

Estudos ecotoxicológicos com agrotóxicos: uma revisão sistemática da literatura

Ecotoxicological studies with pesticides: a systematic literature review

Estudios ecotoxicológicos con plaguicidas: una revisión sistemática de la literatura

DOI: 10.55905/oelv23n8-174

Receipt of originals: 7/28/2025

Acceptance for publication: 8/26/2025

Diogo Vinícius Soares da Silva

Graduado em Engenharia Ambiental
Instituição: Universidade Federal do Tocantins
Endereço: Palmas, Tocantins, Brasil
E-mail: sdiogovinicius7@gmail.com

Mikaella Milhomem Santos

Graduada em Engenharia Ambiental
Instituição: Universidade Federal do Tocantins
Endereço: Palmas, Tocantins, Brasil
E-mail: mikaella.milhomem@gmail.uft.edu.br

Geovany Braga Soares

Graduado em Química Licenciatura
Instituição: Instituto Federal do Tocantins
Endereço: Paraíso do Tocantins, Tocantins, Brasil
E-mail: soaresg.braga@gmail.com

Victória Santana do Nascimento

Graduada em Engenharia Ambiental
Instituição: Universidade Federal do Tocantins
Endereço: Palmas, Tocantins, Brasil
E-mail: victorianascimento1998@gmail.com

Emerson Adriano Guarda

Doutor em Química Orgânica
Instituição: Universidade Federal do Santa Maria
Endereço: Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil
E-mail: emersonprof@uft.edu.br

Vanessa Menezes-Oliveira

Doutora em Biologia
Instituição: Universidade de Aveiro
Endereço: Aveiro, Portugal
E-mail: vbmoliveira@mail.uft.edu.br

Juliana Fonseca Moreira da Silva

Doutora em Microbiologia
Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais
Endereço: Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil
E-mail: julianafmsilva@uft.edu.br

Patrícia Martins Guarda

Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia
Instituição: Universidade Federal do Tocantins
Endereço: Palmas, Tocantins, Brasil
E-mail: patriciaguarda@mail.uft.edu.br

RESUMO

Com o crescimento populacional global, a demanda por alimentos e energia tem levado a um aumento no uso de agrotóxicos, especialmente em monoculturas. Esses agrotóxicos, enquanto visam proteger as culturas contra pragas e doenças, têm impactos prejudiciais significativos no meio ambiente e nos organismos não-alvo. Este fenômeno inclui riscos para espécies aquáticas, como dáfnias e algas, bem como para organismos terrestres, incluindo minhocas e aves. A utilização de agrotóxicos é especialmente preocupante em países tropicais, onde a quantidade de estudos é ainda limitada. A presente revisão objetiva verificar os estudos ecotoxicológicos com agrotóxicos e impactos nos organismos não-alvo. Foi realizada uma coleta e análise de dados entre 2018 e 2023, com base em artigos selecionados conforme o protocolo PRISMA. O processo de seleção envolveu o uso do software Mendeley para organizar e classificar os artigos obtidos através da base de dados Periódicos da CAPES, filtrando apenas aqueles revisados por pares e publicados em periódicos de alta qualidade (Qualis A1, A2 ou A3). Os estudos analisados focam na identificação de efeitos adversos dos agrotóxicos em organismos terrestres, com especial atenção para os anelídeos, que são indicadores sensíveis de poluição do solo. A revisão também destaca a importância de continuar a pesquisa sobre os efeitos combinados de misturas contaminantes, um desafio crescente na ecotoxicologia.

Palavras-chave: Ecotoxicologia, Ensaio Ecotoxicológico, Organismos Não-Alvo, Poluição do Solo.

ABSTRACT

With the growth of the global population, the demand for food and energy has led to an increase in the use of pesticides, especially in monocultures. While these pesticides aim to protect crops against pests and diseases, they have significant harmful impacts on the

environment and non-target organisms. This phenomenon includes risks to aquatic species, such as daphnia and algae, as well as to terrestrial organisms, including earthworms and birds. The use of pesticides is particularly concerning in tropical countries, where the number of studies is still limited. This review aims to verify ecotoxicological studies on pesticides and their impacts on non-target organisms. Data collection and analysis were conducted between 2018 and 2023, based on articles selected according to the PRISMA protocol. The selection process involved using Mendeley software to organize and classify articles obtained from the CAPES Journal Portal database, filtering only peer-reviewed articles published in high-quality journals (Qualis A1, A2, or A3). The studies analyzed focus on identifying the adverse effects of pesticides on terrestrial organisms, with a special emphasis on annelids, which are sensitive indicators of soil pollution. The review also highlights the importance of continuing research on the combined effects of contaminant mixtures, a growing challenge in ecotoxicology.

Keywords: Ecotoxicology, Ecotoxicological Assays, Non-Target Organisms, Soil Pollution.

RESUMEN

Con el crecimiento de la población mundial, la demanda de alimentos y energía ha provocado un aumento en el uso de pesticidas, especialmente en monocultivos. Aunque estos pesticidas tienen como objetivo proteger los cultivos de plagas y enfermedades, tienen impactos perjudiciales significativos en el medio ambiente y en los organismos no objetivo. Este fenómeno incluye riesgos para las especies acuáticas, como dafnias y algas, así como para los organismos terrestres, incluidas las lombrices de tierra y las aves. El uso de pesticidas es especialmente preocupante en los países tropicales, donde la cantidad de estudios es aún limitada. La presente revisión tiene como objetivo verificar los estudios ecotoxicológicos con pesticidas y sus impactos en los organismos no objetivo. Se realizó una recopilación y análisis de datos entre 2018 y 2023, basándose en artículos seleccionados según el protocolo PRISMA. El proceso de selección implicó el uso del software Mendeley para organizar y clasificar los artículos obtenidos a través de la base de datos Periódicos da CAPES, filtrando solo aquellos revisados por pares y publicados en revistas de alta calidad (Qualis A1, A2 o A3). Los estudios analizados se centran en la identificación de los efectos adversos de los pesticidas en los organismos terrestres, con especial atención a los anélidos, que son indicadores sensibles de la contaminación del suelo. La revisión también destaca la importancia de continuar la investigación sobre los efectos combinados de las mezclas de contaminantes, un desafío creciente en la ecotoxicología.

Palabras clave: Ecotoxicología, Ensayos Ecotoxicológicos, Organismos no Objetivo, Contaminación del Suelo.

1 INTRODUÇÃO

À medida que a população mundial vem crescendo desde o início do século XX, há em paralelo uma demanda maior por suprimentos, resultando numa grande necessidade de fornecimento de alimentos e energia, pressionando constantemente os sistemas de produção agrícola (Triques *et al.*, 2021). Desta maneira, a utilização de pesticidas e fertilizantes químicos torna-se frequentemente presente nos sistemas de cultivo, principalmente nas monoculturas (Triques *et al.*, 2022). Estes pesticidas tem o objetivo de mitigar os danos causados por pragas agrícolas, doenças nas culturas e ervas daninhas (Yu *et al.*, 2019).

Torna-se notório que a utilização destes agrotóxicos é prejudicial para o ambiente e para os organismos presentes nesse meio, colocando espécies animais e vegetais em risco, podendo estas serem de ambientes aquáticos como dáfnias e algas ou minhocas e aves em ambiente terrestre (Wang *et al.*, 2023). Nesse sentido, nota-se a importância de estudos e esforços científicos voltados à identificação dos impactos causados aos organismos em decorrência da utilização de agrotóxicos, associado com o aumento no uso destes. Percebe-se que ainda são poucos os estudos existentes, principalmente em países tropicais (Daam *et al.*, 2020).

De modo geral, avalia-se o risco ecotoxicológico dos agrotóxicos visando a identificação dos efeitos danosos causados aos organismos, sejam terrestres ou aquáticos, em decorrência da ação do ingrediente ativo (Wang *et al.*, 2021). Diversos estudos apontam efeitos nocivos de agrotóxicos em organismos não-alvo, tais como as abelhas, polinizadoras de extrema importância tanto para a flora natural quanto para a antrópica, que frequentemente são atingidas pela ação de agrotóxicos, afetando a dinâmica dos ecossistemas e gerando possíveis danos na produtividade agrícola (Collins; Jackson, 2022).

Diversas atividades antrópicas que visam atender às necessidades humanas, podem afetar o solo (Watson *et al.*, 2005). É no solo que são construídas as casas dos seres humanos e nele que são realizadas diversas atividades econômicas e/ou sociais,

assim como a agricultura, que trata-se de uma das atividades humanas mais relevantes (Menezes-Oliveira; Bianchi; Espíndola, 2021).

Dentre os organismos terrestres padrão para testes ecotoxicológicos os anelídeos se destacam, por estarem diretamente em contato com produtos químicos no solo através de sua pele e seu trato digestivo, o que os torna sensíveis as substâncias tóxicas, e bons organismos para a avaliação de toxicidade de poluentes no solo (Duo; Wang; Zhao, 2022). Destaca-se ainda que as minhocas, como no caso da espécie *Eisenia andrei*, podem ser vulneráveis aos metais pesados e pesticidas, o que enfatiza sua consideração como modelos em testes toxicológicos (Boughattas *et al.*, 2022).

Portanto, enfrentar um risco ambiental devido à presença de misturas complexas de substâncias químicas no ecossistema é atualmente um dos maiores desafios da ecotoxicologia, com isso, um número cada vez maior de estudos sobre os efeitos mútuos de misturas contaminantes está presente na literatura (Pescatore *et al.*, 2021). Neste contexto, esta revisão sistemática objetiva a identificação dos principais ensaios ecotoxicológicos realizados, as principais substâncias estudadas, os organismos-teste mais presentes e as concentrações dos contaminantes utilizadas nos ensaios.

2 METODOLOGIA

A revisão sistemática em questão foi elaborada com base em estudos disponíveis na literatura que analisaram diferentes tipos de agrotóxicos e seus efeitos ao meio ambiente e aos organismos não-alvo, assim como os diferentes ensaios ecotoxicológicos e organismos-teste utilizados. Desta forma, o objetivo desta revisão foi compilar dados entre os anos de 2018 e 2023, acerca da identificação dos principais ensaios ecotoxicológicos realizados, as substâncias e organismos-teste mais presentes nos estudos e as concentrações dos contaminantes utilizadas nos ensaios. Este trabalho seguiu as diretrizes metodológicas propostas pelo protocolo PRISMA (Moher *et al.*, 2015), além da utilização do software Mendeley desktop para auxílio na organização dos resultados de busca de acordo com a base de dados, assim como na organização dos dados obtidos,

facilitando então o processo produtivo, que muitas das vezes torna-se repetitivo em uma revisão sistemática de literatura.

Todos os artigos foram selecionados por meio da base de dados online: Periódicos da CAPES, disponível no site: www.periodicos.capes.gov.br. As palavras-chave utilizadas na pesquisa foram: (Terrestrial ecotoxicology AND pesticides). Os resultados obtidos foram então limitados por meio de filtros, selecionando-se os artigos em inglês publicados entre os anos de 2018 e 2023, sendo analisados somente os artigos que se encontravam dentro dessa faixa de tempo escolhida.

Posteriormente, outros filtros foram utilizados, tais como: o tipo de recurso, onde passaram somente os que se encontravam em formato de artigo; e a disponibilidade, onde somente os revisados por pares passaram para a próxima etapa. Em seguida, os artigos foram exportados para o software Mendeley desktop, utilizado para auxiliar na determinação do Qualis de cada artigo. O conceito Qualis CAPES trata-se de um sistema de classificação de produção científica brasileira, com base nos artigos publicados em periódicos de todos os programas de pós-graduações do país, sendo seu principal objetivo a avaliação da qualidade da produção científica, ajudando assim, professores e alunos no processo de submissão de artigos, os padrões de qualidade são classificados em artigos de revistas A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4 e C (Caramelli, 2015; Kellner, 2017; Normando, 2017).

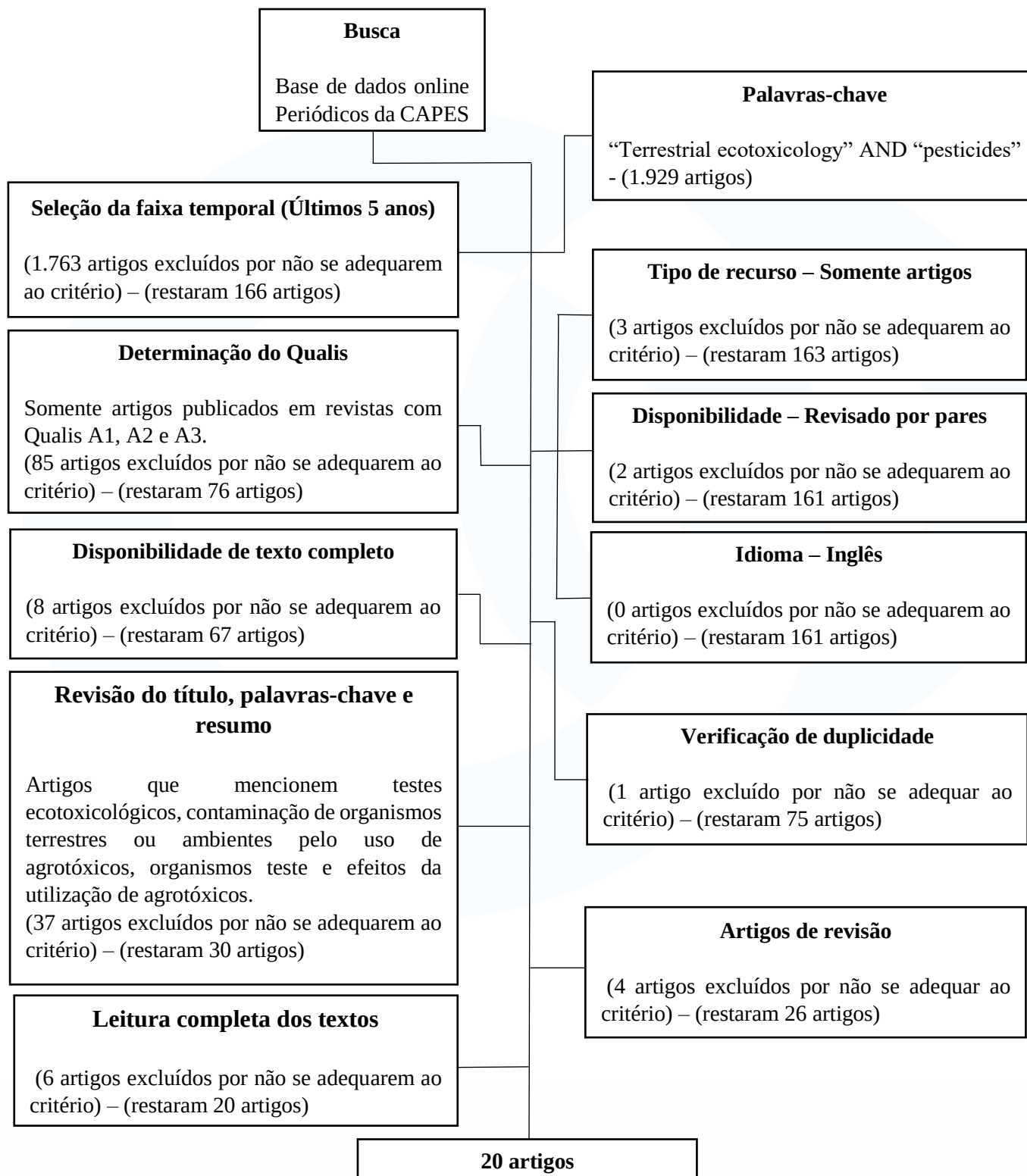
Nesta etapa foram excluídos todos os artigos que não estavam disponíveis em revistas com Qualis A1, A2 ou A3. Os artigos identificados nesta etapa, tiveram então seus títulos, resumos e palavras-chave avaliados de forma independente, destaca-se que foram excluídos os trabalhos que não mencionavam ensaios ecotoxicológicos e contaminação de organismos não-alvo ou ambientes pelo uso de agrotóxicos, organismos-teste e efeitos da utilização de agrotóxicos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Podemos observar a seleção dos estudos através da apresentação de um fluxograma de acordo com os requisitos do PRISMA (Figura 1), onde ilustra-se o número

de artigos identificados, excluídos e/ou incluídos, juntamente com o motivo para tal. A busca na base de dados online Periódicos da CAPES identificou um total de 1.929 artigos. A partir disto, foram excluídos artigos que o ano da publicação era inferior a 2018 (1.763), após a seleção somente dos artigos excluindo livros, capítulos de livro e enciclopédias (3), os que não eram revisados por pares e não estavam disponíveis na língua inglesa (0), aqueles cujo Qualis era inferior a A1, A2 e A3 (89), posteriormente, foram excluídos os artigos que constavam duplicidade (1), artigos que não possuíam texto completo (4), aqueles excluídos após a revisão do título, palavras-chave e resumo por não mencionar testes ecotoxicológicos, contaminação de organismos não alvo ou ambientes pelo uso de agrotóxicos, organismos teste e efeitos da utilização de agrotóxicos (37), os artigos de revisão (4), após leitura minuciosa do texto completo (6), chegando a 20 artigos.

Figura 1: Fluxograma da busca dos artigos.



Fonte: Autor, 2025.



Após a leitura dos textos completos, foram utilizados nessa revisão um total de 20 artigos, dos quais podem ser observados quais testes realizados, quais organismos-teste, quais agrotóxicos estudados, além de outras informações no quadro 1.

Quadro 1- Informações retiradas dos artigos utilizados nas pesquisas inseridas nessa revisão. (-): informações não relatadas

Nº	Referência	Substâncias estudados		Organismo-teste dos estudos	Ensaio ecotoxicológico	Resultados dos estudos
		Ingrediente ativo	Produto comercial			
1	(Wang <i>et al.</i> , 2023)	Acetamida Amicarbazona Blefubutamida Butanamida Cafenstrol Dimetenamida-P Difenamida Fentrazamida Flucarbazona Flupoxame Fomesafeno Huangcaoling Isoxabeno Napropamida Napropamida-M Natalam Petoxamida Propizamida Quinonamida Safefenacil Tebutam Alaclor Acetocloro Metolacoloro Pretilacoloro Butacloro Propanil (Herbicidas amida)	-	Algas, dáfias, peixes, minhocas e aves	Algas e Cianobactérias de água doce: Teste de inibição de crescimento <i>Daphnia sp.</i> : Teste de imobilização aguda Peixe: Teste de toxicidade aguda Minhoca: Testes de toxicidade aguda Aves: Teste de toxicidade sequencial oral aviária aguda	O CE50, CL50 e as concentrações de DL50 desses herbicidas amida foram 0,0036–149 mg/L, 0,058–500 mg/L, 0,36–170 mg/L, 0,515–1000 mg/Kg e 180–30000 mg/Kg para algas, dáfias, peixes, minhocas e espécies aviárias, respectivamente.
2	(Daam <i>et al.</i> , 2020)	Carbendazim (Fungicida)	Formulação Derosal® SC 360; Bayer; 360 g de ingrediente ativo/L	<i>Eisenia fetida</i> (minhoca)	Testes de mortalidade e reprodução	Cinco a seis concentrações de teste em quadruplicado

3	(Wang <i>et al.</i> , 2021)	Tolueno Xileno Tricloroetileno (Adjuvantes de pesticidas (PAs))	-	<i>Eisenia fetida</i> (minhoca)	Teste de toxicidade letal aguda (mortalidade), inibição do crescimento e teste de evitação	Teste de mortalidade e inibição do crescimento: Tolueno (800, 900, 1000, 1100 e 1200 mg/kg), Xileno (200, 250, 300, 350 e 400 mg/kg) e Tricloroetileno (4.000, 5.000, 6.000, 7.000 e 8.000 mg/kg). Teste de Evitação: Tolueno (700, 800, 900, 1.000 e 1.100 mg/kg), Xileno (50, 100, 150, 200 e 250 mg/kg) e Tricloroetileno (1.000, 2.000, 3.000, 4.000, e 5.000 mg/kg).
4	(Collins; Jackson, 2022)	Trissiloxano-317 Trissiloxano-OH Trissiloxano-acetoxi (Substâncias combinadas com produtos pesticidas)	Surfactantes de poliéter trissiloxano	<i>Apis mellifera</i> (abelha)	Testes de toxicidade aguda e crônica	-
5	(De Assis <i>et al.</i> , 2022)	Imidacloprido (Inseticida)	Imidaclopride	<i>Apis mellifera</i> e abelhas não <i>Apis</i>	-	-
6	(Triques <i>et al.</i> , 2021)	2,4-D (Herbicida) Fipronil (Inseticida)	DMA® 806 BR (princípio ativo: 2,4-D) Regent® 800 WG (princípio ativo: fipronil)	<i>Raphanus sativus</i> var. <i>acanthioformis</i> (dicotiledônea) <i>Allium cepa</i> (monocotiledônea) <i>Folsomia candida</i> (colêmbolo) <i>Enchytraeus crypticus</i> (enquitreídeo)	<i>A. cepa</i> e <i>R. sativus</i> var. <i>acanthioformis</i> : Testes de germinação de sementes e Testes de emergência e crescimento; <i>F. candida</i> e <i>E. crypticus</i> : Testes de reprodução	Testes de germinação de sementes: 0, 0,52, 1,04, 2,08, 4,16 e 8,32 mg de fipronil/kg de solo seco e 0, 2,35, 4,7, 9,4, 18,8 e 37,6 mg de 2,4-D/kg dw solo. Testes de emergência e crescimento: 0, 1,175, 2,35, 4,7, 9,4, 18,8 e 37,6 mg de 2,4-D/kg de solo seco. Teste de reprodução de <i>F. candida</i> : 0, 2,35, 4,7, 9,4, 18,8, 37,6 e 47 mg de 2,4-D/kg de peso seco do solo e 0, 0,06, 0,13, 0,26, 0,52 e 1,04 mg de fipronil/kg de solo. Teste de reprodução de <i>E. crypticus</i> : 0, 4,7, 9,4, 18,8, 37,6 e 47 mg de 2,4-D/kg de solo e 0, 1,04, 2,08, 4,16, 8,32 e 10,4 mg de fipronil/kg dw solo.
7	(Robinson <i>et al.</i> , 2021)	Fluoranteno (hidrocarboneto aromático policíclico narcótico) Clorpirifós Cipermetrina Imidaclopride (Inseticidas)	-	<i>Lumbricus rubellus</i> , <i>Eisenia fetida</i> , <i>A. caliginosa</i> , <i>A. gracilis</i> , <i>D. octaedra</i> (minhocas)	Testes de sobrevivência e reprodução	Fluoranteno 0, 4,8, 14,4, 43,4, 130, 390, 1170; Clorpirifós 0, 3, 9, 27,1, 81,3, 244, 732; Cipermetrina 0, 6,2, 18,5, 55,6, 167, 500, 1500; Imidaclopride 0, 0,041, 0,123, 0,37, 1,11, 3,33, 10, 30 (todas em mg/kg de peso seco do solo).

8	(Adams; Gerstle; Brühl, 2021)	Folpete (Fungicida)	Folpan® 80 (WDG) e Folpan® 500	<i>Rana temporaria</i> (rã-comum)	Testes de sobrevivência, declínio da massa corporal e análise comportamento	-
9	(Zortéa <i>et al.</i> , 2018)	Fipronil (e dois dos seus principais metabólitos fipronil sulfona e fipronil desulfinil) (Inseticida)	TopLine RED® 1%	<i>Folsomia candida</i> (colêmbolo)	Testes de sobrevivência e reprodução	Fipronil: 0,00, 0,02, 0,04, 0,08, 0,15, 0,30, 0,60 e 1,00 mg kg ⁻¹ do princípio ativo. Fipronil sulfona e fipronil desulfinil: 0,00, 0,01, 0,02, 0,04, 0,06, 0,08, 0,15, 0,30, 0,60, 1,00 e 5,00 mg kg ⁻¹ .
10	(Bókony <i>et al.</i> , 2020)	Terbutilazina (Herbicida) Carbamazepina (Medicamento)	-	<i>Rana dalmatina</i> e <i>Bufo bufo</i> (anuros)	Teste de mortalidade e outros	-
11	(Duo; Wang; Zhao, 2022)	Óxido de grafeno (GO) (Nanomaterial de carbono)	Óxido de grafeno (> 95% de pureza) obtido da Suzhou TAN-FENG Graphene Tech Co., Ltd, China.	<i>Eisenia fetida</i> (minhoca)	Testes de toxicidade aguda e crônica (crescimento, sobrevivência, reprodução) e Observações histológicas (ultraestrutura)	Testes de toxicidade aguda (teste de contato com papel filtro): 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5 e 4,0 mg mL ⁻¹ . Testes de toxicidade crônica (crescimento e reprodução): 0, 5, 10, 20 e 30 g GO kg ⁻¹ de solo.
12	(Boughattas, <i>et al.</i> , 2022)	Microplásticos (Microplásticos ambientais) 2,4-D (pureza > 94%) (Herbicida)	- Ácido 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D)	<i>Eisenia andrei</i> (minhoca)	-	MP ambiental: 100 µg kg ⁻¹ solo Herbicida: 7 mg kg ⁻¹ solo
13	(Yu <i>et al.</i> , 2019)	Cádmio (Cd) (Metal pesado) Atrazina (Herbicida) Clorpirifós Lambda-cialotrina Abamectina (Inseticidas)		<i>Eisenia fetida</i> (minhoca)	Teste de contato com papel filtro	-
14	(Malfatti <i>et al.</i> , 2023)	Imidaclopride Tiametoxam (Inseticidas (neonicotinóides))	Much 600 FS® Cruiser 350 FS®	<i>Gigaspora albida</i> e <i>Rhizophagus clarus</i> (fungos micorrízicos arbusculares - FMAs)	Testes de germinação de esporos de FMA (um por inseticida)	As concentrações de ambos os inseticidas foram 0, 10, 50, 100, 250, 500, 750 e 1000 mg a.i. kg ⁻¹

15	(Pescatore <i>et al.</i> , 2021)	Surfactante aniônico lauril éter sulfato de sódio (SLES) Clorpirifós Imidacloprido (Inseticidas)	- Imidaclopride	<i>Eisenia fetida</i> (minhoca)	Teste de comportamento de evitação (fuga)	0,01, 0,05, 0,1, 0,2, 0,5 TU
16	(Narváez; Sabat; Sanchez-Hernandez, 2022)	Clorpirifós (Inseticida)	-	<i>Aporrectodea caliginosa</i> (minhoca)	Ensaio de atividade da colinesterase	Solos contaminados com 0 e 20 mg kg ⁻¹ de clorpirifós
17	(Jorissen <i>et al.</i> , 2023)	2,4-Dinitrofenol (DNP) (Medicamento)	-	<i>Lestes viridis</i> (libelinha)	Sobrevivência larval e sucesso da metamorfose	2 mg/L de DNP
18	(Bruus <i>et al.</i> , 2020)	Lambda-cialotrina (Karate Zeon® 50 CS) Imidacloprido (Inseticidas)	Karate 2.5 WG (Syngenta Nordics A/S) Confidor WG 70 (Bayer CropScience)	<i>Efêmera danica</i> , <i>Leuctra fusca</i> , <i>Nemoura cinérea</i> , <i>Agapetus ochripes</i> , <i>Hydropsyche angustipennis</i> , <i>Anabolia nervosa</i>	Testes de observação dos efeitos agudos na sobrevivência	Karate: para <i>E. danica</i> (0, 0.00001, 0.00005, 0.0001, 0.0005, 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1 5 e 0, 0.00001, 0.00005, 0.0001, 0.0005, 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1 5); <i>L. fusca</i> (0, 0.00001, 0.0001, 0.001, 0.01); <i>N. cinerea</i> (0, 0.00001, 0.00005, 0.0001, 0.0005, 0.001, 0.005, 0.01); <i>A. ochripes</i> (0, 0.000005, 0.00005, 0.0001, 0.0005, 0.005, 0.01 e 0, 0.000001, 0.00001, 0.001); <i>H. angustipennis</i> (0, 0.00001, 0.00005, 0.0001, 0.0005, 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1); <i>A. nervosa</i> (0, 0.00005, 0.0001, 0.0005, 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1). Confidor: Para <i>E. danica</i> (0, 0.00001, 0.00005, 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 1, 2 e 0, 0.0001, 0.0005, 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 1, 2); <i>L. fusca</i> (0, 0.001, 0.01, 0.1, 1.0; 0, 0.0001, 0.001, 0.01, 0.1 e 0, 0.0001, 0.0005, 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1); <i>N. cinerea</i> (0, 0.00001, 0.001, 1); <i>A. ochripes</i> (0, 0.0001, 0.0005, 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 1, 2); <i>H. angustipennis</i> (0, 0.00001, 0.0001, 0.0005, 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 1; <i>A. nervosa</i> (0, 0.00001, 0.00005, 0.0001, 0.0005, 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1)
19	(Triques <i>et al.</i> , 2022)	2,4-D (Herbicida) Fipronil	DMA® 806 BR (ingrediente ativo: 2,4-D)	<i>Raphanus sativus</i> var. <i>acanthioformis</i> (dicotiledônea)	<i>R. sativus</i> : Testes de crescimento de plantas	Testes em <i>R. sativus</i> : SN: 0; 0,125; 0,25; 0,5; 1,0 e 2,0 mg de 2,4-D/kg de solo. SAT: 0; 0,001; 0,005; 0,01; 0,1 e 1,0 mg de 2,4-D/kg de solo.



		(Inseticida)	Regent® 800 WG (ingrediente ativo: fipronil)	<i>Folsomia candida</i> (colêmbolo)	<i>F. candida</i> : Testes de sobrevivência e reprodução	Testes em <i>F. candida</i> : 0; 0,06; 0,13; 0,26 mg de fipronil/kg de solo.
20	(Brulle <i>et al.</i> , 2023)	Dimoxystrobin (Dmx 133 g L ⁻¹) e Epoxiconazole (Epx 50 g L ⁻¹) Oxicloreto de cobre a 500 g Cu kg ⁻¹ (Fungicidas)	Swing Gold® Cuprafor Micro®	<i>Lumbricus terrestris</i> , <i>Aporrectodea longa</i> , <i>A. giardi</i> , <i>A. caliginosa</i> , <i>A. rosea</i> , <i>A. icterica</i> , <i>Allolobophora chlorotica</i> <i>Allolobophora muldali</i> , <i>Octolasion cyaneum</i> , <i>Lumbricus castaneus</i> , <i>Lumbricus rubellus</i> e <i>Dendrobaena mamíferos</i> (minhocas)	-	-

Fonte: Autor, 2025

Após a revisão, identificou-se os tipos de compostos químicos e agrotóxicos estudados, quais os ingredientes ativos destes agrotóxicos, os nomes comerciais dos produtos utilizados, os organismos-teste presentes em cada trabalho, os ensaios ecotoxicológicos selecionados de acordo com cada organismo-teste, a concentração de cada um dos compostos presentes nos testes. Além de informações adicionais observadas durante a leitura dos artigos, tais como, tempo de duração dos ensaios, número de repetições realizadas, temperatura do ambiente de realização dos ensaios, utilização de solo natural (SN) ou solo artificial tropical (SAT), dentre outras. Por mais que não tenha sido possível identificar o tipo de ensaio realizado em todos os estudos analisados, identificou-se a utilização de pelo menos um organismo-teste em todos eles, todas informação essas apresentadas na tabela anterior.

Com a obtenção dessas informações acerca dos artigos, estes foram classificados com base no tipo de agrotóxico (incluindo seu nome comercial e ingrediente ativo quando possível), no organismo-teste utilizado e no tipo de ensaio ecotoxicológico realizado (quando possível observou-se a concentração), esses dados estão apresentados a seguir.

3.1 CONTAMINANTES MAIS UTILIZADOS

A utilização de agrotóxicos sempre esteve associada ao desejo de produção de alimentos de forma rápida e com poucas perdas, seja pelo ataque de pragas ou pela presença de doenças nos cultivos, prejudicando seu desenvolvimento e como consequência impactando na sua produtividade. Dessa forma, a utilização de produtos químicos com o intuito de resolver esses contratempos da produção agrícola sempre existiu (Zortéa *et al.*, 2018; Bókony *et al.*, 2020; Daam *et al.*, 2020; Adams; Gerstle; Brühl, 2021; Narváez *et al.*, 2022; Malfatti *et al.*, 2023). Essas substâncias apesar de terem por finalidade o controle de pragas-alvo, ao serem dispersas afetam também organismos não-alvo presentes em áreas atingidas durante sua aplicação e arredores (Triques *et al.*, 2021; De Assis *et al.*, 2022; Triques *et al.*, 2022).

Destaca-se que todos os 20 artigos inclusos nesta revisão utilizaram pelo menos uma espécie como organismo-teste e no mínimo um tipo de contaminante na realização

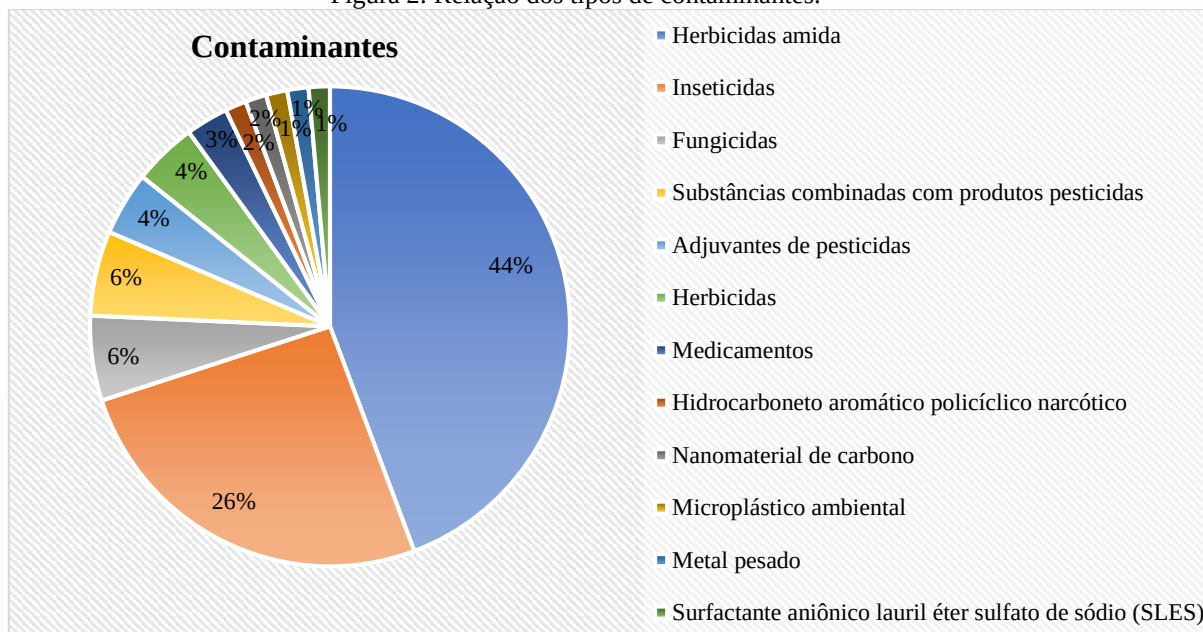
dos ensaios, por mais que em alguns dos estudos não tenha sido possível identificar qual o ensaio ecotoxicológico foi realizado. Em relação aos tipos de contaminantes encontrados nos estudos, notam-se 31 herbicidas amida, 18 inseticidas, 4 fungicidas, 4 substâncias combinadas com produtos pesticidas, 3 adjuvantes de pesticidas, 3 herbicidas, 2 medicamentos, 1 hidrocarboneto aromático policíclico narcótico, 1 nanomaterial de carbono, 1 microplástico ambiental, 1 metal pesado e 1 surfactante aniônico lauril éter sulfato de sódio (SLES) (figura 2).

Alguns estudos avaliaram os efeitos de herbicidas sobre diferentes organismos. Triques *et al.* (2021) avaliaram os efeitos do 2,4-D em conjunto com o inseticida fipronil, sobre as espécies *Raphanus sativus* var. *acanthioformis*, *Allium cepa*, *Folsomia candida* e *Enchytraeus crypticus*, nos mostrando o impacto direto do herbicida em um ecossistema agrícola. Já Boughattas *et al.* (2022) observaram os efeitos do 2,4-D e de microplásticos sobre minhocas da espécie *Eisenia andrei*, apontando que o herbicida não é uma ameaça isolada, mas poder ter efeitos potencializados por outros poluentes. Wang *et al.* (2023) analisaram o efeito de diferentes herbicidas amida sobre organismos não-alvo.

Dentre os inseticidas, é importante destacar que o fipronil é um agrotóxico de destaque no mercado brasileiro. Este inseticida é amplamente utilizado para controlar insetos como formigas e cupins em culturas de cana-de-açúcar, milho, soja, entre outras e o estudo de Triques *et al.* (2021) nos mostra os impactos do fipronil na cultura da cana-de-açúcar e em organismos do solo. Zortéa *et al.* (2018) discutem os efeitos do fipronil e seus metabólicos sobre colêmbolos da espécie *Folsomia candida* em solos tropicais em condições semelhantes ao contexto brasileiro.

Os fungicidas foram o terceiro grupo mais presentes nos estudos. Com destaque nos estudos de Adams, Gerstle, Brühl, (2021) e Daam *et al.* (2020). No primeiro estudo foi avaliado o efeito dos fungicidas sobre rãs da espécie *Rana temporaria*, identificando efeitos letais e subletais em rãs juvenis, destacando a sensibilidade desses anfíbios aos compostos (Adams; Gerstle; Brühl, 2021). Já o estudo de Daam *et al.* (2020) avaliou o efeito do fungicida Carbendazim sobre minhocas da espécie *Eisenia fetida*, observando que condições tropicais podem alterar a toxicidade do fungicida.

Figura 2: Relação dos tipos de contaminantes.

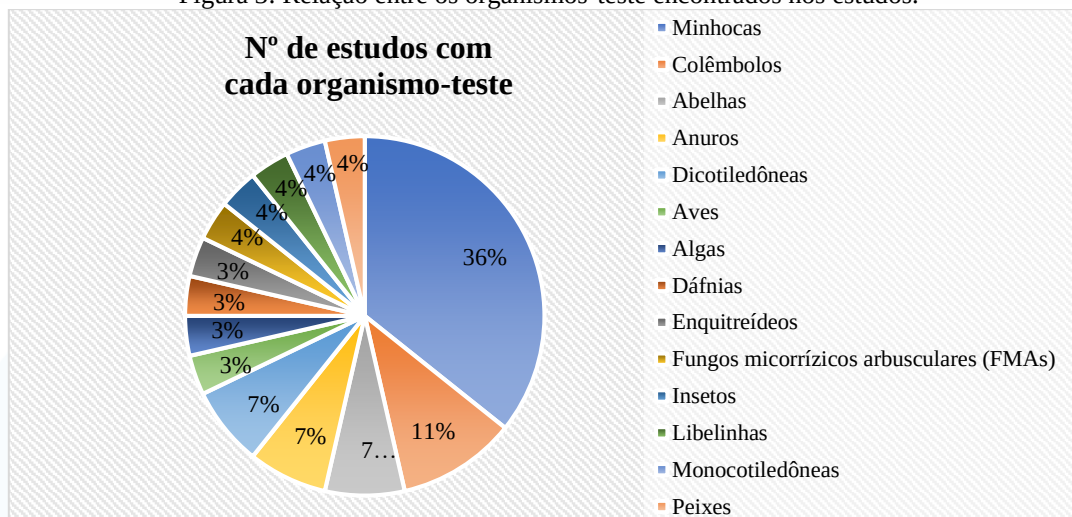


Fonte: Autor, 2025.

3.2 ORGANISMOS-TESTE

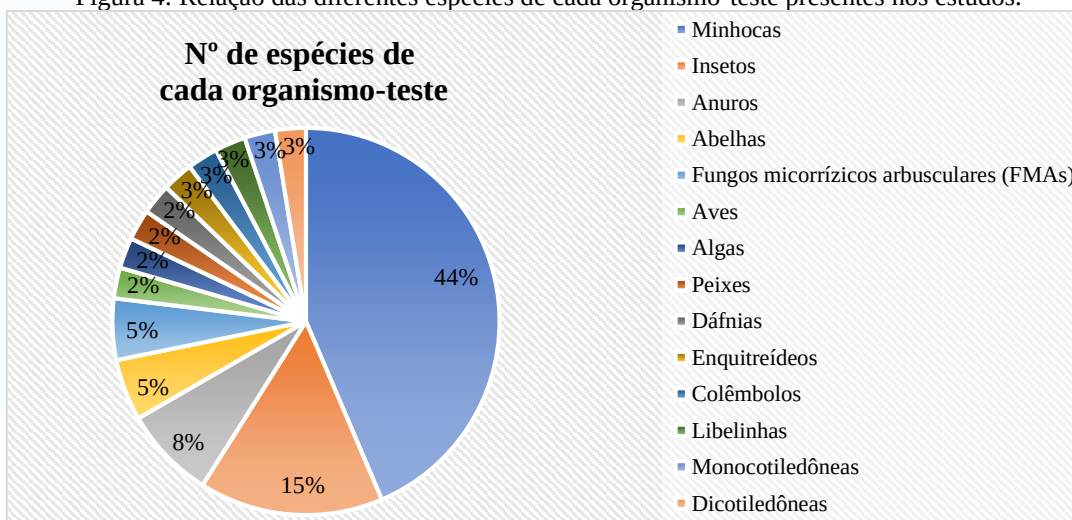
Em relação aos organismos-teste, observaram-se 17 espécies de minhocas em dez dos estudos, 6 espécies de insetos em um estudo, 3 espécies de anuros em dois estudos, 2 espécies de abelhas em dois estudos, 2 espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em um estudo, 1 espécie de ave em um estudo, 1 espécie de alga em um estudo, 1 espécie de peixe em um estudo, 1 espécie de dáfnia em um estudo, 1 espécie de enquitreídeo em um estudo, 1 espécie de colêmbolo em três estudos, 1 espécie de libelinha em um estudo, 1 espécie de monocotiledônea em um estudo, 1 espécie de dicotiledônea em dois estudos, totalizando assim em 39 espécies diferentes distribuídas nos 20 estudos. Abaixo na figura 3 vemos os organismos-teste utilizados nos estudos e na figura 4 são mostrados os organismos-teste utilizados em relação ao número de espécies.

Figura 3: Relação entre os organismos-teste encontrados nos estudos.



Fonte: Autor, 2025.

Figura 4: Relação das diferentes espécies de cada organismo-teste presentes nos estudos.



Fonte: Autor, 2025.

Com base nas figuras 3 e 4 é notório que as minhocas estão presentes em um maior número de estudos, assim como são os organismos-teste com maior variação de espécies.

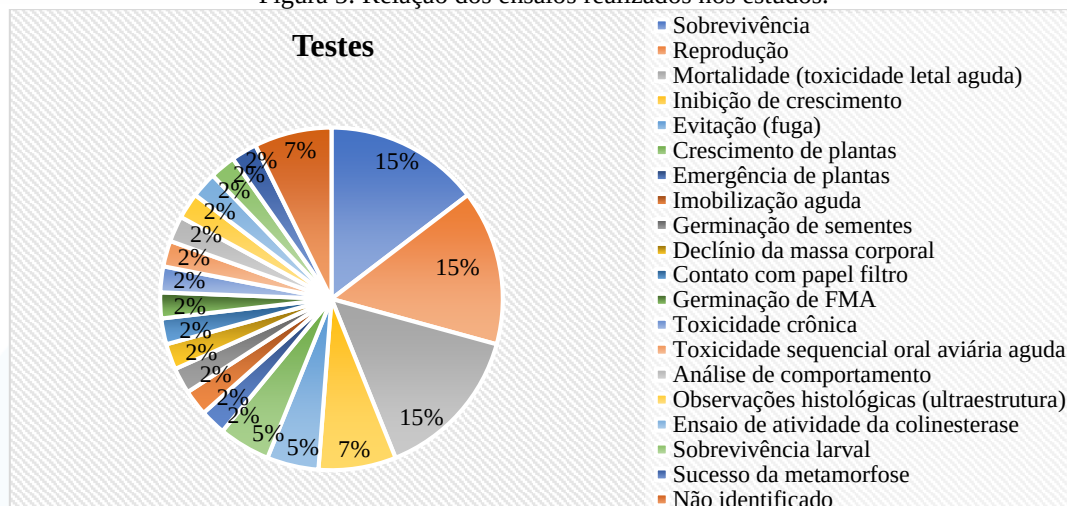
A escolha de organismos-teste para indicar a qualidade do solo está ligada à sua sensibilidade às alterações em seus habitats, sua estabilidade ao estresse e perturbações, e sua classificação como indicadores biológicos devido à sua rápida resposta ao estresse biótico (Zortéa *et al.*, 2018; Daam *et al.*, 2020; Pescatore *et al.*, 2021; Robinson *et al.*, 2021; Boughattas *et al.*, 2022; Duo; Wang; Zhao, 2022; Brulle *et al.*, 2023).

Entre os habitantes do solo mais conhecidos estão as minhocas, que simbolizam a fertilidade e a vida no solo. A subclasse Oligochaeta, à qual pertencem as minhocas, inclui uma ampla gama de tamanhos corporais, desde os quase microscópicos, como os enquitreídeos, até os gigantes, como os minhocuçus. Esses invertebrados do solo são sensíveis às alterações em seu habitat e têm sido amplamente utilizados como organismos-teste e indicadores da qualidade do solo. Apesar de já existirem diversas normas e protocolos publicados por diferentes agências padronizadoras para estimar os efeitos de poluentes sobre esses organismos, há uma carência significativa de estudos aprofundados que ofereçam orientações detalhadas sobre como conduzir os ensaios de ecotoxicidade (Yu *et al.*, 2019; Daam *et al.*, 2020; Pescatore *et al.*, 2021; Robinson *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2021; Boughattas *et al.*, 2022; Duo; Wang; Zhao, 2022; Narváez; Sabat; Sanchez-Hernandez, 2022; Brulle *et al.*, 2023).

3.3 ENSAIOS ECOTOXICOLÓGICOS

Acerca dos ensaios ecotoxicológicos nota-se que há uma variação nos tipos empregados em cada estudo, sendo realizados as vezes mais de um tipo de teste em um único estudo. Os mais realizados foram os testes de sobrevivência, de reprodução e de toxicidade letal aguda (mortalidade), ambos presentes em 6 dos estudos, seguidos do teste de inibição de crescimento presente em três estudos, teste de evitação (fuga) e teste de crescimento de plantas em dois estudos, os demais testes ambos presentes em um único estudo cada, sendo eles teste de emergência de plantas, teste de imobilização aguda, teste de germinação de sementes, teste de declínio da massa corporal, teste de contato com papel filtro, teste de germinação de FMA, teste de toxicidade crônica, teste de toxicidade sequencial oral aviária aguda, análise de comportamento, observações histológicas (ultraestrutura), ensaio de atividade da colinesterase, sobrevivência larval e sucesso da metamorfose. Em quatro estudos não foram identificados os testes realizados (figura 5).

Figura 5: Relação dos ensaios realizados nos estudos.



Fonte: Autor, 2025.

4 CONCLUSÃO

A presente revisão sistemática evidenciou que herbicidas, inseticidas e fungicidas são os contaminantes mais frequentemente investigados em ensaios ecotoxicológicos, sendo as minhocas o grupo mais utilizado como organismo-teste, dada sua sensibilidade e relevância como bioindicador da qualidade do solo. Ensaio de sobrevivência, reprodução e mortalidade predominaram entre os estudos, reforçando sua aplicabilidade na avaliação de impactos ambientais. Esses resultados oferecem subsídios relevantes para a sociedade, ao fundamentar políticas de manejo agrícola e estratégias de mitigação da contaminação ambiental, e para a academia, ao orientar a escolha de metodologias, organismos-teste e parâmetros de avaliação mais representativos da realidade.

Entretanto, a pesquisa apresentou limitações, como a restrição a artigos publicados em inglês e indexados na base Periódicos da CAPES, o que pode ter excluído estudos regionais significativos, especialmente em países tropicais. Recomenda-se, para trabalhos futuros, a ampliação da busca para outras bases e idiomas, a realização de estudos que considerem condições ambientais reais, a investigação dos efeitos combinados de múltiplos contaminantes e o desenvolvimento de protocolos padronizados que contemplem especificidades de ecossistemas tropicais.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, E.; GERSTLE, V.; BRÜHL, C. A. Dermal fungicide exposure at realistic field rates induces lethal and sublethal effects on juvenile European common frogs (*Rana temporaria*). **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 40, n. 5, p. 1289-1297, 2021.
- BÓKONY, V. *et al.* Effects of two little-studied environmental pollutants on early development in anurans. **Environmental Pollution**, v. 260, p. 114078, 2020.
- BOUGHATTAS, I. *et al.* Interactive effects of environmental microplastics and 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid (2, 4-D) on the earthworm *Eisenia andrei*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 424, p. 127578, 2022.
- BRULLE, F. *et al.* Toward a harmonized methodology to analyze field side effects of two pesticide products on earthworms at the EU level. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 19, n. 1, p. 254-271, 2023.
- BRUUS, M. *et al.* Terrestrial adult stages of freshwater insects are sensitive to insecticides. **Chemosphere**, v. 239, p. 124799, 2020.
- CARAMELLI, B. Classification of periodicals in the CAPES QUALIS system: changes to the criteria are URGENTLY needed!. **Revista Brasileira de Ortopedia**, v. 45, n. 1, p. IFC1, 2015.
- COLLINS, J. K.; JACKSON, J. M. Application of a screening-level pollinator risk assessment framework to trisiloxane polyether surfactants. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 41, n. 12, p. 3084-3094, 2022.
- DE ASSIS, J. C. *et al.* Are native bees in Brazil at risk from the exposure to the neonicotinoid imidacloprid?. **Environmental Research**, v. 212, p. 113127, 2022.
- DAAM, M. A. *et al.* Acute and chronic toxicity of the fungicide carbendazim to the earthworm *Eisenia fetida* under tropical versus temperate laboratory conditions. **Chemosphere**, v. 255, p. 126871, 2020.
- DUO, L.; WANG, Y.; ZHAO, S. Individual and histopathological responses of the earthworm (*Eisenia fetida*) to graphene oxide exposure. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 229, p. 113076, 2022.
- JORISSEN, S. *et al.* Synergistic survival-related effects of larval exposure to an aquatic pollutant and food stress get stronger during and especially after metamorphosis and shape fitness of terrestrial adults. **Environmental Pollution**, v. 326, p. 121471, 2023.
- KELLNER, A. W. A. The Qualis system: a perspective from a multidisciplinary journal. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 03, p. 1339-1342, 2017.

MALFATTI, A. L. R. *et al.* Risk assessment tests of neonicotinoids on spore germination of arbuscular mycorrhizal fungi *Gigaspora albida* and *Rhizophagus clarus*. **Journal of Soils and Sediments**, v. 23, n. 3, p. 1295-1303, 2023.

MENEZES-OLIVEIRA, V. B.; BIANCHI, M. O.; ESPÍNDOLA, E. L. G. Changes in soil mesofauna structure due to different land use systems in south Minas Gerais, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n. 7, p. 431, 2021.

MOHER, D. *et al.* Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. **Systematic reviews**, v. 4, n. 1, p. 1, 2015.

MUKHERJEE, R. K.; KUMAR, V.; ROY, K. Ecotoxicological QSTR and QSTTR modeling for the prediction of acute oral toxicity of pesticides against multiple avian species. **Environmental Science & Technology**, v. 56, n. 1, p. 335-348, 2021.

NARVÁEZ, C.; SABAT, P.; SANCHEZ-HERNANDEZ, J. C. Synergistic effects of pesticides and environmental variables on earthworm standard metabolic rate. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: **Toxicology & Pharmacology**, v. 260, p. 109404, 2022.

NORMANDO, D. A new QUALIS for the Dental Press Journal of Orthodontics. **Dental Press Journal of Orthodontics**, v. 22, n. 1, p. 18-19, 2017.

PESCATORE, T. *et al.* Sub-lethal effects of soil multiple contamination on the avoidance behaviour of *Eisenia fetida*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 226, p. 112861, 2021.

ROBINSON, A. *et al.* Chemicals with increasingly complex modes of action result in greater variation in sensitivity between earthworm species. **Environmental pollution**, v. 272, p. 115914, 2021.

TRIQUES, M. C. *et al.* Assessing single effects of sugarcane pesticides fipronil and 2, 4-D on plants and soil organisms. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 208, p. 111622, 2021.

TRIQUES, M. C. *et al.* The ecotoxicity of sugarcane pesticides to non-target soil organisms as a function of soil properties and moisture conditions. **International Journal of Environmental Research**, v. 16, n. 4, p. 61, 2022.

WANG, K. *et al.* A quantitative structure-activity relationship approach to determine biotoxicity of amide herbicides for ecotoxicological risk assessment. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 84, n. 2, p. 214-226, 2023.

WANG, W. *et al.* Acute toxicity and ecotoxicological risk assessment of three volatile

pesticide additives on the earthworm—*Eisenia fetida*. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 21, p. 11232, 2021.

WATSON, D. Rethinking the mood and anxiety disorders: a quantitative hierarchical model for DSM-V. **Journal of abnormal psychology**, v. 114, n. 4, p. 522, 2005.

YU, Y. *et al.* Joint toxic effects of cadmium and four pesticides on the earthworm (*Eisenia fetida*). **Chemosphere**, v. 227, p. 489-495, 2019.

ZORTÉA, T. *et al.* Ecotoxicological effect of fipronil and its metabolites on *Folsomia candida* in tropical soils. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 62, p. 203-209, 2018.