

## *Estudos de ecotoxicidade aquática no Brasil: o uso de peixes de vida livre como organismos-teste*

O Brasil abriga uma grande diversidade de organismos aquáticos e nas últimas décadas estes ecossistemas vem sofrendo grandes impactos causados pela ação antrópica e pelo lançamento de contaminantes. Os peixes são amplamente utilizados como modelo biológico em ensaios de toxicidade aquática. Apesar da riqueza encontrada no Brasil, as espécies padronizadas, para estes ensaios são em grande parte exóticas. Este estudo teve como objetivo avaliar por meio de um levantamento bibliográfico realizado nas bases de dados Web of Science, Scopus e CAB Direct, o uso de organismos aquáticos (peixes) de vida livre e não padronizados, como organismos-teste em testes de toxicidade aquática conduzidos no Brasil entre os anos de 2017 e 2021. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 85 artigos foram selecionados. Para as avaliações de toxicidade, os estudos utilizaram 39 espécies de peixes de vida livre. Este censo mostrou que, atualmente diversos estudos têm empregado espécies nativas e endêmicas do Brasil como organismos-teste em ensaios de ecotoxicidade aquática, demonstrando assim, o potencial dessas espécies como modelos biológicos úteis na avaliação da toxicidade de diferentes substâncias químicas, o que as reforça como potenciais indicadores da qualidade e saúde dos ecossistemas aquáticos brasileiros, tendo em vista o importante papel que desempenham nesses ambientes.

**Palavras-chave:** Teste de toxicidade; Diversidade brasileira; Peixes nativos; Modelos biológicos.

## *Aquatic ecotoxicity studies in Brazil: the use of free-living fish as test organisms*

Aquatic species in Brazil come in a wide variety, but in recent decades, human activity and the release of toxins have severely harmed these ecosystems. Fish are widely used as a biological model in aquatic toxicity assays. Despite the richness found in Brazil, the standardized species for these trials are largely exotic. This study aimed to evaluate, through a bibliographic survey carried out in the Web of Science, Scopus, and CAB Direct databases, the use of free-living and non-standard aquatic organisms (fish) as test organisms in aquatic toxicity tests conducted in Brazil from 2017-2021. After applying the inclusion and exclusion criteria, 85 articles were selected. For toxicity assessments, the studies used 39 species of free-ranging fish. This census showed that, currently, several studies have used native and endemic species of Brazil as test organisms in aquatic ecotoxicity tests. Given the significant roles that these species play in these environments, they have the potential to be useful as biological models in the assessment of the toxicity of various chemical substances. This strengthens their potential as potential indicators of the quality and health of Brazilian aquatic ecosystems.


**Keywords:** Toxicity test; Brazilian diversity; Native fish; Biological models.


Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**


Received: **15/10/2022**


Approved: **26/10/2022**


Reviewed anonymously in the process of blind peer.


**Osléias Ferreira Aguiar**   
Universidade Federal do Oeste do Pará,  
Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7785093675148132>  
<http://orcid.org/0000-0002-9948-8354>  
[leiasmantas@gmail.com](mailto:leiasmantas@gmail.com)


**Lúrian Sâmia de Lacerda Ferreira**   
Universidade Federal do Oeste do Pará,  
Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/0244835187340289>  
<http://orcid.org/0000-0001-7732-8520>  
[lurianslf@hotmail.com](mailto:lurianslf@hotmail.com)

**Amanda Carolina Pedro dos Santos**   
Universidade Federal do Oeste do Pará,  
Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/9076494308334541>  
<http://orcid.org/0000-0001-8774-2979>  
[amandacarolinapedro@gmail.com](mailto:amandacarolinapedro@gmail.com)

**Joseph Simões Ribeiro**   
Universidade Federal do Oeste do Pará,  
Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/1888011247908339>  
<http://orcid.org/0000-0001-9715-816X>  
[josephribeiro@hotmail.com](mailto:josephribeiro@hotmail.com)


**Lucinewton Silva de Moura**   
Universidade Federal do Oeste do Pará,  
Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2577499231565227>  
<http://orcid.org/0000-0002-9266-946X>  
[lucinewton.moura@yahoo.com.br](mailto:lucinewton.moura@yahoo.com.br)

**Paulo Sérgio Taube Júnior**   
Universidade Federal do Oeste do Pará,  
Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/9036985941582601>  
<http://orcid.org/0000-0001-5786-7615>  
[psjunior@yahoo.com.br](mailto:psjunior@yahoo.com.br)

**Maxwell Barbosa de Santana**   
Universidade Federal do Oeste do Pará,  
Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5049355107877753>  
<http://orcid.org/0000-0001-7725-0970>  
[barbosadesantana@gmail.com](mailto:barbosadesantana@gmail.com)

**Kashif Gul**   
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/1170960035681245>  
<http://orcid.org/0000-0002-9678-457X>  
[kashifpkh@uop.edu.pk](mailto:kashifpkh@uop.edu.pk)

**Sumeet Malik**   
Universidade Federal do Oeste do Pará,  
Brasil  
<http://orcid.org/0000-0002-7937-0869>  
[sumeetmalik1995@gmail.com](mailto:sumeetmalik1995@gmail.com)

**Ruy Bessa Lopes**   
Universidade Federal do Oeste do Pará,  
Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4195469692527946>  
<http://orcid.org/0000-0002-4806-8835>  
[ruybessa@yahoo.com.br](mailto:ruybessa@yahoo.com.br)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.010.0018

### Referencing this:

AGUIAR, O. F.; FERREIRA, L. S. L.; SANTOS, A. C. P.; RIBEIRO, J. S.; MOURA, L. S.; TAUBE JÚNIOR, P. S.; SANTANA, M. B.; GUL, K.; MALIK, S.; LOPES, R. B. Estudos de ecotoxicidade aquática no Brasil: o uso de peixes de vida livre como organismos-teste. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.10, p.224-246, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.010.0018>

## INTRODUÇÃO

Reconhecidamente os ensaios ecotoxicológicos ou bioensaios são capazes de responder preditivamente, ao demonstrar o mecanismo de ação dos toxicantes a partir das respostas de modelos biológicos apropriados, podem auxiliar na detecção da toxicidade presente em ambientes já alterados (BARCELÓ et al., 2020; MAGALHÃES et al., 2008).

Diversos autores têm utilizado bioensaios para avaliar a toxicidade de uma grande diversidade de xenobióticos, demonstrando mais uma vez a importância dos estudos ecotoxicológicos e de seus instrumentos, na análise do grau de contaminação, bioacumulação, associação de moléculas, além de seus efeitos sobre a biota que reside no ambiente aquático (ZHANG et al., 2021; WEBER et al., 2019; ALE et al., 2018). Os corpos hídricos têm sofrido um impacto cada vez maior devido a contínua emissão de substâncias químicas, seja por meio de processos de fluxo, lixiviação e pulverização ou lançamento direto, onde se misturam ou apenas ficam armazenadas (SOUZA et al., 2020a; NSIBANDE et al., 2016).

A Bacia Amazônica, abriga uma biodiversidade filogenética e funcional inquestionável (JÉZÉQUEL et al., 2020), abrigando cerca de 15% de todas as espécies de peixes de água doce já descritas no mundo (TICKNER et al., 2020; TEDESCO et al., 2017). Diversos estudos já foram realizados empregando espécies de vida livre e naturais de ecossistemas brasileiros em testes de ecotoxicidade, demonstrando assim, o potencial dessas espécies tropicais para uso como organismo-teste em pesquisas (SOUZA et al., 2020b; LACERDA et al., 2020; SILVA et al., 2019; VIEIRA et al., 2018).

Conhecer as respostas de espécies endêmicas quando expostas aos mais diversos contaminantes é muito importante, porque dessa forma, poderão contribuir como indicadoras ou sentinelas, úteis na avaliação da qualidade ambiental, sendo empregadas como instrumentos para a conservação e proteção da biodiversidade local/regional (ALMEIDA et al., 2021b; LEHUN et al., 2021; QUEIROZ et al., 2021; VIANA et al., 2018a; ALMEIDA et al., 2018).

No Brasil, os protocolos de testes de toxicidade, assim como a validação dos organismos utilizados nos testes de toxicidade são normatizados e regularizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), auxiliada de perto pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Outras entidades ambientais internacionais como, Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), Environmental Protection Agency dos Estados Unidos (US EPA), Office of Chemical Safety and Pollution Prevention (OCSPP), American Society for Testing and Materials (ASTM), International Organization for Standardization (ISO) e Environment Canada também trabalham na elaboração de diretrizes aplicáveis na avaliação e proteção de ecossistemas (MAGALHÃES et al., 2008; COSTA et al., 2008).

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo reunir e avaliar por meio de um levantamento bibliográfico o uso de peixes de vida livre, como organismo-teste em ensaios ecotoxicológicos no Brasil nos últimos cinco anos.

## METODOLOGIA

### Critérios de busca pelo estado da arte

A busca por referências baseou-se em artigos publicados entre os anos de 2017 e 2021 em três bancos de dados: Web of Science, Scopus e CAB Direct. Foram utilizados os seguintes descritores em português: “teste de toxicidade” e “avaliação de toxicidade” e “ensaios toxicológicos” e “peixes” ou “toxicity test” e “toxicity assessment” e “toxicological assay” e “fishes” em inglês. Empregou-se os operadores booleanos “AND” e “OR”.

Os critérios de inclusão foram: artigos completos em português e/ou inglês, em que foram realizados ensaios/testes de toxicidade empregando espécies de peixes de vida livre, não padronizadas como organismos-teste, publicados entre os anos de 2017 e 2021, país: Brasil. Os critérios de exclusão foram: artigos que utilizaram outros organismos para as avaliações de toxicidade (que não peixes); artigos que utilizaram peixes como organismo sentinela na avaliação da toxicidade de locais impactados, artigos que utilizaram espécies de peixes padronizadas como organismo-teste, artigos de revisão, estudos de caso, capítulo de livros, dissertações de mestrado e teses de doutorado (literatura cinza), artigos duplicados e publicações anteriores ao ano de 2017.

Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 85 artigos foram selecionados, analisados e tabulados no programa Microsoft® Excel® 2013, quanto ao autor e ano, natureza do teste, tipo de amostra avaliada, espécie empregada, biometria e estágio de vida.

## DISCUSSÃO TEÓRICA

### Organismos padronizados versus organismos de vida livre

Bioensaios realizados em laboratório ou *in situ* são usados para determinar as concentrações previstas sem efeito, de acordo com a legislação que controla a entrada de novos produtos químicos no meio ambiente (KORI et al., 2019). Para otimizar a reprodutibilidade de métodos padronizados, órgãos oficiais recomendam o uso de cepas de organismos de laboratório, no entanto, manter as populações em laboratório leva a um empobrecimento genético (VOELKL et al., 2020), um dado a ser considerado ao extrapolar respostas produzidas por cepas de laboratório para populações de vida livre, nesse aspecto, o uso de organismos selvagens/nativos surge como uma boa alternativa, que leva em consideração a variabilidade genética e melhora o valor ecológico das avaliações de risco (BERTHET, 2015; TRIQUET, 2015).

Há uma quantidade limitada de informações disponíveis sobre os efeitos tóxicos de substâncias químicas para espécies de vida livre e, de água doce, o que torna as respostas toxicológicas destas espécies pouco compreendidas (LANGIANO et al., 2008), e devido à grande limitação de espécies nativas validadas, muitos estudos de toxicidade utilizam organismos aquáticos padronizados, que em alguns casos pertencem a um ambiente totalmente diferente daquele estudado, gerando um problema muito relevante quando se considera as diferenças regionais (LAITANO et al., 2008; JORGE e MOREIRA, 2005) especialmente aquelas

encontradas em áreas tropicais, como no Brasil.

Segundo Baird et al. (2007) a avaliação de impactos ambientais, deve basear-se em estudos com espécies que representem de forma coerente as características do ambiente em questão, porque dessa forma, se minimiza os erros advindos de uma possível não adaptação ou mesmo decorrentes das influências bióticas ou abióticas sobre o organismo, impedindo-o de manifestar uma resposta que represente somente a ação do contaminante.

O uso de espécies nativas deve ser amplamente considerado ao se planejar um estudo que envolva testes com organismos aquáticos em regiões tropicais e subtropicais, pois além de aumentar a relevância do estudo, diminui custos e dificulta a introdução de espécies exóticas, integrando aspectos ecológicos aos resultados (GODOY et al., 2019; KRULL et al., 2012; FREITAS et al., 2011). Pesquisas dessa natureza também são importantes para garantir ou incentivar a proteção da ictiofauna local e dos serviços ecossistêmicos que ela fornece (GOLIN et al., 2022).

### **Ensaio de ecotoxicidade aquática com peixes**

Os peixes ocupam os mais diversos ambientes dentro dos ecossistemas aquáticos, fazem parte da dieta em muitos países e, em vários outros, são a fonte majoritária de proteína da população (LACERDA et al., 2020; LEMOS et al., 2007).

Destacam-se como sistemas modelos para avaliação da toxicidade aquática porque ocupam diferentes níveis tróficos e exibem diferenças de comportamento entre as populações; são também bioconcentradores que metabolizam contaminantes químicos e são sensíveis a baixas concentrações de substâncias tóxicas (KAHLON et al., 2018; ROCHA et al., 2009; LEMOS et al., 2007). Além disso, possuem semelhança fisiológica com modelos tradicionais, como roedores e mamíferos (KAWASAKY et al., 2021), apresentam também baixo custo de manutenção e alta fecundidade (PLANCHART et al., 2016).

Em ensaios ecotoxicológicos, fragmentos de diferentes tecidos de peixes, órgãos, alterações hematológicas ou enzimáticas são também usados para determinar o grau de bioacumulação de poluentes ou para fornecer informações sobre os efeitos tóxicos de substâncias, efluentes, águas e sedimentos contaminados (GEORGIEVA et al., 2021).

Como modelo biológico possuem boas respostas a micropoluentes, que podem ser expressas em mudanças comportamentais ou em alterações de parâmetros bioquímicos e fisiológicos, estas respostas, quando reconhecidas a tempo e de forma correta podem servir como biomarcadores da poluição ambiental, evitando assim, consequências deletérias à comunidade aquática (FREIRE et al., 2015; ARIAS et al., 2008).

Muitas espécies, especialmente as padronizadas são empregadas em diferentes áreas da investigação biológica: patologias humanas, veterinárias, toxicologia ambiental, em estudos de seleção sexual, evolução, genética, endocrinologia, neurociências, neurofarmacologia, imunologia, ecologia, comportamento, entre outros. A escolha destes organismos como modelo biológico ocorre principalmente, porque são fáceis de manter e reproduzir em condições de laboratório, e também devido a estrutura

filogenética bem conhecida destas espécies (SAFIAN et al., 2021; KAITO et al., 2020; ZHANG et al., 2020; HONG et al., 2019; DEMIN et al., 2019; CAGAN et al., 2019; BLANCO et al., 2018; MEYERS, 2018).

Dentre as espécies padronizadas, se destacam como organismo-teste, *Danio rerio*, uma espécie nativa do sul da Ásia (SHUKLA et al., 2017), mundialmente utilizado em pesquisas nos mais variados campos, incluindo a toxicologia, essa popularidade não é uma coincidência, pois trata-se de uma espécie de peixes pequenos, comprimento máximo 3.8 cm (forma adulta) (FROESE et al., 2021), de fácil aquisição e manutenção, reprodução prolífica durante todo o ano e o desenvolvimento externo transparente (MEYERS, 2018), além disso, compartilham um alto grau de similaridade genética com os humanos (SREELEKSHMI et al., 2022; HOWE et al., 2013).

Outros teleósteos, como, *Oryzias latipes*, de origem e distribuição no continente asiático; *Gobiocypris rarus*, espécie nativa da China; *Pimephales promelas*, de ampla distribuição geográfica em ecossistemas dulcícolas na América do Norte e Central; *Cyprinus carpio*, um ciprinídeo de água doce, que se distribui da Europa a Ásia (FROESE et al., 2021; HAO et al., 2021). *Carassius auratus*, uma espécie de água doce temperada, encontrado dentro e ao redor do continente euro-asiático e *Poecilia reticulata*, amplamente distribuída na América do Sul, inclusive no Norte do Brasil (TRIGUEIRO et al., 2021; FROESE et al., 2021; SALAKO et al., 2020; DAL PONT et al., 2019; PARRINO et al., 2018; SANTOS et al., 2017a; ZHELEV et al., 2016), destacam-se como organismos-teste, recomendados por órgãos internacionais (OECD, 2019; US EPA, 2016) e são amplamente utilizados como modelo biológico em testes de toxicidade aquática e avaliação de segurança química (VELÁZQUEZ et al., 2020; HONG et al., 2019), assim como outras espécies de peixes conforme mostra a Tabela 1.

**Tabela 1:** Espécies de peixes indicadas para uso como organismos-teste em ensaios de toxicidade pelos diferentes países e seus órgãos de controle, destacando as espécies de água doce, água salgada e marinha e os tipos de testes em que são empregadas.

Espécie (peixe)	Teste	Órgão de padronização
<i>Danio rerio</i> , <i>Pimephales promelas</i>	Toxicidade aguda	NBR: 15088; ABNT, 2022
Larvas ( <i>Danio rerio</i> , <i>Pimephales promelas</i> )	Toxicidade crônica de curta duração	NBR:15499; ABNT, 2022
Estágios embrionários ( <i>Danio rerio</i> )	Teste de Toxicidade Aguda com Embriões de Peixe (FET)	OECD, 2013
<i>Danio rerio</i> , <i>Pimephales promelas</i> , <i>Cyprinus carpio</i> , <i>Oryzias latipes</i> , <i>Poecilia reticulata</i> , <i>Lepomis macrochirus</i> , <i>Oncorhynchus mykiss</i> , <i>Gasterosteus aculeatus</i> , <i>Cyprinodon variegatus</i> , <i>Dicentrarchus labrax</i> e <i>Pagrus major</i> .	Toxicidade aguda	OECD, 2019
<b>Espécies de água doce:</b> <i>Salmo salar</i> , <i>Lepomis macrochirus</i> , <i>Salvelinus fontinalis</i> , <i>Ictalurus punctatus</i> , <i>Oncorhynchus kisutch</i> , <i>Cyprinus carpio</i> , <i>Pimephales promelas</i> , <i>Poecilia reticulata</i> , <i>Oncorhynchus mykiss</i> , <i>Oryzias latipes</i> e <i>Danio rerio</i> .	Toxicidade aguda	US EPA, 2016
<b>Espécies de água salgada:</b> <i>Menidia menidia</i> , <i>Menidia beryllina</i> , <i>Menidia peninsulae</i> e <i>Cyprinodon variegatus</i> .	Toxicidade aguda	US EPA, 2016
<b>Espécies de água doce:</b> <i>Oncorhynchus kisutch</i> , <i>Oncorhynchus mykiss</i> , <i>Salvelinus fontinalis</i> , <i>Carassius auratus</i> , <i>Pimephales promelas</i> , <i>Ictalurus punctatus</i> , <i>Lepomis macrochirus</i> , <i>Lepomis cyanellus</i> .	Toxicidade aguda	ASTM, 2014

**Espécies de água salgada:** *Cyprinodon variegatus*, *Fundulus heteroclitus*, *Fundulus similis*, *Menidia sp.*, *Gasterosteus aculeatus*, *Lagodon rhomboides*, *Leiostomus xanthurus*, *Cymatogaster aggregata*, *Oligocottus maculosus*, *Citharichthys stigmæus*, *Paralichthys dentatus*, *P. lethostigma*, *Platichthys stellatus*, *Parophrys vetulus*, *Clupea harengus*.

*Danio rerio*

Toxicidade aguda ASTM, 2014

Toxicidade aguda (método estático, semi-estático e fluxo contínuo) ISO 7346-1: 1994; 7346-2: 1996, 7346-3:1996

*Oncorhynchus mykiss*

Toxicidade subletal a longo prazo ISO 10229:1994

*Oncorhynchus mykiss*

Toxicidade aguda ENVIRONMENT CANADA, 2000

*Oncorhynchus mykiss*

Teste de toxicidade usando estágios iniciais de vida ENVIRONMENT CANADA, 1998

*Pimephales promelas*

Teste de Crescimento Larval e Sobrevivência ENVIRONMENT CANADA, 2011

**Espécie marinha:**

*Gasterosteus aculeatus*

Toxicidade aguda ENVIRONMENT CANADA, 2017

## Desenho e validação de novas espécies de peixes como organismos-teste

Como observado, nas últimas décadas, diversos são os fatores que ameaçam a diversidade aquática do Brasil, dentre eles, a expansão dos grandes centros urbanos e industriais, assim como o crescimento populacional associado à atividades humanas, incluindo, construções de hidrelétricas (MONAGHAN et al., 2020; RIBEIRO et al., 2017), desmatamento (ARANTES et al., 2018), atividades de mineração (AZEVEDO et al., 2021), uso intensivo de pesticidas na agricultura (GUIDA et al., 2018), substâncias químicas para controle de vetores de doenças endêmicas, como a malária, dengue, chikungunya e zika (SOUZA et al., 2020b), assim como o lançamento frequente de lixo, resíduos ou efluentes não tratados (BRRETO et al., 2020; ROCHA et al., 2018). Os efeitos dessas atividades tem afetado direta ou indiretamente os corpos hídricos e os organismos aquáticos, especialmente os amazônicos (ROJAS et al., 2018).

Pelo fato de algumas espécies padronizadas não serem nativas da América do Sul, como o *Danio rerio*, por exemplo, se levanta a questão da importância do uso de espécies de vida livre, nativas ou endêmicas do Brasil para avaliar como a exposição a produtos químicos afeta essas espécies, dessa forma, novos teleósteos comuns nas águas sul-americanas surgem como modelos animais para inovar a pesquisa, nas mais variadas áreas, incluindo a toxicologia ambiental, pois representam as condições bioecológicas regionais, melhor refletindo a sensibilidade das espécies locais (YOUSEFI et al., 2020; SOUZA et al., 2019).

Considerando a riquíssima biodiversidade, a grande variedade de ecossistemas aquáticos no Brasil (JÉZÉQUEL et al., 2020; MARTINS et al., 2011), e a importância de espécies adaptadas às condições específicas desses ambientes (CALDAS et al., 2021), diversas espécies de vida livre, endêmicas ou não, têm sido empregadas como organismos-teste em avaliações de toxicidade (Tabela 2), no entanto, há a necessidade de padronização, ou desenvolvimento de protocolos para uso dessas espécies, visto que há algumas características e atributos que elas precisam reunir. Segundo Rand et al. (1985) a escolha do organismo-teste para o uso em testes de ecotoxicidade deve estar fundada em alguns critérios, como abundância e

disponibilidade; cosmopolitismo da espécie; significância ecológica; sazonalidade; conhecimento da biologia, fisiologia; hábitos alimentares; estabilidade genética; uniformidade de suas populações; sensibilidade constante e apurada; seletividade elevada, importância comercial; facilidade de cultivo em ambiente controlado; e se possível a espécie deve ser natural da região de estudo.

Sobre a diversidade aquática brasileira, em se tratando de peixes, algumas espécies apresentam inúmeras vantagens como modelo biológico, porém, são espécies restritas, ou endêmicas de uma região específica (CARVALHO et al., 2019) dificultando o cultivo e manutenção fora de seu ambiente natural. Há também a questão da falta de dados sobre determinadas espécies, levando a lacunas sobre sua filogenia, ecologia, fisiologia, biologia ou exigências reprodutivas (ANTONELLI et al., 2018), implicando em dificuldades relacionadas a sobrevivência e desenvolvimento em laboratório. Estas são condições que se constituem em impedimentos na padronização de diversas espécies de vida livre como organismo-teste para uso em ensaios de toxicidade aquática (RAND et al., 1985).

Contudo, há espécies, dentre aquelas de vida livre que já foram amplamente utilizadas nas mais diversas áreas de pesquisas e se apresentam como modelos promissores, visto que possuem tamanho corporal adequado, são fáceis de cultivar e manter em ambiente controlado, são resistentes a doenças e infecções, possuem importância ecológica e econômica, além disso, há dados sobre a sensibilidade destas espécies para diversas substâncias químicas (SILVA et al., 2020a; FERNANDES et al., 2019; CRÉMAZY et al., 2019; MAIA et al., 2019; SANTOS et al., 2019; SOARES et al., 2016).

Nos estudos selecionados, foram utilizadas 39 diferentes espécies de peixes de vida livre, nativas ou endêmicas do Brasil, como organismos-teste em estudos de ecotoxicidade (Tabela 2).

**Tabela 2:** Estudos selecionados em três bancos de dados: web of Science, Scopus e CAB *Direct* utilizando peixes como modelo biológico em testes de toxicidade entre os anos de 2017 e 2021.

AUTOR (ANO)	NATUREZA DO TESTE (Tempo de exposição)	SUBSTÂNCIA	ESPÉCIE UTILIZADA	BIOMETRIA (Média ± desvio padrão)	ESTÁGIO DE VIDA
Bastos et al. (2017)	Agudo (96h)	Amônia	<i>Brycon amazonicus</i> , <i>Hemigrammus rhodostomus</i> , <i>Hyphessobrycon socolofi</i> , <i>Paracheirodon axelrodi</i> , <i>Paracheirodon simulans</i> , <i>Carnegiella strigata</i> , <i>Colossoma macropomum</i> , <i>Arapaima gigas</i> , <i>Apistogramma agassizii</i> , <i>Astronotus ocellatus</i> , <i>Corydoras schwartzi</i>	0.92 ± 0.05 g, 4.59 ± 0.08 cm; 0.43 ± 0.01 g, 3.65 ± 0.04 cm; 0.54 ± 0.009 g; 3.69 ± 0.03 cm; 0.13 ± 0.005 g, 2.43 ± 0.03 cm; 0.06 ± 0.003 g, 1.73 ± 0.03 cm; 0.35 ± 0.02 g, 3.19 ± 0.05 cm; 3.40 ± 0.16 g, 6.08 ± 0.11 cm; 13.73 ± 0.28 g, 13.78 ± 0.08 cm; 0.5 ± 0.01 g, 2.84 ± 0.04 cm; 9.16 ± 0.16 g, 8.48 ± 0.04 cm; 1.94 ± 0.03 g, 4.68 ± 0.02 cm	Juvenis e adultos
Baloi et al. (2017)	Agudo (96h)	Amônia	<i>Sardinella brasiliensis</i>	1.04 ± 0.20 g	Juvenis
Moura et al. (2017)	Agudo (6-96h)	Herbicida a base de glifosato (Roundup Original®)	Híbrido <i>jundiara</i> ou <i>pintado-da-Amazônia</i> ( <i>Leiarius marmoratus</i> × <i>Pseudoplatystoma reticulatum</i> )	85.0 ± 10.0 g; 18.0 ± 2.0 cm	Juvenis
Albinati et al. (2017)	Agudo (96h) e Crônico (15)	Inseticida Tiametoxam	<i>Lophisilurus alexandri</i>	5.0±0.35g	Alevinos

	dias)				
<b>Meira filho et al. (2017)</b>	Agudo (1h)	Ácido acético	<i>Mugil liza</i>	8.51 ± 1,05 g; 10,36 ± 1,29 cm	Juvenis
<b>Clasen et al. (2017)</b>	Crônico (15 dias)	Composto organotina usado como fungicida agrícola e moluscicida (hidróxido de tripheniltina (TPhTH), também conhecido como hidróxido de fentina)	<i>Rhamdia quelen</i>	107.27 ± 1.21 g; 22.21 ± 1.15 cm	Juvenis
<b>Zebral et al. (2017)</b>	Agudo (48, 72, 96h)	Herbicida á base de glifosato (Roundup Transorb R)	<i>Odontesthes humensis</i>	-	Embrões (6 horas pós fertilização)
<b>Paiva et al. (2017)</b>	Agudo (96h)	Herbicida Atrazina (fórmula comercial)	<i>Piaractus mesopotamicus</i>	-	Alevinos
<b>Medeiros et al. (2017)</b>	Agudo (96h) e Crônico (7dias)	Fração hidrossolúvel do petróleo	<i>Centropomus parallelus</i>	-	Juvenis
<b>Costa et al. (2017)</b>	Agudo (12h)	Substâncias crioprotetoras (1,2-Propanediol (PROP), dimetilsulfóxido (Me2SO4) e glicerol (GLY)) associados a baixas temperaturas	<i>Prochilodus lineatus</i>	-	Embrões (3, 7,5 e 9 horas pós fertilização)
<b>Guiloski et al. (2017)</b>	Crônico (21 dias)	Concentrações ambientalmente relevantes do anti-inflamatório diclofenac	<i>Rhamdia quelen</i>	81.4±4.6 g; 19.8±0.4 cm	Adultos
<b>Sánchez et al. (2017)</b>	Agudo (96h)	Formulações comerciais Roundup (Roundup Original, Roundup Transorb e Roundup WG)	<i>Jenynsia multidentata</i>	Machos: 0.54 ± 0.03 g; 2.90 ± 0.06 cm; fêmeas: 0.69 ± 0.03 g; 3.05 ± 0.05 cm	Adultos
<b>Marcon et al. (2017)</b>	Agudo (96h)	Thiodan um inseticida comercial que consiste em uma mistura de dois isômeros ativos, 70% α-endosulfan e 30% β-endosulfan	<i>Astyanax bimaculatus</i>	11.52 ± 2.0 g; 9.12 ± 0.64 cm	Adultos
<b>Cunha et al. (2017)</b>	Agudo (banhos diários de 1h)	Óleo essencial da folha de <i>mutabilias hyptis</i> , bem como seu principal constituinte, o globulol	<i>Rhamdia quelen</i>	5.3 ± 0.40 g, 5.6 ± 0.30 g; 25 ± 0.50 g	Juvenis
<b>Marchiori et al. (2017)</b>	Agudo (96h)	Peróxido de hidrogênio e dióxido de cloro	<i>Rhamdia quelen</i>	3.96±1.25 g, 8.3±0.88 cm; 1.70±0.68 g, 5.92±0.84 cm	Alevinos
<b>Santos et al. (2017b)</b>	Agudo (96h)	Biosurfactante formulado a partir de uma levedura ( <i>Candida lipolytica</i> )	<i>Poecilia vivipara</i>	-	Não Registrado
<b>Sobjak et al. (2017)</b>	Agudo (12-72h)	Herbicida glifosato	<i>Rhamdia quelen</i>	-	Larvas
<b>Pont et al. (2017)</b>	Agudo (96h)	Cobre	<i>Otocinclus vittatus</i>	0.269 ± 0.041 g; 3.0 ± 0.4 cm	Adultos
<b>Pereira et al. (2017)</b>	Crônico (1 mês e 5 meses)	Água obtida de um lago urbano e detergentes biodegradáveis diluídos	<i>Prochilodus lineatus</i> e <i>Astyanax altiparanae</i>	-	Juvenis e Adultos
<b>Silva et al. (2018a)</b>	Agudo (96h) e crônico (8 dias)	Amônia e nitrito	<i>Lophiosilurus alexandri</i>	33.87 ± 3.16 g; 13.52 ± 0.70 cm	Juvenis
<b>Cunha et al. (2018)</b>	Agudo (96h)	Deltametrina	<i>Colossoma macropomum</i>	9.15 ± 1.49 g; 6.87 ± 1.45 cm	Juvenis
<b>Oliveira et al. (2018a)</b>	Agudo (96h)	Óleo essencial de <i>Lippia origanoides</i>	<i>Colossoma macropomum</i>	139.33 ± 5.52 g; 19.94 ± 0.35 cm	Juvenis
<b>Persch et al. (2018)</b>	Crônico (7 dias)	Roundup (glifosato), Primoleo (atrazina) e Facet (quinclorac)	<i>Rhamdia quelen</i>	>18 cm	Adultos
<b>Vicari et al. (2018)</b>	Agudo (96h)	Nanopartículas de dióxido de titânio (NpTiO2) e chumbo	<i>Hoplias intermedius</i>	11.14 ± 1.361 g; 18.62 ± 5.767 cm	Juvenis
<b>Oliveira et al. (2018b)</b>	Agudo (96h)	Metais (Zn, Mn e Fe)	<i>Prochilodus lineatus</i>	13.8 ± 2.9 g; 11.7 ± 0.98 cm	Juvenis
<b>Tavares et al. (2018)</b>	Agudo (3, 6 e 24h)	Cianotoxinas	<i>Piaractus mesopotamicus</i>	257.5 ± 88.0 g; 22.4 ± 2.5 cm	Juvenis
<b>Carmo et al. (2018)</b>	Agudo (48h) e Crônico (14 dias)	Nanopartículas de dióxido de titânio	<i>Prochilodus lineatus</i>	31.1 ± 0.39 g; 14.4 ± 0.06 cm	Juvenis



	dias)				
Matus et al. (2018)	Agudo (96h)	Paracetamol e propranolol	<i>Phalloceros harpagos</i>	2 ± 0.5 cm	Juvenis
Viana et al. (2018b)	Agudo (72h)	Água de córregos neotropicais do Alto Rio Paraná no Brasil	<i>Astyanax lacustris</i>	47.30 ± 9.36 mm	Juvenis
Silva et al. (2018b)	Crônico (7 e 14 dias)	Cianotoxinas	<i>Hoplias malabaricus</i>	300 - 400 g	Juvenis
Moraes et al. (2018)	Agudo (96h)	Inseticida cipermetrina	<i>Brycon amazonicus</i>	45.8 ± 17.8 g; 15.14 ± 1.78 cm	Juvenis
Vieira et al. (2018)	Crônico (5 dias)	Inseticida imidacloprido	<i>Prochilodus lineatus</i>	23.3 ± 4.7 g; 12.6 ± 0.9 cm;	Juvenis
Duarte et al. (2018)	Agudo (3h)	Água de formação (FoW) um subproduto da produção de petróleo e gás, a altos níveis de Mg, Fe, Mn e Ba separadamente e em combinação com Mg	<i>Hoplosternum litoralle</i>	46.1 ± 3.1 g	Juvenis
Mota et al. (2018)	Agudo (96h)	Nanopartículas de óxido de cobre	<i>Apistogramma agassizii</i> e <i>Paracheirodon axelrodi</i>	0.89 ± 0.07 g; 0.67 ± 0.04 g	Adultos
Alvim et al. (2019)	Agudo (48 e 96h) e Crônico (6 e 8 dias)	Inseticidas lambda-cialotrina e imidacloprido - individuais e em mistura binária	<i>Prochilodus lineatus</i>	34.29 ± 0.47 g; 15.43 ± 0.91 cm	Juvenis
Barbieri et al. (2019)	Agudo (96h)	Nitrogênio amoniacal	<i>Deuterodon iguape</i>	6.5 ± 0.6 g	Adultos
Zebra et al. (2019)	Agudo (96h)	Efeito interativo de diferentes temperaturas e Cobre	<i>Poecilia vivipara</i>	0.33 ± 0.13 g; 3.01 ± 0.35 cm	Adultos
Maia et al. (2019)	Agudo (96h)	Hidrolato de <i>Lippia alba</i>	<i>Colossoma macropomum</i>	1.4 ± 0.5 g; 4.6 ± 0.5 cm	Juvenis
Mocha et al. (2019)	Agudo (96h)	Surfactantes não iônicos de seboamina-polietoxilato	<i>Piaractus brachypomus</i>	5.0 ± 1.5 g; 5.9 ± 0.7 cm	Juvenis
Fernandes et al. (2019)	Agudo (96h)	Cianopeptídeos de duas cepas de <i>Microcystis</i>	<i>Astyanax altiparanae</i>	-	Larvas 2 h após a eclosão
Sánchez et al. (2019)	Agudo (24 e 96h)	Herbicida à base de glifosato (roundup)	<i>Jenynsia multidentata</i>	-	Adultos
Sakuragui et al. (2019)	Agudo (12 e 96h) e Crônico (30 dias)	Cianotoxina	<i>Hoplias malabaricus</i>	236 ± 4.3 g; 26.28 ± 0.16 cm	Juvenis
Martins et al. (2019)	Agudo (48h)	Microcistina	<i>Hoplias malabaricus</i>	146.1 ± 19.2 g	Juvenis
Carmo et al. (2019)	Agudo (48h) e Crônico (14 dias)	Nanopartículas de dióxido de titânio	<i>Prochilodus lineatus</i>	31.1 ± 0.4 g; 14.4 ± 0.1 cm	Juvenis
Anni et al. (2019)	Crônico (28 e 345 dias)	Cloreto de cobre	<i>Poecilia vivipara</i>	6.2 ± 0.1 mg; 8.0 ± 0.1 mm	Peixes recém-nascidos (<24 h)
Santos et al. (2019)	Crônico (60 dias)	Tiroxina, levotiroxina e tiroxina complexadas em ciclodextrina - hormônios	<i>Colossoma macropomum</i>	3.00 ± 0.82 g; 5.84 ± 0.29 cm	Juvenis
Oliveira et al. (2019)	Agudo (24 e 96h) e Crônico (10 dias)	Levamisol e ivermectina	<i>Colossoma macropomum</i>	44.00 ± 13.0 g; 14.2 ± 1.1 cm	Juvenis
Sadauskas-henrique et al. (2019)	Agudo (24h)	Carbono orgânico	<i>Colossoma macropomum</i>	100.5 ± 4.0 g	Juvenis
Silva et al. (2019)	Agudo (96h)	Glifosato (roundup)	<i>Colossoma macropomum</i>	81.10 ± 11.8 g; 15.11 ± 0.30 cm	Juvenis
Crémazy et al. (2019)	Agudo (96h)	Água de dois rios amazônicos com diferentes níveis de sólidos suspensos totais: Rio Negro e o Rio Solimões	<i>Paracheirodon axelrodi</i>	70 ± 6 mg	Juvenis
Ferreira et al. (2019)	Agudo (4h)	Óleo essencial de <i>Mentha piperita</i> (hortelã-pimenta)	<i>Colossoma macropomum</i>	43.83 ± 9.94 g and 13.91 ± 1.07 cm	Juvenis
Neves et al. (2020)	Agudo (12h)	Formalina	<i>Lophiosilurus alexandri</i>	0.021 ± 0.003 g; 13.61 ± 0.78 mm; 0.23 ± 0.03 g; 29.62 ± 1.94 mm; 3.75 ± 0.81 g; 66.61 ± 5.45 mm	Larvas (sete dias após a eclosão) e juvenis (22 e 45 dias após

					a eclosão)
Tesser et al. (2020)	Agudo (96h)	Cloreto de cobre e nanopartículas de cobre	<i>Prochilodus lineatus</i>	14.74 ± 2.75 g; 11.68 ± 0.63 cm	Juvenis
Silva et al. (2020 <sup>a</sup> )	Agudo (96h)	Porção urbana da bacia do córrego das Antas, município de Anápolis, Estado de Goiás, Brasil.	<i>Astyanax lacustris</i>	10.00 ± 1.06 g; 6.98 ± 4.46 cm	Juvenis
Duncan et al. (2020)	Agudo (96h)	Triclorfon	<i>Colossoma macropomum</i>	-	Juvenis
Silva et al. (2020 <sup>b</sup> )	Agudo (96h)	Triclorfom	<i>Colossoma macropomum</i>	13.6 ± 4.3 g; 7.3 ± 0.9 cm	Juvenis
Chaves et al. (2020)	Agudo (96h)	Pesticida à base de deltametrina	<i>Microsternarchus cf. bilineatus</i>	0.89 ± 0.33 g; 6.79 ± 0.90 cm	Adultos
Souza et al. (2020 <sup>c</sup> )	Agudo (96h)	Malathion	<i>Colossoma macropomum</i>	39.26 ± 3.40 g; 12.01 ± 0.41 cm	Juvenis
Jacaúna et al. (2020)	Agudo (96h)	Águas residuais urbanas	<i>Colossoma macropomum</i>	5.00 ± 1.00 g	Juvenis
Souza et al. (2020 <sup>b</sup> )	Agudo (96h)	Deltametrina	<i>Carnegiella strigata</i> , <i>Colossoma macropomum</i> , <i>Corydoras schwartzi</i> , <i>Hemigrammus rhodostomus</i> e <i>Paracheirodon axelrodi</i>	-	Não registrado
Roda et al. (2020)	Agudo (24 e 96h)	Microplásticos de polietileno associado ao cobre	<i>Prochilodus lineatus</i>	25.61 ± 1.17 g; 13.01 ± 0.07 cm	Juvenis
Zebral et al. (2020)	Agudo (96h)	Uma combinação de temperatura elevada e cobre aquoso	<i>Poecilia vivipara</i>	0.33 ± 0.13 g; 3.01 ± 0.35 cm	Adultos
Baldissera et al. (2020)	Agudo (96h)	Cobre	<i>Cichlasoma amazonarum</i>	20.94 ± 4.01 g; 8.14 ± 1.09 cm)	Juvenis
Seixas et al. (2020 <sup>a</sup> )	Agudo (96h)	Produtos nutracêuticos comerciais (Natumix® e BioFish®)	<i>Colossoma macropomum</i>	0.56 ± 0.06 g	Juvenis
Meneses et al. (2020)	Agudo (96h)	Extrato aquoso de <i>Terminalia catappa</i>	<i>Colossoma macropomum</i>	23.05 ± 0.34 g	Juvenis
Seixas et al. (2020 <sup>b</sup> )	Agudo (96h)	Oleorresinas do gênero <i>Copaifera</i>	<i>Colossoma macropomum</i>	0.78 ± 0.3 g	Juvenis
Ferri et al. (2020)	Agudo (96h) e Crônico (14 dias)	Pesticida triclorfom	<i>Gymnotus carapo</i>	68.6 g	Adultos
Barreto et al. (2020)	Agudo (8 e 96 h)	Água de corpo receptor contaminado por efluentes urbanos (Rio Atuba, cidade de Curitiba, Sul do Brasil)	<i>Salminus brasiliensis</i> , <i>Prochilodus lineatus</i> , <i>Rhamdia quelen</i> e <i>Pseudoplatystoma corruscans</i>	-	Embriões (cerca de 8-10 horas após a fertilização)
Silva et al. (2021)	Agudo (72h)	Diflubenzuron (DFB) um inseticida	<i>Piaractus mesopotamicus</i>	34.6 ± 8.7 g; 12.4 ± 1.4 cm	Juvenis
Silva et al. (2021)	Agudo (96h)	Nanopartículas de dióxido de titânio (NPTiO <sub>2</sub> ) e chumbo inorgânico (PbII)	<i>Rhamdia quelen</i>	18.79 ± 5.99 g; 13.86 ± 1.56 cm	Juvenis
Almeida et al. (2021)	Agudo (96h)	Inseticida imidacloprido	<i>Astyanax altiparanae</i> ,	11.46 ± 2.90 g; 9.66 ± 1.03 cm	Juvenis
Blasco et al. (2021)	Agudo (96h)	Roundup Transorb®, um herbicida à base de glifosato	<i>Brycon amazonicus</i>	21.23 ± 3.38 g; 12.32 ± 1.53 cm	Juvenis
Paula et al. (2021)	Agudo (96h)	Cobre	<i>Astyanax altiparanae</i> , <i>Hoplias malabaricus</i>	19.43 ± 0.61 g, 11.27 ± 0.12 cm; 97.80 ± 10.26 g, 18.78 ± 0.64 cm	Juvenis e adultos
Ribeiro et al. (2021)	Crônico (21 dias)	Bisfenol A	<i>Astyanax bimaculatus</i>	-	Adultos
Pinheiro et al. (2021 <sup>a</sup> )	Agudo (96h)	Associação de alumínio em diferentes temperaturas e pH ácido	<i>Astyanax altiparanae</i>	18.73 ± 1.14 g; 10.59 ± 0.21 cm	Adultos
Maciel et al. (2021)	Agudo (0.5, 1.0 and 24 h)	Praziquantel (PZQ): medicamento anti-helmíntico	<i>Colossoma macropomum</i>	32.9 ± 4.7 g; 10.1 ± 0.6 cm	Juvenis
Luz et al. (2021)	Agudo (1h)	Óleo essencial (OE) de <i>Alpinia zerumbet</i>	<i>Colossoma macropomum</i>	42.1 ± 10.6 g; 13.9 ± 1.00 cm	Juvenis
Zuffo et al. (2021)	Agudo (96h)	Amônia	<i>Prochilodus lineatus</i>	1.21 ± 0.27 g; 4.31 ± 0.34 cm	Juvenis
Ventura et al. (2021)	Agudo (4h)	Extrato aquoso de uma planta medicinal ( <i>Serjania erecta</i> )	<i>Piaractus mesopotamicus</i>	38.68 ± 3.00 g; 13.34 ± 1.00 cm	Juvenis
Martins et al. (2021)	Agudo (24h)	Herbicida à base de glifosato (Roundup Transorb®)	<i>Odontesthes humensis</i>	31.4 ± 8.3 g; 16.5 ± 5.3 cm	Adultos

<b>Reis et al. (2021)</b>	Crônico (7 dias)	Antiparasitário amitraz (Triatox®)	<i>Rhamdia quelen</i>	8.36 ± 1.02 g; 9.11 ± 1.5 cm	Juvenis
<b>Lemos et al. (2021)</b>	Agudo (72h)	Herbicida 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D)	<i>Astyanax lacustris</i>	9 ± 11 g; 9 ± 15 cm	Adultos
<b>Peñuela et al. (2021)</b>	Agudo (96h)	Diclofenac de sódio, um fármaco anti-inflamatório não esteroide e cafeína um estimulante do sistema nervoso central, isolados e em associação	<i>Astyanax altiparanae</i>	14.76 ± 6.70 g; 10.27 ± 1.46 cm	Adultos
<b>Pinheiro et al. (2021b)</b>	Agudo (96h)	Diferentes concentrações de amônia	<i>Piaractus mesopotamicus</i>	268 ± 71 g e 20.7 ± 3.08 cm	Juvenis
<b>Gomes et al. (20210)</b>	Agudo (96h)	Produtos farmacêuticos e de cuidados pessoais (triclosan e triclocarban)	<i>Rhamdia quelen</i>	-	Embrões (8 horas após fertilização)

**Teste de toxicidade aguda:** até 96 horas de exposição. **Teste de toxicidade crônica:** a partir de 96 horas de exposição (Fonte: ARAGÃO et al., 2006; ABNT, 2022).

### Incertezas que envolvem o uso de espécies de vida livre em testes de toxicidade

O teste de toxicidade aguda com peixes é sem dúvida uma das ferramentas mais utilizadas na atualidade, e desempenham um papel muito importante na avaliação de riscos ambientais e na classificação de riscos (BURDEN et al., 2017; WEDEKIND et al., 2007), no entanto, algumas incertezas são apontadas, e desde o princípio surgiram como pontos de divergência entre pesquisadores, regulações e órgãos ambientais (SLOOFF et al., 1986).

O principal ponto diz respeito às grandes variabilidades nos dados de toxicidade para um mesmo composto e diferentes espécies. Diversos estudos indicam que as sensibilidades comparativas dos organismos aquáticos dependem de suas relações filogenéticas e do tipo de substância química que provoca a toxicidade, incluindo também, variações advindas da idade ou do estado nutricional dos organismos de teste, condição do teste, e outras características biológicas dos organismos (BELANGER et al., 2022).

Embora as diferenças nas técnicas experimentais ou nas condições de teste contribuam substancialmente para essa variabilidade, o componente espécie parece ser a causa dominante da variação, especialmente no que diz respeito a suscetibilidade e tolerância a diferentes produtos químicos (POSTHUMA et al., 2019; BERTHET, 2015; HROVAT et al., 2009; VAAL et al., 1997).

Em relação as características genéticas, as espécies padronizadas, são em muitos casos, cultivadas em laboratório, ou em cultivos de piscicultura, e ao longo do tempo podem perder variabilidade genética, esse fator implica em questionamentos sobre a confiabilidade dos resultados dos testes de toxicidade a que estas espécies são expostas, principalmente quando esses dados são extrapolados para o campo ou para populações naturais (VOELKL et al., 2020; MAES et al., 2005).

Outro ponto importante está relacionado a representatividade de uma determinada espécie de teste, para a fauna local/regional de peixes, visto que para uma espécie ocupar esta posição precisa atender a uma série de critérios científicos, incluindo seu papel funcional no ecossistema, que deve ser de destaque, assim como sua abundância, há também a necessidade de informações quanto a resposta da espécie frente a um possível impacto ambiental, e mais uma vez a sensibilidade e a vulnerabilidade genética também precisa ser levada em consideração, pois, esses dois fatores determinam o quanto esta espécie necessita de proteção, ou seja, espécies mais sensíveis são mais afetadas em uma situação de exposição a pressões

antropogênicas ou algum tipo de contaminação e, portanto precisam de mais proteção e atenção (SARRAZIN et al., 2021; FRISK et al., 2011). Os passivos acima são então considerados algumas das principais incertezas que envolvem o emprego de espécies de vida livre como organismos-teste.

### **Perspectivas para estudos de ecotoxicidade aquática**

O teste de toxicidade aguda com peixes (AFT) é um dos poucos testes regulamentares exigidos que utilizam a mortalidade como *end point*, nesse tipo de teste são utilizados peixes em estágio de larvas, alevinos, juvenis ou adultos para avaliar a toxicidade de amostras (DANG et al., 2017), mas com o aumento das preocupações relacionadas ao bem estar animal nos últimos anos, surgiu a necessidade de metodologias alternativas, eficientes, de alto rendimento e baixo custo, capazes de avaliar a toxicidade de substâncias químicas, que representam risco potencial para o ecossistema e os seres humanos (SU et al., 2021; WLODKOWIC et al., 2021).

Atualmente diversos estudos tem optado pelo Fish Embryo Acute Toxicity (FET) (VIEIRA et al., 2020; CORMIER et al., 2019; KRZYKWA et al., 2019; ROCHA et al., 2017), é adotado desde 2013 pela OCDE como método alternativo ao teste AFT (OECD, 2013: teste nº236), o FET avalia a toxicidade aguda de substâncias químicas ou potencialmente tóxicas em embriões de peixes, este método tem se distribuído em todo o mundo como um método confiável, não apenas na avaliação de produtos químicos, mas também para amostras ambientais e águas residuais (SEVERO et al., 2020; RIBEIRO et al., 2020; VON HELLFELD et al., 2020).

O FET constitui-se em uma ferramenta poderosa para a detecção da teratogenicidade, genotoxicidade, mutagenicidade e neurotoxicidade, bem como várias formas de desregulação endócrina, além disso, é compatível com os princípios 3Rs e de bem estar animal (BRAUNBECK et al., 2015), embora os embriões de *Danio rerio* sejam os mais utilizados, a possibilidade de uso com embriões de outras espécies de peixes já está sob avaliação (SU et al., 2021).

Outra alternativa viável para a avaliação da toxicidade em organismos aquáticos são os sistemas *in vitro*, como células primárias e linhas celulares, de crescente importância na ecotoxicologia, células de diferentes tecidos e espécies de peixes são utilizadas para análise da ação tóxica de produtos químicos e amostras ambientais (FNT, 2001), incluindo o desenvolvimento de abordagens baseadas em células mais sofisticadas e fisiologicamente relevantes, a aplicação da química computacional combinada a modelagem matemática e a inteligência artificial voltada a sistemas biológicos também são alternativas cada vez mais empregadas em predições de toxicidade (BURDEN et al., 2020) envolvendo contaminantes químicos.

### **CONCLUSÕES**

Por meio deste levantamento revisional de dados, observou-se que no Brasil, nos últimos cinco anos, diversos estudos empregaram espécies de peixes de vida livre, nativas e endêmicas como organismos-teste em ensaios de ecotoxicidade aquática, demonstrando assim, o potencial dessas espécies como modelos biológicos úteis na avaliação da toxicidade de substâncias químicas, reforçando-as como potenciais

indicadoras da qualidade e saúde dos ecossistemas de água doce, tendo em vista o importante papel que desempenham nesses ambientes.

Destaca-se a necessidade cada vez maior de validação e padronização desses organismos nativos, de vida livre e o desenvolvimento de protocolos para o uso destes, em ensaios e/ou avaliações de toxicidade, pois, é importante conhecer as respostas destas espécies quando expostas aos diversos agentes tóxicos em testes agudos, crônicos, de embriotoxicidade ou quando empregadas nas demais técnicas e ferramentas atualmente utilizadas pela ecotoxicologia aquática.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda: Método de ensaio com peixes (Cyprinidae)**. Norma ABNT-NBR 15088. 4 ed. ABNT, 2022.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade crônica de curta duração: Método de ensaio com peixes**. Norma ABNT-NBR 15499. 4 ed. ABNT, 2022.

ALBINATI, A. C. L.; SOARES, P. C.; ALBINATI, R. C. B., MOREIRA, E. L. T.; LIRA, A. D.; CARVALHO, J. V.. Toxicidade do inseticida Tiametoxam para o Pacamã (*Iophisilurus alexandri*). **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.37, p.307-312, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-736X2017000400002>

ALE, A.; BACCHETTA, C.; ROSSI, A. S.; GALDOPÓRORA, J.; DESIMONE, M. F.; LA TORRE, F. R.; GERVASIO, S.; CAZENAVE, J.. Nanosilver toxicity in gills of a Neotropical fish: Metal accumulation, oxidative stress, histopathology and other physiological effects. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.148, p. 976-984, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.072>

ALMEIDA, E. C.; PASSOS, L. S.; VIEIRA, C. E. D.; ACAYABA, R. D.; MONTAGNER, C. C.; PINTO, E.; MARTINEZ, C. B. R.; FONSECA, A. L.. Can the insecticide Imidacloprid affect the health of the Neotropical freshwater fish *Astyanax altiparanae* (Teleostei: Characidae)? **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v.85, p.103634, 2021a. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.etap.2021.103634>

ALMEIDA, F. F.; SANTOS-SILVA, E. N.; ECTOR, L.; WETZEL, C. E.. *Eunotia amazonica* sp. Nov. (Bacillariophyta), a common stalk-forming species from the Rio Negro Basin (Brazilian Amazon). **European Journal of Phycology**, v.53, n.2, p.166-179, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1080/09670262.2017.1402372>

ALMEIDA, S. F.; BELFORT, M. R. C.; CUTRIM, M. V. J.; COSTA, L. F. C.; PEREIRA, S. R. F.; SANTOS, R. L.. DNA damage in an estuarine fish inhabiting the vicinity of a major Brazilian port. **Anais Da Academia Brasileira de Ciências**, v.93.2021b DOI: <http://doi.org/10.1590/0001-3765202120190652>

ALVIM, T. T.; MARTINEZ, C. B. R. Genotoxic and oxidative damage in the freshwater teleost *Prochilodus lineatus* exposed to the insecticides lambda-cyhalothrin and imidacloprid alone and in combination. **Mutation**

**Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v.842, p. 85-93, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2018.11.011>

ANNI, I. S. A.; ZEBRAL, Y. D.; AFONSO, S. B.; JORGE, M. B.; ABRIL, S. I. M.; BIANCHINI, A.. Life-time exposure to waterborne copper II: Patterns of tissue accumulation and gene expression of the metal-transport proteins *ctr1* and *atp7b* in the killifish *Poecilia vivipara*. **Chemosphere**, v.223, n.257-262, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.083>

ANTONELLI, A.; ARIZA, M.; ALBERT, J.; ANDERMANN, T.; AZEVEDO, J.; BACON, C.; FAURBY, S.; GUEDES, T.; HOORN, C.; LOHMANN, L. G.; MATOS-MARAVÍ, P.; RITTER, C. D.; SANMARTÍN, I.; SILVESTRO, D.; TEJEDOR, M.; TER STEEGE, H.; TUOMISTO, H.; WERNECK, F. P.; ZIZKA, A.; EDWARDS, S. V.. Conceptual and empirical advances in Neotropical biodiversity research. **PeerJ**, v.6, p.e5644, 2018. DOI: <http://doi.org/10.7717/peerj.5644>

ARAGÃO, M. A.; ARAÚJO, R. P. A.. Métodos de ensaio de toxicidade com organismos aquáticos. In: ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. (eds) **Ecotoxicologia Aquática: Princípios e Aplicações**. RiMa, São Carlos, pp 117-152, 2006.

ARANTES, C. C.; WINEMILLER, K. O.; PETRERE, M.; CASTELLO, L.; HESS, L. L.; FREITAS, C. E. C.. Relationships between forest cover and fish diversity in the Amazon River floodplain. **Journal of Applied Ecology**, v.55, n.1, p.386-395, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1111/1365-2664.12967>

ARIAS, A. R. L.; INÁCIO, A. F.; NOVO, L. A.; ALBURQUERQUE, C.; MOREIRA, J. C.. Multibiomarker approach in fish to assess the impact of pollution in a large Brazilian river, Paraíba do Sul. **Environmental Pollution**, v.156, n.3, p. 974-979, 2008. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.05.006>

ASTM. American Society for Testing and Materials. **Standard Guide for Conducting Acute Toxicity Tests on Test Materials with Fishes, Macroinvertebrates, and Amphibians**. In Annual Book of ASTM Standards, ASTM, West Conshohocken, Pa. Current edition approved October 1, 2014.

AZEVEDO, L. S.; PESTANA, I. A.; ALMEIDA, M. G.; NERY, A. F. C.; BASTOS, W. R.; SOUZA, C. M. M.. Mercury biomagnification in an ichthyic food chain of an amazon floodplain lake (Puruzinho lake): Influence of seasonality and food chain modeling. **Ecotoxicology and Environmental**

**Safety**, v.207, p.111249, 2021. DOI:

<http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111249>

BAIRD, D. J.; BROWN, S. S.; LAGADIC, L.; LIESS, M.; MALTBY, L.; MOREIRA-SANTOS, M.; SCHULZ, R.; SCOTT, G. I.. In situ-based effects measures: Determining the ecological relevance of measured responses. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v.3, n.2, p.259, 2007. DOI: [http://doi.org/10.1897/IEAM\\_2006-031.1](http://doi.org/10.1897/IEAM_2006-031.1)

BALDISSERA, M. D.; SOUZA, C. F.; BARROSO, D. C.; PEREIRA, R. S.; OLIVEIRA, F. C.; ALESSIO, K. O.; WAGNER, R.; BIZZI, C. A.; BALDISSEROTTO, B.; VAL, A. L.. Consequences of oxidative damage on the fatty acid profile in muscle of *Cichlasoma amazonarum* acutely exposed to copper. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.46, n.6, p.2377-2387, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10695-020-00884-8>

BALOI, M. F.; MAGNOTTI, C. C. F.; STERZELECKI, F. C.; RODRIGUES, R. V.; CERQUEIRA, V. R.. Toxicidade aguda da amônia em juvenis de sardinha-verdadeira *Sardinella brasiliensis*. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.43, n1, p.135-139, 2017. DOI: <http://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n1p135>

BARBIERI, E.; LENZ, R. M.; NASCIMENTO, A. A.; ALMEIDA, G. L.; ROSELLI, L. Y.; HENRIQUES, M. B.. Lethal and sublethal effects of ammonia in *Deuterodon iguape* (Eigenmann 1907), potential species for brazilian aquaculture. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.45, n.1, p.1-7, 2019. DOI: <http://doi.org/10.20950/1678-2305.2019.45.1.440>

BARCELÓ, D.; ŽONJA, B.; GINEBREDA, A.. Toxicity tests in wastewater and drinking water treatment processes: A complementary assessment tool to be on your radar. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v.8, n.5, p.104262, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104262>

BARRETO, L. S.; SOUZA, A. T. C.; MARTINS, C. C.; ARAUJO, S. B. L.; RIBEIRO, C. A. O.. Urban effluents affect the early development stages of Brazilian fish species with implications for their population dynamics. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.188, p.109907, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109907>

BASTOS, L. R. S.; VAL, A. L.; WOOD, C. M.. Are Amazonian fish more sensitive to ammonia? Toxicity of ammonia to eleven native species. **Hydrobiologia**, v.789, n.1, p.143-155, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10750-015-2623-4>

BELANGER, S. E.; LILLICRAP, A. D.; MOE, S. J.; WOLF, R.; CONNORS, K.; EMBRY, M. R.. Weight of evidence tools in the prediction of acute fish toxicity. **Integrated Environmental Assessment and Management**, p. ieam.4581, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1002/ieam.4581>

BERTHET, B.. Reference species. In: TRIQUET, C. A.; AMIARD, J. C.; MOUNEYRAC, C.. **Aquatic Ecotoxicology**. Elsevier, 2015. p.205-227. DOI: <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-800949-9.00009-7>

BLANCO, A. M.; SUNDARRAJAN, L.; BERTUCCI, J. I.; UNNIAPPAN, S.. Why goldfish? Merits and challenges in employing goldfish as a model organism in comparative endocrinology research. **General and Comparative**

**Endocrinology**, v.257, p.13-28, 2018. DOI:

<http://doi.org/10.1016/j.yggen.2017.02.001>

BLASCO, F.; MONTEIRO, D.; CARVALHO, C.; RANTIN, F.. Acute toxicity and effects of the Roundup Transorb®, a glyphosate-based herbicide, on freshwater teleost matrinxã, *Brycon amazonicus*. **International Aquatic Research**, v.13, n.1, 2021. DOI: <http://doi.org/10.22034/iar.2021.1910474.1099>

BRAUNBECK, T.; KAIS, B.; LAMMER, E.; OTTE, J.; SCHNEIDER, K.; STENGEL, D.; STRECKER, R.. The fish embryo test (Fet): Origin, applications, and future. **Environmental Science and Pollution Research**, v.22, n.21, p.16247-16261, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-014-3814-7>

BURDEN, N.; BENSTEAD, R.; BENYON, K.; CLOOK, M.; GREEN, C.; HANDLEY, J.; HARPER, N.; MAYNARD, S. K.; MEAD, C.; PEARSON, A.; RYDER, K.; SHEAHAN, D.; EGMOND, R.; WHEELER, J. R.; HUTCHINSON, T. H.. Key opportunities to replace, reduce, and refine regulatory fish acute toxicity tests. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.39, n.10, p.2076-2089, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1002/etc.4824>

BURDEN, N.; GELLATLY, N.; BENSTEAD, R.; BENYON, K.; BLICKLEY, T. M.; CLOOK, M.; DOYLE, I.; EDWARDS, P.; HANDLEY, J.; KATSIADAKI, I.; LILLICRAP, A.; MEAD, C.; RYDER, K.; SALINAS, E.; WHEELER, J.; HUTCHINSON, T. H.. Reducing repetition of regulatory vertebrate ecotoxicology studies. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v.13, n.5, p. 955-957, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1002/ieam.1934>

CAGAN, R. L.; ZON, L. I.; WHITE, R. M.. Modeling cancer with flies and fish. **Developmental Cell**, v.49, n.3p.317-324, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.devcel.2019.04.013>

CALDAS, W. H.; VALV, M. F. A.. Hypoxia tolerance in two amazon cichlids: Mitochondrial respiration and cellular metabolism adjustments are result of species environmental preferences and distribution. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.47, n.6, p.1759-1775, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10695-021-01000-0>

CARMO, T. L. L.; AZEVEDO, V. C.; SIQUEIRA, P. R.; GALVÃO, T. D.; SANTOS, F. A.; MARTINEZ, C. B. R.; APPOLONI, C. R.; FERNANDES, M. N.. Mitochondria-rich cells adjustments and ionic balance in the Neotropical fish *Prochilodus lineatus* exposed to titanium dioxide nanoparticles. **Aquatic Toxicology**, v.200, p.168-177, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.05.006>

CARMO, T. L. L.; SIQUEIRA, P. R.; AZEVEDO, V. C.; TAVARES, D.; PESENTI, E. C.; CESTARI, M. M.; MARTINEZ, C. B. R.; FERNANDES, M. N.. Overview of the toxic effects of titanium dioxide nanoparticles in blood, liver, muscles, and brain of a Neotropical detritivorous fish. **Environmental Toxicology**, v.34, n.4, p.457-468, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1002/tox.22699>

CARVALHO, A. P. C.; COLLINS, R. A.; MARTÍNEZ, J. G.; FARIAS, I. P.; HRBEK, T.. From shallow to deep divergences: Mixed messages from Amazon Basin cichlids. **Hydrobiologia**, v.832, n.1, p.317-329, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10750-018-3790-x>

CHAVES, V. S.; MARCON, J. L.; DUNCAN, W. P.; ALVES-

GOMES, J. A.. Acute toxicity of a deltamethrin based pesticide (Dbp) to the Neotropical electric fish *Microsternarchus cf. Bilineatus* (Gymnotiformes). **Acta Amazonica**, v.50, n.4, p.355-362, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1590/1809-4392201904001>

CLASEN, B.; BECKER, A. G.; LÓPES, T.; MURUSSI, C. R.; ANTES, F. G.; HORN, R. C.; FLORES, E. M. M.; BALDISSEROTTO, B.; DRESSLER, V. L.; LORO, V. L.. Triphenyltin hydroxide induces changes in the oxidative stress parameters of fish. **Ecotoxicology**, v.26, n.4, p.565-569, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10646-017-1780-9>

CORMIER, B.; BATEL, A.; CACHOT, J.; BÉGOUT, M. L.; BRAUNBECK, T.; COUSIN, X.; KEITER, S. H.. Multi-laboratory hazard assessment of contaminated microplastic particles by means of enhanced fish embryo test with the zebrafish (*Danio rerio*). **Frontiers in Environmental Science**, v.7, p.135, 2019. DOI: <http://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00135>

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G.. A toxicidade em ambientes aquáticos: Discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v.3, p.1820-1830, 2008. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-40422008000700038>

COSTA, R. S.; SOUZA, F. M. S.; SENHORINI, J. A.; VERÍSSIMO-SILVEIRA, R.; SILVEIRA, A. M.. Effects of cryoprotectants and low temperatures on hatching and abnormal embryo development of *Prochilodus lineatus* (Characiformes: Prochilodontidae). Neotropical **Ichthyology**, v.15, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1590/1982-0224-20170043>

CRÉMAZY, A.; WOOD, C. M.; SMITH, D. S.; VAL, A. L.. The effects of natural suspended solids on copper toxicity to the cardinal tetra in amazonian river waters. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.38, n.12, p.2708-2718, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1002/etc.4586>

CUNHA, F. S.; SOUSA, N. C.; SANTOS, R. F. B.; MENESES, J. O.; COUTO, M. V. S.; ALMEIDA, F. T. C.; SENA FILHO, J. G.; CARNEIRO, P. C. F.; MARIA, A. N.; FUJIMOTO, R. Y.. Deltamethrin-induced nuclear erythrocyte alteration and damage to the gills and liver of *Colossoma macropomum*. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, n.15, p.15102-15110, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-018-1622-1>

CUNHA, J. A.; SUTILI, F. J.; OLIVEIRA, A. M.; GRESSLER, L. T.; SCHEEREN, C. A.; SILVA, L. L.; VAUCHER, R. A.; BALDISSEROTTO, B.; HEINZMANN, B. M.. The essential oil of *Hyptis mutabilis* in *Ichthyophthirius multifiliis* infection and its effect on hematological, biochemical, and immunological parameters in silver catfish, *Rhamdia quelen*. **Journal of Parasitology**, v.103, n.6, p.778-785, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1645/16-174>

DAL PONT, G.; BASTOS, L. R. S.; GIACOMIN, M.; DOLATTO, R. G.; BAIKA, L. M.; GRASSI, M. T.; OSTRENSKY, A.; WOOD, C. M.. Acute exposure to the water-soluble fraction of gasoline (Wsf) affects oxygen consumption, nitrogenous-waste and Mg excretion, and activates anaerobic metabolism in the goldfish *Carassius auratus*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v.226, p.108590, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.108590>

DANG, Z.; VAN DER VEN, L. T. M.; KIENHUIS, A. S.. Fish embryo toxicity test, threshold approach, and moribund as approaches to implement 3R principles to the acute fish toxicity test. **Chemosphere**, v.186, p. 677-685, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.047>

DEMIN, K. A.; MESHALKINA, D. A.; VOLGIN, A. D.; YAKOVLEV, O. V.; ABREU, M. S.; ALEKSEVA, P. A.; FRIEND, A. J.; LAKSTYGAL, A. M.; ZABEGALOV, K.; AMSTISLAVSKAYA, T. G.; STREKALOVA, T.; BAO, W.; KALUEFF, A. V.. Developing zebrafish experimental animal models relevant to schizophrenia. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, v.105, p.126-133, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.07.017>

DUARTE, R. M.; BENADUCE, A. P.; GARCIA, L.; GOMES, L. C.; GOMES, A. C.; VAL, A. L.; BALDISSEROTTO, B.. High waterborne Mg does not attenuate the toxic effects of Fe, Mn, and Ba on Na<sup>+</sup> regulation of Amazonian armored catfish tamoatá (*Hoplosternum littorale*). **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, n.18, p.18027-18037, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-018-2064-5>

DUNCAN, W. P.; IDALINO, J. J. S.; SILVA, A. G.; MODA, R. F.; SILVA, H. C. M.; MATOSO, D. A.; GOMES, A. L. S.. Acute toxicity of the pesticide trichlorfon and inhibition of acetylcholinesterase in *Colossoma macropomum* (Characiformes: Serrasalminidae). **Aquaculture International**, v.28, n.2, p. 815-830, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10499-019-00497-w>

ENVIRONMENT CANADA. **Biological test method for toxicity tests using early life stages of rainbow trout**. Method Development and Applications Section. Environmental Technology Centre. Report EPS 1/RM/28. Second Edition. Ottawa, Ontario.1998.

ENVIRONMENT CANADA. **Biological test method: acute lethality of effluents to rainbow trout**. Environmental Protection Series. Method Development and Applications Section, Environmental Technology Centre. Report EPS 1/RM/13. Second Edition, with May 2007 and 2016 amendments. Ottawa, Ontario.2000.

ENVIRONMENT CANADA. **Biological test method: larval growth and survival using fathead minnows**. Environmental Protection Series. Method Development and Applications Unit. Science and Technology Branch. Report EPS 1/RM/22. Second Edition. Ottawa, Ontario.2011.

ENVIRONMENT CANADA. **Biological Test Method: Reference Method for Determining Acute Lethality Using Threespine Stickleback**. Method Development and Applications Unit. Science and Technology Branch. Environment and Climate Change. EPS 1/RM/10. Second Edition. Canada. Ottawa, Ontario.2017.

FENT, K.. Fish cell lines as versatile tools in ecotoxicology: Assessment of cytotoxicity, cytochrome P4501A induction potential and estrogenic activity of chemicals and environmental samples. **Toxicology in Vitro**, v.15, n.4-5, p.477-488, 2001. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0887-2333\(01\)00053-4](http://doi.org/10.1016/S0887-2333(01)00053-4)

FERNANDES, K.; GOMES, A.; CALADO, L.; YASUI, G.; ASSIS, D.; HENRY, T.; FONSECA, A.; PINTO, E.. Toxicity of cyanopeptides

from two microcystis strains on larval development of *Astyanax altiparanae*. **Toxins**, v.11, n.4, p.220, 2019. DOI: <http://doi.org/10.3390/toxins11040220>

FERREIRA, L. C.; CRUZ, M. G.; LIMA, T. B. C.; SERRA, B. N. V.; CHAVES, F. C. M.; CHAGAS, E. C.; VENTURA, A. S.; JERÔNIMO, G. T.. Antiparasitic activity of *Mentha piperita* (Lamiaceae) essential oil against *Piscinoodinium pillulare* and its physiological effects on *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818). **Aquaculture**, v.512, p.734343, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734343>

FERRI, G. H.; CARDOSO, I. L.; GIL, J. A.; JONSSON, C. M.; RANTIN, F. T.; ISHIKAWA, M. M.. Determination of acute median lethal concentration and sublethal effects on AChE activity of *Gymnotus carapo* (Teleostei: Gymnotidae) exposed to trichlorfon. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v.57, n.3, p.e169354, 2020. DOI: <http://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2020.169354>

FREIRE, C. A.; BASTOS, L. R. S.; CHIESSE, J.; TINCANI, F. H.; PIANCINI, L. D. S.; RANDI, M. A. F.; PRODOCIMO, V.; CESTARI, M. M.; ASSIS, H. C. S.; ABILHO, A. V.; VITULE, J. R. S.; BASTOS, L. P.; OLIVEIRA-RIBEIRO, C. A. A.. Multibiomarker evaluation of urban, industrial, and agricultural exposure of small characins in a large freshwater basin in southern Brazil. **Environmental Science and Pollution Research International**, v.22, n.17, p.13263-13277, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-015-4585-5>

FREITAS, E. C.; ROCHA, O.. Acute toxicity tests with the tropical cladoceran *pseudosida ramosa*: The importance of using native species as test organisms. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v.60, n.2, p.241-249, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00244-010-9541-2>

FRISK, M. G.; MILLER, T. J.; FOGARTY, M. J.. **Estimation and analysis of biological parameters in elasmobranch fishes: A comparative life history study**. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.2011. DOI: <http://doi.org/10.1139/f01-051>

FROESE, R.; PAULY, D.. **FishBase**. World Wide Web electronic publication. Fishbase, 2021.

GEORGIEVA, E.; YANCHEVA, V.; STOYANOVA, S.; VELCHEVA, I.; ILIEV, I.; VASILEVA, T.; BIVOLARSKI, V.; PETKOVA, E.; LÁSZLÓ, B.; NYESTE, K.; ANTAL, L.. Which is more toxic? Evaluation of the short-term toxic effects of chlorpyrifos and cypermethrin on selected biomarkers in common carp (*Cyprinus carpio*, Linnaeus 1758). **Toxics**, v.9, n.6, p.125, 2021. DOI: <http://doi.org/10.3390/toxics9060125>

GODOY, O.. Coexistence theory as a tool to understand biological invasions in species interaction networks: Implications for the study of novel ecosystems. **Functional Ecology**, v.33, n.7, p.1190-1201, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1111/1365-2435.13343>

GOLIN, N.; BARRETO, L. S.; ESQUIVEL, L.; SOUZA, T. L.; NAZÁRIO, M. G.; OLIVEIRA, A. P.; MARTINS, C. C.; RIBEIRO, C. A. O.. Organic and inorganic pollutants in Jordão and Iguaçú rivers southern Brazil impact early phases of *Rhamdia quelen* and represent a risk for population. **Chemosphere**, v.303,

p.134989, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134989>

GOMES, M. F.; PAULA, V. C. S.; MARTINS, L. R. R.; GARCIA, J. R. E.; YAMAMOTO, F. Y.; FREITAS, A. M.. Sublethal effects of triclosan and triclocarban at environmental concentrations in silver catfish (*Rhamdia quelen*) embryos. **Chemosphere**, v.263, p.127985, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127985>

GUIDA, Y. S.; MEIRE, R. O.; TORRES, J. P. M.; MALM, O.. Air contamination by legacy and current-use pesticides in Brazilian mountains: An overview of national regulations by monitoring pollutant presence in pristine areas. **Environmental Pollution**, v.242, p.19-30, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.061>

GUILOSKI, I. C.; STEIN PIANCINI, L. D.; DAGOSTIM, A. C.; MORAIS CALADO, S. L.; FÁVARO, L. F.; BOSCHEN, S. L.; CESTARI, M. M.; CUNHA, C.; ASSIS, H. C. S.. Effects of environmentally relevant concentrations of the anti-inflammatory drug diclofenac in freshwater fish *Rhamdia quelen*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.139, p.291-300, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.01.053>

HAO, R.; PAN, J.; TILAMI, S. K.; SHAH, B. R.; MRÁZ, J.. Post-mortem quality changes of common carp (*Cyprinus carpio*) during chilled storage from two culture systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.101, n.1, p. 91-100, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1002/jsfa.10618>

HENRIQUE, H. S.; WOOD, C. M.; BASTOS, L. R. S.; DUARTE, R. M.; SMITH, D. S.; VAL, A. L.. Does dissolved organic carbon from Amazon black water (Brazil) help a native species, the tambaqui *Colossoma macropomum* to maintain ionic homeostasis in acidic water? **Journal of Fish Biology**, v.94, n.4, p.595-605, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1111/jfb.13943>

HONG, X.; ZHA, J.. Fish behavior: A promising model for aquatic toxicology research. **The Science of the Total Environment**, v.686, p.311-321, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.028>

HOWE, K.; CLARK, M. D.; TORROJA, C. F.; TORRANCE, J.; BERTHELOT, C.; MUFFATO, M.; COLLINS, J. E.; HUMPHRAY, S.; MCLAREN, K.; MATTHEWS, L.; MCLAREN, S.; SEALY, I.; CACCAMO, M.; CHURCHER, C.; SCOTT, C.; BARRETT, J. C.; KOCH, R.; RAUCH, G. J.; WHITE, S.; STEMPLE, D. L.. The zebrafish reference genome sequence and its relationship to the human genome. **Nature**, v.496, n.7446, p.498-503, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1038/nature12111>

HROVAT, M.; SEGNER, H.; JERAM, S.. Variability of in vivo fish acute toxicity data. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v.54, n.3, p.294-300, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.yrtph.2009.05.013>

ISO. International Organization for Standardization. **Determination of the acute lethal toxicity of substances to a freshwater fish [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)]** — ISO: 7346-1 - Part 1: Static method.2 ed. ISO, 1994.

ISO. International Organization for Standardization. **Determination of the prolonged toxicity of substances to**



**freshwater fish — Method for evaluating the effects of substances on the growth rate of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum (Teleostei, Salmonidae).** ISO, 1996.

ISO. International Organization for Standardization.

**Determination of the acute lethal toxicity of substances to a freshwater fish [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)]** — ISO: 7346-2 - Part 2: Semi-static method.2 ed. ISO, 1996.

ISO. International Organization for Standardization.

**Determination of the acute lethal toxicity of substances to a freshwater fish [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)]** — ISO 7346-3 - Part 3: Flow-through method.2 ed. ISO, 1996.

JACAÚNA, R. P.; KOCHHANN, D.; CAMPOS, D. F.; VAL, A. L.. Aerobic metabolism impairment in tambaqui (*Colossoma macropomum*) juveniles exposed to urban wastewater in Manaus, Amazon. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v.105, n.6, p. 853-859, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00128-020-03041-2>

JÉZÉQUEL, C.; TEDESCO, P. A.; BIGORNE, R.; MALDONADO-OCAMPO, J. A.; ORTEGA, H.; HIDALGO, M.; MARTENS, K.; TORRENTE-VILARA, G.; ZUANON, J.; ACOSTA, A.; AGUDELO, E.; MAURE, S. B.; BASTOS, D. A.; GREGORY, J. B.; CABECEIRA, F. G.; CANTO, A. L. C.; CARVAJAL-VALLEJOS, F. M.; CARVALHO, L. N.; CELLA-RIBEIRO, A.; OBERDORFF, T.. A database of freshwater fish species of the Amazon Basin. **Scientific Data**, v.7, n.1, p. 96, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1038/s41597-020-0436-4>

JORGE, R. A. D. L. V. C.; MOREIRA, G. S.. Use of sodium dodecyl sulfate and zinc sulfate as reference substances for toxicity tests with the mussel *Perna perna* (Linnaeus, 1758) (Mollusca: Bivalvia). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.61, n.2, p.280-285, 2005. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.09.005>

KAHLON, S. K.; SHARMA, G.; JULKA, J. M.; KUMAR, A.; SHARMA, S.; STADLER, F. J.. Impact of heavy metals and nanoparticles on aquatic biota. **Environmental Chemistry Letters**, v.16, n.3, p. 919-946, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10311-018-0737-4>

KAITO, C.; MURAKAMI, K.; IMAI, L.; FURUTA, K.. Animal infection models using non-mammals. **Microbiology and Immunology**, v.64, n.9, p.585-592, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1111/1348-0421.12834>

KAWASAKI, T.; SHIMIZU, Y.. Carcinogenesis models using small fish. **Chemical and Pharmaceutical Bulletin**, v.69, n.10, p. 962-969, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1248/cpb.c21-00295>

KORI, R.; SAXENA, A.; MOKHLE, S.; GOUTAM, V.; KULSHRESHTHA, A.; RAMNANI, V.; PARMAR, M.. Bioassay study on treated effluent of basic drug industries of Mandideep industrial area of Madhya Pradesh, India. **Biodiversity International Journal**, v.3, n.5, p.202-207, 2019. DOI: <http://doi.org/10.15406/bij.2019.03.00146>

KRZYKWA, J. C.; SAEID, A.; JEFFRIES, M. K. S.. Identifying sublethal endpoints for evaluating neurotoxic compounds

utilizing the fish embryo toxicity test. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.170, p.521-529, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.118>

LACERDA, D.; VERGILIO, C. S.; SOUZA, T. S.; COSTA, L. H. V.; RANGEL, T. P.; OLIVEIRA, B. C. V.; ALMEIDA, D. Q. R.; PESTANA, I. A.; ALMEIDA, M. G.; REZENDE, C. E. Comparative metal accumulation and toxicogenetic damage induction in three neotropical fish species with distinct foraging habits and feeding preferences. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.195, p.110449, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110449>

LAITANO, K. S.; GONÇALVES, C.; RESGALLA JUNIOR, C.. Viabilidade do Uso da Bolacha-do-mar *Mellita quinquesperforata* como Organismo Teste. **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, v.3, n.1, p. 9-14, 2008. DOI: <http://doi.org/10.5132/jbse.2008.01.002>

LANGIANO, V. C.; MARTINEZ, C. B. R.. Toxicity and effects of a glyphosate-based herbicide on the Neotropical fish *Prochilodus lineatus*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v.147, n.2, p.222-231, 2008. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.cbpc.2007.09.009>

LEHUN, A. L.; MENDES, A. B.; TAKEMOTO, R. M.; KRAWCZYK, A. C. D. B.. Genotoxic effects of urban pollution in the Iguacu River on two fish populations. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, v.56, n.9, p. 984-991, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1080/10934529.2021.1956229>

LEMOS, C. T.; RÖDEL, P. M.; TERRA, N. R.; OLIVEIRA, N. C. A.; ERDTMANN, B.. River water genotoxicity evaluation using micronucleus assay in fish erythrocytes. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.66, n.3, p. :391-401, 2007. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2006.01.004>

LEMOS, L. L.; CUSIOLI, L. F.; BERGAMASCO, R.; CARVALHO, L. A. B.; CASTRO, A. L. B. P.. Evaluation of the genotoxic and cytotoxic effects of exposure to the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in *Astyanax lacustris* (Pisces, characidae) and the potential for its removal from contaminated water using a biosorbent. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v.865; p.503335, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2021.503335>

LUZ, J. G. R.; NOGUEIRA, J. N.; ALVES, C. M. G.; VIDEIRA, M. N.; CANUTO, K. M.; CASTRO, K. N. C.; TAVARES-DIAS, M.. Essential oil of *Alpinia zerumbet* (Zingiberaceae) has anthelmintic efficacy against monogenean of *Colossoma macropomum* (Characiformes: Serrasalminidae). **Aquaculture Research**, v.52, n.11, p.5340-5349, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1111/are.15404>

MACIEL, P. O.; AFFONSO, E. G.. Praziquantel against monogeneans of tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Aquaculture International**, v.29, n.5, p.2369-2386, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10499-021-00753-y>

MAES, G. E.; RAEYMAEKERS, J. A. M.; PAMPOULIE, C.; SEYNAEVE, A.; GOEMANS, G.; BELPAIRE, C.; VOLCKAERT, F. A. M.. The catadromous European eel *Anguilla anguilla* (L.) as a model for freshwater evolutionary ecotoxicology: Relationship between heavy metal bioaccumulation,

condition and genetic variability. **Aquatic Toxicology**, v.73, n.1, p. 99-114, 2005. DOI:

<http://doi.org/10.1016/j.aquatox.2005.01.010>

MAGALHÃES, D. P.; FERRÃO-FILHO, A. S.. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecologia Australis**, v.12, n.03, p.355-381, 2008. DOI: <http://doi.org/10.4257/oeco.2008.1203.02>

MAIA, J. L. S.; SOUSA, E. M. O.; SILVA, H. N. P.; PINHEIRO, M. T. L.; MOURÃO, R. H. V.; MAIA, J. G. S.; LAMEIRÃO, S. V. O. C.; BALDISSEROTTO, B.; SILVA, L. V. F.. Hydrolate toxicity of *Lippia alba* (Mill.) N. E. Brown (Verbenaceae) in juvenile tambaqui (*Colossoma macropomum*) and its potential anaesthetic properties. **Aquaculture**, v.503, p.367-372, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.11.058>

MARCHIORI, N. C.; SILVA, F. M.; MARTINS, M. L.; AMARAL, H.; SILVA, B. C.. Hydrogen peroxide and chlorine dioxide against parasite *Ichthyophthirius multifiliis* (Protozoa, ciliophora) in jundiá fingerlings. **Ciência Rural**, v.47, n.12, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170257>

MARCON, L.; THOMÉ, R. G.; MOUNTEER, A. H.; BAZZOLI, N.; RIZZO, E.; BENJAMIN, L. A.. Immunohistochemical, morphological and histometrical analyses of follicular development in *Astyanax bimaculatus* (Teleostei: Characidae) exposed to an organochlorine insecticide. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.143, p.249-258, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.05.029>

MARTINS, A. W. S.; SILVEIRA, T. L. R.; REMIÃO, M. H.; DOMINGUES, W. B.; DELLAGOSTIN, E. N.; JUNIOR, A. S. V.; CORCINI, C. D.; COSTA, P. G.; BIANCHINI, A.; SOMOZA, G. M.; ROBALDO, R. B.; CAMPOS, V. F.. Acute exposition to Roundup Transorb® induces systemic oxidative stress and alterations in the expression of newly sequenced genes in silverside fish (*Odontesthes humensis*). **Environmental Science and Pollution Research**, v.28, n.46, p. 65127-65139, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-021-15239-w>

MARTINS, N. D.; YUNES, J. S.; MCKENZIE, D. J.; RANTIN, F. T.; KALININ, A. L.; MONTEIRO, D. A.. Microcystin - LR exposure causes cardiorespiratory impairments and tissue oxidative damage in trahira, *Hoplias malabaricus*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.17, p.436-443, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.053>

MARTINS, S. E.; BIANCHINI, A.. Toxicity tests aiming to protect Brazilian aquatic systems: Current status and implications for management. **Journal of Environmental Monitoring**, v.13, n.7, p.1866-1875, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1039/COEM00787K>

MATUS, G. N.; PEREIRA, B. V. R.; SILVA-ZACARIN, E. C. M.; COSTA, M. J.; SANTOS, A. C. A.; NUNES, B.. Behavior and histopathology as biomarkers for evaluation of the effects of paracetamol and propranolol in the neotropical fish species *Phalloceros harpagos*. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, n.28, p.28601-28618, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-018-2839-8>

MEDEIROS, L. C. C.; DELUNARDO, F. A. C.; SIMÕES, L. N.; PAULINO, M. G.; VARGAS, T. S.; FERNANDES, M. N.; SCHERER, R.; CHIPPARI-GOMES, A. R.. Water-soluble fraction

of petroleum induces genotoxicity and morphological effects in fat snook (*Centropomus parallelus*). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.144, p.275-282, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.06.031>

MEIRA FILHO, M. R. C.; ROSAS, V. T.; VIANNA, R. T.; PEREIRA JÚNIOR, J.. Toxicity and parasitocidal in vivo and in vitro evaluation of acetic acid on metazoan ectoparasites in juvenile *Mugil liza*. **Aquaculture**, v.476, p.1-7, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.009>

MENESES, J. O.; CUNHA, F. S.; DIAS, J. A. R.; CUNHA, A. F. S.; SANTOS, F. J.; SOUSA, N. C.; COUTO, M. V. S.; PAIXÃO, P. E. G.; ABE, H. Á. LIMA, B. S.; NETO, A. G. C.; ARAÚJO, A. A. S.; COSTA, L. P.; CARDOSO, J. C.; FUJIMOTO, R. Y.. Acute toxicity of hot aqueous extract from leaves of the *Terminalia catappa* in juvenile fish *Colossoma macropomum*. **Aquaculture International**, v.28, n.6, p.2379-2396, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10499-020-00596-z>

MEYERS, J. R.. Zebrafish: Development of a vertebrate model organism. **Current Protocols Essential Laboratory Techniques**, v.16, n.1, p.e19, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1002/cpet.19>

MOTA, S. B.; CAMPOS, D. F.; MACCORMACK, T. J.; DUARTE, R. M.; VAL, A. L.; ALMEIDA-VAL, V. M. F.. Mechanisms of toxic action of copper and copper nanoparticles in two Amazon fish species: Dwarf cichlid (*Apistogramma agassizii*) and cardinal tetra (*Paracheirodon axelrodi*). **Science of The Total Environment**, v.630, p.1168-1180, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.216>

MOCHA, P. R. E.; VARGAS-PULIDO, A. L.; LEÓN-PINZÓN, A. L.; VELASCO-SANTAMARÍA, Y. M.; BALDISSEROTTO, B.. Pathological effects and lethal concentration of two nonionic, tallowamine-polyethoxylate surfactants in white cachama *Piaractus brachipomus*. **Water, Air, & Soil Pollution**, v.230, n.12, p.286, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11270-019-4340-5>

MONAGHAN, K. A.; AGOSTINHO, C. S.; PELICICE, F. M.; SOARES, A. M. V. M.. The impact of a hydroelectric dam on Neotropical fish communities: A spatio-temporal analysis of the Trophic Upsurge Hypothesis. **Ecology of Freshwater Fish**, v.29, n.2, p.384-397, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1111/eff.12522>

MORAES, F. D.; VENTURINI, F. P.; ROSSI, P. A.; AVILEZ, I. M.; SOUZA, N. E. S.; MORAES, G.. Assessment of biomarkers in the neotropical fish *Brycon amazonicus* exposed to cypermethrin-based insecticide. **Ecotoxicology**, v.27, n.2, p.188-197, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10646-017-1884-2>

MOURA, F. R.; BRENTAGANI, K. R.; GEMELLI, A.; SINHORIN, A. P.; SINHORIN, V. D. G.. Oxidative stress in the hybrid fish jundiara (*Leiarius marmoratus* × *Pseudoplatystoma reticulatum*) exposed to Roundup Original®. **Chemosphere**, v.185, p.445-451, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.030>

NEVES, L. C.; FILHO, K. C. M.; LORENZINI, J. P. S.; NAKAYAMA, C. L.; LUZ, R. K.. Effect of formalin in early stages of the freshwater neotropical catfish, *Lophiosilurus alexandri*. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v.73,

p.103277, 2020. DOI:

<http://doi.org/10.1016/j.etap.2019.103277>

NSIBANDE, S. A.; FORBES, P. B. C.. Fluorescence detection of pesticides using quantum dot materials: a review. **Analytica Chimica Acta**, v.945, p. 9-22, 2016. DOI:

<http://doi.org/10.1016/j.aca.2016.10.002>

OBERDORFF, T.; DIAS, M. S.; JÉZÉQUEL, C.; ALBERT, J. S.; ARANTES, C. C.; BIGORNE, R.; CARVAJAL-VALLEROS, F. M.; WEVER, A.; FREDERICO, R. G.; HIDALGO, M.; HUGUENY, B.; LEPRIEUR, F.; MALDONADO, M.; MALDONADO-OCAMPO, J.; MARTENS, K.; ORTEGA, H.; SARMIENTO, J.; TEDESCO, P. A.; TORRENTE-VILARA, G.; ZUANON, J.. Unexpected fish diversity gradients in the Amazon basin. **Science Advances**, v.5, n.9, p.eaav8681, 2019. DOI:

<http://doi.org/10.1126/sciadv.aav8681>

OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development. **Test nº 236**: Fish embryo acute toxicity (Fet) test. OECD, 2013. <http://doi.org/10.1787/9789264203709-en>

OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development. **Test nº 203**: Fish, acute toxicity test. OECD, 2019. <http://doi.org/10.1787/9789264069961-en>

OLIVEIRA, L.; BRASILIENSE, A.; DIAS, M.; YOSHIOKA, E.; TAVARES-DIAS, M.. Toxicological, hematological and immunological effects of levamisole and ivermectin diet supplementation on *Colossoma macropomum* (Serrasalmidae). **Diseases of Aquatic Organisms**, v.136, n.3, p.255-263, 2019. DOI: <http://doi.org/10.3354/dao03413>

OLIVEIRA, L. F.; SANTOS, C.; RISSO, W. E.; MARTINEZ, C. B. R.. Triple-mixture of Zn, Mn, and Fe increases bioaccumulation and causes oxidative stress in freshwater Neotropical fish: Triple metal-mixture effects in freshwater fish. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.37, n.6, p.1749-1756, 2018b. DOI: <http://doi.org/10.1002/etc.4133>

OLIVEIRA, S. R. N.; OLIVEIRA, M. A. S.; BRANDÃO, F. R.; MAJOLO, C.; CHAVES, F. C. M.; CHAGAS, E. C.. Toxicity of *Lippia origanoides* essential oil in tambaqui (*Colossoma macropomum*) and its effect against *Aeromonas hydrophila*. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.44, n.2, p.1-7, 2018a. DOI: <http://doi.org/10.20950/1678-2305.2018.346>

PAIVA, P. P.; DELCORO, M. C.; MATHEUS, V. A.; QUEIROZ, S. C. N.; COLLARES-BUZATO, C. B.; ARANA, S.. Acute toxicity of commercial atrazine in *Piaractus mesopotamicus*: Histopathological, ultrastructural, molecular, and genotoxic evaluation. **Veterinary World**, v.10, n.9, p.1008-1019, 2017. DOI: <http://doi.org/10.14202/vetworld.2017.1008-1019>

PARRINO, V.; CAPPELLO, T.; COSTA, G.; CANNAVÀ, C.; SANFILIPPO, M.; FAZIO, F.; FASULO, S.. Comparative study of haematology of two teleost fish (*Mugil cephalus* and *Carassius auratus*) from different environments and feeding habits. **The European Zoological Journal**, v.85, n.1, p.193-199, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1080/24750263.2018.1460694>

PAULA, A. A.; RISSO, W. E.; MARTINEZ, C. B. R.. Effects of copper on an omnivorous (*Astyanax altiparanae*) and a carnivorous fish (*Hoplias malabaricus*): A comparative

approach. **Aquatic Toxicology**, v.237, p.105874, 2021. DOI:

<http://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.105874>

PEÑUELA, M. M.; LO NOSTRO, F. L.; DAL'OLIO GOMES, A.; TOLUSSI, C. E.; BRANCO, G. S.; PINHEIRO, J. P. S.; GODOI, F. G. A.; MOREIRA, R. G.. Diclofenac and caffeine inhibit hepatic antioxidant enzymes in the freshwater fish *Astyanax altiparanae* (Teleostei: Characiformes). **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v.240, p.108910, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108910>

PEREIRA, B. F.; ALVES, A. L.; SENHORINI, J. A.; SCALIZE, P. H.; FIGUEIREDO, F. A. T.; PITOL, D. L.; CAETANO, F. H.. Quantifying structural modifications of gills of two fish species *Astyanax altiparanae* (Lambari) and *Prochilodus lineatus* (Curimatá) after exposure to biodegradable detergents in urban lake water. **Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A**, v.80, n.6, p.338-348, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1080/15287394.2017.1323254>

PERSCH, T. S. P.; SILVA, P. R.; SANTOS, S. H. D.; FREITAS, B. S.; OLIVEIRA, G. T.. Changes in intermediate metabolism and oxidative balance parameters in sexually matured three-barbeled catfishes exposed to herbicides from rice crops (Roundup®, primoleo® and facet®). **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v.58, p.170-179, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.etap.2018.01.004>

PINHEIRO, J. P. S.; LIMA, J.; ASSIS, C. B.; BRANCO, G. S.; GOMES, A. D.; MOREIRA, R. G.. Paternal exposure to aluminum, acidity, and temperature affect fatty acid seminal profile, embryonic and larval development of *Astyanax altiparanae*. **Chemosphere**, v.266, p.128935, 2021a. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128935>

PINHEIRO, L. S. M.; DORCE, L. S.; ZIEMNICZAK, H. M.; SILVA, C. A. H.; NEU, D. H.. Toxicidade aguda da amônia em pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v.19, p.1-8, 2021b. DOI: <http://doi.org/10.7213/acad.2021.19004>

PLANCHART, A.; MATTINGLY, C. J.; ALLEN, D.; CEGER, P.; CASEY, W.; HINTON, D.; KANUNGO, J.; KULLMAN, S. W.; TAL, T.; BONDESSON, M.; BURGESS, S. M.; SULLIVAN, C.; KIM, C.; BEHL, M.; PADILLA, S.; REIF, D. M.; TANGUAY, R. L.; HAMM, J.. Advancing toxicology research using in vivo high throughput toxicology with small fish models. **ALTEX**, v.33, n.4, p.435-452, 2016. DOI: <http://doi.org/10.14573/altex.1601281>

PONT, G. D.; DOMINGOS, F. X. V.; FERNANDES-DE-CASTILHO, M.; VAL, A. L.. Potential of the biotic ligand model (Blm) to predict copper toxicity in the white-water of the Solimões-Amazon river. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v.98, n.1, p.27-32, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00128-016-1986-1>

POSTHUMA, L.; VAN GILS, J.; ZIJP, M. C.; VAN DE MEENT, D.; ZWART, D.. Species sensitivity distributions for use in environmental protection, assessment, and management of aquatic ecosystems for 12 386 chemicals. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.38, n.4, p. 905-917, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1002/etc.4373>

QUEIROZ, J. V.; CAVECCI-MENDONÇA, B.; VIEIRA, J. C. S.;

MARTINS, R. A.; ASSUNÇÃO, A. S. A.; CAVALLINI, N. G.; SANTOS, F. A.; PADILHA, P. M.. Metalloproteomic strategies for identifying proteins as biomarkers of mercury exposure in *Serrasalmus rhombeus* from the amazon region. **Biological Trace Element Research**, v.199, n.2, p.712-720, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1007/s12011-020-02178-9>

RAND, G. M.; PETROCELLI, S. R.. **Fundamentals of aquatic toxicology: Methods and applications**. Hemisphere Pub. Corp..1985.

REIS, T. R.; BALDISSERA, M. D.; SOUZA, C. F.; BALDISSEROTTO, B.; SEGAT, J. C.; BARETTA, D.; SILVA, A. S.. Addition of tea tree oil (*Melaleuca alternifolia*) in diet minimize biochemical disturbances in silver catfish *Rhamdia quelen* exposed to the antiparasitic amitraz. **Aquaculture**, v.543, p.736954, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736954>

RIBEIRO, A. C.; DORIA, C. R. C.; DUTKA-GIANELLI, J.; ALVES, H.; VILARA, G. T.. Temporal fish community responses to two cascade run-of-river dams in the Madeira River, Amazon basin. **Ecohydrology**, v.10, n.8, p. :e1889, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1002/eco.1889>

RIBEIRO, R. X.; SILVA BRITO, R.; PEREIRA, A. C.; MONTEIRO, K. B. S.; GONÇALVES, B. B.; ROCHA, T. L.. Ecotoxicological assessment of effluents from Brazilian wastewater treatment plants using zebrafish embryotoxicity test: A multi-biomarker approach. **Science of The Total Environment**, v.735, p.139036, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139036>

RIBEIRO, Y. M.; WEBER, A. A.; PASCHOALINI, A. L.; MOREIRA, D. P.; SALES, C. F.; ALMEIDA, T. V. P.; NERES, M. A.; BAZZOLI, N.; RIZZO, E.. Biomarker responses induced by bisphenol-A on spermatogenesis in a Neotropical teleost fish are temperature-dependent. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.224, p.112670, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112670>

ROCHA, M. P.; DOURADO, P. L. R.; CARDOSO, C. A. L.; CÂNDIDO, L. S.; PEREIRA, J. G.; OLIVEIRA, K. M. P.; GRISOLIA, A. B.. Tools for monitoring aquatic environments to identify anthropic effects. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.190, n.2, p. 61, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10661-017-6440-2>

ROCHA, P. S.; LUVIZOTTO, G. L.; KOSMEHL, T.; BÖTTCHER, M.; STORCH, V.; BRAUNBECK, T.; HOLLERT, H.. Sediment genotoxicity in the Tietê River (São Paulo, Brazil): In vitro comet assay versus in situ micronucleus assay studies. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.72, n.7, p.1842-1848, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2009.04.013>

RODA, J. F. B.; LAUER, M. M.; RISSO, W. E.; MARTINEZ, C. B. R.. Microplastics and copper effects on the neotropical teleost *Prochilodus lineatus*: Is there any interaction? **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v.242, p.110659, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.cbpa.2020.110659>

ROJAS, E. C.; ROJAS, G. P.; VILLANUEVA, M. P.; SOTO, C. C.; PAMPILLO, J. S. C.; MORA, P. A.; MARÍN, M. A.; MORA, M. M.; RODRÍGUEZ, C. E. R.; VRYZAS, Z.. Pesticide monitoring

and ecotoxicological risk assessment in surface water bodies and sediments of a tropical agro-ecosystem. **Environmental Pollution**, v.241, p. 800-809, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.020>

SAFIAN, D.; WIEGERTJES, G. F.; POLLUX, B. J. A.. The fish family poeciliidae as a model to study the evolution and diversification of regenerative capacity in vertebrates. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v.9, 2021. DOI: <http://doi.org/10.3389/fevo.2021.613157>

SAKURAGUI, M. M.; PAULINO, M. G.; SOUZA, N. E. S.; TAVARES, D.; TEREZAN, A. P.; PESENTI, E.; GIANI, A.; FERNANDES, J. B.; CESTARI, M. M.; FERNANDES, M. N.. Crude extract of cyanobacterium *Radiocystis fernandoi* strain R28 induces anemia and oxidative stress in fish erythrocytes. **Toxicol**, v.169, p.18-24, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.toxicol.2019.08.002>

SALAKO, A. F.; AMAEZE, N. H.; SHOBAJO, H. M.; OSUALA, F. I.. Comparative acute toxicity of three pyrethroids (Deltamethrin, cypermethrin and lambda-cyhalothrin) on guppy fish (*Poecilia reticulata* peters, 1859). **Scientific African**, v.9, p.e00504, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00504>

SÁNCHEZ, J. A. A.; KLOSTERHOFF, M. C.; ROMANO, L. A.; MARTINS, C. M. G.. Histological evaluation of vital organs of the livebearer *Jenynsia multidentata* (Jenyns, 1842) exposed to glyphosate: A comparative analysis of Roundup® formulations. **Chemosphere**, v.217, p. 914-924, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.020>

SÁNCHEZ, J. A. A.; VARELA, A. S.; CORCINI, C. D.; SILVA, J. C.; PRIMEL, E. G.; CALDAS, S.; KLEIN, R. D.; MARTINS, C. D. M. G.. Effects of Roundup formulations on biochemical biomarkers and male sperm quality of the livebearing *Jenynsia multidentata*. **Chemosphere**, v.177, p.200-210, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.147>

SANTOS, A. P. R.; ROCHA, T. L.; BORGES, C. L.; BAILÃO, A. M.; ALMEIDA SOARES, C. M.; MORAIS, S. M. T. S.. A glyphosate-based herbicide induces histomorphological and protein expression changes in the liver of the female guppy *Poecilia reticulata*. **Chemosphere**, v.168, p. 933-943, 2017a. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.116>

SANTOS, D. K. F.; RESENDE, A. H. M.; ALMEIDA, D. G.; SOARES DA SILVA, R.; C. F.; RUFINO, R. D.; LUNA, J. M.; BANAT, I. M.; SARUBBO, L. A.. *Candida lipolytica* ucp0988 biosurfactant: Potential as a bioremediation agent and in formulating a commercial related product. **Frontiers in Microbiology**, v.8, p.767, 2017b. <http://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00767>

SANTOS, T. P.; SOARES, P. R. L.; SILVA, M. C. G.; SILVA, S. C. B. L.; ANDRADE, A. L. C.; SANTOS, A. R.; SILVA, J. F.; OLIVEIRA, E. G. S.; SOUZA, E. H. L. S.; SÁ, F. B.; CADENA, M. R. S.; CADENA, P. G.. Thyroxine, levothyroxine, and thyroxine complexed into cyclodextrin changed animal behavior, oxygen consumption, and photopic electroretinogram of *Colossoma macropomum*. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.45, n.3, p.1177-1187, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10695-019-00630-9>

SARRAZIN, V.; KUHS, V.; KULLMANN, B.; KREUTLE, A.; PUSCH, C.; THIEL, R. A.. Sensitivity-based procedure to select representative fish species for the Marine Strategy Framework Directive indicator development, applied to the Greater North Sea. **Ecological Indicators**, v.131, p.108161, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108161>

SEIXAS, A. T.; GALLANI, S. U.; FERNANDES, I. M.; FERNANDES, I. E. C.; JERÔNIMO, G. T.; PILARSKI, F.; VALLADÃO, G. M. R.. Effect of nutraceuticals on acanthocephalan *Neoechinorhynchus buttnerae* and its toxicity to the host tambaqui *Colossoma macropomum*. **Journal of Helminthology**, v.94, p.e102, 2020a. DOI: <http://doi.org/10.1017/S0022149X19000956>

SEIXAS, A. T.; GALLANI, S. U.; NORONHA, L. S.; SILVA, J. J. M.; PASCHOAL, J. A. R.; BASTOS, J. K.; VALLADÃO, G. M. R.. *Copaifera oleoresins* as a novel natural product against acanthocephalan in aquaculture: Insights in the mode of action and toxicity. **Aquaculture Research**, v.51, n.11, p.4681-4688, 2020b. DOI: <http://doi.org/10.1111/are.14813>

SEVERO, E. S.; MARINS, A. T.; CERESER, C.; COSTA, D.; NUNES, M.; PRESTES, O. D.; ZANELLA, R.; LORO, V. L.. Ecological risk of pesticide contamination in a Brazilian river located near a rural area: A study of biomarkers using zebrafish embryos. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.190, p.110071, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110071>

SHUKLA, R.; BHAT, A.. Morphological divergences and ecological correlates among wild populations of zebrafish (*Danio rerio*). **Environmental Biology of Fishes**, v.100, n.3, p.251-264, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10641-017-0576-3>

SILVA, L. F. O.; VICARI, T.; DISNER, G. R.; LIROLA, J. R.; KLINGELFUS, T.; GONÇALVES, H. L. S.; LEITE, T. P. B.; CALADO, S. L. M.; VOIGT, C. L.; ASSIS, H. C. S.; CESTARI, M. M.. Tissue-specific genotoxicity and antioxidant imbalance of titanium dioxide nanoparticles (Nptio2) and inorganic lead (Pbii) in a neotropical fish species. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v.82, p.103551, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103551>

SILVA, A. L. N.; RODRIGUES, R. A.; SIQUEIRA, M. S.; FARIAS, K. N. N.; KUIBIDA, K. V.; FRANCO-BELUSSI, L.; FERNANDES, C. E.. Transaminase profile and hepatic histopathological traits in *Piaractus mesopotamicus* exposed to insecticide Diflubenzuron. **Environmental Science and Pollution Research**, v.28, n.17, p.22002-22010, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-020-12013-2>

SILVA, E. P.; BENVINDO-SOUZA, M.; COTRIM, C. F. C.; MOTTA, A. G. C.; LUCENA, M. M.; ANTONIOSI FILHO, N. R.; PEREIRA, J.; FORMIGA, K. T. M.; SILVA, D. M.. Genotoxic effect of heavy metals on *Astyanax lacustris* in an urban stream. **Heliyon**, v.6, n.9, p.e05034, 2020a. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05034>

SILVA, G. S.; MATOS, L. V.; FREITAS, J. O. S.; CAMPOS, D. F.; ALMEIDA, E.; VAL, V. M. F.. Gene expression, genotoxicity, and physiological responses in an Amazonian fish, *Colossoma macropomum* (CUVIER 1818), exposed to Roundup® and subsequent acute hypoxia. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology &**

**Pharmacology**, v.222, p.49-58, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.04.010>

SILVA, H. C. M.; SILVA, A. G.; IDALINO, J. J. S.; SOUSA, F. B.; GOMES, A. L. S.; DUNCAN, W. P.; MATOSO, D. A.. Trichlorfon acute lethal toxicity to juvenile tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Aquaculture Research**, v.51, n.2, p. 863-866, 2020b. DOI: <http://doi.org/10.1111/are.14412>

SILVA, M. J. S.; COSTA, F. F. B.; LEME, F. P.; TAKATA, R.; COSTA, D. C.; MATTIOLI, C. C.; LUZ, R. K.; MIRANDA-FILHO, K. C.. Biological responses of Neotropical freshwater fish *Lophosilurus alexandri* exposed to ammonia and nitrite. **Science of The Total Environment**, v.616-617, p.1566-1575, 2018a. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.157>

SILVA, R. C.; GRÖTZNER, S. R.; COSTA, D. D. M.; GARCIA, J. R. E.; MUELBERT, J.; MAGALHÃES, V. F.; NETO, F. F.; RIBEIRO, C. A. O.. Comparative bioaccumulation and effects of purified and cellular extract of cylindrospermopsin to freshwater fish *Hoplias malabaricus*. **Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A**, v.81, n.14, p. 620-632, 2018b. DOI: <http://doi.org/10.1080/15287394.2018.1469101>

SLOOFF, W.; VAN OERS, J. A. M.; ZWART, D.. Margins of uncertainty in ecotoxicological hazard assessment. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.5, n.9, p. 841-852, 1986. DOI: <http://doi.org/10.1002/etc.5620050909>

SOARES, R. L.; ANDRADE, A. L. C.; SANTOS, T. P.; SILVA, S. C. B. L.; SILVA, J. F.; SANTOS, A. R.; SOUZA, E. H. L. S.; CUNHA, F. M.; TEIXEIRA, V. W.; CADENA, M. R. S.; SÁ, F. B.; JÚNIOR, L. B. C.; CADENA, P. G. Acute and chronic toxicity of the benzoylurea pesticide, lufenuron, in the fish, *Colossoma macropomum*. **Chemosphere**, v.161, p.412-421, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.07.033>

SOBJAK, T. M.; ROMÃO, S.; NASCIMENTO, C. Z.; SANTOS, A. F. P.; VOGEL, L.; GUIMARÃES, A. T. B.. Assessment of the oxidative and neurotoxic effects of glyphosate pesticide on the larvae of *Rhamdia quelen* fish. **Chemosphere**, v.182, p.267-275, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.031>

SOUZA, I. C.; MENDES, V. A. S.; DUARTE, I. D.; ROCHA, L. D.; AZEVEDO, V. C.; MATSUMOTO, S. T.; ELLIOTT, M.; WUNDERLIN, D. A.; MONFERRÁN, M. V.; FERNANDES, M. N.. Nanoparticle transport and sequestration: Intracellular titanium dioxide nanoparticles in a neotropical fish. **Science of The Total Environment**, v.658, p.798-808, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.142>

SOUZA, R. M.; SEIBERT, D.; QUESADA, H. B.; BASSETTI, F. J.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; BERGAMASCO, R.. Occurrence, impacts and general aspects of pesticides in surface water: A review. **Process Safety and Environmental Protection**, v.135, p.22-37, 2020a. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.psep.2019.12.035>

SOUZA, S. S.; MACHADO, R. N.; COSTA, J. C.; CAMPOS, D. F.; SILVA, G. S.; ALMEIDA-VAL, V. M. F.. Severe damages caused by Malathion exposure in *Colossoma macropomum*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.205, p.111340, 2020c. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111340>

SOUZA, T. C.; SILVA, S. L. R.; MARCON, J. L.; WAICHMAN, A.

V.. Acute toxicity of deltamethrin to Amazonian freshwater fish. **Toxicology and Environmental Health Sciences**, v.12, n.2, p.149-155, 2020b. DOI: <http://doi.org/10.1007/s13530-020-00048-4>

SREELEKSHMI, S.; MANISH, K.; PETER, M. C. S.; INBARAJ, R. M.. Analysis of neuroendocrine factors in response to conditional stress in zebrafish *Danio rerio* (Cypriniformes: Cyprinidae). **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v.252, p.109242, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.cbpc.2021.109242>

SU, T.; LIAN, D.; BAI, Y.; WANG, Y. Y. L.; ZHANG, D.; WANG, Z.; YOU, J.. The feasibility of the zebrafish embryo as a promising alternative for acute toxicity test using various fish species: A critical review. **Science of The Total Environment**, v.787, p.147705, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147705>

TAVARES, D.; PAULINO, M. G.; TEREZAN, A. P.; FERNANDES, J. B.; GIANI, A.; FERNANDES, M. N.. Biochemical and morphological biomarkers of the liver damage in the Neotropical fish, *Piaractus mesopotamicus*, injected with crude extract of cyanobacterium *Radiocystis fernandoi*. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, n.16, p.15349-15356, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-018-1746-3>

TEDESCO, P. A.; BEAUCHARD, O.; BIGORNE, R.; BLANCHET, S.; BUISSON, L.; CONTI, L.; CORNU, J. F.; DIAS, M. S.; GRENOUILLET, G.; HUGUENY, B.; JÉZÉQUEL, C.; LEPRIEUR, F.; BROSSE, S.; OBERDORFF, T.. A global database on freshwater fish species occurrence in drainage basins. **Scientific Data**, v.4, n.1, p.170141, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1038/sdata.2017.141>

TESSER, M. E.; PAULA, A. A.; RISSO, W. E.; MONTEIRO, R. A.; PEREIRA, A. E. S.; FRACETO, L. F.; MARTINEZ, C. B. R.. Sublethal effects of waterborne copper and copper nanoparticles on the freshwater Neotropical teleost *Prochilodus lineatus*: A comparative approach. **Science of The Total Environment**, v.704, p.135332, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135332>

TICKNER, D.; OPPERMAN, J. J.; ABELL, R.; ACREMAN, M.; ARTHINGTON, A. H.; BUNN, S. E.; COOKE, S. J.; DALTON, J.; DARWALL, W.; EDWARDS, G.; HARRISON, I.; HUGHES, K.; JONES, T.; LECLÈRE, D.; LYNCH, A. J.; LEONARD, P.; MCCLAIN, M. E.; MURUVEN, D.; OLDEN, J. D.; YOUNG, L.. Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: An emergency recovery plan. **BioScience**, v.70, n.4, p.330-342, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1093/biosci/biaa002>

TISSEUIL, C.; CORNU, J. F.; BEAUCHARD, O.; BROSSE, S.; DARWALL, W.; HOLLAND, R.; HUGUENY, B.; TEDESCO, P. A.; OBERDORFF, T.. Global diversity patterns and cross-taxa convergence in freshwater systems. **Journal of Animal Ecology**, v.82, n.2, p.365-376, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1111/1365-2656.12018>

TRIGUEIRO, N. S. S.; GONÇALVES, B. B.; DIAS, F. C.; OLIVEIRA LIMA, E. C.; ROCHA, T. L.; SABÓIA-MORAIS, S. M. T.. Co-exposure of iron oxide nanoparticles and glyphosate-based herbicide induces DNA damage and mutagenic effects in the guppy (*Poecilia reticulata*). **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v.81, p.103521, 2021. DOI:

<http://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103521>

TRIQUET, C. A.; AMIARD, J. C.; MOUNEYRAC, C.. **Aquatic ecotoxicology**: Advancing tools for dealing with emerging risks. Elsevier/AP, Academic Press is an imprint of Elsevier, 2015. <http://doi.org/10.1016/C2013-0-15592-4>

US EPA. United States Environmental Protection Agency. **Ecological Effects Test Guidelines OCSPP 850.1075**: Freshwater and Saltwater Fish Acute Toxicity Test. Office of Chemical Safety and Pollution Prevention (OCSPP), 2016.

VAAL, M.; VAN DER WAL, J. T.; HOEKSTRA, J.; HERMENS, J.. Variation in the sensitivity of aquatic species in relation to the classification of environmental pollutants. **Chemosphere**, v.35, n.6, p.1311-1327, 1997. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0045-6535\(97\)00167-7](http://doi.org/10.1016/S0045-6535(97)00167-7)

VELÁZQUEZ, A. E.; CRAGO, J.; ZHAO, X.; GREEN, M. J.; CARRELL, J. E. C.. In vivo effects on the immune function of fathead minnow (*Pimephales promelas*) following ingestion and intraperitoneal injection of polystyrene nanoplastics. **Science of The Total Environment**, v.735, p.139461, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139461>

VENTURA, A. S.; CORRÊA FILHO, R. A. C.; SPICA, L. N.; SILVA, A. C. F.; ARAÚJO, A. M. D.; CARDOSO, C. A. L.; JERÔNIMO, G. T.; POVH, J. A.. Toxicological, biochemical and morphophysiological effects of *Serjania erecta* leaf aqueous extract on *Piaractus mesopotamicus*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.93, n.4, p.e20190479, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1590/0001-3765202120190479>

VIANA, L. F.; SÚAREZ, Y. R.; CARDOSO, C. A. L.; CRISPIM, B. A.; CAVALCANTE, D. N. C.; GRISOLIA, A. B.; LIMA JUNIOR, S. E.. The response of neotropical fish species (Brazil) on the water pollution: Metal bioaccumulation and genotoxicity. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v.75, n.3, p.476-485, 2018a. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00244-018-0551-9>

VIANA, L. F.; SÚAREZ, Y. R.; CARDOSO, C. A. L.; SOLÓRZANO, J. C. J.; CRISPIM, B. A.; GRISOLIA, A. B.; LIMA JUNIOR, S. E.. Erythrocyte nuclear abnormalities in *Astyanax lacustris* in response to landscape characteristics in two neotropical streams. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v.75, n.2, p.327-334, 2018b. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00244-017-0476-8>

VICARI, T.; DAGOSTIM, A. C.; KLINGELFUS, T.; GALVAN, G. L.; MONTEIRO, P. S.; PEREIRA, L. S.; ASSIS, H. C. S.; CESTARI, M. M.. Co-exposure to titanium dioxide nanoparticles (Nptio2) and lead at environmentally relevant concentrations in the Neotropical fish species *Hoplias intermedius*. **Toxicology Reports**, v.5, p.1032-1043, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.09.001>

VIEIRA, C. E. D.; PÉREZ, M. R.; ACAYABA, R. D.; RAIMUNDO, C. C. M.; MARTINEZ, C. B. R.. DNA damage and oxidative stress induced by imidacloprid exposure in different tissues of the Neotropical fish *Prochilodus lineatus*. **Chemosphere**, v.195, p.125-134, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.077>

VIEIRA, L. R.; HISSA, D. C.; SOUZA, T. M.; SÁ, C. A.; EVARISTO, J. A. M.; NOGUEIRA, F. C. S.; CARVALHO, A. F. U.; FARIAS, D.

F.. Proteomics analysis of zebrafish larvae exposed to 3,4-dichloroaniline using the fish embryo acute toxicity test.

**Environmental Toxicology**, v.35, n.8, p. 849-860, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1002/tox.22921>

VOELKL, B.; ALTMAN, N. S.; FORSMAN, A.; FORSTMEIER, W.; GUREVITCH, J.; JARIC, I.; KARP, N. A.; KAS, M. J.; SCHIELZETH, H.; VAN DE CASTEELE, T.; WÜRBEL, H.. Reproducibility of animal research in light of biological variation. **Nature Reviews Neuroscience**, v.21, n.7, p.384-393, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1038/s41583-020-0313-3>

VON HELLFELD, R.; BROTMANN, K.; BAUMANN, L.; STRECKER, R.; BRAUNBECK, T.. Adverse effects in the fish embryo acute toxicity (Fet) test: A catalogue of unspecific morphological changes versus more specific effects in zebrafish (*Danio rerio*) embryos. **Environmental Sciences Europe**, v.32, n.1, p.122, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1186/s12302-020-00398-3>

WEBER, A. A.; MOREIRA, D. P.; MELO, R. M. C.; RIBEIRO, Y. M.; BAZZOLI, N.; RIZZO, E.. Environmental exposure to oestrogenic endocrine disruptors mixtures reflecting on gonadal sex steroids and gametogenesis of the neotropical fish *Astyanax rivularis*. **General and Comparative Endocrinology**, v.279, p. 99-108, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ygcen.2018.12.016>

WEDEKIND, C.; VON SIEBENTHAL, B.; GINGOLD, R.. The weaker points of fish acute toxicity tests and how tests on embryos can solve some issues. **Environmental Pollution**, v.148, n.2, p.385-389, 2007. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.11.022>

WLODKOWIC, D.; CAMPANA, O.. Toward high-throughput fish embryo toxicity tests in aquatic toxicology. **Environmental Science & Technology**, v.55, n.6, p.3505-3513, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1021/acs.est.0c07688>

YOUSEFI, M.; JOULADEH-ROUDBAR, A.; KAFASH, A.. Using endemic freshwater fishes as proxies of their ecosystems to identify high priority rivers for conservation under climate change. **Ecological Indicators**, v.112, p.106137, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106137>

ZEBRAL, Y. D.; COSTA, P. G.; CASTRO KNOPP, B.; LANSINI, L. R.; SILVA, B. Z.; BIANCHINI, A.; ROBALDO, R. B.. Effects of a

glyphosate-based herbicide in pejerrey *Odontesthes humensis* embryonic development. **Chemosphere**, v.185, p. 860-867, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.069>

ZEBRAL, Y. D.; FONSECA, J. S.; ROZA, M.; COSTA, P. G.; ROBALDO, R. B.; BIANCHINI, A.. Combining elevated temperature with waterborne copper: Impacts on the energy metabolism of the killifish *Poecilia vivipara*. **Chemosphere**, v.253, p.126631, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126631>

ZEBRAL, Y. D.; ROZA, M.; FONSECA, J. S.; COSTA, P. G.; OLIVEIRA, C. S.; ZOCKE, T. G.; DAL PIZZOL, J. L.; ROBALDO, R. B.; BIANCHINI, A.. Waterborne copper is more toxic to the killifish *Poecilia vivipara* in elevated temperatures: Linking oxidative stress in the liver with reduced organismal thermal performance. **Aquatic Toxicology**, v.209, p.142-149, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.02.005>

ZHANG, C.; WANG, G. X.; ZHU, B.. Application of antigen presenting cell-targeted nanovaccine delivery system in rhabdovirus disease prophylactics using fish as a model organism. **Journal of Nanobiotechnology**, v.18, n.1, p.24, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1186/s12951-020-0584-x>

ZHANG, L. J.; QIAN, L.; DING, L. Y.; WANG, L.; WONG, M. H.; TAO, H. C.. Ecological and toxicological assessments of anthropogenic contaminants based on environmental metabolomics. **Environmental Science and Ecotechnology**, v.5, p.100081, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ese.2021.100081>

ZHELEV, Z.; MOLLOVA, D.; BOYADZIEV, P.. Morphological and hematological parameters of *Carassius Gibelio* (Pisces: Gyprinidae) in conditions of anthropogenic pollution in Southern Bulgaria: Use of hematological parameters as biomarkers. **Trakia Journal of Science**, v.14, n.1, p.1-15, 2016. DOI: <http://doi.org/10.15547/tjs.2016.01.001>

ZUFFO, T. I.; DURIGON, E. G.; MORSELLI, M. B.; PICOLI, F.; FOLMANN, S.; KINAS, J. F.; SAVARIS, T.; ZAMPAR, A.; LOPES, D. L. D. A.. Lethal temperature and toxicity of ammonia in juveniles of Curimbatá (*Prochilodus lineatus*). **Aquaculture**, v.545, p.737138, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737138>

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.