



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA
(ILACVN)**

**CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - ECOLOGIA E
BIODIVERSIDADE**

**EFEITO DOS CONTAMINANTES EM ANFÍBIOS EM UM CENÁRIO DE
MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

HECTOR DAVID FAJARDO MEJICANOS

Foz do Iguaçu
2025



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA
(ILACVN)**

**CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - ECOLOGIA E
BIODIVERSIDADE**

**EFEITO DOS CONTAMINANTES EM ANFÍBIOS EM UM CENÁRIO DE
MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

HECTOR DAVID FAJARDO MEJICANOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas - Ecologia e Biodiversidade.

Orientador: Prof. Dr. Michel Varajão Garey
Coorientadora: Profa. Dra. Juliane Silberschmidt Freitas

Foz do Iguaçu
2025

HECTOR DAVID FAJARDO MEJICANOS

**EFEITO DOS CONTAMINANTES EM ANFÍBIOS EM UM CENÁRIO DE
MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Latino-Americano de
Ciências da Vida e da Natureza da
Universidade Federal da Integração Latino-
Americana, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Ciências Biológicas
– Ecologia e Biodiversidade

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Michel Varajão Garey
UNILA

Coorientadora: Prof. Dra. Juliane Silberschmidt Freitas
UNESP

Prof. Dra. Carla Vermeulen Carvalho Grade
UNILA

Prof. Dr. Samuel Henrique Kamphorst
UNILA

Foz do Iguaçu, 21 de Março de 2025.

Dedico este trabalho com tudo meu coração aos meus pais Nora Mejicanos e Manolo Fajardo; e a minha irmã Astrid Fajardo Mejicanos.

AGRADECIMENTOS

As forças celestiais por me guiar e proteger no meu caminho carnal.

Aos meus pais, por sempre garantirem que eu nunca ficasse sem um teto e um prato de comida, além de me apoiarem até hoje nos meus estudos e nos meus sonhos.

À minha irmã Astrid, por estar presente emocionalmente obrigado por acreditar em mim, por apoiar minhas ambições, por me ensinar a ser um adulto, por me acompanhar nos meus medos, por ser minha confidente, conselheira, amiga e âncora.

À Cuchi Mirna Rodriguez, por me ensinar a assumir a responsabilidade pelas minhas decisões e me guiar no meu caminho como adolescente.

Aos meus amigos que me fizeram sentir em casa e em família: Carolina Victoria, Oscary, Julieta, Angélica, Luisa, Sophie, Rubén. Obrigado por todos os aniversários, pelas festas juninas, pelas refeições, pelos asados e por me derem a oportunidade de conhecê-los. Obrigado por trazerem esse calor familiar ao meu coração.

Aos meus amigos Bruno e Joice por me acompanhar e aconselhar no meu desenvolvimento como adulto, pelas experiências e carinho. Eduardo e Felipe obrigado por me ensinar o que é uma amizade em todos os sentidos da palavra, pela honestidade e por me ensinar sobre a cultura lgbtq+ brasileira. Lauren obrigado por me apreciar, pela paciência infinita e pelas boas lembranças nas festas que vou levar até minha morte. Obrigado Aline, Julia, Bruna e Nathalia, por compartilhar comigo esse amor pela biologia, por me mostrarem a cultura brasileira e pelas memórias de cada campo. Aos meus amigos mais recentes, Juan, Anny e Nikolle, por me ensinarem que sempre haverá alguém que chega a nossas vidas para criar belos momentos e risadas.

Obrigado aos meus professores que me acolheram e que representaram o que a universidade tem como valor, ou seja, a integração.

"Sonhos são algo em que se deve acreditar. Eu quase desisti dos meus. A todos vocês, por favor, mantenham os vossos sonhos vivos".

Ke Huy Quan – Oscars 2023

RESUMO

Esta revisão sistematiza a interação entre a temperatura, um fator global chave impulsionado pelas mudanças climáticas, e contaminantes ambientais resultantes de atividades antrópicas (agrotóxicos, metais, microplásticos e fármacos), nos anfíbios. A análise baseia-se em estudos publicados que avaliaram os efeitos combinados da temperatura com esses contaminantes ambientais, considerando respostas nos contextos etológico, morfológico, histológico, bioquímico, fisiológico e genético. A busca sistemática foi conduzida nas bases *Web of Science* e *Scopus*, utilizando descritores específicos sobre o tema. Foram identificadas 230 publicações, das quais apenas 29 atenderam aos critérios de inclusão, resultando na análise de 320 experimentos laboratoriais. Os resultados indicam uma concentração geográfica das pesquisas nos continentes americano (n=18), asiático (n=5) e europeu (n=5), enquanto nenhuma publicação foi encontrada para o continente africano. A revisão evidenciou a escassez de dados sobre os efeitos combinados da temperatura e contaminantes em anfíbios, com a maioria dos estudos utilizando larvas da ordem Anura, principalmente das famílias Ranidae e Bufonidae. Todos os experimentos foram realizados em laboratório e abordaram predominantemente metais e agrotóxicos, enquanto microplásticos e fármacos foram investigados de forma mais limitada. De maneira geral, a elevação da temperatura intensificou os efeitos individuais dos agrotóxicos e metais, enquanto para microplásticos e fármacos, ainda não há um padrão claro de resposta. Os achados desta revisão reforçam que futuras pesquisas adotem uma abordagem mais integrada, ampliando a diversidade de espécies estudadas, especialmente em regiões pouco exploradas, e a padronização metodológica bem como a replicação de experimentos são essenciais para uma compreensão mais abrangente e preditiva dos impactos das mudanças climáticas nos anfíbios e seus ecossistemas.

Palavras-chave: anura; temperatura; caudata; ecotoxicologia; poluição

RESUMEN

Esta revisión sistematiza la interacción entre la temperatura, un factor global clave impulsado por el cambio climático, y los contaminantes ambientales resultantes de actividades antrópicas (agrotóxicos, metales, microplásticos y fármacos) en los anfibios. El análisis se basa en estudios publicados que evaluaron los efectos combinados de la temperatura con estos contaminantes ambientales, considerando respuestas en los contextos etológico, morfológico, histológico, bioquímico, fisiológico y genético. La búsqueda sistemática se llevó a cabo en las bases de datos *Web of Science* y *Scopus*, utilizando descriptores específicos sobre el tema. Se identificaron 230 publicaciones, de las cuales solo 29 cumplieron con los criterios de inclusión, resultando en el análisis de 320 experimentos de laboratorio. Los resultados indican una concentración geográfica de las investigaciones en los continentes americano (n=18), asiático (n=5) y europeo (n=5), mientras que no se encontró ninguna publicación para el continente africano. La revisión evidenció la escasez de datos sobre los efectos combinados de la temperatura y los contaminantes en anfibios, con la mayoría de los estudios utilizando larvas de la orden Anura, principalmente de las familias Ranidae y Bufonidae. Todos los experimentos fueron realizados en laboratorio y abordaron predominantemente metales y pesticidas, mientras que los microplásticos y los fármacos fueron investigados de manera más limitada. En general, el aumento de la temperatura intensificó los efectos individuales de los agrotóxicos y los metales, mientras que para los microplásticos y los fármacos aún no hay un patrón claro de respuesta. Los hallazgos de esta revisión refuerzan la necesidad de que futuras investigaciones adopten un enfoque más integrado, ampliando la diversidad de especies estudiadas, especialmente en regiones poco exploradas, y que la estandarización metodológica, así como la replicación de experimentos, son esenciales para una comprensión más amplia y predictiva de los impactos del cambio climático en los anfibios y sus ecosistemas.

Palabras clave: anura; temperatura; caudata; ecotoxicología; contaminación.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma de informações nas diferentes fases de uma revisão sistemática (adaptado de PAGE et al., 2021).....	16
Figura 2 - Distribuição temporal das publicações que avaliaram o efeito dos contaminantes num cenário de mudanças climáticas em anfíbios.....	17
Figura 3 – Análise de rede de co-ocorrência de palavras-chave das 29 publicações.	18
Figura 4 - Distribuição geográfica por país das publicações que avaliaram o efeito dos contaminantes num cenário de mudanças climáticas em anfíbios.....	19
Figura 5 - Distribuição geográfica por país dos experimentos que avaliaram o efeito dos contaminantes num cenário de mudanças climáticas em anfíbios.	20
Figura 6 - Quantificação e porcentagem das famílias de anfíbios utilizadas nos experimentos.....	21
Figura 7 - Diferentes contextos avaliados nos experimentos.	23
Figura 8 - Parâmetros analisados na resposta dos anfíbios nos experimentos.....	23
Figura 9 - Quantificação dos grupos e tipos de agentes utilizados nos experimentos.	24
Figura 10 - Grau do efeito dos contaminantes em relação ao contexto nas temperaturas analisadas.	26
Figura 11 - Grau do efeito de cada tipo de agente estressor em função da temperatura analisada.....	26

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo geral.....	11
2.2. Objetivos específicos	11
3. MATERIAIS E MÉTODOS	12
3.1. Busca Sistemática.....	12
3.2. Etapa de Identificação.....	12
3.3. Etapa de Triagem.....	13
3.4. Etapa de Inclusão	14
3.5. Análise dos dados.....	14
4. RESULTADOS	15
4.1. Distribuição geográfica.....	19
4.2. Identificação das espécies de anfíbios utilizadas.....	20
4.3. Identificação dos contextos e parâmetros avaliados.....	22
4.4. Identificação de grupo e tipo dos contaminantes	24
4.5. Ecotoxicologia em um cenário de aumento de temperatura	25
5. DISCUSSÃO	27
6. CONCLUSÃO	31
7. REFERÊNCIAS	32
8. APÊNDICES	45

1. INTRODUÇÃO

Mais de 70% da superfície terrestre já sofreu algum tipo de alteração causada por atividades humanas (LUYSSAERT *et al.*, 2014), resultando na poluição da água, do ar e do solo. Essas modificações têm gerado impactos ambientais significativos, como a fragmentação de habitats, a introdução de espécies exóticas, a disseminação de patógenos, contaminação e, sobretudo, as mudanças climáticas (ARIHILAM & ARIHILAM, 2019; HÄDER *et al.*, 2020; ALLEGRINI *et al.*, 2023). Além disso, observa-se que esses impactos podem interagir de forma sinérgica com contaminantes ambientais, potencializando seus efeitos sobre os organismos (EGEA-SERRANO *et al.*, 2012). Esses contaminantes estão presentes em uma ampla gama de ecossistemas, seja por conta da aplicação direta, como a contaminação derivada da agricultura, seja por escoamento superficial em áreas cultivadas ou minas, águas residuais urbanas ou industriais ou deposição atmosférica (ZAGATTO, 2015) e podem ser classificados de acordo com sua natureza química (*e.g.*, orgânicos, inorgânicos e radioativos) e seu impacto ambiental (MATHEW *et al.*, 2017). Individualmente muitos desses contaminantes podem ser extremamente tóxicos para os organismos aquáticos (KIRUBAGARAN, 1988) e podem impactar na fisiologia, reprodução e dinâmica populacional das espécies (LIEBHOLD, 2019), além de poderem alterar interações ecológicas e cadeias tróficas (ZVEREVA & KOZLOV, 2006). Diante dos conhecidos efeitos prejudiciais, diferentes áreas de estudo (*e.g.* conservação, ecologia, ecotoxicologia) têm se dedicado a avaliar os impactos desses contaminantes na biodiversidade.

A ecotoxicologia é a ciência que estuda os efeitos das substâncias naturais ou sintéticas, tais como, metais, microplástico e agrotóxicos, sobre qualquer organismo vivo, incluindo a interação destas substâncias com os organismos e o meio onde vivem (TRUHAUT, 1977). Para avaliar os efeitos das substâncias nos organismos, experimentos em laboratórios ou no ambiente natural (*i.e.*, mesocosmos) são conduzidos. A implementação de experimentos ecotoxicológicos é complexa e depende de muitas variáveis como as características biológicas do organismo ou o nível de organização biológica (*e.g.*, molecular, organismo, população) (NEWMAN, 2015). De maneira geral, os experimentos envolvem a manipulação das condições do ambiente (*e.g.*, temperatura, pH, umidade) e a presença e concentração das substâncias, visando entender como esses fatores influenciam na saúde dos

organismos (ZAGATTO, 2015). Nos experimentos podem ser avaliados diferentes biomarcadores (*e.g.* bioquímicos, genéticos, comportamentais) que são indicadores biológicos que refletem a exposição a contaminantes ambientais e seus efeitos nos organismos vivos (IANNACONE & ALVARIÑO, 2005; YIN *et al.*, 2009).

Existem algumas evidências de que múltiplos agentes estressores atuam sinergicamente a variáveis ambientais, agravando a perda de biodiversidade (PRZESLAWSKI *et al.*, 2015; GUTIERREZ *et al.*, 2025). Além do nível de exposição, fatores bióticos (*e.g.* estágio de vida, tamanho, alimentação) e abióticos (*e.g.*, temperatura, pH, radiação UV) podem influenciar na magnitude dos efeitos dos contaminantes nos organismos (ZAGATTO, 2015). Porém, a falta de realismo ecológico em experimentos laboratoriais e a avaliação de contaminantes de maneira isolada são pouco adequadas para a compreensão das consequências reais das ações antrópicas na saúde e funcionamento dos ecossistemas (VIGHI & VILLA, 2013). Nesse contexto, é necessário considerar os impactos antrópicos (*e.g.*, contaminação, mudanças climáticas, alterações no uso e cobertura do solo) que podem intensificar o efeito de uma ampla gama de contaminantes que podem ocorrer nos ambientes naturais, tais como os metais, agrotóxicos e fertilizantes (LANOO, 2008).

Diante do cenário atual de mudanças climáticas, uma das consequências mais alarmadas é o aquecimento global (ADEDEJI *et al.*, 2014; MATTHEWS *et al.*, 2025). Segundo o IPCC (2023) prevê-se que a temperatura global aumentará entre 1,5 e 5,7°C neste século. Desta forma, a avaliação dos efeitos dos contaminantes nos organismos em função da temperatura é urgente, já que há evidências de que nos ecossistemas aquáticos algumas características dos contaminantes podem ser diferentes em função da temperatura (CASTILLO *et al.*, 1997; DELORENZO, 2015; GUTIERREZ *et al.*, 2025). A temperatura exerce um papel central na distribuição dos organismos (MITTELBACH *et al.*, 2007), na morfologia (RYDING *et al.*, 2021), fisiologia (BICEGO *et al.*, 2007) e comportamento (BRIFFA *et al.*, 2013). Em ecossistemas aquáticos continentais, a maioria dos animais, são ectotérmicos. Desta forma, as variações térmicas impactarão diretamente o metabolismo das espécies, podendo impactar as populações, comunidades e ecossistemas onde vivem. Estudos ecotoxicológicos que buscaram avaliar se o aumento da temperatura pode influenciar na sensibilidade dos organismos e na toxicidade dos contaminantes já foram realizados em diferentes ecossistemas. Em

matrizes terrestres, o inseto *Apolygus lucorum* foi exposto a diferentes inseticidas em diferentes temperaturas e demonstrou que a toxicidade e a sensibilidade do inseto foram amplificadas com o aumento da temperatura (MA *et al.*, 2012). Em matrizes aquáticas, um estudo com artrópodes *Penaeus semisulcatus* em exposição aguda a amônia em diferentes temperaturas mostrou que a tolerância fisiológica do organismo diminuiu com o aumento da temperatura (KIR *et al.*, 2004). Os ecossistemas aquáticos seriam particularmente vulneráveis às mudanças climáticas (Poff *et al.*, 2002; Prakash, 2021), pois absorvem e/ou acumulam diversos contaminantes. Nesse contexto, organismos aquáticos, estão constantemente expostos a contaminantes que podem ter seu potencial tóxico amplificado pelas mudanças climáticas (Hooper *et al.*, 2013), agravando os impactos sobre esses organismos altamente sensíveis.

Atualmente, diversos estudos investigam a toxicidade de contaminantes ambientais como metais, agrotóxicos, microplásticos e fármacos, isoladamente ou em combinação com a temperatura, em diferentes grupos taxonômicos (RATHORE & KHANGAROT, 2002; GUILHERMINO, 2021). Em anfíbios, já foram observados efeitos como danos ao sistema antioxidante de *Hypsiboas faber* devido à mineração (ZOCHE *et al.*, 2014), impactos de metais no crescimento e comportamento de *Rana luteiventris* (LEFCORT *et al.*, 1998) e redução do tamanho larval e aumento da mortalidade em *Hyla japonica* exposta a agrotóxicos (YOON & KO, 2019). Além disso, o herbicida diuron, associado ao aumento da temperatura, afetou a metamorfose de *Lithobates catesbeianus* (FREITAS, 2016). Em resumo, atualmente existem diversos estudos demonstrando que diferentes tipos de contaminantes são prejudiciais para os anfíbios, e que esses contaminantes podem atuar de maneira sinérgica com temperatura, aumentando sua toxicidade. Contudo, até o presente momento não existe um panorama geral dos estudos avaliando a ação dos contaminantes ambientais num cenário de mudanças climáticas nos anfíbios.

Os anfíbios são um ótimo modelo para avaliar os efeitos dos contaminantes em sinergia com as mudanças climáticas, devido ao fato de apresentarem a pele permeável (ROWE *et al.*, 2003), ocorrência em diferentes tipos de corpos d'água durante a fase larval (HADDAD & PRADO, 2005), ciclo de vida bifásico com uma fase majoritariamente aquática (*i.e.*, larval) e outra terrestre (*i.e.*, adultos) e a por serem ectotérmicos (WELLS, 2007) com alta dependência de parâmetros microclimáticos (TOLEDO *et al.*, 2023). Além disso, as populações de

anfíbios ao redor do mundo estão em declínio devido às ações antrópicas que alteram a estrutura física e química dos ambientes, sendo as mudanças climáticas e a contaminação dos ecossistemas naturais são apontadas como um dos principais fatores causadores do declínio das populações (ETEROVICK *et al.*, 2005; CAMPBELL *et al.*, 2020; GREEN *et al.*, 2020; TOLEDO *et al.*, 2023). Atualmente 41% as espécies de anfíbios estão sob algum grau de ameaça de extinção (IUCN, 2024) pelo que compreender os impactos sinérgicos das mudanças climáticas e dos contaminantes ambientais sobre os anfíbios poderia brindar informação na aplicabilidade de propostas para a conservação deste grupo (IUCN, 2024; TOLEDO *et al.*, 2023).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Realizar uma revisão sistemática da literatura científica que avaliaram o efeito dos contaminantes (*i.e.*, agrotóxico, metais, microplástico, fármacos) num cenário de mudanças climáticas que utilizaram como organismos modelo espécies da Classe Lissamphibia.

2.2. Objetivos específicos

- A. Avaliar a proporção de estudos que verificaram o efeito dos contaminantes em diferentes temperaturas;
- B. Quantificar os estudos publicados sobre a interação de contaminantes e a temperatura ao longo do tempo;
- C. Avaliar a distribuição geográfica dos estudos publicados;
- D. Identificar o contexto, tipos e a frequência das respostas dos anfíbios (*e.g.*, comportamental, fisiológica, molecular *etc.*) nos estudos ecotoxicológicos;
- E. Identificar os tipos de contaminantes avaliados nos estudos ecotoxicológicos;
- F. Verificar as famílias e espécies de anfíbios utilizados nos estudos ecotoxicológicos;
- G. Avaliar o *status* da ameaça das espécies utilizadas nos estudos ecotoxicológicos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo foi realizado uma revisão sistemática da literatura científica que abordou o efeito combinado dos contaminantes ambientais com a temperatura em anfíbios. Foi utilizado o protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*) para obtenção dos dados (MOHER *et al.*, 2015). O protocolo PRISMA possui três fases: (1) Identificação; (2) Triagem e (3) Inclusão (PAGE *et al.*, 2021), contendo 27 itens para verificação, sintetizados em um fluxograma que orienta a filtragem e tomada de decisão na revisão sistemática (LIBERATI *et al.*, 2019).

3.1. Busca Sistemática

Os dados foram coletados por meio de busca publicações realizadas até Junho de 2024 nas plataformas *Web of Science* e *Scopus* que abordaram os efeitos dos seguintes contaminantes num cenário de mudanças climáticas em anfíbios: Agrotóxicos (*i.e.* Fungicida Clorotalonil, Fungicida Folpan, Herbicida Ametrina, Herbicida Atrazina, Herbicida Clomazona (Gamit), Herbicida Roundup, Herbicida Sulfentrazone (Boral), Herbicida Tebuthiuron, Herbicida Triclopir, Inseticida Actara, Inseticida Carbaril, Inseticida Clorpirifós, Inseticida Endosulfan, Inseticida Metomil), Metais (*i.e.* Óxido de Alumínio, Óxido de Cobre, Cloreto Mineral, Óxido de Níquel, Nanopartículas de Prata, Dióxido de Titânio, Óxido de Zinco), Microplásticos (*i.e.* Bisfenol A, Microplástico PBDEs, Microplástico) e Fármacos (*i.e.* Antidepressivos, Etinilestradiol).

3.2 Etapa de Identificação

Para iniciar o processo de revisão sistemática, o primeiro passo foi examinar detalhadamente o tema de pesquisa e definir o objetivo. Isso envolveu a elaboração de uma lista de palavras-chave.

Depois da identificação de palavras-chave, criamos as *strings* de busca, ou seja, os conjuntos de termos utilizados nas bases de dados. Para garantir uma busca mais precisa, essas *strings* foram ajustadas conforme o formato, as palavras ou a estrutura da consulta.

Foram utilizados como *strings* de busca os seguintes termos e operadores booleanos nas seções Título, Resumo e Palavras-chave de ambas bases

de dados, sendo eles: “*Ecotoxicology*” OR “*Toxicity*” OR “*Evaluation*” OR “*Toxic*” OR “*Synergic effects*” AND “*Temperature*” OR “*Climate Change*” OR “*Climate Stressor*” AND “*Chemicals*” OR “*Pharmaceuticals*” OR “*Drugs*” OR “*Xenobiotics*” OR “*Agrochemicals*” OR “*Insecticide*” OR “*Fungicide*” OR “*Herbicide*” OR “*Heavy Metals*” OR “*Microplastics*” AND “*Amphibian*” OR “*Anuran*” OR “*Frog*” OR “*Tadpole*” OR “*Caudata*” OR “*Salamander*”.

Nesta etapa inicial, foram aplicados filtros nas bases de dados para selecionar exclusivamente publicações no formato de artigos científicos, restringindo a busca a estudos publicados unicamente em língua inglesa.

3.3 Etapa de Triagem

A etapa de triagem consistiu em uma avaliação abrangente para identificar as publicações que seriam definitivamente incluídas no estudo. Foi utilizada a ferramenta gratuita Rayyan® que ajuda pesquisadores a organizar artigos e a elaborar revisões sistemáticas e o *software* Microsoft Excel® para o controle das informações.

Um total de 197 publicações foram classificadas após a remoção dos duplicados para o primeiro filtro da triagem que consistiu em avaliar a estrutura (*i.e.*, título, resumo, métodos) do artigo e processar as publicações que cumpriam com os seguintes critérios de inclusão: (i) experimentos que avaliaram os impactos dos contaminantes nos anfíbios utilizando pelo menos um biomarcador (*e.g.* genético, bioquímico, comportamental); (ii) informaram o país onde o experimento foi realizado; (iii) informaram o tipo de contaminante a ser utilizado (iv) que os experimentos avaliaram os efeitos dos contaminantes em pelo menos duas temperaturas diferentes com o fim de comparar a toxicidade e a temperatura; e (v) que informara espécie de anfíbio utilizada. As publicações que não atenderam aos critérios acima foram excluídas da base de dados.

Após a avaliação da estrutura do artigo restaram 62 publicações para serem avaliadas no processo de elegibilidade. Ou seja, cada uma dessas publicações passou por um estudo aprofundado e detalhado, que incluiu a revisão de todos os elementos relevantes (*i.e.*, resumos, títulos, objetivos, métodos, resultados e discussões). O principal objetivo do processo de elegibilidade foi garantir que cada documento atendesse de forma rigorosa e precisa os critérios de inclusão previamente estabelecidos.

3.4 Etapa de Inclusão

Foram 29 publicações que atenderam os critérios de inclusão citados acima, dos quais foram extraídas as seguintes informações para análise dos dados: (i) nome da revista científica; (ii) ano de publicação; (iii) título do estudo; (iv) objetivo do artigo; (v) palavras chave do artigo; (vi) grupo do contaminante (*i.e.* agrotóxico, microplástico, metal pesado ou fármaco) e (vii) tipo do contaminante (*e.g.* herbicida, fungicida, inseticida, óxido de cobre, óxido de zinco, bisfenol a, antidepressivos, entre outros) para avaliar o efeito combinado com a temperatura; (viii) ordem da espécie; (ix) família, (x) gênero e (xi) espécie de anfíbio; (xii) grau de ameaça de extinção; (xiii) status populacional, (xiv) estágio de vida (*i.e.*, girino ou adulto); (xv) quantas e (xvi) quais temperaturas foram testadas; (xvii) duração do experimento; (xviii) contexto da variável resposta utilizada (*i.e.*, etológica, morfológica, genética, bioquímica, histológica, fisiológica); (xix) parâmetros avaliados como variável resposta (*i.e.* sobrevivência, taxa de malformações, níveis de transcrição, atividade enzimática, tecido de órgãos, níveis hormonais); (xx) presença ou não do efeito da temperatura (*i.e.* se o efeito foi significativo ou não considerando o valor de p ($p < 0,05$) na análise feita nos testes); (xxi) influência do efeito (*i.e.* frágil quando os valores ou características da natureza do parâmetro eram parecidos a do grupo controle; forte quando os valores ou características da natureza do parâmetro eram diferentes a do grupo controle); (xxii) país onde o estudo foi realizado.

A nomenclatura taxonômica foi atualizada seguindo a base de dados “Amphibian Species on the World 6.1” (FROST, 2024). As categorias de ameaça e o status das populações foram obtidas através da plataforma IUCN - Red List of Threatened Species (2024).

3.5 Análise dos dados

A estatística descritiva foi utilizada para uma inspeção geral dos resultados obtidos (*e.g.* média, porcentagem). Foi avaliado em termos de porcentagem o número de família, gênero e espécies de anfíbios testados em relação ao que se conhece no mundo. Foi feito um mapa mundial para mostrar a distribuição espacial dos estudos coletados e um gráfico com a relação do número de estudos relacionados ao tema ao longo do tempo. Para análise bibliométrico foi utilizado o *software* VOSviewer® versão 1.6.20 e o *software* Microsoft Excel®, para análise

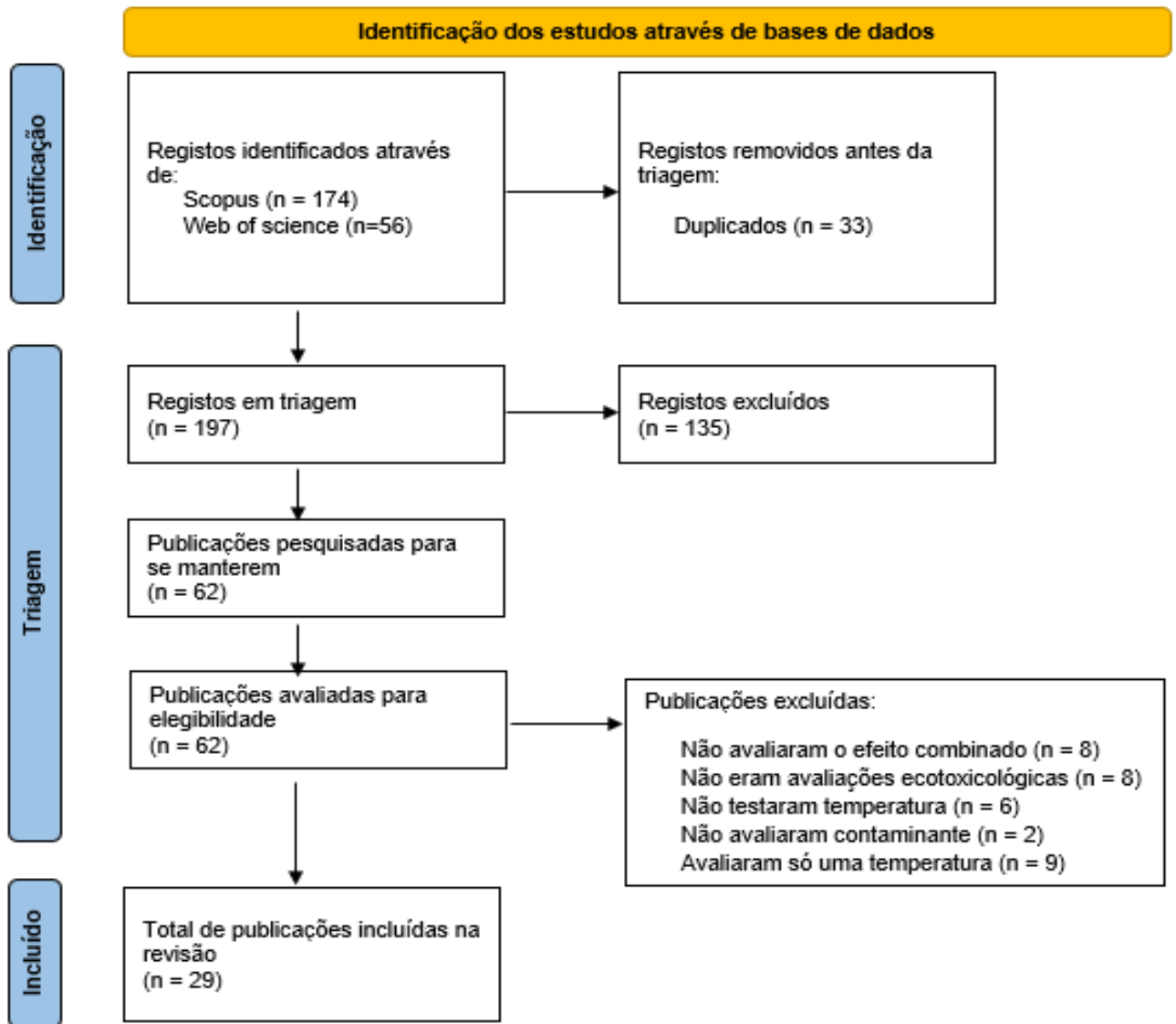
estatística e obtenção de gráficos foi utilizado o *software* R versão 4.2.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2021).

4. RESULTADOS

Foram coletadas 174 publicações na base de dados da *Scopus* e 56 da *Web of Science*, totalizando 230 publicações.

A triagem inicial envolveu a remoção de duplicatas e a avaliação da estrutura dos artigos (*e.g.* título, resumo), resultando em 62 publicações submetidas ao processo de elegibilidade, onde foram analisados de forma aprofundada os elementos chave como objetivos, metodologia, resultados e discussão. Ao final, 29 publicações e 320 experimentos laboratoriais foram incluídas para análise, das quais foram extraídas informações citadas na metodologia (Figura 1).

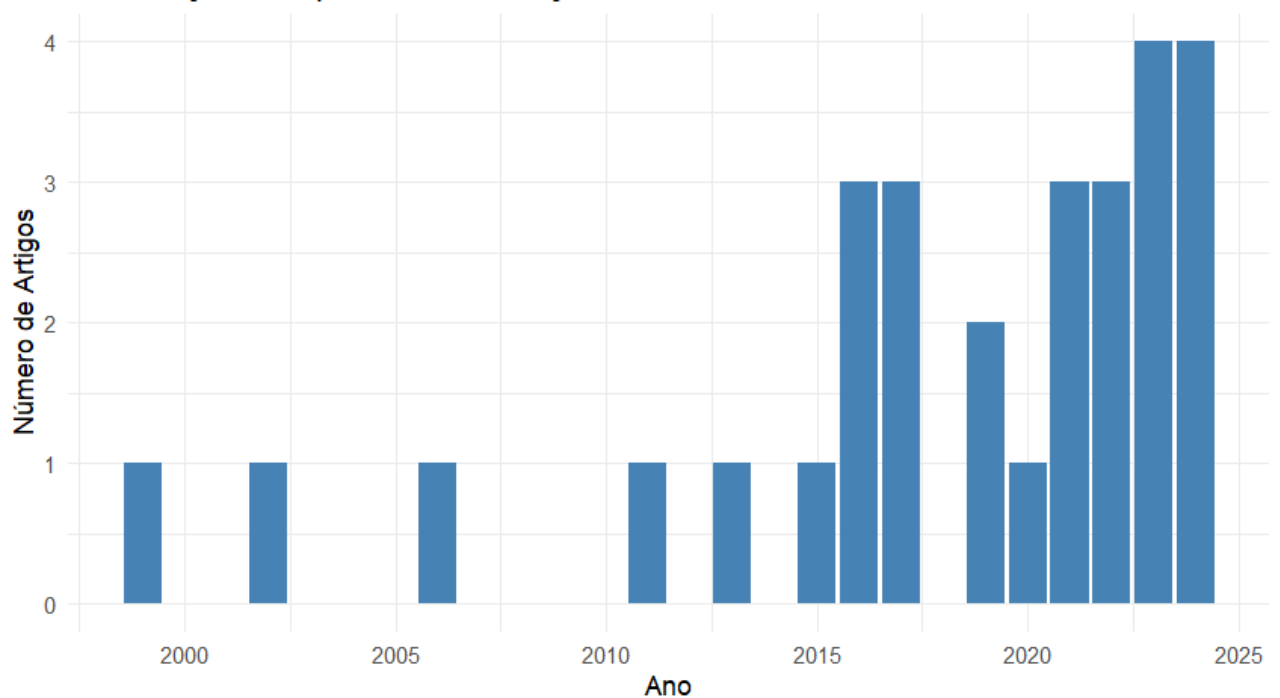
Figura 1 - Fluxograma de informações nas diferentes fases de uma revisão sistemática (adaptado de PAGE et al., 2021).



Fonte: Autor

Os artigos coletados foram publicados no período de 1999 até 2024 (Figura 2) em 16 revistas no total. Observa-se um crescimento exponencial a partir do ano 2020 e a maioria dos artigos foram publicados na revista “*Environmental Toxicology and Chemistry*” (24,1%; n=7), seguida das revistas “*Chemosphere*” e “*Environmental pollution*” ambas com 10,3% (n=3), depois as revistas “*Aquatic Toxicology*”, “*Environmental Science and Pollution Research*” e “*Science of the Total Environment*” cada uma representa o 6,9% dos trabalhos (n=2) e as outras 10 revistas cada uma representa 3,4% dos trabalhos (n=1).

Figura 2 - Distribuição temporal das publicações que avaliaram o efeito dos contaminantes num cenário de mudanças climáticas em anfíbios.

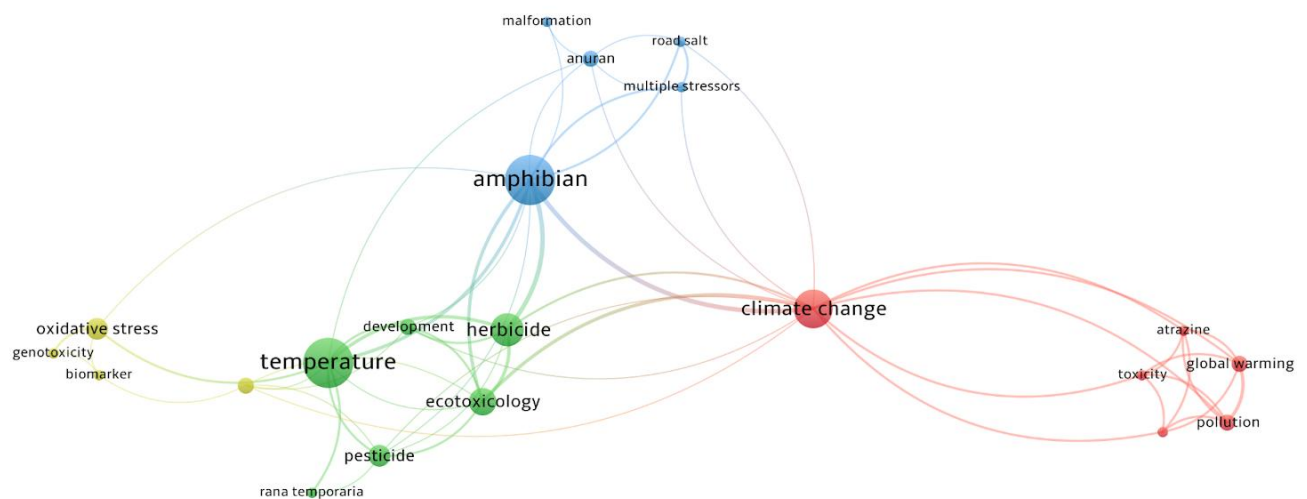


Obs. o eixo x representa o ano, enquanto o eixo y representa o número de artigos publicados.

Fonte: Autor

Em relação a Figura 3, o tamanho da bola e proporcional ao número de vezes que a palavra-chave apareceu nas 29 publicações, as cores representam os *clusters*, ou seja, representam a similitude no conteúdo das palavras; a centralidade representa a palavra mais relevante da rede, isso determina a importância da palavra-chave. Sendo então “*temperature*”, “*amphibian*” e “*climate change*” as mais co-ocorrentes, por outro lado a palavra “*herbicide*” e a mais relevante na análise.

Figura 3 – Análise de rede de co-ocorrência de palavras-chave das 29 publicações.



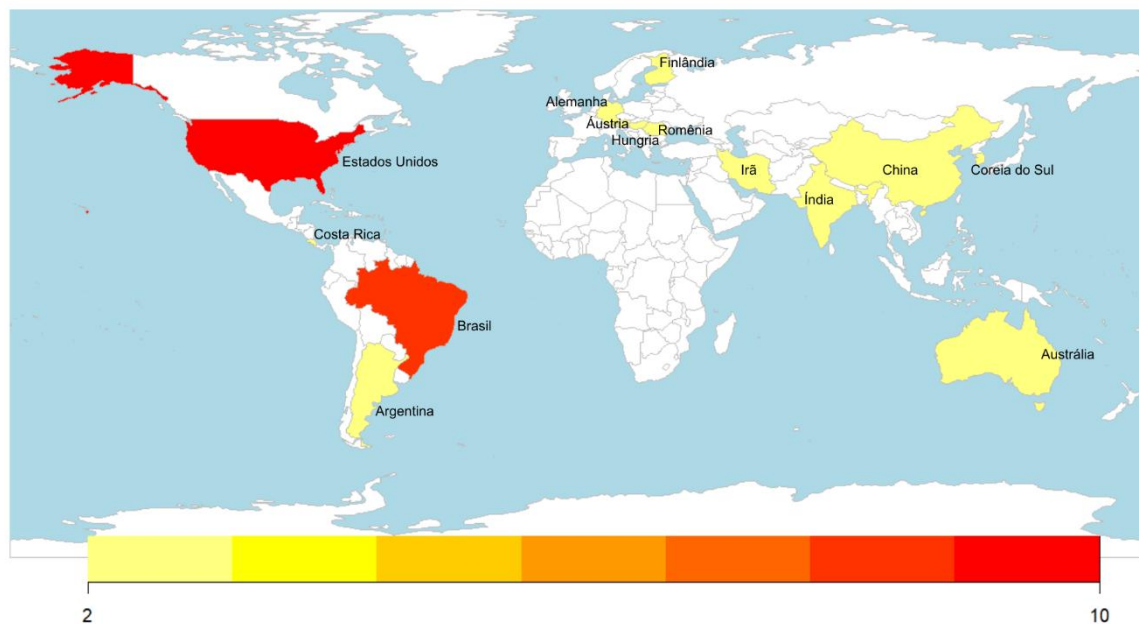
Obs. Palavras-chave colocadas nos artigos publicados pelos autores.

Fonte: Autor

4.1 Distribuição geográfica

Os estudos foram realizados em 14 países (Figura 4). O continente com a maior quantidade de estudos publicados foi América (62,1%; n=18), seguido da Ásia (17,2%; n=5), Europa (17,2%; n= 5) e por último Oceania (3,5%; n=1). Não foram encontrados estudos publicados na África. O país com mais trabalhos publicados foi Estados Unidos (n= 9) seguido do Brasil (n=7) e China (n=2). Em relação a experimentos realizados (Figura 5) Brasil foi o país que mais realizou experimentos (n>30%) seguido de Irã e Estados Unidos (n>25%)

Figura 4 - Distribuição geográfica por país das publicações que avaliaram o efeito dos contaminantes num cenário de mudanças climáticas em anfíbios.



As cores representam a quantidade de artigos publicados em cada país, a barra representa uma escala de 1 a 10 publicações feitas começando com amarelo (n=1) a vermelho (n=10).

Fonte: Autor

Figura 5 - Distribuição geográfica por país dos experimentos que avaliaram o efeito dos contaminantes num cenário de mudanças climáticas em anfíbios.



As cores representam a quantidade de experimentos realizados em cada país, a barra representa uma escala em porcentagem dos experimentos, começando com amarelo ($n > 10\%$) a vermelho ($n > 30\%$).

Fonte: Autor

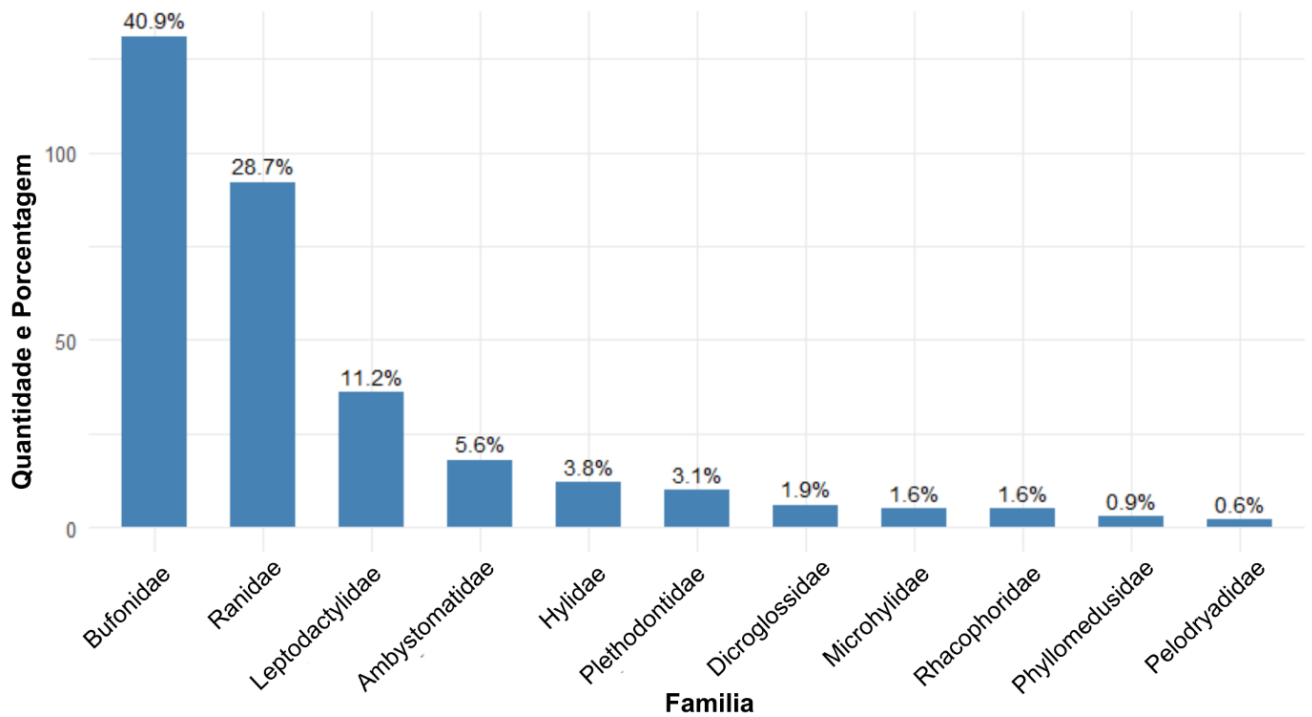
4.2 Identificação das espécies de anfíbios utilizadas

Foram identificadas 11 famílias e 24 espécies de anfíbios, sendo 22 espécies da ordem Anura e 2 duas espécies da ordem Caudata (Tabela 1). Foram 26 publicações e 292 experimentos que utilizaram espécies da ordem Anura e 3 publicações e 28 experimentos que utilizaram espécies da ordem Caudata. Em relação a experimentos feitos com espécies da ordem Caudata foram identificadas espécies da família Ambystomatidae e Plethodontidae, sendo que as três publicações são de Estados Unidos e a espécie mais utilizada nos experimentos foi *Ambystoma barbouri* (64,3%). Os gêneros da ordem Anura mais utilizados foram *Bufo* representando um 26,4% dos experimentos, seguido do gênero *Rhinella* (13,4%) e *Lithobates* (10,3%). As espécies de anuro mais utilizadas em experimentos realizados nos Estados Unidos foram: *Lithobates pipiens* (19,7%) e *Lithobates sylvaticus* (19,7%). As espécies mais utilizadas em experimentos realizados no Brasil foram: *Rhinella schneideri* (33,3%), *Physalaemus nattereri* (33,3%) e *Aquarana catesbeianus* (31,5%). Observa-se que os anuros da espécie *catesbeianus* (10,6%) foram os mais utilizados da família Ranidae.

Em relação ao total de experimentos realizados ($n=320$), a família Bufonidae foi a mais utilizada representando 40,9% dos experimentos, seguida da família Ranidae (28,7%) e a família Leptodactylidae (11,2%) (Figura 6) além disso

todos os experimentos foram realizados em laboratório (*ex situ*) e em todos foram utilizadas larvas tanto dos anuros como dos caudados.

Figura 6 - Quantificação e porcentagem das famílias de anfíbios utilizadas nos experimentos.



Obs. o eixo x representa a família da espécie utilizada, enquanto o eixo y representa em termos de porcentagem a quantidade de experimentos

Fonte: Autor

Tabela 1 - Informações gerais sobre as espécies de anfíbios estudadas.

Ordem	Gênero	Espécie	Estado de ameaça	Status populacional
Anura	<i>Agalychnis</i>	<i>callidryas</i>	LC	Declínio
Caudata	<i>Ambystoma</i>	<i>barbouri</i>	LC	Declínio
Anura	<i>Aquarana</i>	<i>catesbeianus</i>	LC	Incrementando
Anura	<i>Boana</i>	<i>faber</i>	LC	Estável
Anura	<i>Bufo</i>	<i>bufo</i>	LC	Declínio
Anura	<i>Bufotes</i>	<i>viridis</i>	LC	Declínio
Anura	<i>Dryophytes</i>	<i>japonicus</i>	LC	Estável
Anura	<i>Duttaphrynus</i>	<i>melanostictus</i>	LC	Incrementando
Caudata	<i>Eurycea</i>	<i>wilderae</i>	LC	Estável
Anura	<i>Fejervarya</i>	<i>limnocharis</i>	LC	Estável
Anura	<i>Lithobates</i>	<i>clamitans</i>	LC	Estável
Anura	<i>Lithobates</i>	<i>sylvaticus</i>	LC	Estável
Anura	<i>Lithobates</i>	<i>pipiens</i>	LC	Declínio
Anura	<i>Litoria</i>	<i>citropa</i>	LC	Declínio
Anura	<i>Microhyla</i>	<i>pulchra</i>	LC	Estável
Anura	<i>Pelophylax</i>	<i>nigromaculatus</i>	LC	Declínio
Anura	<i>Pelophylax</i>	<i>ridibundus</i>	LC	Estável
Anura	<i>Physalaemus</i>	<i>nattereri</i>	LC	Estável
Anura	<i>Polypedates</i>	<i>megacephalus</i>	LC	Estável
Anura	<i>Rana</i>	<i>dalmatina</i>	LC	Declínio
Anura	<i>Rana</i>	<i>temporaria</i>	LC	Estável
Anura	<i>Rana</i>	<i>clamitans</i>	LC	Estável
Anura	<i>Rhinella</i>	<i>schneideri</i>	LC	Estável
Anura	<i>Rhinella</i>	<i>arenarum</i>	LC	Estável

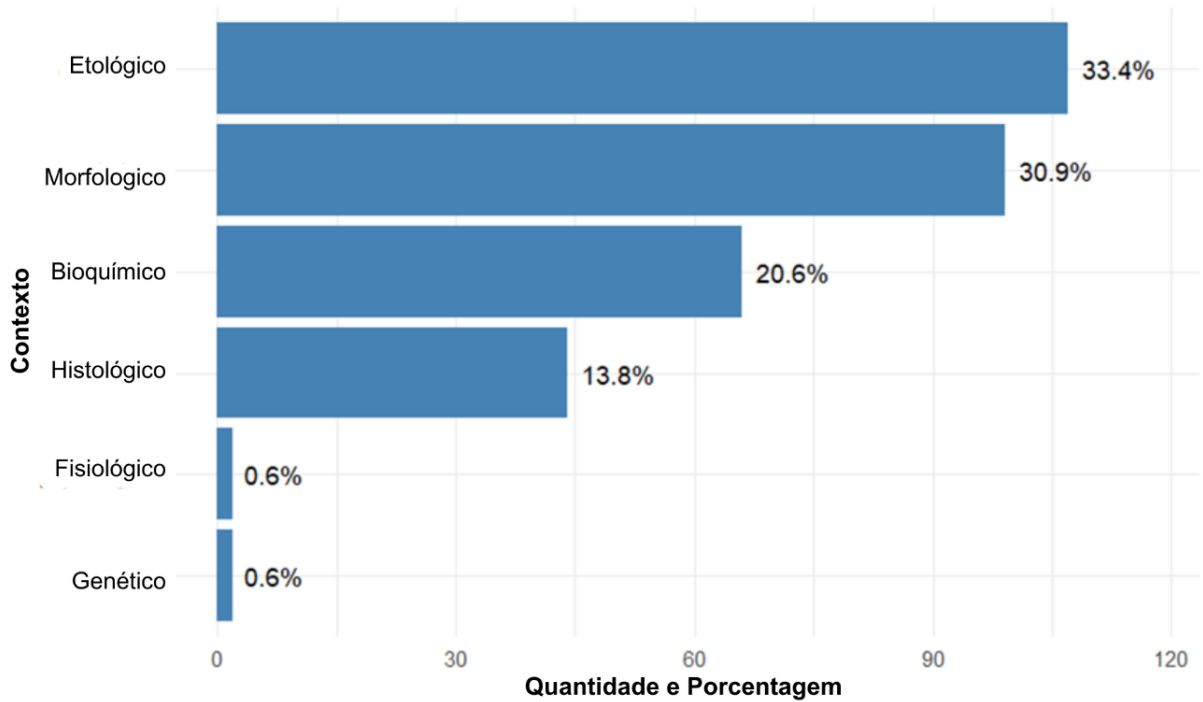
Obs. LC = "Least Concern", traduzido ao português como "Menor Preocupação"

Fonte: Autor

4.3 Identificação dos contextos e parâmetros avaliados

Os experimentos avaliaram a resposta em seis diferentes contextos sendo o etológico o mais utilizado (33,4%; n=107) nos experimentos, seguido da avaliação de respostas num contexto morfológico (30,9%; n=99); bioquímico (20,6%; n=66) e histológico (13,8%). Teve um experimento que avalio a resposta no contexto genético e um experimento que avalio a resposta no contexto fisiológico (Figura 7). Em relação aos parâmetros foram identificados 46 parâmetros que avaliaram o impacto combinado dos contaminantes e a temperatura (Figura 8), sendo a sobrevivência o parâmetro mais utilizado nos experimentos (17,5%; n= 56), seguido do desenvolvimento larval (13,8%; n=44) e a atividade enzimática (10%; n=32). Vinte sete parâmetros (27) foram analisados num único experimento representando 0,63% cada um.

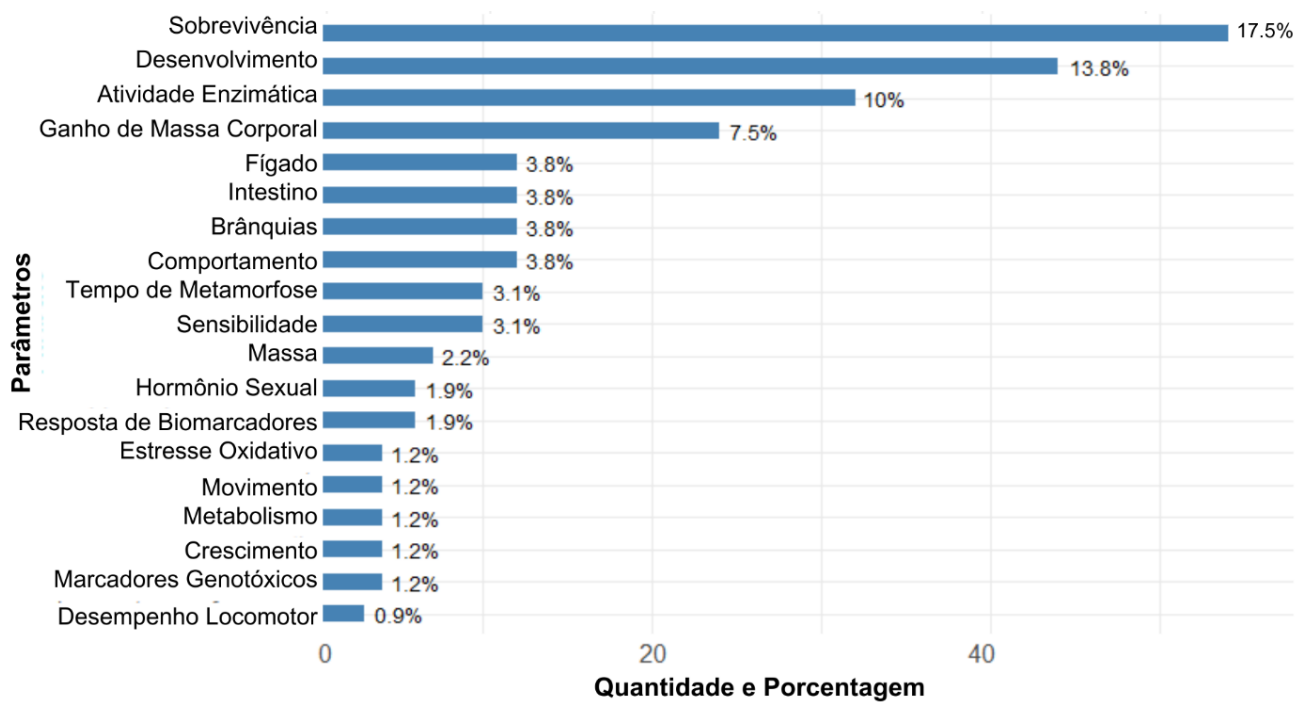
Figura 7 - Diferentes contextos avaliados nos experimentos.



Obs. o eixo x representa em termos de porcentagem a quantidade de experimentos, enquanto o eixo y representa o contexto utilizado.

Fonte: Autor

Figura 8 - Parâmetros analisados na resposta dos anfíbios nos experimentos.

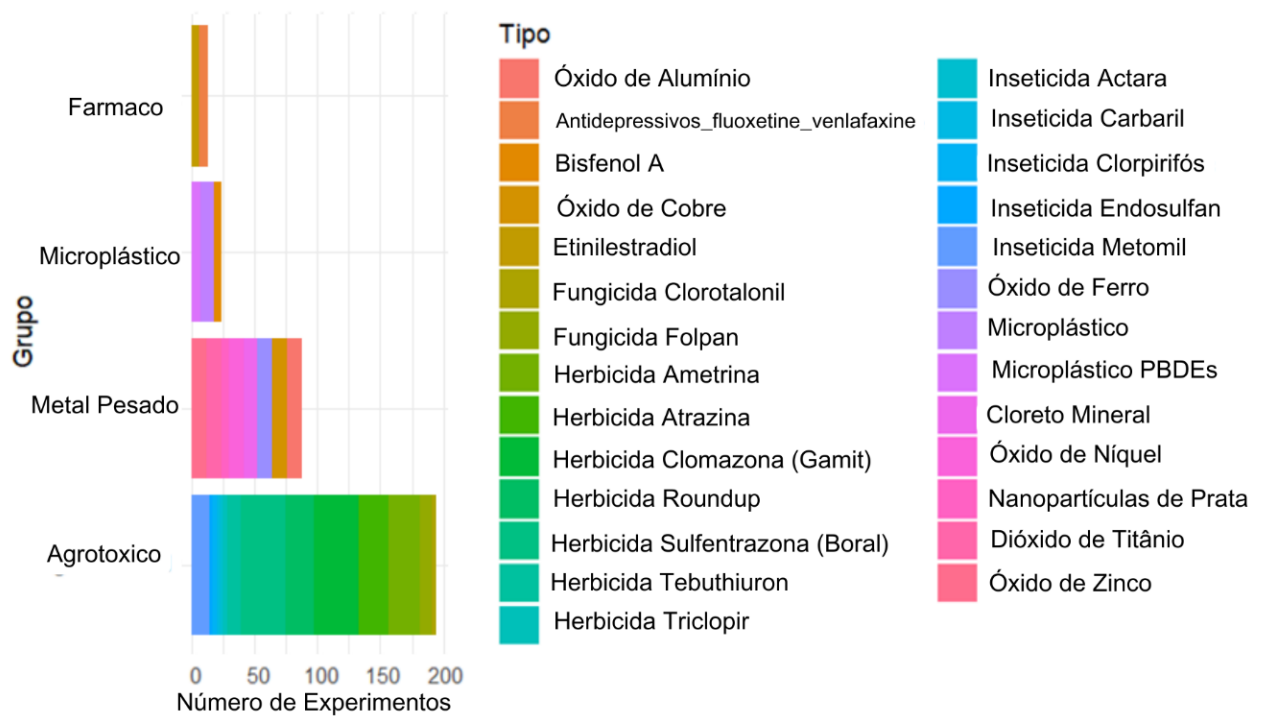


Obs. o eixo x representa em termos de porcentagem a quantidade de experimentos, enquanto o eixo y representa o parâmetro utilizado. Fonte: Autor

4.4 Identificação de grupo e tipo dos contaminantes

Foram identificados quatro grupos de contaminantes e vinte sete tipos (Figura 9) sendo o grupo de agrotóxicos os mais utilizados (60,6%; n=194) seguido do grupo de metais (27,5%; n=88), depois o grupo de microplásticos (7,5%; n= 24) e por último o grupo de fármacos (4,4%; n=14). No grupo de agrotóxicos o tipo mais utilizado foi o herbicida, principalmente ametrina, atrazina, clomazona e sulfentrazone, no grupo de metais não teve algum tipo que foi o mais utilizado, nos grupos de microplástico e fármacos em poucos dados para ressaltar algum padrão.

Figura 9 - Quantificação dos grupos e tipos de agentes utilizados nos experimentos.



Obs. o eixo x representa a quantidade de experimentos realizados, enquanto o eixo y representa o grupo do contaminante

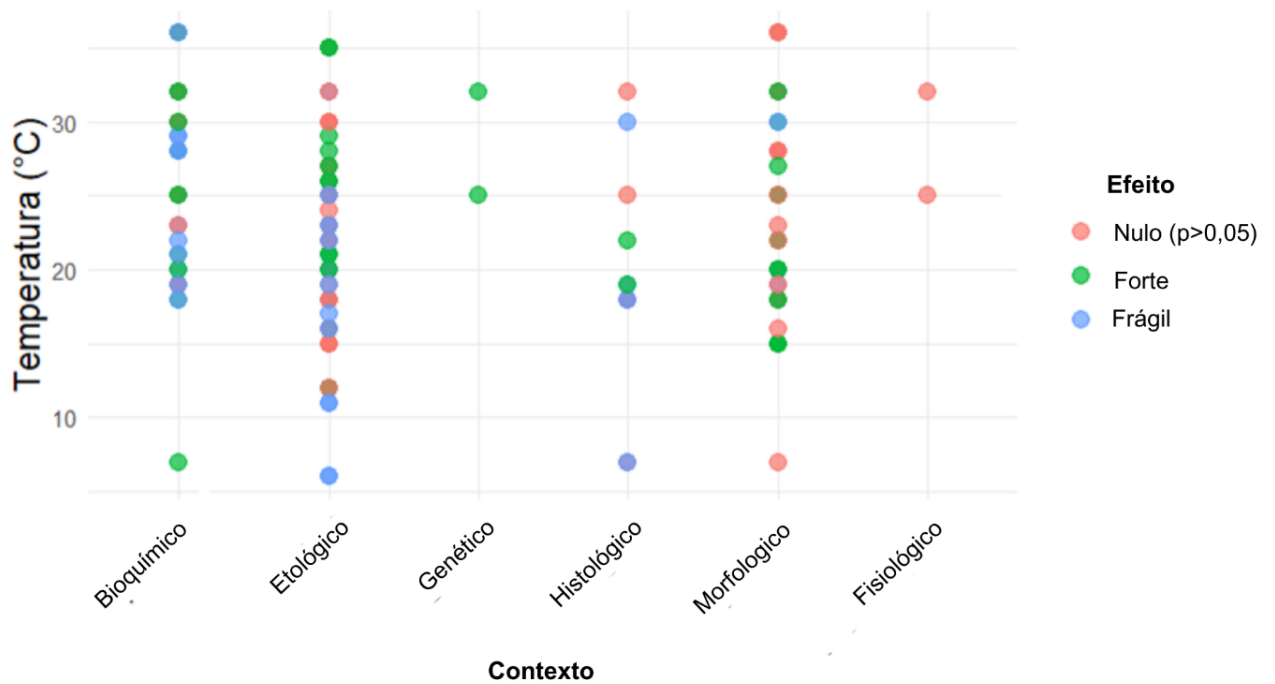
Fonte: Autor.

4.5 Ecotoxicologia em um cenário de aumento de temperatura

Em relação ao contexto da resposta dos anfíbios frente a ação de contaminantes em diferentes temperaturas nos 320 experimentos (Figura 10) observou-se o seguinte: 9,4% (n=30) dos parâmetros do contexto bioquímico a resposta foi nula, 6,3% (n=20) apresentaram efeito forte e 5% (n=16) apresentaram efeito frágil; 15% (n=48) dos parâmetros do contexto etológico a resposta foi nula, 9% (n=29) apresentaram efeito forte e 9,4% (n=30) apresentaram efeito frágil; 4,4% (n=14) dos parâmetros do contexto histológico a resposta foi nula, 8,8% (n=28) apresentaram efeito forte e 0,63% (n=2) apresentaram efeito frágil; 19,1% (n=61) dos parâmetros do contexto morfológico a resposta foi nula, 7,2% (n=23) apresentaram efeito forte e 4,7% (n=15) apresentaram efeito frágil. Os parâmetros do contexto genético (0,63%; n=2) apresentaram efeito forte e os parâmetros do contexto fisiológico (0,63%; n=2) a resposta foi nula.

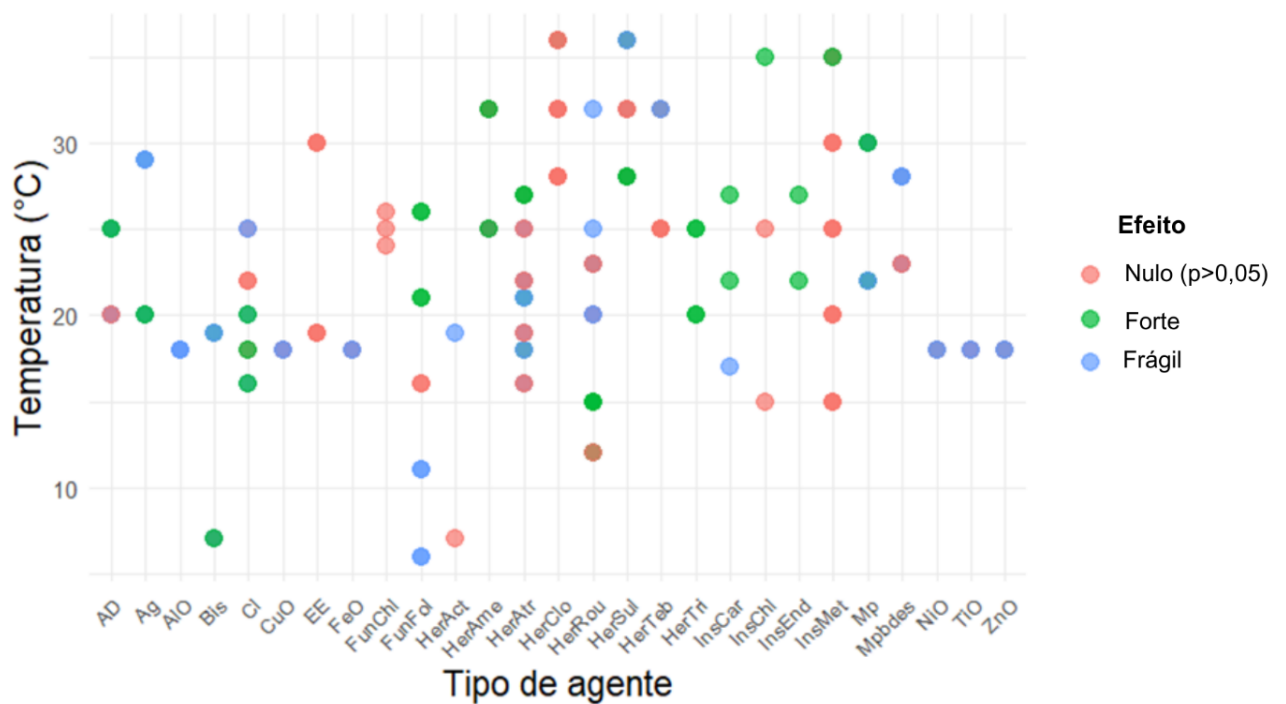
Por outro lado, observasse na Figura 11 que em relação aos contaminantes a maioria dos estudos com agrotóxicos principalmente com herbicidas e fungicidas e metais evidenciaram um efeito amplificado da toxicidade sobre os anfíbios com o aumento da temperatura.

Figura 10 - Grau do efeito dos contaminantes em relação ao contexto nas temperaturas analisadas.



Obs. o eixo x representa o contexto utilizado, enquanto o eixo y representa as temperaturas testadas.
 Fonte: Autor.

Figura 11 - Grau do efeito de cada tipo de agente estressor em função da temperatura analisada.



Obs. o eixo x representa o tipo de agente, enquanto o eixo y representa as temperaturas testadas. No apêndice poderá encontrar o significado de cada abreviação. Fonte: Autor.

5. DISCUSSÃO

Desde o início da década de 1990 até aproximadamente 2015, as pesquisas sobre a combinação de fatores estressores com a temperatura em anfíbios eram relativamente escassas (Fig. 2). A partir de 2015 a literatura sobre o tema cresceu exponencialmente, o que indica que os esforços científicos nesta área podem se intensificar nos próximos anos, especialmente devido à expansão das discussões globais sobre as causas e efeitos das mudanças climáticas na biodiversidade (IZAH et al., 2023; SIGMUND et al., 2023; LEDDIN, 2024).

A análise da distribuição geográfica (Fig. 4 e 5) revelou que os estudos estão desigualmente distribuídos globalmente, ss Estados Unidos (n=9) e Brasil (n=7) foram os países com o maior número de publicações, representando juntos mais da metade dos estudos analisados (55,17%). A predominância nos Estados Unidos pode estar associada a que possui maior disponibilidade de recurso voltado a pesquisa ambiental (SHELTON, 2008) em quanto no Brasil pode estar relacionada ao aumento pela preocupação das mudanças do uso do solo (NORI *et al.*, 2015; VERONEZ *et al.*, 2021; CABALLERO *et al.*, 2022) e pela riqueza de espécies de anfíbios já que é o país que abriga a maior diversidade de anfíbios do mundo (SILVANO & SEGALLA, 2005), por outro lado a escassez de estudos na África e Oceania indica uma lacuna no conhecimento sobre os impactos combinados de poluentes e temperatura nesses locais. Isso é preocupante, pois muitas dessas regiões abrigam *hotspots* de biodiversidade (IUCN, 2025).

Em relação ao conteúdo das publicações analisadas, observa-se que os efeitos dos contaminantes em diferentes temperaturas (Fig. 6 e Tabela 1), o que representa uma porcentagem extremamente pequena do número total de famílias (14,29%) e espécies (0,27%) catalogado até agora (AMPHIBIAWEB, 2025). A maior parte dos experimentos analisados concentrou-se em espécies pertencentes às famílias Ranidae e Bufonidae (69,7%). A seleção dessas famílias pode ser justificada por suas características ecológicas, incluindo alta riqueza de espécies (FROST *et al.*, 2006), ampla distribuição em diversos habitats e uma capacidade de adaptação a ambientes variados, frequentemente associada a comportamentos generalistas (PRAMUK *et al.*, 2008; WIENS *et al.*, 2009). O que foi impressionante e que a espécie *Aquarana catesbeianus* (Família: Ranidae) foi utilizada em quatro das sete publicações feitas no Brasil, onde ela é considerada uma espécie exótica invasora

(GROTT *et al.*, 2021, 2022, 2023; CARNEIRO *et al.*, 2023). O uso desta espécie como modelo biológico deve à fisiologia bem documentada e à notável capacidade de adaptação a diferentes corpos d'água doce (BURGGREN & WARBURTON, 2007; AKMENTINS & CARDOZO, 2010; HELBING, 2012). Embora a rã-touro (*A. catesbeianus*) seja um anfíbio modelo, é importante considerar que, em um contexto de mudanças climáticas, cada espécie possui características específicas e ocupa nichos restritos (LI *et al.*, 2013; MENENDEZ-GUERRERO *et al.*, 2020; LIU *et al.*, 2021), sendo assim, os resultados obtidos com esta espécie não deveriam ser extrapolados para outras espécies, principalmente de outras famílias. Desta forma, recomenda-se a utilização de diferentes espécies nativas do país/região onde o experimento será conduzido, pois isso permitirá a obtenção de resultados mais precisos sobre os impactos das mudanças climáticas nas populações locais (PRESTON, 2002; WANG *et al.*, 2013; NIEMEYER *et al.*, 2017; FREITAS *et al.*, 2017).

Obteve-se mais publicações/experimentos que focaram em respostas comportamentais (33,4%), morfológicas (30,9%), bioquímicas (20,6%) e histológicas (13,8%), indicando que existe uma ampla literatura sobre efeitos ecológicos, estruturais e metabólicos dos contaminantes. Por outro lado, publicações que avaliaram parâmetros num contexto genéticos e fisiológico foram pouco exploradas (n=2), o que poderia evidenciar lacunas no conhecimento destas áreas. A sobrevivência e o desenvolvimento são parâmetros importantes na ecologia pois eles revelam informações essenciais sobre a condição e o equilíbrio das populações, comunidades e ecossistemas (CAREY & BRYANT, 1995; BLAUSTEIN *et al.*, 2011; WILLSON *et al.*, 2012), já a atividade enzimática está relacionada a processos de desintoxicação, considerados biomarcadores importantes para o estresse oxidativo e a neurotoxicidade, com respostas agudas e crônicas a efluentes (AICH, 2015; TEIXEIRA-MARINS *et al.*, 2020; BOUALIT *et al.*, 2023; PEREIRA DA SILVA ALVES *et al.*, 2024). Porém, 27 dos parâmetros foram avaliados uma única vez o que poderia indicar uma falta de padronização nas análises, adicionalmente o fato de que muitas respostas ou parâmetros ainda não foram suficientemente explorados o que sugere a necessidade de aumentar a pesquisa utilizando estes parâmetros.

Em relação ao grupo de contaminantes revelou-se um predomínio marcante dos agrotóxicos (60,6%) nos experimentos, seguidos pelos metais (27,5%), enquanto microplásticos (7,5%) e fármacos (4,4%) foram significativamente menos

estudados. Este padrão sugere que a pesquisa tem se concentrado em poluentes tradicionais e amplamente utilizados, como agrotóxicos e metais, que já possuem histórico consolidado de impacto nos ecossistemas aquáticos (SCHMITT-JANSEN *et al.*, 2008; VASSEUR *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2022; EDO *et al.*, 2024). Em contraste, contaminantes emergentes, como microplásticos e fármacos, ainda são poucos estudados, apesar do seu crescente acúmulo nos ecossistemas aquáticos e do potencial de efeitos ecotoxicológicos ao longo prazo (DA COSTA ARAUJO *et al.*, 2021; VO & PHAM, 2021; HEJNA *et al.*, 2022).

A maioria dos experimentos utilizaram herbicidas (48,75%), este padrão deve estar relacionado devido ao seu uso intensivo em escala global (KÖHLER & TRIEBSKORN, 2013; SHATTUCK *et al.*, 2023; OLGUÍN-HERNÁNDEZ *et al.*, 2024). Porém, herbicidas aplicados na agricultura podem ser lixiviados para ambientes aquáticos próximos a áreas agrícolas, principalmente durante períodos chuvosos (BOTTA *et al.*, 2009; ISLAM *et al.*, 2018; PAVAN *et al.*, 2021; PAETOW *et al.*, 2023), deixando a fauna aquática, inclusive os anfíbios, expostos a esses contaminantes. Tem estudos que já demonstraram que os herbicidas afetam negativamente a biodiversidade aquática, contudo, os efeitos dependem do tipo de herbicida, sua concentração, tempo de exposição e a sensibilidade de cada espécie (PRATT *et al.*, 1997; DAAM *et al.*, 2019; DONAHER & VAN DEN HURK, 2023). Os efeitos mais conhecidos são a toxicidade direta (LECHINOVSKI *et al.*, 2022), disrupção endócrina e reprodutiva (YANG *et al.*, 2021; BERNARDI *et al.*, 2022), alterações no sistema imunológico e estresse oxidativo (SINHORIN *et al.*, 2014; PALA, 2019) e alterações comportamentais (GERHARDT, 2007).

Em relação aos contextos e contaminantes avaliados num cenário de aumento de temperatura observa-se uma variação na intensidade das respostas dos anfíbios, dependendo do contexto biológico analisado. Em geral, os efeitos nulos foram mais frequentes do que os efeitos fortes ou fracos, sugerindo que, em muitos casos, a temperatura pode não influenciar significativamente os impactos dos contaminantes. No entanto, algumas respostas no contexto etológico (9%) e histológico (8,8%) apresentaram efeitos fortes, o que pode indicar sensibilidade comportamental e celular às interações entre poluentes e variações térmicas. Além disso, respostas bioquímicas e morfológicas também mostraram efeitos significativos, embora em menor proporção.

Em relação aos contaminantes a maioria dos estudos com agrotóxicos principalmente com herbicidas e fungicidas evidenciou um efeito amplificado sobre os anfíbios com o aumento da temperatura (BROOMHALL *et al.*, 2002; BAIER *et al.*, 2016; FREITAS *et al.*, 2017; YIN *et al.*, 2024), estudos com metais também evidenciaram esse efeito amplificado (GREEN & SALICE *et al.*, 2020; SINGHA *et al.*, 2024; VAISSI *et al.*, 2024), por outro lado estudos com microplásticos e fármacos não evidenciaram algum padrão que possa ser considerado, possivelmente pela escassez de experimentos realizados.

Provavelmente no mundo natural, os anfíbios enfrentem impactos dos contaminantes em diferentes contextos ecológicos e biológicos diante das mudanças de temperatura associadas às mudanças climáticas como já vem se discutindo desde a época dos anos 2000 (BLAUSTEIN *et al.*, 2001;2010; CAREY & ALEXANDER, 2003; ROLLINS-SMITH, 2017) isto é preocupante principalmente para as espécies das regiões tropicais, pois apresentam uma menor amplitude térmica comparadas as espécies de regiões temperadas que possuem maiores variações de temperatura, influenciando de maneira distinta a dinâmica das comunidades que nelas habitam (DAAM & VAN DEN BRINK, 2010; GUNNARSSON & CASTILLO, 2018; WANG *et al.*, 2019; MENENDEZ-GUERRERO *et al.*, 2020).

6. CONCLUSÃO

Esta revisão evidencia o crescimento dos estudos sobre os efeitos combinados de contaminantes e temperatura em anfíbios, mas também revela lacunas significativas, como a desigualdade geográfica, a predominância de pesquisas com poucas espécies, e a falta de literatura sobre os efeitos de contaminantes emergentes.

A maioria dos estudos trabalharam em agrotóxicos e metais, enquanto microplásticos e fármacos foram pouco explorados. Além disso, os experimentos priorizaram parâmetros comportamentais, morfológicos e bioquímicos, enquanto parâmetros genéticos e fisiológicos permaneceram subexplorados. A sobrevivência, o desenvolvimento larval e a atividade enzimática foram os parâmetros mais estudados, demonstrando um foco na viabilidade populacional e nos efeitos do estresse oxidativo.

A influência da temperatura sobre os contaminantes variou conforme o tipo de poluente, sendo mais evidente para contaminantes agrotóxicos e metais que para microplásticos e fármacos, possivelmente devido à que existe pouca literatura sobre estes contaminantes emergentes. No contexto ecológico, esses resultados sugerem que as espécies de anfíbios podem estar particularmente vulneráveis às interações entre estes poluentes e mudanças climáticas, tornando essencial a ampliação das pesquisas nesse cenário.

Diante estas evidências, recomenda-se que futuras pesquisas priorizem uma abordagem mais integrada, incluindo uma maior diversidade de espécies, especialmente de regiões pouco exploradas, e investiguem contaminantes emergentes e suas interações com a temperatura. Além disso, a padronização de metodologias, mais pesquisas com os parâmetros conhecidos e incorporação de novas métricas principalmente fisiológicas e genéticas poderiam contribuir para uma compreensão mais abrangente e preditiva dos impactos das mudanças climáticas sobre os anfíbios e seus ecossistemas.

7. REFERÊNCIAS

- ADEDEJI, Olufemi; REUBEN, Okocha; OLATOYE, Olufemi. Global climate change. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, v. 2, n. 2, p. 114-122, 2014.
- AICH, Anulipi; et al. Ecotoxicological assessment of tannery effluent using guppy fish (*Poecilia reticulata*) as an experimental model: a biomarker study. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, v. 78, n. 4, p. 278-286, 2015.
- AKMENTINS, Mauricio Sebastián; CARDOZO, Darío Elbio. American bullfrog *Lithobates catesbeianus* (Shaw, 1802) invasion in Argentina. *Biological Invasions*, v. 12, p. 735-737, 2010.
- ALLEGRI, Ivo; IANNIELLO, Antonietta; VALENTINI, Federica. Environmental air pollution: an anthropogenic or a natural issue?. In: *Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes*. Elsevier, 2023. p. 1-38.
- ANUNCIAÇÃO, Paula Ribeiro; et al. Climate-driven loss of taxonomic and functional richness in Brazilian Atlantic Forest anurans. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 21, n. 4, p. 274-285, 2023.
- AMPHIBIAWEB. 2025. <<https://amphibiaweb.org>> University of California, Berkeley, CA, USA. Accessed 25 Feb 2025.
- ARANCIO, Ashley L.; et al. Developmental toxicity of bisphenol A diglycidyl ether (epoxide resin badge) during the early life cycle of a native amphibian species. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 35, n. 12, p. 3031-3038, 2016.
- ARANCIO, Ashley L.; et al. Bisphenol A, Bisphenol AF, di-n-butyl phthalate, and 17 β -estradiol have shared and unique dose-dependent effects on early embryo cleavage divisions and development in *Xenopus laevis*. *Reproductive Toxicology*, v. 84, p. 65-74, 2019.
- ARIHILAM, Ngozi H.; ARIHILAM, E. C. Impact and control of anthropogenic pollution on the ecosystem—A review. *Journal of Bioscience and Biotechnology Discovery*, v. 4, n. 3, p. 54-59, 2019.
- BAIER, Fabian; et al. Non-target effects of a glyphosate-based herbicide on Common toad larvae (*Bufo bufo*, Amphibia) and associated algae are altered by temperature. *PeerJ*, v. 4, p. e2641, 2016.
- BARNOSKY, Anthony D.; et al. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, v. 471, n. 7336, p. 51-57, 2011.

BERNARDI, Fernanda et al. Effects on reproductive, biochemical and genotoxic parameters of herbicides 2, 4-D and glyphosate in silver catfish (*Rhamdia quelen*). *Environmental toxicology and pharmacology*, v. 89, p. 103787, 2022.

BICEGO, Kênia C.; BARROS, Renata CH; BRANCO, Luiz GS. Physiology of temperature regulation: comparative aspects. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, v. 147, n. 3, p. 616-639, 2007.

BLAUSTEIN, Andrew R. et al. Amphibian breeding and climate change. *Conservation Biology*, v. 15, n. 6, p. 1804-1809, 2001.

BLAUSTEIN, Andrew R. et al. Direct and indirect effects of climate change on amphibian populations. *Diversity*, v. 2, n. 2, p. 281-313, 2010.

BLAUSTEIN, Andrew R. et al. The complexity of amphibian population declines: understanding the role of cofactors in driving amphibian losses. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1223, n. 1, p. 108-119, 2011.

BOTTA, Fabrizio; et al. Transfer of glyphosate and its degradate AMPA to surface waters through urban sewerage systems. *Chemosphere*, v. 77, n. 1, p. 133-139, 2009.

BOUALIT, Laurent et al. The Amphibian Short-Term Assay: Evaluation of a New Ecotoxicological Method for Amphibians Using Two Organophosphate Pesticides Commonly Found in Nature—Assessment of Behavioral Traits. *Environmental toxicology and chemistry*, v. 42, n. 7, p. 1595-1606, 2023.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 12 jul. 1989. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=356265L. Acesso em: 8 abr. 2024.

BRIFFA, Mark; BRIDGER, Danielle; BIRO, Peter A. How does temperature affect behaviour? Multilevel analysis of plasticity, personality and predictability in hermit crabs. *Animal Behaviour*, v. 86, n. 1, p. 47-54, 2013.

BROOMHALL, Sara. The effects of endosulfan and variable water temperature on survivorship and subsequent vulnerability to predation in *Litoria citropa* tadpoles. *Aquatic Toxicology*, v. 61, n. 3-4, p. 243-250, 2002.

BURGGREN, Warren W.; WARBURTON, Stephen. Amphibians as animal models for laboratory research in physiology. *ILAR Journal*, v. 48, n. 3, p. 260-269, 2007.

BURLIBAŞA, L.; GAVRILĂ, L. Amphibians as model organisms for study environmental genotoxicity. *Applied Ecology and Environmental Research*, v. 9, n. 1, p. 1-15, 2011.

CABALLERO, Cassia Brocca; RUHOFF, Anderson; BIGGS, Trent. Land use and land cover changes and their impacts on surface-atmosphere interactions in Brazil: A systematic review. *Science of The Total Environment*, v. 808, p. 152134, 2022.

CAREY, Cynthia; BRYANT, Corrie J. Possible interrelations among environmental toxicants, amphibian development, and decline of amphibian populations. *Environmental health perspectives*, v. 103, n. suppl 4, p. 13-17, 1995.

CAREY, Cynthia; ALEXANDER, Michael A. Climate change and amphibian declines: is there a link? *Diversity and distributions*, v. 9, n. 2, p. 111-121, 2003.

CARNEIRO, Francisco Estevão; et al. Influence of temperature on the biomarker responses of bullfrog tadpoles (*Lithobates catesbeianus*) to 2-hydroxyatrazine exposure. *Aquatic Toxicology*, v. 257, p. 106468, 2023.

CAMPBELL GRANT, Evan H.; MILLER, David AW; MUTHS, Erin. A synthesis of evidence of drivers of amphibian declines. *Herpetologica*, v. 76, n. 2, p. 101-107, 2020.

CASTILLO, Luisa E.; DE LA CRUZ, Elba; RUEPERT, Clemens. Ecotoxicology and pesticides in tropical aquatic ecosystems of Central America. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, v. 16, n. 1, p. 41-51, 1997.

DA COSTA ARAÚJO, Amanda Pereira; et al. Micro (nano) plastics as an emerging risk factor to the health of amphibian: A scientometric and systematic review. *Chemosphere*, v. 283, p. 131090, 2021.

DA SILVA, Márcio Borba; et al. Effects of acute exposure of chlorpyrifos on the survival, morphology and swimming ability of *Odontophrynus carvalhoi* tadpoles. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, v. 15, n. 1, p. 37-42, 2020.

DAAM, Michiel A.; VAN DEN BRINK, Paul J. Implications of differences between temperate and tropical freshwater ecosystems for the ecological risk assessment of pesticides. *Ecotoxicology*, v. 19, p. 24-37, 2010.

DAAM, Michiel A. et al. Lethal toxicity of the herbicides acetochlor, ametryn, glyphosate and metribuzin to tropical frog larvae. *Ecotoxicology*, v. 28, p. 707-715, 2019.

DELORENZO, Marie E. Impacts of climate change on the ecotoxicology of chemical contaminants in estuarine organisms. *Current Zoology*, v. 61, n. 4, p. 641-652, 2015.

DONAHER, Sarah E.; VAN DEN HURK, Peter. Ecotoxicology of the herbicide paraquat: effects on wildlife and knowledge gaps. *Ecotoxicology*, v. 32, n. 9, p. 1187-1199, 2023.

EDO, Great Iruoghene et al. Environmental persistence, bioaccumulation, and ecotoxicology of heavy metals. *Chemistry and Ecology*, v. 40, n. 3, p. 322-349, 2024.

EGEA-SERRANO, Andrés; et al. Understanding of the impact of chemicals on amphibians: a meta-analytic review. *Ecology and Evolution*, v. 2, n. 7, p. 1382-1397, 2012.

ETEROVICK, Paula Cabral; et al. Amphibian declines in Brazil: an overview. *Biotropica: The Journal of Biology and Conservation*, v. 37, n. 2, p. 166-179, 2005.

FICKEN, Kristina LG; BYRNE, Phillip G. Heavy metal pollution negatively correlates with anuran species richness and distribution in southeastern Australia. *Austral Ecology*, v. 38, n. 5, p. 523-533, 2013.

FREITAS, Juliane Silberschmidt; TERESA, Fabrício Barreto; DE ALMEIDA, Eduardo Alves. Influence of temperature on the antioxidant responses and lipid peroxidation of two species of tadpoles (*Rhinella schneideri* and *Physalaemus nattereri*) exposed to the herbicide sulfentrazone (Boral 500SC®). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, v. 197, p. 32-44, 2017.

FREITAS, Juliane Silberschmidt; et al. Combined effects of temperature and clomazone (Gamit®) on oxidative stress responses and B-esterase activity of *Physalaemus nattereri* (Leiuperidae) and *Rhinella schneideri* (Bufonidae) tadpoles. *Chemosphere*, v. 185, p. 548-562, 2017.

FROST, Darrel R.; et al. The amphibian tree of life. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, v. 2006, n. 297, p. 1-291, 2006.

GARAI, P.; et al. Effect of heavy metals on fishes: Toxicity and bioaccumulation. *Journal of Clinical Toxicology*, v. 18, 2021.

GERHARDT, A. Aquatic behavioral ecotoxicology—prospects and limitations. *Human and Ecological Risk Assessment*, v. 13, n. 3, p. 481-491, 2007.

GREEN, David M.; et al. Amphibian population declines: 30 years of progress in confronting a complex problem. *Herpetologica*, v. 76, n. 2, p. 97-100, 2020.

GREEN, Frank B.; SALICE, Christopher J. Increased temperature and lower resource quality exacerbate chloride toxicity to larval *Lithobates sylvaticus* (wood frog). *Environmental Pollution*, v. 266, p. 115188, 2020.

GROTT, Suelen Cristina; et al. Effects of the herbicide ametryn on development and thyroidogenesis of bullfrog tadpoles (*Aquarana catesbeiana*) under different temperatures. *Environmental Pollution*, v. 322, p. 121159, 2023.

GROTT, Suelen Cristina; et al. Influence of temperature on biomarker responses and histology of the liver of American bullfrog tadpoles (*Lithobates catesbeianus*, Shaw, 1802) exposed to the herbicide Tebuthiuron. *Science of The Total Environment*, v. 771, p. 144971, 2021.

GROTT, Suelen Cristina; et al. Influence of temperature on biomarker responses of bullfrog tadpoles (*Lithobates catesbeianus*) exposed to the herbicide ametryn. *Chemosphere*, v. 308, p. 136327, 2022.

GUILHERMINO, Lúcia; et al. Long-term adverse effects of microplastics on *Daphnia magna* reproduction and population growth rate at increased water temperature and light intensity: Combined effects of stressors and interactions. *Science of the Total Environment*, v. 784, p. 147082, 2021.

GUNNARSSON, Jonas S.; CASTILLO, Luisa E. Ecotoxicology in tropical regions. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, p. 13203-13206, 2018.

GUTIERREZ, María Florencia et al. Responses of freshwater organisms to multiple stressors in a climate change scenario: a review on small-scale experiments. *Environmental Science and Pollution Research*, p. 1-14, 2025.

HADDAD, Célio FB; PRADO, Cynthia PA. Reproductive modes in frogs and their unexpected diversity in the Atlantic Forest of Brazil. *BioScience*, v. 55, n. 3, p. 207-217, 2005.

HÄDER, Donat-P. et al. Anthropogenic pollution of aquatic ecosystems: Emerging problems with global implications. *Science of the Total environment*, v. 713, p. 136586, 2020.

HELBING, Caren C. The metamorphosis of amphibian toxicogenomics. *Frontiers in Genetics*, v. 3, p. 37, 2012.

HEJNA, Monika; KAPUŚCIŃSKA, Dominika; AKSMANN, Anna. Pharmaceuticals in the aquatic environment: a review on eco-toxicology and the remediation potential of algae. *International journal of environmental research and public health*, v. 19, n. 13, p. 7717, 2022.

HILL, Danielle; et al. Fate and sublethal effects of metals during amphibian metamorphosis: A systematic review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 52, n. 23, p. 4266-4283, 2022.

HOOVER, Michael J.; et al. Interactions between chemical and climate stressors: A role for mechanistic toxicology in assessing climate change risks. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 32, n. 1, p. 32-48, 2013.

HOPKINS, William A. Amphibians as models for studying environmental change. *ILAR Journal*, v. 48, n. 3, p. 270-277, 2007.

HUTLER WOLKOWICZ, Ianina; et al. Developmental toxicity of bisphenol A diglycidyl ether (epoxide resin badge) during the early life cycle of a native amphibian species. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 35, n. 12, p. 3031-3038, 2016.

IANNACONE, José; ALVARIÑO, Lorena. Efecto ecotoxicológico de tres metales pesados sobre el crecimiento radicular de cuatro plantas vasculares. *Agricultura Técnica*, v. 65, n. 2, p. 198-203, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. Instrução Normativa nº 13, de 23 de agosto de 2021. Estabelece procedimentos para o registro e a fiscalização de agrotóxicos e afins. Brasília, DF, 23 ago. 2021.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.

ISLAM, Faisal; et al. Potential impact of the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on human and ecosystems. *Environment International*, v. 111, p. 332-351, 2018.

IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2024-1. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>. Acesso em: 25 fev. 2025.

IZAH, Sylvester Chibueze et al. Impact of air quality as a component of climate change on biodiversity-based ecosystem services. In: Visualization techniques for climate change with machine learning and artificial intelligence. Elsevier, 2023. p. 123-148.

KIR, M.; KUMLU, M.; EROLDUĞAN, O. T. Effects of temperature on acute toxicity of ammonia to *Penaeus semisulcatus* juveniles. *Aquaculture*, v. 241, n. 1-4, p. 479-489, 2004.

KIRUBAGARAN, R.; JOY, K. P. Toxic effects of three mercurial compounds on survival and histology of the kidney of the catfish *Clarias batrachus* (L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 15, n. 2, p. 171-179, 1988.

KÖHLER, Heinz-R.; TRIEBSKORN, Rita. Wildlife ecotoxicology of pesticides: can we track effects to the population level and beyond? *Science*, v. 341, n. 6147, p. 759-765, 2013.

LANNOO, Michael. Malformed frogs: the collapse of aquatic ecosystems. Berkeley: University of California Press, 2008.

LECAROS URZÚA, Juan Alberto. La ética medio ambiental: principios y valores para una ciudadanía responsable en la sociedad global. *Acta Bioethica*, v. 19, n. 2, p. 177-188, 2013.

LECHINOVSKI, Larissa et al. Ecotoxicological effects of conventional herbicides and a natural herbicide on freshwater fish (*Danio rerio*). *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, v. 57, n. 10, p. 812-820, 2022.

LEDDIN, Desmond. The impact of climate change, pollution and biodiversity loss on digestive health and disease. *Gastro Hep Advances*, 2024

LEFCORT, H.; et al. Heavy metals alter the survival, growth, metamorphosis, and antipredatory behavior of Columbia spotted frog (*Rana luteiventris*) tadpoles. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 35, p. 447-456, 1998.

LIBERATI, Alessandro; et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Annals of Internal Medicine*, v. 151, n. 4, p. W-65-W-94, 2009.

LIEBHOLD, Andrew M. Air pollution as an experimental probe of insect population dynamics. *Journal of Animal Ecology*, v. 88, n. 5, p. 662-664, 2019.

LI, Yiming; COHEN, Jeremy M.; ROHR, Jason R. Review and synthesis of the effects of climate change on amphibians. *Integrative Zoology*, v. 8, n. 2, p. 145-161, 2013.

- LIU, Gracie; et al. Species' traits drive amphibian tolerance to anthropogenic habitat modification. *Global Change Biology*, v. 27, n. 13, p. 3120-3132, 2021.
- LOBO, Haroldo; et al. Acute toxicity of zinc and arsenic to the warmwater aquatic oligochaete *Branchiura sowerbyi* as compared to its coldwater counterpart *Tubifex tubifex* (Annelida, Clitellata). *Journal of Soils and Sediments*, v. 16, p. 2766-2774, 2016.
- LUYSSAERT, Sebastiaan; et al. Land management and land-cover change have impacts of similar magnitude on surface temperature. *Nature Climate Change*, v. 4, n. 5, p. 389-393, 2014.
- MAGALHÃES, Danielly de Paiva; et al. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. 2008.
- MA, Yun-hua; et al. Effect of temperature on the toxicity of several insecticides to *Apolygus lucorum* (Heteroptera: Miridae). *Journal of Pesticide Science*, v. 37, n. 2, p. 135-139, 2012.
- MATHEW, Blessy Baby et al. Classification, source, and effect of environmental pollutants and their biodegradation. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology*, v. 36, n. 1, 2017.
- MATTHEWS, Tom et al. Mortality impacts of the most extreme heat events. *Nature Reviews Earth & Environment*, p. 1-18, 2025.
- MENÉNDEZ-GUERRERO, Pablo A.; GREEN, David M.; DAVIES, T. Jonathan. Climate change and the future restructuring of Neotropical anuran biodiversity. *Ecography*, v. 43, n. 2, p. 222-235, 2020.
- MITTELBACH, Gary G. et al. Evolution and the latitudinal diversity gradient: speciation, extinction and biogeography. *Ecology letters*, v. 10, n. 4, p. 315-331, 2007.
- MOHER, David; et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Reviews*, v. 4, p. 1-9, 2015.
- NAEEM, Shahid; DUFFY, J. Emmett; ZAVALA, Erika. The functions of biological diversity in an age of extinction. *Science*, v. 336, n. 6087, p. 1401-1406, 2012.
- NEWMAN, M. C. *Fundamentals of Ecotoxicology: The Science of Pollution*. 4. ed. Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press, 2015.

NIEMEYER, Júlia Carina; CHELINHO, Sónia; SOUSA, José Paulo. Soil ecotoxicology in Latin America: Current research and perspectives. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 36, n. 7, p. 1795-1810, 2017.

NORI, Javier et al. Amphibian conservation, land-use changes and protected areas: A global overview. *Biological Conservation*, v. 191, p. 367-374, 2015.

NOYES, Pamela D.; LEMA, Sean C. (Ed.). Heating up the environmental context of chemical pollution: ecotoxicology in a changing global climate. *Current Zoology*, v. 61, n. 4, p. 614-616, 2015.

NOYES, Pamela D.; LEMA, Sean C. Forecasting the impacts of chemical pollution and climate change interactions on the health of wildlife. *Current Zoology*, v. 61, n. 4, p. 669-689, 2015.

OLGUÍN-HERNÁNDEZ, Licet; et al. Patterns and Relationships of Pesticide Use in Agricultural Crops of Latin America: Review and Analysis of Statistical Data. *Agronomy*, v. 14, n. 12, p. 2889, 2024.

PAETOW, Linda J.; et al. Effects of herbicides and the chytrid fungus *Batrachochytrium dendrobatidis* on the growth, development and survival of larval American toads (*Anaxyrus americanus*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 259, p. 115021, 2023.

PAGE, Matthew J.; et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, v. 372, 2021.

PALA, Ayşegül. The effect of a glyphosate-based herbicide on acetylcholinesterase (AChE) activity, oxidative stress, and antioxidant status in freshwater amphipod: *Gammarus pulex* (Crustacean). *Environmental Science and Pollution Research*, v. 26, n. 36, p. 36869-36877, 2019.

PAVAN, Felipe André; et al. Morphological, behavioral and genotoxic effects of glyphosate and 2,4-D mixture in tadpoles of two native species of South American amphibians. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, v. 85, p. 103637, 2021.

PEREIRA DA SILVA ALVES, Daniela; et al. Use of ecotoxicological bioindicators in effluent monitoring—legal implications in Brazil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 29, p. e20230054, 2024.

POFF, N. L.; BRINSON, Mark M.; DAY, J. W. Aquatic ecosystems and global climate change. *Pew Center on Global Climate Change, Arlington, VA*, v. 44, p. 1-36, 2002.

PRAMUK, Jennifer B. ; et al. Around the world in 10 million years: biogeography of the nearly cosmopolitan true toads (Anura: Bufonidae). *Global Ecology and Biogeography*, v. 17, n. 1, p. 72-83, 2008.

PRAKASH, Sadguru. Impact of climate change on aquatic ecosystem and its biodiversity: An overview. *International Journal of Biological Innovations*, v. 3, n. 2, 2021.

PRATT, J. R. et al. Predicting the ecological effects of herbicides. *Ecological Applications*, v. 7, n. 4, p. 1117-1124, 1997.

PRESTON, Benjamin L. Indirect effects in aquatic ecotoxicology: implications for ecological risk assessment. *Environmental Management*, v. 29, n. 3, p. 311-323, 2002.

PRZESLAWSKI, Rachel; BYRNE, Maria; MELLIN, Camille. A review and meta-analysis of the effects of multiple abiotic stressors on marine embryos and larvae. *Global change biology*, v. 21, n. 6, p. 2122-2140, 2015.

RATHORE, Rashmi Singh; KHANGAROT, B. S. Effects of temperature on the sensitivity of sludge worm *Tubifex tubifex* Müller to selected heavy metals. *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 53, n. 1, p. 27-36, 2002.

ROLLINS-SMITH, Louise A. Amphibian immunity–stress, disease, and climate change. *Developmental & Comparative Immunology*, v. 66, p. 111-119, 2017.

ROWE, Christopher L.; HOPKINS, William A.; BRIDGES, C. Physiological ecology of amphibians in relation to susceptibility to natural and anthropogenic factors. *Amphibian Decline: An Integrated Analysis of Multiple Stressor Effects*, p. 9-57, 2003.

RYDING, Sara et al. Shape-shifting: changing animal morphologies as a response to climatic warming. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 36, n. 11, p. 1036-1048, 2021.

SCHMITT-JANSEN, M. et al. An ecological perspective in aquatic ecotoxicology: Approaches and challenges. *Basic and Applied Ecology*, v. 9, n. 4, p. 337-345, 2008.

SENEZ-MELLO, Thaise Machado; et al. Spatial variability of heavy metals in native oysters from an anthropogenically impacted estuary in northeastern Brazil. *Frontiers in Marine Science*, v. 7, p. 412, 2020.

SHATTUCK, Annie; et al. Global pesticide use and trade database (GloPUT): New estimates show pesticide use trends in low-income countries substantially underestimated. *Global Environmental Change*, v. 81, p. 102693, 2023.

SHELTON, Robert. Relations between national research investment and publication output: Application to an American Paradox. *Scientometrics*, v. 74, n. 2, p. 191-205, 2008.

SIGMUND, Gabriel et al. Addressing chemical pollution in biodiversity research. *Global Change Biology*, v. 29, n. 12, p. 3240-3255, 2023.

SILVANO, Débora L.; SEGALLA, Magno V. Conservation of Brazilian amphibians. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 653-658, 2005.

SINGHA, Erom Romi et al. Effects of changed water regime on the toxicity of silver nanoparticles (AgNPs) in tadpoles of *Fejervarya limnocharis*. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 31, n. 42, p. 54873-54886, 2024.

SINHORIN, Valéria Dornelles Gindri et al. Effects of the acute exposition to glyphosate-based herbicide on oxidative stress parameters and antioxidant responses in a hybrid Amazon fish surubim (*Pseudoplatystoma* sp). *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 106, p. 181-187, 2014.

STUART, Simon N.; et al. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*, v. 306, n. 5702, p. 1783-1786, 2004.

TEIXEIRA-MARINS, A.; et al. Assessment of river water quality in an agricultural region of Brazil using biomarkers in a native neotropical fish, *Astyanax* spp. (Characidae). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 104, p. 575-581, 2020.

TOLEDO, Luís Felipe; et al. A retrospective overview of amphibian declines in Brazil's Atlantic Forest. *Biological Conservation*, v. 277, p. 109845, 2023.

TRUHAUT, R. *Ecotoxicology: Objectives, principles and perspectives*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 1, p. 151-173, 1977.

VAISSI, Somaye et al. Metal nanoparticle-induced effects on green toads (Amphibia, Anura) under climate change: conservation implications. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 31, n. 20, p. 29777-29793, 2024.

VASSEUR, Paule; MASFARAUD, Jean-François; BLAISE, Christian. *Ecotoxicology, revisiting its pioneers*. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 3852-3857, 2021.

VERONEZ, ROBERTO; LUCAS, ELAINE MARIA; TOZETTI, ALEXANDRO MARQUES. Association between land use and composition of amphibian species in temperate Brazilian forest habitats. *Herpetological Conservation and Biology*, v. 16, n. 3, p. 612-623, 2021

VIGHI, Marco; VILLA, Sara. Ecotoxicology: The challenges for the 21st century. *Toxics*, v. 1, n. 1, p. 18-35, 2013.

VO, Huu Cong; PHAM, Minh Hen. Ecotoxicological effects of microplastics on aquatic organisms: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 44716-44725, 2021.

WANG, Xiao-Nan; et al. Development of aquatic life criteria for triclosan and comparison of the sensitivity between native and non-native species. *Journal of Hazardous Materials*, v. 260, p. 1017-1022, 2013.

WANG, Zhen; KWOK, Kevin W. H.; LEUNG, Kenneth M. Y. Comparison of temperate and tropical freshwater species' acute sensitivities to chemicals: An update. *Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 15, n. 3, p. 352-363, 2019.

WANG, Yanli et al. A review on the ecotoxicological effects of heavy metals on aquatic organisms. *J. Earth Sci. Environ. Stud*, v. 6, n. 2, p. 148-161, 2022.

WIENS, John J.; et al. Evolutionary and biogeographic origins of high tropical diversity in Old World frogs (Ranidae). *Evolution*, v. 63, n. 5, p. 1217-1231, 2009.

WILLSON, John D., et al. Making leaps in amphibian ecotoxicology: Translating individual-level effects of contaminants to population viability. *Ecological Applications*, vol. 22, no 6, p. 1791-1802, 2012.

YANG, Changwon; LIM, Whasun; SONG, Gwonhwa. Reproductive toxicity due to herbicide exposure in freshwater organisms. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, v. 248, p. 109103, 2021.

YIN, Jiawei; et al. Effects of atrazine on movement, metabolism and gene expression in *Pelophylax nigromaculatus* larvae under global warming. *Environmental Research*, v. 252, p. 119007, 2024.

YIN, XiaoHui; et al. Genotoxicity evaluation of chlorpyrifos to amphibian Chinese toad (Amphibian: Anura) by comet assay and micronucleus test. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, v. 680, n. 1-2, p. 2-6, 2009.

YOON, Pil-Sang; KO, Sun-Kun. Studies on toxicological evaluation of pesticides (fungicide, insecticide, herbicide) using tree frog embryos, *Hyla japonica*. *Korean Journal of Environment and Ecology*, v. 33, n. 2, p. 178-186, 2019.

ZAGATTO, Pedro A. *Ecotoxicologia aquática: princípios e aplicações*. São Carlos, SP: RiMa, 2008.

ZOCCHÉ, Jairo José; et al. Heavy-metal content and oxidative damage in *Hypsiboas faber*: the impact of coal-mining pollutants on amphibians. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 66, p. 69-77, 2014.

ZVEREVA, E. L.; KOZLOV, M. V. Top-down effects on population dynamics of *Eriocrania miners* (Lepidoptera) under pollution impact: does an enemy-free space exist? *Oikos*, v. 115, n. 3, p. 413-426, 2006

8. APÊNDICES

APÊNDICE A – TABELA COM ABREVIações DE CADA CONTAMINANTE.

Contaminante	Abreviação
Óxido de alumínio	AIO
Antidepressivos	AD
Bisfenol A	Bis
Óxido de cobre	CuO
Etinilestradiol	EE
Fungicida clorotalonil	FunChl
Fungicida Folpan	FunFol
Herbicida ametrina	HerAme
Herbicida atrazina	HerAtr
Herbicida clomazona (Gamit)	HerClo
Herbicida Roundup	HerRou
Herbicida sulfentrazone (Boral)	HerSul
Herbicida tebuthiuron	HerTeb
Herbicida triclopir	HerTri
Inseticida Actara	InsAct
Inseticida carbaril	InsCar
Inseticida clorpirifós	InsChl
Inseticida endossulfano	InsEnd
Inseticida metomil	InsMet
Óxido de ferro	FeO
Microplástico	Mp
Microplástico PBDEs (Éteres difenílicos polibromados)	Mpbdes

Cloreto mineral	Cl
Óxido de níquel	NiO
Nanopartículas de prata	Ag
Dióxido de titânio	TiO
Óxido de zinco	ZnO