pollution

Aquatic ecotoxicology has established itself as an essential area for understanding environmental impacts, with ichthyofauna playing a crucial role as a bioindicator. This study investigates the effects of water contamination on fish, especially on hematological parameters, contributing to strategies for monitoring and conservation of aquatic ecosystems. The methodology is based on a systematic review of the literature between 2020 and 2024, using databases such as Web of Science, Scopus, SciELO and PubMed. Publications on ecotoxicological impacts on freshwater fish were analyzed, with emphasis on hematological and histological biomarkers. The results indicate that urban and industrial waste significantly affects fish health, reinforcing their sensitivity as bioindicators. Hematological analysis proves to be an efficient tool for assessing environmental quality, highlighting the need for public policies aimed at mitigating pollution and preserving water resources.

**Keywords:** environmental contamination, physiological biomarkers, aquatic toxicity, ecological monitoring; water degradation.

### Resumen - Del río al laboratorio: el análisis hematológico como clave para el seguimiento de la contaminación acuática

La ecotoxicología acuática se ha consolidado como un área esencial para comprender los impactos ambientales, donde la ictiofauna desempeña un papel crucial como bioindicador. Este trabajo investiga los efectos de la contaminación del agua en los peces, especialmente en los parámetros hematológicos, contribuyendo a las estrategias de monitoreo y conservación de los ecosistemas acuáticos. La metodología se basa en una revisión sistemática de la literatura entre 2020 y 2024, utilizando bases de datos como Web of Science, Scopus, SciELO y PubMed. Se analizaron publicaciones sobre impactos ecotoxicológicos en peces de agua dulce, con énfasis en biomarcadores hematológicos e histológicos. Los resultados indican que los residuos urbanos e industriales afectan significativamente la salud de los peces, reforzando su sensibilidad

\*Autor Correspondente: M.Jr. Saviato, e-mail: [msaviato@yahoo.com.br](mailto:msaviato@yahoo.com.br)

como bioindicadores. El análisis hematológico ha demostrado ser una herramienta eficaz para evaluar la calidad ambiental, destacando la necesidad de políticas públicas orientadas a mitigar la contaminación y preservar los recursos hídricos.

**Palabras clave:** contaminación ambiental, biomarcadores fisiológicos, toxicidad acuática,; monitoreo ecológico, degradación del agua.

---

## Introdução

A crescente urbanização e industrialização têm intensificado a liberação de poluentes nos ecossistemas aquáticos, comprometendo a biodiversidade e a qualidade da água (Nadal & Lourenço, 2022). Apesar de sua trajetória histórica, o termo “ecotoxicologia” é relativamente recente, aparecendo pela primeira vez na década de 1970 (Carson, 1962). A ecotoxicologia aquática emerge como um campo essencial para a compreensão dos impactos ambientais, utilizando diferentes ferramentas para avaliar as consequências da contaminação sobre os organismos vivos (Queiroz & Silva, 2021). Dentro desse contexto, os peixes se destacam como bioindicadores eficientes, uma vez que refletem de maneira sensível as alterações ambientais (Siqueira et al., 2023).

Os biomarcadores hematológicos vêm sendo amplamente empregados na detecção de distúrbios fisiológicos decorrentes da exposição a substâncias tóxicas (Cruz et al., 2021). Alterações em parâmetros sanguíneos, como a contagem de eritrócitos, leucócitos e hemoglobina, podem indicar desde estresse ambiental até processos patológicos severos (Costa & Roche, 2021). Esses biomarcadores oferecem uma avaliação rápida e eficaz da saúde dos organismos aquáticos, permitindo a identificação precoce de impactos ecotoxicológicos (Oliveira et al., 2020).

Diante desse cenário, esta revisão tem como objetivo consolidar o conhecimento sobre a utilização da ictiofauna na ecotoxicologia aquática, destacando a importância dos biomarcadores hematológicos para o monitoramento da qualidade ambiental (Tornisielo, et al., 2023). Ao reunir estudos recentes, busca-se reforçar a relevância desses indicadores e fornecer subsídios para a formulação de estratégias de conservação e gestão dos recursos hídricos (Saviato et al., 2023). A avaliação criteriosa desses aspectos é essencial para mitigar os impactos da poluição aquática e garantir a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos (Saviato et al., 2025).

## Material e Métodos

O desenvolvimento deste estudo baseia-se em uma revisão detalhada de dados científicos, que abrange o quinquênio de 2020 a 2024, onde também foi utilizada literatura clássica relacionada ao contexto histórico. A principal ferramenta foi a análise de artigos listados em bases de dados reconhecidas, como Web of Science, Scopus, Google Scholar, SciELO e PubMed. Suas fontes são diversas, desde publicações físicas até recursos virtuais, passando por revistas, livros, teses e dissertações.

A seleção e pesquisa desses artigos foi realizada de forma minuciosa, proporcionando uma base sólida para a posterior discussão do tema proposto. O ponto culminante desse processo foi a classificação temática dos artigos, essencial tanto para a estruturação teórica do referencial quanto para a análise comparativa de métodos e dados.

Esta abordagem permitiu construir um sólido quadro de conhecimento científico e bibliográfico, abrangendo estudos de ecotoxicologia e seus efeitos em peixes de água doce. Além disso, buscou-se inferir sobre a relação entre os trabalhos dedicados à qualidade do ambiente límnic e o efeito na hematopoiese desses organismos aquáticos.

Portanto, a coleta de dados baseia-se na seleção criteriosa de fontes específicas e relevantes para o ambiente de estudo, a fim de realizar contribuições científicas que incluam uma análise abrangente ao longo de um período de tempo definido. Além da construção do referencial teórico, os artigos foram examinados detalhadamente quanto à metodologia utilizada, suporte para comparação e interpretação dos resultados obtidos. Para que a integração desses dados possa mostrar sua importância à compreensão do impacto da qualidade límnic na resposta imune dos peixes, representando uma base substancial para esta pesquisa.

## Referencial Teórico

A ecotoxicologia desponta como um campo dedicado à investigação detalhada dos efeitos dos parâmetros ambientais sobre a biota de determinada região (Oliveira & Baldan, 2022). Sendo relevante além da mera identificação, estendendo-se à mensuração detalhada das alterações nos elementos ambientais e seus efeitos específicos na fauna, flora e microbiota circundantes (Disner et al., 2022).

Deste modo, a ecotoxicologia vem se mostrando uma ciência essencial no enfrentamento dos desafios modernos da contaminação de corpos hídricos por substâncias tóxicas (Lopes et al., 2020). Com uma aplicabilidade valiosa sendo explicada através de ferramentas analíticas que podem avaliar a toxicidade destes compostos e inferir sobre os potenciais efeitos toxicológicos e seus mecanismos de ação nos animais (Gross, 2022).

Contudo, foi a partir da década de 1980 que, as agências ambientais em todo o mundo se adaptaram a protocolos e padrão de testes de toxicidade, utilizando organismos aquáticos como indicadores (Belden, 2020; Salomão et al., 2020). Sendo uma tentativa de estabelecimento de programas de controle de poluição, determinando padrões de qualidade para efluentes industriais e águas para o abastecimento (Ceschin et al., 2021). No âmbito nacional, a Cetesb, Agência do Governo do Estado de São Paulo, despontou como pioneira no desenvolvimento de testes padronizados, incorporando bioindicadores e bioensaios para monitoramento de estressores ambientais, alinhando-se aos níveis de referência (Gandra et al., 2020).

A degradação ambiental, semeada pelas atividades humanas e em áreas anteriormente afetadas, abrange uma teia complexa que se refere à descontinuidade, principalmente, dos serviços ecossistêmicos (Schuijt et al., 2021). Por outro lado, a contaminação por metais pesados, orquestrada por diversas fontes, coloca em risco não só a qualidade da água, mas também a saúde da população humana que depende desses recursos (Ford et al., 2021).

De forma geral, o problema global da escassez de água potável é examinado diante do desenvolvimento inexorável da urbanização e da industrialização, que desencadeia o consumo desmedido dos recursos hídricos (Bebiano et al., 2021). Enfatizando a redução da água doce per capita que, combinada com a contaminação das fontes, superficiais ou subterrâneas, suscita preocupações especiais para as comunidades mais afastadas dos centros urbanos (Singla et al., 2020).

Por este viés, as análises dos ambientes aquáticos mostram a presença de contaminantes insidiosos, provocando efeitos adversos na biota aquática (Saviato et al., 2022a). Destacando o metilmercúrio, como um agente que provoca bioacumulação, principalmente em peixes, desenvolvendo uma ameaça sutil nas cadeias tróficas aquáticas (Voigt & Sankar, 2020).

Da mesma forma, a contaminação por agrotóxicos, notadamente o Fipronil, configura-se como um fragmento dramático que influencia a recuperação dos peixes, especialmente nas áreas de agricultura intensiva delineadas (Moreira et al., 2021). Da mesma forma, a microcistina, apêndice deixado pela proliferação de cianobactérias, caracteriza-se como um composto secundário que ameaça a biota aquática e possivelmente a saúde humana (Albuquerque et al., 2023).

A análise da macrofauna, com seus caranguejos e aves de rapina, caracteriza o cenário de altas concentrações de poluentes, a extensão da bioacumulação e as alterações fisiológicas (Khan & Roy, 2022). O uso de bioindicadores, como a comunidade zooplânctônica, surge como um escore revelador sobre a qualidade da água e a eutrofização das populações (Bláha & Hofman, 2020).

Dessa forma, nos leva a uma reflexão íntima sobre os ataques iminentes que são enfrentados pelo ambiente aquático, que é a preocupação crescente dos contaminantes, notadamente os piretróides derivados do petróleo (Vasseur et al., 2021). Estes compostos, utilizados principalmente como pesticidas agrícolas, desempenham um papel na condução de perturbações fisiológicas e morfológicas na vida aquática, com os peixes a emergirem como arautos destas desarmonias, provocando perturbações que varrem os ecossistemas, desde a base até ao topo do sistema trófico, cadeias (Lemos et al., 2020).

As águas dos rios, conforme gradientes ambientais delineados, servem como veículos para essa contaminação, acumulando-se de forma mais intensa em ambientes lenticulares e estuarinos (Brezonik et al., 2020). Esse triste quadro é traçado por pesquisas, que, partindo do princípio de que os rios representam um microcosmo ambiental, representam o ambiente desses poluentes através de diferentes cursos d'água (Astuto et al., 2022).

O manejo na análise do Glifosato indica um capítulo adicional, onde anfíbios e invertebrados se tornam o primeiro argumento genotóxico significativo (Pham et al., 2023). As taxas de genotoxicidade em massa sugerem que a presença desse herbicida desencadeia mudanças bruscas na atividade, ressoando pela cadeia trófica (Celente et al., 2020).

O triclorfom, aplicado no tratamento de parasitas em peixes, produz um paradoxo ambiental (Li et al., 2024; Silva et al., 2022a). Ao tentar controlar insetos e pragas, alterações hematológicas e histopatológicas em peixes instiga-os, promovendo um problema para resolver outro (Gambardella & Pinsino, 2022). Essa dualidade destaca a complexa teia de interações entre as substâncias químicas e o ambiente aquático (Fiedler et al., 2020).

No mesmo contexto, a Ciclofosfamida, quando submetida a análise, manifesta-se como uma substância capaz de causar alterações fenotípicas e genéticas em anfíbios, marcando a presença de poluentes obscuros (Pereira et al., 2024). O aumento do uso destes compostos, especialmente após a revolução agrícola, ressoa como uma ameaça, impondo transformações substanciais e, em muitos casos, irreversíveis em organismos não alvo, criando um panorama de perdas de biodiversidade e desigualdades ambientais (Albert & Bloem, et al., 2023).

Mesmo em diferentes níveis de poluentes, a fisiologia biótica dos organismos aquáticos é afetada de forma particular pelos xenobióticos (Mocová et al., 2022). Esses compostos, que promovem alterações significativas em parâmetros como hematologia e histologia, reforçam a complexidade das respostas adaptativas da fauna aquática aos estressores ambientais (Saviato et al., 2022b).

Portanto, as análises histopatológicas surgem como ferramentas valiosas, não apenas para os efeitos dos poluentes, mas também para pequenas lesões causadas por parasitas, como exemplo em *Macrobrachium amazonica* parasitado por *Probopyrum bithynis* (Brazão et al., 2021). Essa abordagem proporciona uma compreensão mais profunda das complexas relações entre os organismos aquáticos e os ambientes que ocupam (Brazão et al., 2022).

No entanto, as pesquisas visam descobrir novos organismos que possam atuar como bioindicadores ambientais cruciais (Rodríguez et al., 2023). O monitoramento ambiental, imbuído desses indicadores, fornece insights vitais sobre a extensão dos poluentes e seus impactos iminentes, essenciais para avaliar a eficácia das ações de mitigação que visam reduzir e eliminar essas fontes de degradação ambiental (Mendes et al., 2022).

Porém, a toxicologia de liberação em ambientes aquáticos enfrenta grandes desafios, principalmente quando os contaminantes são alóctones, originários de fontes distantes e de difícil identificação (Lahr et al., 2023). A poluição dos peixes cultivados, por sua vez, leva a uma complicação adicional, que é uma fonte de poluição que, dependendo da sua escala, pode desencadear efeitos negativos palpáveis no ambiente aquático (Rosner et al., 2024). Esses desafios indicam uma necessidade urgente de abordagens integradas e estratégias de controle eficazes diante da diversidade de poluentes que ameaçam os ecossistemas aquáticos (Rodrigues et al., 2022).

Portanto, ao apresentarmos os resultados desta ciência, somos convidados a pensar nos desafios que ela enfrenta no ambiente aquático, especialmente diante da contaminação de sedimentos e suas consequências (Gosset et al., 2020). A complexa dança entre ocupação do solo, atividades agrícolas, questões urbanas e industriais surge como um ponto vital, com profundas implicações no acúmulo de contaminantes, orgânicos ou inorgânicos (Wang et al., 2022).

Onde, fazendas e cidades próximas à água surgem como protagonistas, aumentando a presença desses chocolates no entorno (Fahd et al., 2020). Essa conexão direta destaca a necessidade de compreender a relação entre a atividade humana e a saúde dos corpos hídricos, uma importância à luz das práticas sustentáveis (Boros & Ostafe, 2020).

Mudanças sazonais no transporte de materiais sólidos e solúveis, durante o período chuvoso e seco, amplificam a obstrução em corpos d'água (Langan et al., 2023). Essas oscilações sazonais afetam diretamente o meio ambiente, estimulando impactos positivos e negativos, provocando o despejo antrópico, revelando a delicadeza do ambiente aquático diante das atividades humanas (Garralaga et al., 2022).

A expansão urbana em margens e corpos hídricos surge como agente transformador, impondo impactos relevantes e muitas vezes irreversíveis à comunidade piscícola (Wlodkowic et al., 2022a). A distinção entre aqueles que se alimentam de detritos e predadores destaca o envolvimento de respostas biológicas à infecção, com os predadores acumulando substâncias nocivas, especialmente em órgãos vitais como fígado e brânquias (Krawczyk et al., 2023).

O padrão climático é ilustrado como uma variável crucial, associada a mudanças nos parâmetros ambientais e à toxicidade (Chen et al., 2023). Essa dinâmica temporal, por sua vez, impacta diretamente na quantidade de oxigênio dissolvido no ambiente, influenciando a biodiversidade (Catarino et al., 2023). Da mesma forma, áreas com extensa gestão de resíduos urbanos ou industriais em diferentes épocas do ano podem desencadear eventos dramáticos na vida aquática (Jagiello et al., 2022).

Onde, compostos de origem natural ou artificial, colocados no sedimento, são fontes permanentes de contaminação (Henke et al., 2023). Principalmente em áreas como foz de rios, lagos e represas artificiais, esses eventos dificultam a recuperação do meio ambiente e aumentam o impacto na fauna aquática (Bildwell, 2020).

Onde o uso de pesticidas e insumos a agricultura contribui para a contaminação do solo, cujo transporte pelas chuvas aumenta o acúmulo de sedimentos (Schür et al., 2023). Este ciclo destaca a ligação entre as práticas agrícolas e a qualidade dos corpos hídricos, destacando a importância de abordagens integradas (Albuquerque et al., 2020).

Portanto, o descarte de águas residuais da construção civil, sem tratamento eficaz, contribui para o acúmulo de poluentes em corpos hídricos de menor vazão (Nagalli et al., 2020). Essa realidade destaca a necessidade de regulamentações e práticas mais eficazes para gerenciar efluentes de diversas fontes humanas (Silva et al., 2021).

Na mesma linha, mudanças artificiais na paisagem, como as matrizes, aumentam as concentrações de poluentes, aumentando o acúmulo de organismos ligados a essas áreas (Eddy et al., 2023). Este é um aspecto importante para avaliar o impacto do rigor ambiental e estratégias de mitigação em projetos que envolvam grandes mudanças no ambiente aquático (Jager et al., 2023; Saviato et al., 2023; \_ 2025).

As alterações causadas pela atividade humana, que resultam em efluentes e alterações nos processos naturais, causam danos significativos aos ecossistemas aquáticos (Zielińska et al., 2020). Esses eventos persistentes contribuem para o acúmulo de poluentes, uma série de impactos que afetam a biodiversidade e afetam o funcionamento do meio ambiente (Luan et al., 2020). A poluição nos ecossistemas aquáticos é comparada ao “Efeito Dominó”, onde a degradação entra em crise e ameaça a estabilidade do meio ambiente (Esimbekova et al., 2021).

Na mesma linha, a conservação e reposição da mata ciliar promove melhorias significativas na qualidade dos mananciais e do meio ambiente como um todo (Koba-Ucum et al., 2021). Porém, afeta diretamente a comunidade de macroinvertebrados e estes, por sua vez, no grupo dos peixes, e desta forma, além dos motivos óbvios, proteger a mata ciliar (Batista et al., 2022), encostas e absorção de poluentes pelas raízes, proporciona aos animais aquáticos um ambiente de sucesso para alimentação e reprodução por meio da produção de flores, folhas e frutos (Soares et al., 2022).

Nessa perspectiva, estudos relacionados à ecotoxicologia de corpos hídricos permitem identificar, mensurar e sugerir o controle de substâncias e fontes de poluição ou bioacumulação (Anderson & Prosser, 2023). Portanto, a contaminação do ambiente aquático pode interferir, além da biocenose, da fauna e da flora aquática, em todo o ambiente e, portanto, na saúde humana (Smith; Jeong, 2021). Portanto, no meio aquático, buscamos captar água para consumo humano, primário e secundário, bem como para produção de pesca e outros (Wlodkowic et al., 2022b).

Da mesma forma, estudos com plantas também mostram ecotoxicidade em todas as fases do seu crescimento, principalmente durante a germinação e produção de sementes (Oliveira et al., 2022). Porém, o crescimento e desenvolvimento das lâminas foliares apresentam pouca sensibilidade a poluentes orgânicos e inorgânicos (Duarte et al., 2022). Assim, estudos com sementes de mostarda (*Sinapis alba*) mostraram-se sensíveis a resíduos tóxicos, provenientes de resíduos urbanos, coletados próximo à barragem Billings, em São Paulo – SP (Casado et al., 2020).

Portanto, análises de monitoramento ambiental são importantes para validar a qualidade da água para uso da população em geral (Blázquez et al., 2021). Porém, a pressão ambiental que os peixes sofrem é maior, pois são mais suscetíveis à contaminação dos corpos d'água do que os humanos, quando estão imersos em seu ambiente, sofrendo constantemente os efeitos dos contaminantes (Silva, 2023).

Nas últimas décadas, as pressões ambientais, causadas por projetos econômicos, geraram forte desigualdade, combinada com os efeitos do crescimento populacional (Khan et al., 2022). Onde tais efeitos mais afetam o ambiente aquático e seus reflexos são encontrados no ecossistema, principalmente nos peixes (Kar et al., 2020).

Contudo, muitos parâmetros ambientais dos recursos naturais podem ser fortemente modificados pela atividade humana, especialmente na construção de barragens e na deformação do leito das nascentes (Eber, 2021). Tais mudanças na natureza destroem a vida aquática, pois alteram o pH, a vazão, a oxigenação, bem como a DBO (Demanda Biológica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio) dessas áreas (García-Fernández, 2020). Portanto, o monitoramento em áreas antrópicas é necessário para compreender essas mudanças e promover medidas para mitigar a degradação ambiental (Spurgeon et al., 2020). Contudo, é importante que a poluição urbana, aliada a tais transformações, amplie e amplifique os efeitos negativos da fauna e da flora, já reprimidas e oprimidas (Roy, 2020).

O acúmulo de contaminantes orgânicos e inorgânicos no ambiente aquático leva conseqüentemente à contaminação dos peixes nas esferas hematológica, histológica e histopatológica (Saviato et al., 2023). Além disso, alterações morfológicas que por sua vez podem prejudicar populações de invertebrados e vertebrados, especialmente em grupos de vendedores (Niva et al., 2021). Da mesma forma, a poluição causada pelo próprio organismo seja pela alta densidade ou pela má circulação ou renovação da água, promovendo o acúmulo de

amônia e nitrito (Anthe et al., 2020). Compõem suas funções fisiológicas e histopatológicas, com maior impacto nos processos respiratórios e homeostáticos (Jourdan et al., 2023). Isso também é observado no cultivo em tanques-rede, onde a densidade de contaminantes ambientais aliada à alta densidade promovem alterações fisiológicas e histológicas negativas (Barros et al., 2020).

Apesar das lesões causadas por medicamentos ou poluentes, os peixes apresentam boa saúde fisiológica, hematológica e histopatológica quando cessa o contato com a infecção (Johann et al., 2022). Portanto, estudos e medidas de recuperação de populações locais de organismos são outra ferramenta importante para compreender a sinergia entre biota, insumos poluentes e recuperação ambiental (Spurgeon et al., 2022). E, mesmo com a rápida recuperação de muitos eventos poluentes acumulados, naturais ou artificiais, o estudo hematológico por si só é sensível para mensurá-los (Lima et al., 2023). Desta forma, torna-se uma ferramenta irrefutável de monitoramento e controle térmico no ambiente aquático (Gil et al., 2023). Esses estudos são mais incisivos, principalmente com a utilização e análise de espécies bioindicativas e biomarcadas (Silva et al., 2020).

Porém, existem muitos animais utilizados como indicadores de produtos nocivos, dos quais os mais comuns são animais de laboratório, estimulando em ambientes controlados e registrando parâmetros de qualidade (Saviato et al., 2025). Esses animais não ficam expostos ao ambiente, podendo observar determinados eventos, com aplicação de produto tóxico (Tian et al., 2022). Dessa forma, o uso de camundongos também proporciona reflexões sobre a toxicidade de alguns elementos, mesmo que pequenos, como [...] mesmo em baixas concentrações, os efeitos à saúde e ao meio ambiente [...] (Pasetto, 2018). Mas para análises ambientais é necessário levar para o laboratório a substância ou o que se deseja experimentar, pois esses animais não podem estar livres (Bart et al., 2023).

A utilização de organismos como indicadores de toxicidade ambiental é importante para obter resultados mais próximos da realidade e que os contaminantes e seus efeitos possam ser efetivamente identificados (Du et al., 2020). Em estudo sobre a absorção da microcistina pelo bagaço de açúcar, o autor faz uso da *Daphnia magna*, que é amplamente distribuída em estudos laboratoriais e ecotoxicológicos de microstáceas, embora não seja fácil de ser encontrada nas águas do norte do Brasil pertencentes à região amazônica. (Wlodkovic et al., 2022b).

Tanto os estudos *in situ* quanto os estudos laboratoriais em exames apresentam muitas variáveis, positivas e negativas (Jager, 2020). Em primeiro lugar, embora existam inúmeras variáveis mensuráveis ou difíceis de detectar, elas são importantes para compreender os efeitos nas comunidades biológicas, e os efeitos totais dos diferentes poluentes (Carere et al., 2022). Porém, o trabalho laboratorial pressupõe a detecção de efeitos específicos, retirando as demais variáveis, mas não corresponde a efeitos no ambiente (Oginah et al., 2023).

Segundo isso, o estudo da ecotoxicologia aquática deve ter como objetivo avaliar todas as estações, sejam elas secas ou chuvosas, para que o real impacto ecotoxicológico possa ser efetivamente demonstrado como um todo (Bello et al., 2021). Pois, “as chuvas, além das diferentes características das águas dos rios, atuam como agente de aumento do impacto”, demonstrando assim que os eventos climáticos podem promover alterações prejudiciais à biota aquática, se somadas à poluição ambiental (Queiroz et al., 2017).

Para estes, pode-se afirmar que os peixes teleósteos são bons indicadores ambientais, principalmente pelo fato de refletirem atividades antrópicas no ambiente aquático (Aher et al., 2020). As mudanças podem ser feitas através da mineração ou do despejo de rejeitos de mineração, da degradação das matas ciliares ou mesmo do despejo de efluentes em rios e lagos. Diante dos dados acima e de um estudo no rio Paraíba do Sul, existe uma grande possibilidade de extinção de espécies endêmicas locais antes mesmo de serem identificadas e/ou estudadas biologicamente (Kuhn et al., 2021). Portanto, é urgente estudar a ictiofauna nesta região e em regiões que sofrem influência humana (Al-Tohamy et al., 2022).

Esses fatos nos dão uma visão muito profunda de como o meio ambiente afeta a saúde e o crescimento dos peixes na Amazônia, trazendo uma compreensão mais rica das complexas relações deste ecossistema (Oliveira et al., 2022). Segundo Bernegossi et al. (2017), nos mostra, o estudo dos peixes destaca o papel do ambiente e da alimentação no desenvolvimento do organismo. Ele investiga para observar que, embora a quantidade de oxigênio na água não pareça impactar as condições do corpo, a presença de poluentes manifesta efeitos significativos no crescimento desses animais (Santos et al., 2023).

Pesquisa de Moraes et al. (2022), com *Oreochromis niloticus*, destaca a vulnerabilidade dos peixes à infecção, os efeitos nocivos na produção de sa expondo a pele e órgãos vitais após exposição ao malatão. Respostas complexas em *Gymnotus inequilibrium*, conforme observado por Carvalho et al. (2022), sublinhando a importância de considerar as diferenças entre os animais recolhidos na natureza e nas explorações agrícolas, indica a necessidade de diferentes abordagens para compreender plenamente os impactos ambientais.

Da mesma forma, a consideração de Vo & Pham (2021) sobre a amostragem em estudos específicos destaca a importância de uma análise mais ampla, considerando diferentes espécies e grupos para compreender com precisão os efeitos dos poluentes. À medida que as análises hematológicas em peixes estão emergindo como ferramentas vitais para compreender a função corporal e as mudanças devido à degradação ambiental, conforme demonstrado por Maloney et al. (2023). A sensibilidade de uma espécie como *O. niloticus* à atividade parasitária, aliada à degradação ambiental, fortalece o papel dos indicadores mais valiosos (Shiroma et al., 2021).

Lizama et al. (2020) e Merey et al. (2021) lembram a necessidade de distinguir as diferenças nas células sanguíneas entre as diferentes espécies de peixes, destacando a importância de abordagens específicas para cada uma. A integração dos estudos ecológicos com as análises hematológicas e hepatológicas, citadas por esses autores, nos dá uma visão mais completa das interações entre os eventos tóxicos e seus efeitos nas comunidades pesqueiras (Saviato et al., 2023).

No entanto, em estudo de Santana et al. (2020) com *Centropomus parallelus*, é destacada a sensibilidade desses animais a poluentes orgânicos por curtos períodos, evidenciando a eficácia das análises hematológicas, histopatológicas e da análise de micronúcleos para indicar efeitos deletérios. Considerando *C. parallelus* como uma “espécie vigia”, enfatiza-se seu papel crucial como indicador de mudanças ambientais (Valavanidis & Vlachogianni, 2021).

Resultados morfológicos e diamétricos das células hepáticas, conforme Bebiano et al. (2022), nos fornecem uma compreensão significativa dos danos causados por substâncias tóxicas, destacando a incrível capacidade adaptativa do fígado para manter a estabilidade sob exposição aguda. Essas descobertas contribuem para uma compreensão mais completa dos impactos ambientais sobre os peixes e para a conservação dos ecossistemas aquáticos (Ribeiro et al., 2022).

## Discussão

Diversos estudos têm explorado a ecotoxicologia aquática, com ênfase nas análises hematológicas em peixes como bioindicadores ambientais. No entanto, persistem lacunas importantes a serem discutidas, tanto no que diz respeito às limitações das pesquisas anteriores quanto à necessidade de aprofundamento na relação entre os dados apresentados e as conclusões extraídas.

As pesquisas revisadas apresentam limitações metodológicas significativas que precisam ser consideradas. Em muitos estudos, os experimentos laboratoriais são realizados em condições controladas que nem sempre refletem os impactos ecotoxicológicos em ambientes naturais (Jager et al., 2020; Oginah et al., 2023). Além disso, a maioria das investigações foca em espécies de peixes amplamente utilizadas, como *Oreochromis niloticus*, deixando de lado a variabilidade interespecie e os efeitos potenciais em organismos menos estudados (Shiroma et al., 2021; Lizama et al., 2020).

Outro ponto relevante é a falta de padronização nos protocolos de análise hematológica, dificultando a comparação entre estudos e a formulação de modelos de previsão ambiental mais robustos (Mendes et al., 2022; Maloney et al., 2023). Muitas vezes, as pesquisas também deixam de considerar fatores sazonais e climáticos que influenciam diretamente a toxicidade dos poluentes e as respostas fisiológicas dos organismos aquáticos (Bello et al., 2021).

Embora o presente estudo tenha destacado a importância das análises hematológicas para o monitoramento ambiental, a relação entre os resultados levantados e as conclusões tiradas poderia ser mais bem delineada. Os dados indicam alterações hematológicas significativas em peixes expostos a poluentes, como pesticidas e metais pesados, mas a interpretação dos efeitos de longo prazo ainda carece de maior exploração (Saviato et al., 2023; Ribeiro et al., 2022).

A integração de dados histopatológicos e hematológicos poderia fortalecer o entendimento sobre os mecanismos subjacentes da toxicidade ambiental (Santana et al., 2020; Bebiano et al., 2022). Por exemplo, estudos recentes indicam que peixes submetidos a estressores ambientais apresentam alterações simultâneas na morfologia hepática e na composição sanguínea, sugerindo um impacto sistêmico dos contaminantes (Carvalho et al., 2022).

Diante das limitações identificadas, pesquisas futuras devem buscar abordagens mais holísticas e interdisciplinares. A aplicação de biomarcadores mais sensíveis, combinada com técnicas modernas de bioinformática e modelagem ecotoxicológica, pode fornecer insights mais precisos sobre os impactos ambientais (Khan et al., 2022; Lahr et al., 2023).

Além disso, estudos de longo prazo, que avaliem impactos acumulativos da poluição em populações aquáticas, são essenciais para estabelecer padrões de qualidade ambiental mais eficazes (García-Fernández,

2020; Spurgeon et al., 2022). Dessa forma, a ecotoxicologia aquática poderá contribuir de maneira mais assertiva para a formulação de políticas públicas voltadas à conservação dos ecossistemas hídricos.

## Considerações Finais

Deste modo, a partir dos dados levantados, o uso de biomarcadores hematológicos e histológicos em peixes se consolida como uma abordagem eficiente para avaliar os impactos ecotoxicológicos da contaminação hídrica. Sendo possível inferir que a qualidade da água afeta diretamente a saúde da ictiofauna, reforçando sua importância como ferramenta de monitoramento ambiental. Por outro lado, a integração entre diferentes técnicas analíticas amplia a precisão das avaliações, fornecendo subsídios fundamentais para a gestão dos ecossistemas aquáticos. Sendo que, a adoção de medidas regulatórias mais rigorosas e o investimento em pesquisas científicas são essenciais para reduzir os impactos da poluição sobre os organismos aquáticos. Portanto, o aprimoramento dessas técnicas de monitoramento, aliado à implementação de estratégias sustentáveis, contribuirá significativamente para a conservação dos recursos hídricos e para a segurança ambiental a longo prazo.

## Agradecimentos

Gostaria de expressar minha gratidão a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste estudo. Gostaria de agradecer especialmente aos parceiros que tornaram possível a realização e obtenção dos dados de campo. E à CAPES, por promover e facilitar os estudos e recursos bibliográficos, por meio de sua plataforma.

## Referências

- Aher, R.B., Khan, K. & Roy, K. (2020). A brief introduction to quantitative structure-activity relationships as useful tools in predictive ecotoxicology. In K. Roy (Ed.), *Ecotoxicological QSARs* (pp. 1-25). Methods in Pharmacology and Toxicology. Humana. [https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0150-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0150-1_2)
- Albert, S. & Bloem, E. (2023). Ecotoxicological methods to evaluate the toxicity of bio-based fertilizer application to agricultural soils: A review. *Science of The Total Environment*, 879, 163076. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163076>
- Albuquerque, F.P., Oliveira, J.L., Moschini-Carlos, V. & Fraceto, L.F. (2020). An overview of the potential impacts of atrazine in aquatic environments: Perspectives for tailored solutions based on nanotechnology. *Science of The Total Environment*, 700, 134868. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.134868>
- Albuquerque, M.V.C., Oliveira, E.M.A., Silva, R.M.P., Cavalcante, M. R. & Monteiro, B. S. B. (2023). Cianobactérias e seus efeitos deletérios: Implicações de monitoramento, tratamento e saúde pública. *Revista FOCO*, 16(9), e3061. <https://doi.org/10.5935/rfoco.v16i9.3061>
- Al-Tohamy, R., Ali, S.S., Li, F., Okasha, K.M., Mahmoud, Y.A.G., Elsamahy, T., ... & Sun, J. (2022). A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: Ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 231, 113160. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113160>
- Anderson, J. & Prosser, R.S. (2023). Potential risk to aquatic biota from aerial application of firefighting water additives. *Environmental Pollution*, 316, 120651. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.120651>
- Anthe, M., Valles-Ebeling, B., Achtenhagen, J., Arenz-Leufen, M., Atkinson, J., Starp, M. & Corsing, C. (2020). Development of an aquatic exposure assessment model for Imidacloprid in sewage treatment plant discharges arising from use of veterinary medicinal products. *Environmental Sciences Europe*, 32(1), 1-21. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00324-7>
- Astuto, M.C., Di Nicola, M. R., Tarazona, J. V., Rortais, A., Devos, Y., Liem, A.D., ... & Dorne, J. L. C. (2022). In silico methods for environmental risk assessment: Principles, tiered approaches, applications, and future perspectives. In *In Silico Methods for Predicting Drug Toxicity* (pp. 589-636). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0166-2\\_23](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0166-2_23)
- Barros, R.P., Sousa, N.F., Scotti, L. & Scotti, M.T. (2020). Use of machine learning and classical QSAR methods in computational ecotoxicology. In K. Roy (Ed.), *Ecotoxicological QSARs* (pp. 151-175). SpringerLink.



- Bart, S., Jager, T., Short, S., Robinson, A., Sleep, D., Pereira, M.G., ... & Ashauer, R. (2023). Modelling the effects of the pyrethroid insecticide cypermethrin on the life cycle of the soil dwelling annelid *Enchytraeus crypticus*: An original experimental design to calibrate a DEB-TKTD model. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 250, 114499. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114499>
- Batista, L.F., Monte, C.N., Correa, E.S., Nascimento, T.S.R. & Costa, I. (2022). Avaliação da qualidade da água superficial em uma microbacia periurbana do município de Santarém, PA. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 13(2), 117-133. <https://doi.org/10.53354/riaca.v13i2.134>
- Bebiano, M.J., Rocha, T.L., Pinheiro, J.P., Teixeira, M.R. & Cassio, F. (2022). Ecosafety of nanomaterials in the aquatic environment. In M. A. Williams (Ed.), *Toxicology of nanoparticles and nanomaterials in human, terrestrial and aquatic systems* (pp. 19-57). Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1002/9781119735725.ch2>
- Bebiano, M.J., Rocha, T.L., Pontes, J.F., Amaral, A.C. & Grenha, A. (2021). Potential ecotoxicological risk of nanopharmaceuticals in the aquatic environment. *Nanopharmaceuticals: Principles and Applications*, 2(1), 289-317. <https://doi.org/10.1016/j.nanoph.2021.01.004>
- Belden, J. (2022). Introduction to ecotoxicology. In C. Pope & J. Liu (Eds.), *An introduction to interdisciplinary toxicology: From molecules to man* (pp. 381-393). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820647-9.00031-9>
- Bello, A.S., Zouari, N., Da'Ana, D.A., Hahladakis, J.N. & Al-Ghouti, M.A. (2021). An overview of brine management: Emerging desalination technologies, life cycle assessment, and metal recovery methodologies. *Journal of Environmental Management*, 288, 112358-112365. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112358>
- Bidwell, J.R. (2020). In vivo ecotoxicology models. In C. Pope & J. Liu (Eds.), *An introduction to interdisciplinary toxicology: From molecules to man* (pp. 507-523). Academic Press.
- Bláha, L. & Hofman, J. (2020). Ecotoxicology of environmental pollutants. In *Advanced nano-bio technologies for water and soil treatment* (pp. 549-572). <https://doi.org/10.1016/j.nanotox.2020.03.007>
- Blázquez, M., Andreu-Sánchez, O., Ballesteros, A., Fernández-Cruz, M. L., Fito, C., Gómez-Ganau, S., ... & Benfenati, E. (2021). Computational tools for the assessment and substitution of biocidal active substances of ecotoxicological concern: The LIFE-COMBASE project. In K. Roy (Ed.), *Chemometrics and cheminformatics in aquatic toxicology* (pp. 527-546). Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1002/9781119628054.ch25>
- Boros, B. V. & Ostafe, V. (2020). Evaluation of ecotoxicology assessment methods of nanomaterials and their effects. *Nanomaterials*, 10(4), 610-628. <https://doi.org/10.3390/nano10040610>
- Brazão, C. C., Kraczy, R. O., Dutra, F. M., Oliveira, A. P., Silva, R. I. & Ballester, E. L. C. (2021). Combined and isolated effects of ammonia and nitrite on Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) juveniles. *Aquaculture*, 533, 736204. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736204>
- Brazão, C. C., Kraczy, R. O., Dutra, F. M., Rodrigues, M. C. G. & Ballester, E. L. C. (2022). Combined effect of ammonia and nitrite for *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) and *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879) post-larvae. *Aquaculture*, 551, 737880. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.737880>
- Brezonik, P. L., King, S. O. & Mach, C. E. (2020). The influence of water chemistry on trace metal bioavailability and toxicity to aquatic organisms. In *Metal ecotoxicology: Concepts and applications* (pp. 1-31). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780367863462>
- Carere, M., Lacchetti, I. & Mancini, L. (2022). Replacement strategies in fish ecotoxicology. In I. De Angelis, L. Ricceri, & A. Vitale (Eds.), *Innovative replacement methods at the Istituto Superiore di Sanità in the spirit of the 3Rs principle* (pp. 22-44). Rapporti ISTISAN.
- Carson, R. (1962). *Silent Spring*. Houghton Mifflin. In *Silent Spring & Other Writings* (1st ed.). Mariner Books.
- Carvalho, T. L. A. B., Nascimento, A. A., Gomes, I. D. & Araújo, F. G. (2022). Histological changes in fish hepatopancreas and kidney as indicators of environmental quality in tropical bays. *Environmental Biology of Fishes*, 105(7), 917-931. <https://doi.org/10.1007/s10641-022-01297-7>
- Casado, L. R. B., Peduto, T. D. A. G., Benassi, R. F. & Jesus, T. A. (2020). Avaliação fitotóxica dos sedimentos do reservatório Rio Grande pertencente ao complexo Billings, São Paulo – SP. In *XIV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos* (pp. 1-8). Campinas/SP, 9 a 13 de Novembro.
- Catarino, A. I., Patsiou, D., Summers, S., Everaert, G., Henry, T. B. & Gutierrez, T. (2023). Challenges and recommendations in experimentation and risk assessment of nanoplastics in aquatic organisms. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 167, 117262. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117262>

- Celente, G. S., Colares, G. S., Araújo, P. S., Machado, Ê. L. & Lobo, E. A. (2020). Acute ecotoxicity and genotoxicity assessment of two wastewater treatment units. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(1), 10520-10527. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09406-0>
- Ceschin, S., Bellini, A. & Scalici, M. (2021). Aquatic plants and ecotoxicological assessment in freshwater ecosystems: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 4975-4988. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11111-3>
- Chen, S., Sun, G., Fan, T., Li, F., Xu, Y., Zhang, N., ... & Zhong, R. (2023). Ecotoxicological QSAR study of fused/non-fused polycyclic aromatic hydrocarbons (FNPAHs): Assessment and priority ranking of the acute toxicity to *Pimephales promelas* by QSAR and consensus modeling methods. *Science of The Total Environment*, 876, 162736. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162736>
- Costa, B. F. D. & Roche, K. F. (2020). Toxicidade aguda em área urbana da microbacia do córrego Água Boa (MS). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 25(1), 31-39. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020000100004>
- Cruz, C., Júnior, W. R. C., Pereira, P. C., Garlich, N., Della Vechia, J. F. & Carvalho, L. B. (2021). Ecotoxicologia dos herbicidas: Aplicações e dinâmica ambiental. In A. A. M. Barroso & A. T. Murata (Eds.), *Matologia: Estudos sobre plantas daninhas* (pp. 450). Fábrica da Palavra.
- Disner, G. R., Silva, L. F. O. & Kitamura, R. S. A. (2022). Toxicologia ambiental: Abordagens sobre a qualidade do meio ambiente. Universidade Federal do ABC. *X Semana da Biologia UFABC* (Edição de Marcela Brasil de Castro Godinho, Andrea Cristhiane Martins Martini, Felipe Nascimento Tavares & Simone Rodrigues Freitas). Universidade Federal do ABC.
- Du, J., Zhang, Y., Yin, Y., Zhang, J., Ma, H., Li, K. & Wan, N. (2020). Do environmental concentrations of zinc oxide nanoparticle pose ecotoxicological risk to aquatic fungi associated with leaf litter decomposition? *Water Research*, 178, 115840. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115840>
- Duarte, M. J. C. N., Ventura, H. C. B., Serafim, H. F., Miranda, L. S. & Rocha, A. C. D. R. (2022). Avaliação ecotoxicológica de efluentes industriais em sementes de alface (*Lactuca Sativa* L.). In *1º Congresso Brasileiro de Ciências e Saberes Multidisciplinares: Tudo é Ciência: do Big Bang ao Metaverso* (Vol. 10, n. 1, pp. 1-8). Volta Redonda/RJ.
- Eddy, N. O., Odiongenyi, A., Garg, R., Ukpe, R. A., Garg, R., Chimaogoko, E. & Ogodo, R. (2023). Ecotoxicological aspects of nanotechnology. *Nanotechnology for Sustainable Agriculture, Food and Environment*, 1(1), 211-223. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2023.01.017>
- Esimbekova, E. N., Torgashina, I. G., Kalyabina, V. P. & Kratasyuk, V. A. (2021). Enzymatic biotesting: Scientific basis and application. *Contemporary Problems of Ecology*, 14(3), 290-304. <https://doi.org/10.1134/S1995425521030112>
- Fahd, F., Veitch, B. & Khan, F. (2020). Risk assessment of Arctic aquatic species using ecotoxicological biomarkers and Bayesian network. *Marine Pollution Bulletin*, 156, 111212. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111212>
- Fiedler, S., Wünnemann, H., Hofmann, I., Theobalt, N., Feuchtinger, A., Walch, A., ... & Blutek, A. (2020). A practical guide to unbiased quantitative morphological analyses of the gills of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in ecotoxicological studies. *PLOS ONE*, 15(12), e0243462. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243462>
- Ford, A. T., Ågerstrand, M., Brooks, B. W., Allen, J., Bertram, M. G., Brodin, T., ... & Maack, G. (2021). The role of behavioral ecotoxicology in environmental protection. *Environmental Science & Technology*, 55(9), 5620-5628. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c01099>
- Gambardella, C. & Pinsino, A. (2022). Nanomaterial ecotoxicology in the terrestrial and aquatic environment: A systematic review. *Toxics*, 10(7), 393-405. <https://doi.org/10.3390/toxics10070393>
- Gandra, C. V., Guimarães, L. L., Santos, A. R., Cortez, F. S. & Pusceddu, F. H. (2020). Caracterização físico-química, microbiológica e ecotoxicológica das águas pluviais do sistema de drenagem urbana de Santos (São Paulo, Brasil). *Research, Society and Development*, 9(12), e18091210739. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i12.10739>
- García-Fernández, A. J. (2020). Ecotoxicological risk assessment in the context of different EU regulations. In K. Roy (Ed.), *Ecotoxicological QSARs* (pp. 3-25). SpringerLink. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-46315-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-46315-1_1)
- Garralaga, M. P., Lomba, L., Leal-Duaso, A., Garcia-Barberán, S., Pires, E., Giner, B. (2022). Ecotoxicological study of bio-based deep eutectic solvents formed by glycerol derivatives in two aquatic biomodels. *Green Chemistry*, 24(13), 5228-5241. <https://doi.org/10.1039/D2GC01367A>

- Gil, J., Dias, P. D. S., Bompadre, T., de Queiroz, J. F., Jonsson, C., de Castro, V. L. S. S. & Ishikawa, M. (2023). Avaliação dos parâmetros hematológicos do *Astyanax altiparanae* (Garutti & Britski, 2000) expostos a diferentes concentrações de triclosan. In Congresso Brasileiro de Aquicultura e Biologia Aquática, Anais Eletrônicos *Aquabio* (pp. 1-8). Florianópolis: UFSC.
- Gosset, A., Polomé, P. & Perrodin, Y. (2020). Ecotoxicological risk assessment of micropollutants from treated urban wastewater effluents for watercourses at a territorial scale: Application and comparison of two approaches. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 224, 113437. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113437>
- Gross, E. M. (2022). Aquatic chemical ecology meets ecotoxicology. *Aquatic Ecology*, 56(2), 493-511. <https://doi.org/10.1007/s10452-021-09883-3>
- Henke, A. N., Chilukuri, S., Langan, L. M. & Brooks, B. W. (2023). Reporting and reproducibility: Proteomics of fish models in environmental toxicology and ecotoxicology. *Science of The Total Environment*, 168455, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168455>
- Jager, T. (2020). Revisiting simplified DEBtox models for analysing ecotoxicity data. *Ecological Modelling*, 416, 108904-108919. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108904>
- Jager, T., Goussen, B. & Gergs, A. (2023). Using the standard DEB animal model for toxicokinetic-toxicodynamic analysis. *Ecological Modelling*, 475, 110187, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110187>
- Jagiello, K., Judzinska, B., Sosnowska, A., Lynch, I., Halappanavar, S. & Puzyn, T. (2022). Using AOP-Wiki to support the ecotoxicological risk assessment of nanomaterials: First steps in the development of novel adverse outcome pathways. *Environmental Science: Nano*, 9(5), 1675-1684. <https://doi.org/10.1039/d2en00048d>
- Johann, S., Weichert, F. G., Schröer, L., Stratemann, L., Kämpfer, C., Seiler, T. B., ... & Hollert, H. (2022). A plea for the integration of Green Toxicology in sustainable bioeconomy strategies—Biosurfactants and microgel-based pesticide release systems as examples. *Journal of Hazardous Materials*, 426, 127800, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127800>
- Jourdan, J., Bundschuh, M., Copilas-Ciocianu, D., Fišer, C., Grabowski, M., Hupalo, K., ... & Oehlmann, J. (2023). Cryptic species in ecotoxicology. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 42(9), 1889-1914. <https://doi.org/10.1002/etc.5439>
- Kar, S., Sanderson, H., Roy, K., Benfenati, E., Leszczynski, J. (2020). Ecotoxicological assessment of pharmaceuticals and personal care products using predictive toxicology approaches. *Green Chemistry*, 22(5), 1458-1516. <https://doi.org/10.1039/d0gc00417b>
- Khan, F. R., Catarino, A. I. & Clark, N. J. (2022). The ecotoxicological consequences of microplastics and co-contaminants in aquatic organisms: A mini-review. *Emerging Topics in Life Sciences*, 6(4), 339-348. <https://doi.org/10.1042/ETLS20220029>
- Khan, K. & Roy, K. (2022). Ecotoxicological risk assessment of organic compounds against various aquatic and terrestrial species: Application of interspecies i-QSTTR and species sensitivity distribution techniques. *Green Chemistry*, 24(5), 2160-2178. <https://doi.org/10.1039/d2gc01318e>
- Koba-Ucun, O., Ölmez Hanci, T., Arslan-Alaton, I., Arefi-Oskoui, S., Khataee, A., Kobya, M. & Orooji, Y. (2021). Toxicity of Zn-Fe layered double hydroxide to different organisms in the aquatic environment. *Molecules*, 26(2), 395-415. <https://doi.org/10.3390/molecules26020395>
- Krawczyk, A. C. D. D. B., Silva, M. D. M., Rosa, J., Gemelli, E., Ribeiro, M. O., Bettim, F. L. & Assis, H. C. D. S. (2023). Meio ambiente: Alterações antrópicas no leito de rios e efluentes urbanos podem promover efeitos ecotoxicológicos na ictiofauna e de saúde pública, um estudo de caso. *Saúde e Meio Ambiente: Revista Interdisciplinar*, 12(1), 279-291. <https://doi.org/10.15668/sma.12.01.279>
- Kuhn, E. C., Jacques, M. T., Teixeira, D., Meyer, S., Gralha, T., Roehrs, R., ... & Ávila, D. S. (2021). Ecotoxicological assessment of Uruguay River and affluents pre- and post-pesticides' application using *Caenorhabditis elegans* for biomonitoring. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 21730-21741. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11689-0>
- Lahr, J., Arts, G., Duquesne, S., Mazerolles, V., Jong, F., Moermond, C., ... & Pieper, S. (2023). Proposal of critical appraisal tools for the evaluation of ecotoxicology studies. *EFSA Supporting Publications*, 20(3), 7787E, 1-12. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2023.7787e>
- Langan, L. M., Paparella, M., Burden, N., Constantine, L., Margiotta-Casalucci, L., Miler, T. H., ... & Sikanen, T. (2023). Big question to developing solutions: A decade of progress in the development of aquatic new approach

- methodologies from 2012 to 2022. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1(1), 1-16. <https://doi.org/10.1002/etc.5287>
- Lemos, G. S., Souza, M. S., Aleixo, N. D. V. S., Lima, E. N. & Cotta, J. A. O. (2020). Ensaios ecotoxicológicos com Eisenia fétida para avaliação de áreas supostamente contaminadas com derivados de petróleo no município de João Monlevade/MG. *Research, Society and Development*, 9(6), e115963025-e115963025. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i6.963025>
- Li, F., Wang, X. & Teng, Y. (2024). QSAR models in marine ecotoxicology and risk assessment. In H. Hong (Ed.), *Safety Evaluation and Risk Assessment* (pp. 523-532). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814227-3.00033-X>
- Lima, T. A., Pimentel, S. C. R., Soares, M. P., Guimarães, V. A. A. C., Queiroz, J. F. & Ishikawa, M. M. (2023). Avaliação de biomarcadores hematológicos em Tilápia mantida em diferentes sistemas de aquários experimentais. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 21(10), 16044-16060. <https://doi.org/10.18335/oel.v21i10.4125>
- Lizama, M., Cagni, G. & Zavaski, F. (2020). Análise histórica sobre a hematologia em peixes no Brasil: Estudo quali/quantitativo. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Jandaia-GO*, 17(34), 258-270. <https://doi.org/10.20873/jandaia.17.34.258>
- Lopes, R. M., Hauser-Davis, R. A., Oliveira, M. M., Pierini, M. F., Souza, C. A. M., Cavalcante, A. L. M., ... & Tinoca, L. A. F. (2020). Principles of problem-based learning for training and professional practice in ecotoxicology. *Science of The Total Environment*, 702, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135036>
- Luan, X., Liu, X., Fang, C., Chu, W. & Xu, Z. (2020). Ecotoxicological effects of disinfected wastewater effluents: A short review of in vivo toxicity bioassays on aquatic organisms. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 6(9), 2275-2286. <https://doi.org/10.1039/d0ew00711f>
- Maloney, E. M., Villeneuve, D. L., Blackwell, B. R., Vitense, K., Corsi, S. R., Pronschinske, M. A., ... & Ankley, G. T. (2023). A framework for prioritizing contaminants in retrospective ecological assessments: Application in the Milwaukee Estuary (Milwaukee, WI). *Integrated Environmental Assessment and Management*, 19(5), 1276-1296. <https://doi.org/10.1002/ieam.4770>
- Mendes, B., Ferreira, J., Jonsson, C., Assalin, M. & Queiroz, S. D. N. (2022). Avaliação ecotoxicológica de nanoformulações em microcrustáceo bioindicador para uso na piscicultura. In *Anais do 16º Congresso Interinstitucional de Iniciativa Científica – 30 a 31 de agosto de 2022, Campinas/SP*. Instituto Agrônomo. Evento online. CIIC 2022. Nº 22401.
- Merey, F. M., Melo, M. P., Crispim, B. A., Francisco, L. F. V., Viana, L. F., Maran, N. H., ... & Barufatti, A. (2021). Potencial citotóxico, genotóxico e mutagênico de águas subterrâneas localizadas no Mato Grosso do Sul, Brasil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(8), 222-231. <https://doi.org/10.5998/2176-9155.2021.12.8.222>
- Mocová, K. A., Roztočilová, H. & Mariaková, D. (2022). Ecotoxicological assessment of recycled aggregate and concrete via aquatic biotests. *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, 38(1), 672-677. <https://doi.org/10.14311/APP.2022.38.672>
- Moraes, A. C., Orlando, E. A., Rosa Prado, E. J., Carvalho, A. C. C., Machado-Neto, J. G., Simionato, A. V. C., ... & Andrade Belo, M. A. (2022). Ecotoxicological assessment of amoxicillin trihydrate: Stability, solubility, and acute toxicity for *Oreochromis niloticus*, *Lemna minor*, and *Daphnia magna*. *Cleaner Chemical Engineering*, 1(1), 100005-100016. <https://doi.org/10.1016/j.cce.2022.100005>
- Moreira, R. A., Raújo, C. V., Pinto, T. J. S., Silva, L. C. M., Goulart, B. V., Viana, N. P., ... & Espindola, E. L. G. (2021). Fipronil and 2, 4-D effects on tropical fish: Could avoidance response be explained by changes in swimming behavior and neurotransmission impairments? *Chemosphere*, 263, 127972, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127972>
- Nadal, T. M. & Lourenço, S. S. (2022). Ecotoxicologia aquática: Da teoria à prática—rotina diária em um laboratório de ecotoxicologia. *Caderno Intersaberes*, 11(35), 126-141.
- Nagalli, A., Martins, L. R. R., Pagioro, T. A., Schroh, M. R. & Moraes, D. (2020). Gestão ambiental de rodovias: Avaliação do potencial ecotoxicológico do material fresado de pavimentos asfálticos. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 7(15), 83-95. <https://doi.org/10.5935/2237-8501.20200015>
- Niva, C. C., Segat, J. C., Baretta, D., Maluche, C. R. D., Oliveira, M. I. L., Fialho, A. R., ... & Martins, É. S. (2021). Avaliação ecotoxicológica de fertilizantes de rocha de silicato com uso de invertebrados de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 56(Y), 01454, 1-12. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x202100010001>

- Oginah, S. A., Posthuma, L., Hauschild, M., Slootweg, J., Kosnik, M. & Fantke, P. (2023). To split or not to split: Characterizing chemical pollution impacts in aquatic ecosystems with species sensitivity distributions for specific taxonomic groups. *Environmental Science & Technology*, 57(39), 14526-14538. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c01742>
- Oliveira, F. G. & Baldan, L. T. (2022). *Fundamentos de Ecotoxicologia*. Palotina – UFPR. 19p.
- Oliveira, T. J. M., Silva, B. G. H., Sousa, P. E., Souza, A. C. M., Nascimento, V. R., Nogueira, G. A. S., ... & Araújo, D. G. (2022). Análise univariada e multivariada nos efeitos ecotoxicológicos do Cromo na germinação de sementes de *Parkia pendula* (WILLD.) Walp. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 13(12), 1-12. <https://doi.org/10.5998/2176-9155.2022.13.12.1>
- Oliveira, T. M. N., Kleine, T. & Vaz, C. (2020). *Toxicologia Aquática com Microcrustáceos*. Editora Appris.
- Pasetto, M. C. (2018). *Efeitos do consumo de água da Lagoa Emboaba (Osório, RS, Brasil) sobre o metabolismo de ratos*. Monografia apresentada para o título de Bacharel em Ciências Biológicas com ênfase em Biologia Marinha e Costeira na UFRS, 40p.
- Pereira, G., Riero, M., Lajmanovich, R. C. & Maneyro, R. (2024). Acute toxicity and genotoxicity of the S-metolachlor-based herbicide Dual Gold® on *Leptodactylus luctator* (Hudson, 1892) tadpoles (Anura: Leptodactylidae). *Limnetica*, 43(2), 112-124. <https://doi.org/10.23818/limn.43.2.16>
- Pham, K., Ho, L., D'Incal, C. P., De Cock, A., Berghe, W. V. & Goethals, P. (2023). Epigenetic analytical approaches in ecotoxicological aquatic research. *Environmental Pollution*, 330, 121737, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121737>
- Queiroz, L. G. & Silva, D. C. V. R. (2021). Mesocosmos como modelo experimental na avaliação da ecotoxicidade aquática. In D. C. V. R. Silva, L. G. Queiroz, L. E. T. Thans, R. J. Marassi, & M. L. M. Pompeo (Eds.), *RECURSO ÁGUA - Tecnologias e pesquisas para o uso e a conservação de ecossistemas aquáticos* (Vol. 1, pp. 35-59). Editora Cubo.
- Queiroz, L. G., Silva, F. T. & Paiva, T. C. B. (2017). Caracterização estacional das variáveis físicas, químicas, biológicas e ecotoxicológicas em um trecho do Rio Paraíba do Sul, SP, Brasil. *Revista Ambiental Água*, 12(2), 1-11. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1975>
- Ribeiro, O. M., Pinto, M. Q., Félix, L., Monteiro, S. M., Fontainhas-Fernandes, A. & Carrola, J. S. (2022). O peixe-zebra (*Danio rerio*) como modelo emergente na ecotoxicologia. *Revista de Ciência Elementar*, 10(2), 1–21.
- Rodrigues, A. J. A., Tejada Mesa, K. & Condori, K. O. V. (2023). Evaluación ecotoxicológica de sedimentos en un tramo urbano y periurbano del río Chili en Arequipa (Perú), utilizando bioindicadores acuáticos. In C. S. Costa, M. Menezes, M. Pallares-Barbera, G. Pastor, E. P. Rocha, & K. O. V. Condori (Eds.), *Rios urbanos na Ibero-América: Casos, contextos e experiências* (Vol. 6, pp. 3254). Series culture & territory.
- Rodrigues, V. D., Cassimiro, G. D., Ogura, A. P., Paro, R. M. S. & Moreira, R. A. (2022). Construindo conceitos de ecotoxicologia no ensino básico: Experimentos com plantas. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, 17(2), 64–77.
- Rosner, A., Ballarin, L., Barnay Verdier, S., Borisenko, I., Drago, L., Drobne, D., ... & Cambier, S. (2024). A broad-taxa approach as an important concept in ecotoxicological studies and pollution monitoring. *Biological Reviews*, 99(1), 131–176.
- Roy, K. (2020). *Ecotoxicological QSARs*. Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature.
- Salomão, A. L. S., Hauser-Davis, R. A. & Marques, M. (2020). Critical knowledge gaps and relevant variables requiring consideration when performing aquatic ecotoxicity assays. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 203, 110941. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110941>
- Santana, L. M. B. M., Abreu, F. E. L. & Abessa, D. M. (2020). Piscine micronucleus assay and the evidence of environmental degradation: The case of catfish from Brazilian tropical estuaries. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 3(4), 3369–3394.
- Santos, J. P., Almeida, S. D. J. M., Costa, C. C., Ferreira, A. N. S., Teixeira, E. G., Guimarães, E. C., ... & Carvalho-Neta, R. N. F. (2023). Alterações na motilidade espermática do peixe amazônico Tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816) (Characiformes: Serrasalminidae) exposto a dois pesticidas. *Biota Neotropica*, 23, e20221471. <https://doi.org/10.1590/1676-0603.24327>
- Saviato, M. Jr., Guimarães Junior, J. C. & Lima, J. D. (2022a). Poluição e suas relações com as alterações histológicas em *Salminus hilarii* Valenciennes, 1850. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, 2(12), 157–195.

- Saviato, M. Jr., Guimarães Junior, J. C. & Lima, J. D. (2022b). The impact of urbanization and domestic waste on a small watercourse in the eastern Amazon basin. *Research, Society and Development*, 11(12), e40311932137. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i12.19321>
- Saviato, M. Jr., Guimarães-Junior, J. C. & Lima, J. D. (2023). Hematology of *Salminus hilarii* and considerations on the pollution of the Cerrado rivers. *ActaPEsca*, 11(1), 9–26.
- Saviato, M. Jr., Sassi, V.B., Cunha, M.M., Sassi, E.A.B., Guimarães-Junior, J.C. & Lima, J.D. (2021). Hematology of *Astyanax novae* Eigenmann, 1911 (Characidae: Stethaprioninae) in Neblina stream, Eastern Amazon, Brazil. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, 15(11), 198–215.
- Saviato, M.Jr., Guimarães-Júnior, J.C. & Lima, J.D. (2025). *Salminus hilarii*, as a biological indicator in the Brazilian Cerrado. *ActaPesca*, 22, 112-123. <https://doi.org/10.46732/Actafish.22.112-123>
- Schuijt, L.M., Pebg, F J., Van den Berg, S.J., Dingemans, M.M. & Van den Brink, P.J. (2021). (Eco) toxicological tests for assessing impacts of chemical stress to aquatic ecosystems: Facts, challenges, and future. *Science of the Total Environment*, 795, 148776. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148776>
- Schür, C., Gasser, L., Perez-Cruz, F., Schirmer, K. & Baity-Jesi, M. (2023). A benchmark dataset for machine learning in ecotoxicology. *Scientific Data*, 10(1), 718–725. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-01709-w>
- Shiroma, L.S., Bottoli, C.B.G., Jonsson, C.M. & Queiroz, S.C. (2021). Exposure of tilapia (*Oreochromis niloticus*) to the antibiotic florfenicol in water: Determination of the bioconcentration factor and the withdrawal period. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 39026–39034. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13629-0>
- Silva, E.M., Gomes, N.A., Nascimento, S.C., Nobrega, B.M.D.A., Melo, M.C. & Monteiro, V.E.D. (2022a). Ecotoxicological responses of *Daphnia magna* and *Eisenia andrei* in landfill leachate. *Ecotoxicology*, 31(8), 1299–1309. <https://doi.org/10.1007/s10646-022-02596-5>
- Silva, H.C.M., Carvalho, A.P.C., Gomes, A.L.S., Artoni, R.F. & Matoso, D.A. (2022b). Impact of trichlorfon organophosphate use in pisciculture: A review. *Studies in Environmental and Animal Sciences*, 3(3), 571–595.
- Silva, L.M. (2023). Impactos dos detergentes no meio ambiente: Evidências de um estudo ecotoxicológico. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 9(2), 1429–1441. <https://doi.org/10.21162/riahce.2023.002>
- Silva, R., Serrão, J. & Pereira, R. (2021). Do abstrato ao concreto na problemática dos microplásticos: Ensaios laboratoriais simples com recurso a kits comerciais. *Revista Captar: Ciência e Ambiente para Todos: Toxicologia e Química Ambiental*, 1(1), 1–14. <https://doi.org/10.15771/rcaptar.2021.001>
- Silva, S.A., Mariano, W.S. & Paulino, M.G. (2020). Variáveis hematológicas de *Oreochromis niloticus* como biomarcadores de efeitos para a exposição subletal aguda ao pesticida à base de *Bacillus thuringiensis*. *DESAFIOS-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, 7(Especial), 208–215.
- Singla, A., Sankar, K.M. & Singh, Y. (2020). Ecotoxicology: Methods and risks. In O. V. Karissova, L. M. Torres-Martínez, & B.I. Kharisov (Eds.), *Handbook of nanomaterials and nanocomposites for energy and environmental applications* (pp. 3373–3391).
- Siqueira, F. J. D., Rodrigues, L. H. R. & Silva, M. C. D. A. (2023). Biomarcadores para avaliação de alterações da qualidade ambiental de ecossistemas aquáticos. In *Anais do 25º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos* (Aracaju). Porto Alegre: ABRHidro.
- Smith, K. E. & Jeong, Y. (2021). Passive sampling and dosing of aquatic organic contaminant mixtures for ecotoxicological analyses. *Environmental Science & Technology*, 55(14), 9538–9547. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c02175>
- Soares, R.R., Lima, G.G., Cotrim, C.F.C., Bailão, E F.L.C. & Almeida, L.M. (2022). Potencial tóxico das águas superficiais de rio localizados em área de intensa atividade agrícola. *Revista Agrotecnologia*, 13(1), 64–78.
- Spurgeon, D.J., Lahive, E., Schultz, C. & Svendsen, C. (2022). Soil nano-ecotoxicology: What have we learned from standard tests and what may we be missing? In *Toxicology of nanoparticles and nanomaterials in human, terrestrial, and aquatic systems* (pp. 121–145).
- Spurgeon, D., Lahive, E., Robinson, A., Short, S. & Kille, P. (2020). Species sensitivity to toxic substances: Evolution, ecology, and applications. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 588380. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.588380>

- Tian, X., Jiang, H., Hu, L., Wang, M., Cui, W., Shi, J., ... & Jiang, G. (2022). Simultaneous multi-element and multi-isotope detection in single-particle ICP-MS analysis: Principles and applications. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 157, 116746. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2022.116746>
- Tornisielo, V. L., Vilca, F. Z., Guimarães, A. C. D. & Mendes, K. F. (2023). Contaminantes orgânicos: Da análise à biorremediação. *Digitaliza Conteúdo*. Piracicaba: FAELQ. 197p.
- Valavanidis, A. & Vlachogianni, T. (2021). Wildlife ecotoxicological studies: Ecotoxicology of chemical pollutants with ecological risk assessment principles in sensitive ecosystems. *Chem-Tox-Ecotox.org/ScientificReviews*, 22(3), 1–14.
- Vasseur, P., Masfaraud, J.F. & Blaise, C. (2021). Ecotoxicology, revisiting its pioneers. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 3852–3857. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10398-9>
- Vo, H. C. & Pham, M. H. (2021). Ecotoxicological effects of microplastics on aquatic organisms: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 44716–44725. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14672-y>
- Voigt, M. & Jaeger, M. (2024). In silico and in vivo ecotoxicity - QSAR-based predictions and experimental assays for the aquatic environment. In *Safety evaluation and risk assessment* (pp. 495–509). 785p.
- Wang, Y., Li, Q., Yun, X., Zhou, J. & Wang, J. (2020). A review on the ecotoxicological effects of heavy metals on aquatic organisms. *Journal of the Earth Sciences and Environmental Studies*, 6(2), 148–161.
- Włodkovic, D., Bownik, A., Leitner, C., Stengel, D. & Braunbeck, T. (2022a). Beyond the behavioural phenotype: Uncovering mechanistic foundations in aquatic eco-neurotoxicology. *Science of the Total Environment*, 829, 154584. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154584>
- Włodkovic, D., Czerw, A., Karakiewicz, B. & Deptala, A. (2022b). Recent progress in cytometric technologies and their applications in ecotoxicology and environmental risk assessment. *Cytometry Part A*, 101(3), 203–219. <https://doi.org/10.1002/cyto.a.24477>
- Zielińska, A., Carreiro, F., Oliveira, A.M., Neves, A., Pires, B., Venkatesh, D.N., ... & Souto, E. B. (2020). Polymeric nanoparticles: Production, characterization, toxicology, and ecotoxicology. *Molecules*, 25(16), 3731–3742. <https://doi.org/10.3390/molecules25163731>

#### Como citar o Artigo:

Saviato, M.Jr., Guimarães-Júnior, J.C. & Couto, C.C. (2025). Do rio ao laboratório: a análise hematológica como chave para o monitoramento da poluição aquática. *Actapesca*, 23, 40-54.