

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AMBIENTES LITORÂNEOS E INSULARES
Mestrado em Ciências Ambientais

LUCIANE MENDES CAPETA WAJIMA

**A ecotoxicologia para a educação ambiental crítica: um relato de
experiência com estudantes do 2º ano do Ensino Fundamental I**

Programa de Pós-Graduação
em Ambientes Litorâneos
e Insulares - UNESPAR

Paranaguá

2026

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AMBIENTES LITORÂNEOS E INSULARES
Mestrado em Ciências Ambientais

LUCIANE MENDES CAPETA WAJIMA

A ecotoxicologia para a educação ambiental crítica: um relato de experiência com estudantes do 2º ano do Ensino Fundamental I

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambientes Litorâneos e Insulares – PALI – da Universidade Estadual do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora: Profa. Dra. Josiane Ap. Gomes Figueiredo

Coorientadora: Profa. Dra. Ana Carolina de Deus Bueno Krawczyk

Paranaguá
2026

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNESPAR e Núcleo de Tecnologia de Informação da UNESPAR, com Créditos para o ICMC/USP e dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MENDES CAPETA WAJIMA, LUCIANE

A ecotoxicologia para a educação ambiental crítica: um relato de experiência com estudantes do 2º ano do Ensino Fundamental I / LUCIANE MENDES CAPETA WAJIMA. -- Paranaguá-PR, 2026.
69 f.: il.

Orientador: Josiane Aparecida Gomes Figueiredo.
Coorientador: Ana Carolina de Deus Bueno Krawczyk.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em Ambientes Litorâneos e Insulares) -- Universidade Estadual do Paraná, 2026.

1. Alfabetização científica. 2. Ensino por Investigação. 3. Experimento Didático-Formativo. I - Gomes Figueiredo, Josiane Aparecida (orient). II - de Deus Bueno Krawczyk, Ana Carolina (coorient). III - Título.

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa da Dissertação intitulada **A ecotoxicologia para a educação ambiental crítica: um relato de experiência com estudantes do 2º ano do Ensino Fundamental I**, sob orientação de JOSIANE APARECIDA GOMES FIGUEIREDO e coorientação de ANA CAROLINA DE DEUS BUENO KRAWCZYK, apresentada pela discente **Luciane Mendes Capeta (20251PNG.PALI.20200025)** do Curso **MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - AMBIENTES LITORÂNEOS E INSULARES (Paranaguá)**. Os trabalhos foram iniciados às _____ pela Professora presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Josiane Aparecida Gomes Figueiredo** (Presidente)
- **Edinalva Oliveira** (Examinador Interno)
- **Shalimar Calegari Zanatta** (Examinador Externo)
- **Tania Zaleski** (Examinadora Suplente Interna)
- **Michele Cristina Nether** (Examinadora Suplente Interna)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo da Dissertação, passou à arguição da candidata. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pela discente, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

Aprovado

Reprovado

Nota (quando exigido): _____

Observação / Apreciações:

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **JOSIANE APARECIDA GOMES FIGUEIREDO** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Paranaguá / PR, 06/03/2026

Michele Cristina Nether

Edinalva Oliveira

Shalimar Calegari Zanatta

Josiane Aparecida Gomes Figueiredo

Tania Zaleski

Ata 546/2026.

Documento: **ATA_LUCIANEMENDESCAPETA.pdf.**

Assinatura Avançada realizada por: **Josiane Aparecida Gomes Figueiredo (XXX.661.549-XX)** em 07/04/2026 09:19, **Shalimar Calegari Zanatta (XXX.091.779-XX)** em 27/04/2026 18:12 Local: UNESPAR/PVAI/COL/CIENBIO, **Michele Cristina Nether (XXX.789.909-XX)** em 27/04/2026 20:23 Local: CIDADAO, **Tania Zaleski (XXX.872.879-XX)** em 27/04/2026 20:41 Local: UNESPAR/PGUA/COL/BIO-L.

Inserido ao documento **2.084.333** por: **Josiane Aparecida Gomes Figueiredo** em: 07/04/2026 09:19.



Documento assinado nos termos do Art. 38 do Decreto Estadual nº 7304/2021.

A autenticidade deste documento pode ser validada no endereço:

<https://www.eprotocolo.pr.gov.br/spiweb/validarDocumento> com o código:
74fd2412b682eda2bcfd72da0f0f0af0

***Educar é semear com sabedoria e
colher com paciência.”***

Augusto Cury

Dedico este trabalho a Deus, fonte de toda sabedoria e inspiração, por sustentar-me com graça em cada momento desta jornada. E à minha família, por acreditar em mim e caminhar ao meu lado com amor e oração.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante em minha vida, por me conceder fé, força, sabedoria e serenidade em cada etapa desta minha jornada de pesquisa.

À minha orientadora, Profa. Dra. Josiane Ap. Gomes Figueiredo, pela paciência, dedicação, confiança e pelas orientações que foram essenciais para a construção desta pesquisa pois sua sensibilidade, competência e incentivo contribuíram imensamente para o meu crescimento pessoal e profissional.

À Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR) e ao Programa de Pós-Graduação em Ambientes Litorâneos e Insulares – PALI, pela oportunidade de realizar esta pesquisa e pelo suporte oferecido durante todo o percurso de pesquisa.

Aos professores, diretores e colegas do programa, pelas trocas de experiências, amizade e apoio mútuo ao longo desta caminhada.

Aos meus alunos das turmas do 2º ano do Ensino Fundamental I, que participaram com entusiasmo das atividades propostas, permitindo o desenvolvimento desta pesquisa.

À minha família, pelo amor incondicional, compreensão e incentivo em todos os momentos, mesmo diante dos desafios e das ausências que o percurso acadêmico exigiu, estiveram orando e me incentivando para continuar a pesquisa.

Ao meu esposo, que se manteve firme ao meu lado, assumindo tantas vezes todas as responsabilidades da casa, permitindo que eu pudesse me dedicar as pesquisas.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa, expresso minha sincera gratidão.

RESUMO

A ecotoxicologia constitui um campo relevante para a compreensão dos efeitos de contaminantes sobre os organismos vivos e os ecossistemas, podendo contribuir para a formação de sujeitos capazes de interpretar criticamente problemas socioambientais desde os anos iniciais da escolarização. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo analisar as contribuições de estratégias didáticas baseadas em narrativas, experimentos acessíveis e atividades lúdicas para a promoção da alfabetização científica e da educação ambiental crítica, por meio da abordagem de conceitos ecotoxicológicos com estudantes do 2º ano do Ensino Fundamental I. Trata-se de um relato de experiência de abordagem qualitativa, com caráter exploratório-descritivo, desenvolvido em uma escola municipal de Paranaguá, Paraná, com estudantes de 7 a 8 anos. A pesquisa observou os procedimentos éticos exigidos para estudos com crianças, com autorização institucional e dos responsáveis legais. A proposta envolveu a transposição didática de três bioensaios da ecotoxicologia para o contexto escolar: o teste de fuga com minhocas, o teste *Allium cepa* e o experimento de germinação de sementes de feijão. As atividades foram articuladas às narrativas “As Descobertas de Luiz” e “Cebolete, a detetive ambiental”, bem como à problematização dos efeitos de substâncias presentes no cotidiano, como detergente, água sanitária e óleo de cozinha usado, sobre os seres vivos e o ambiente. A produção dos dados ocorreu por meio de desenhos, registros escritos, narrativas espontâneas, observações e rodas de conversa realizadas durante as atividades. As produções dos estudantes foram analisadas qualitativamente, buscando-se identificar indícios de alfabetização científica, elaboração de hipóteses, internalização inicial de conceitos ecotoxicológicos e reconstrução de significados a partir das experiências vivenciadas. Os resultados indicaram que as propostas favoreceram o envolvimento, a curiosidade e a participação dos estudantes, mobilizando a observação, a comparação de resultados, a construção de explicações e a proposição de soluções para problemas ambientais. As produções orais, gráficas e escritas revelaram compreensão inicial de conceitos como toxicidade, contaminação ambiental, sensibilidade dos organismos, fitotoxicidade e relação dose-resposta, além do reconhecimento da ação humana como fator associado à degradação ambiental. Conclui-se que a ecotoxicologia, quando didaticamente transposta por meio de narrativas investigativas, experimentos adaptados ao contexto escolar e mediação docente intencional, apresenta potencial para promover a alfabetização científica e a educação ambiental crítica nos anos iniciais do Ensino Fundamental, articulando ciência, cotidiano, ludicidade e responsabilidade socioambiental.

Palavras-chave: Alfabetização científica; Ensino por Investigação; Experimento Didático-Formativo.

ABSTRACT

Ecotoxicology is a relevant field for understanding the effects of contaminants on living organisms and ecosystems and may contribute to the education of individuals capable of critically interpreting socio-environmental problems from the early years of schooling. In this context, this study aimed to analyze the contributions of teaching strategies based on narratives, accessible experiments, and playful activities to the promotion of scientific literacy and critical environmental education through the approach of ecotoxicological concepts with students in the 2nd year of elementary school. This is an experience report with a qualitative, exploratory-descriptive approach, developed in a municipal school in Paranaguá, Paraná, Brazil, with students aged 7 to 8 years. The research followed the ethical procedures required for studies involving children, with institutional authorization and consent from legal guardians. The proposal involved the didactic transposition of three ecotoxicological bioassays to the school context: the earthworm avoidance test, the *Allium cepa* test, and the bean seed germination experiment. The activities were articulated with the narratives “As Descobertas de Luiz” and “Cebolete, a detetive Ambiental”, as well as with the problematization of the effects of everyday substances, such as detergent, bleach, and used cooking oil, on living organisms and the environment. Data were produced through drawings, written records, spontaneous narratives, observations, and conversation circles carried out during the activities. The students’ productions were qualitatively analyzed to identify evidence of scientific literacy, hypothesis formulation, initial internalization of ecotoxicological concepts, and reconstruction of meanings based on the experiences. The results indicated that the proposals favored students’ engagement, curiosity, and participation, mobilizing observation, comparison of results, construction of explanations, and proposition of solutions to environmental problems. The oral, graphic, and written productions revealed an initial understanding of concepts such as toxicity, environmental contamination, organism sensitivity, phytotoxicity, and dose-response relationship, as well as the recognition of human action as a factor associated with environmental degradation. It is concluded that ecotoxicology, when didactically transposed through investigative narratives, experiments adapted to the school context, and intentional teacher mediation, has the potential to promote scientific literacy and critical environmental education in the early years of elementary school, articulating science, everyday life, playfulness, and socio-environmental responsibility.

Keywords: Scientific Literacy; Inquiry-Based Teaching; Didactic-Formative Experiment.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2. Objetivos Específicos	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 Abordagem Histórico-Cultural e Experimento Didático-Formativo na Promoção da Alfabetização Científica	17
3.2 Contação de História “As Descobertas de Luiz” (Krawczyk <i>et al.</i> , 2022)	21
3.3 “Cebolete, a detetive ambiental”.....	24
3.4 Experimento de germinação de sementes de feijão:.....	28
4. METODOLOGIA	33
4.1 Experimentos didáticos.....	34
4.1.1 Contação da história “As Descobertas de Luiz” (Krawczyk <i>et al.</i> , 2022).....	34
4.1.2 “Cebolete, a detetive ambiental”	36
4.1.3 Experimento de germinação de sementes de feijão.....	40
4.2 Análise das Produções dos Estudantes (Desenhos e Textos).....	44
5. Resultados e Discussão	46
5.1 Contação da história “As Descobertas de Luiz”	46
5.2 Contação da história “Cebolete, a detetive ambiental”	51
5.3 Experimento de Germinação de Sementes de Feijão	54
5.4 Análise das Produções dos Estudantes (Desenhos e Textos).....	56
6. Conclusões	60
7. Declaração de Uso de Inteligência Artificial	63
8. Referências.....	63
ANEXO I	68
ANEXO II	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Atividade proposta para registro de hipóteses	34
Figura 2: Atividade proposta para anotação das observações do comportamento das minhocas no minhocário	35
Figura 3: Atividade de finalização do experimento didático	36
Figura 4: Atividade para registro de hipóteses.	38
Figura 5: Montagem do experimento	39
Figura 6: Mensuração do comprimento das raízes de cebola	40
Figura 7: Registro das hipóteses de como a poluição pode afetar o desenvolvimento das espécies.....	42
Figura 8: Organização do experimento de sementes de feijão expostas a diferentes concentrações e soluções	43
Figura 9: Observação da germinação das sementes.	44
Figura 10: Registro da atividade com hipóteses porque Luiz não encontrou nenhuma minhoca próximo da sua horta	46
Figura 11: Registro das observações do minhocário	48
Figura 12: Registro das proposições para o Luiz resolver o problema	49
Figura 13: Registro das atividades com as hipóteses e o desenho do experimento.....	52
Figura 14: Registro das atividades com as hipóteses e o desenho do experimento.....	55

1. INTRODUÇÃO

A ecotoxicologia contempla o estudo dos efeitos de produtos químicos antropogênicos nos ecossistemas em diferentes níveis de organização biológica, desde o molecular e celular até ecossistemas inteiros. Na prática, esta área do conhecimento busca destacar a importância de entender não somente os efeitos no nível individual dos compostos químicos, mas também como populações, comunidades e ecossistemas em sua totalidade responder aos mesmos (Sparling, 2016).

Uma das missões centrais da ecotoxicologia é compreender os mecanismos pelos quais os contaminantes perturbam o desempenho biológico normal, a fim de desenvolver medidas apropriadas para prevenir resultados adversos decorrentes de contaminantes ambientais (Saaristo *et al.*, 2018). Os contaminantes podem afetar não somente as populações de animais e plantas, mas também processos básicos como ciclagem de nutrientes e formação do solo (Thomas e Krawczyk, 2023).

A ecotoxicologia em escala mundial, conforme destacam Fritsch *et al.*, (2025), surgiu como resposta aos impactos negativos da urbanização e da industrialização, que trouxeram sérias consequências ao bem-estar dos organismos vivos. Entre os problemas históricos mencionados, destaca-se a queima generalizada de carvão para fins industriais e domésticos, responsável por intensificar a poluição ambiental e provocar efeitos adversos à biota. Esses episódios configuram alguns dos antecedentes que motivaram o desenvolvimento da ecotoxicologia como campo científico.

Seguido por estudos relacionados às condições de trabalho e à proteção dos trabalhadores contra riscos ocupacionais, como a exposição a substâncias químicas perigosas advindos da “Revolução Verde”, que com a justificativa de aumentar a produção alimentícia e erradicar a fome no mundo por meio de novas técnicas agrícolas, geração de emprego em áreas de clima extremo, precisou aumentar a produção agrícola fazendo o uso de fertilizantes e inseticidas químicos (Ford *et al.*, 2021).

Após a Segunda Guerra Mundial, a preocupação com os riscos ambientais intensificou-se, contribuindo para a consolidação de uma nova percepção pública sobre os perigos da poluição. Um marco nesse processo foi a publicação de *Silent Spring* (Primavera Silenciosa), de Rachel Carson (1962), obra seminal que documentou o declínio acentuado de populações de aves em decorrência do uso de inseticidas organoclorados e alertou para os impactos não intencionais de substâncias químicas tóxicas.

Nesse mesmo contexto, Fritsch *et al.* (2025) destacam que o período pós-guerra foi caracterizado pelo aumento expressivo na introdução e na concentração de poluentes e xenobióticos no ambiente, impulsionado pela expansão da industrialização química e pelo uso intensivo de pesticidas e outros produtos sintéticos. Segundo os autores, a guerra favoreceu o desenvolvimento e a produção em larga escala de novos compostos, como agrotóxicos organoclorados, organofosforados e outros biocidas, cuja ampla aplicação contribuiu para impactos ambientais severos, contaminação de ecossistemas e danos à fauna, reforçando as preocupações no campo da ecotoxicologia.

Ademais, os testes com armas e bombas nucleares (Newman, 2019); as indústrias que lançam níveis anormalmente altos de chumbo e outros metais pesados no ambiente (Singh *et al.*, 2021); os contaminantes emergentes como os hormônios, produtos de higiene e limpeza, remédios descartados em abundância (Akhtar *et al.*, 2021) e novos resíduos que continuam surgindo, como os associados à nanotecnologia e resíduos eletrônicos (Boros e Ostafe, 2020) provocando inúmeros e complexos problemas ambientais.

Conforme destacam Edo *et al.* (2024), a poluição da água, agravada por descargas industriais, manejo inadequado de resíduos, agricultura e derramamentos de óleo, provoca perda de biodiversidade, doenças como cólera e altos custos econômicos. O ar também é facilmente contaminado, com poluentes transportados a longas distâncias, causando chuva ácida, tempestades de poeira e riscos à saúde. Além disso, o excesso de gases de efeito estufa gerado por ações humanas intensifica o aquecimento global, alterando padrões climáticos e provocando eventos extremos.

Singh *et al.* (2021) reforçam que os efeitos ecotoxicológicos iniciam-se ao nível individual e populacional das espécies da biota, com consequências em cascata para a comunidade e o funcionamento do ecossistema na totalidade. Os contaminantes químicos provocam uma ampla variedade de efeitos tóxicos sobre a flora e a fauna, afetando níveis de organização que vão dos indivíduos até comunidades e ecossistemas inteiros.

Ainda de acordo com os mesmos autores, a exposição a toxinas pode alterar o comportamento e as relações ecológicas, como as interações entre predadores e presas, resultando na diminuição de populações específicas. Os organismos aquáticos, especialmente invertebrados, mostram-se particularmente vulneráveis, sofrendo alterações no desenvolvimento, no metabolismo e na sobrevivência. Além disso, substâncias tóxicas podem desencadear desde efeitos agudos letais até impactos crônicos, ocasionando distúrbios reprodutivos, mutações genéticas, defeitos congênitos e desordens no desenvolvimento.

A liberação de contaminantes químicos inclui diferentes tipos de agentes tóxicos¹ incluindo compostos com propriedades carcinogênicas, mutagênicas, teratogênicas, alergênicas, neurotóxicas e desreguladoras endócrinas (Vieira, *et al.*, 2020).

Vieira *et al.* (2020), também destacam que os desreguladores endócrinos afetam o sistema hormonal, podendo causar problemas reprodutivos, desenvolvimento anormal e outras disfunções fisiológicas. Por exemplo, a exposição prolongada a pesticidas pode levar a distúrbios hormonais e distúrbios metabólicos, que afetam a fertilidade e a capacidade de sobrevivência das populações.

A compreensão desses impactos, para além de sua dimensão científica, assume relevância pedagógica, na medida em que, à luz dos Parâmetros Curriculares Nacionais — PCNs (Brasil, 1998), da Base Nacional Comum Curricular — BNCC (Brasil, 2018) e do Referencial Curricular do Paraná (Paraná, 2021), pode-se afirmar que o estudo das relações entre contaminantes e ambiente subsidia a formação crítica dos estudantes, na medida em que favorece a análise dos impactos socioambientais, o desenvolvimento do pensamento científico e a tomada de decisões responsáveis.

Nessa perspectiva, ao ensinar ecotoxicologia para estudantes no ensino fundamental, os professores podem possibilitar a ampliação da Alfabetização Científica (AC) nas três dimensões apontadas por Lorenzetti e Delizoicov (2001), estruturando práticas pedagógicas que integrem conhecimento, investigação e postura crítica.

Guerrero e Sjöström (2025) destacam a importância da apropriação crítica do conhecimento científico como um processo fundamental para o verdadeiro aprendizado e para a formação de um pensamento crítico. Segundo os autores, a AC deve ser entendida não apenas como a aprendizagem de fatos e conceitos, mas como uma conscientização que integra o conhecimento histórico, social e ambiental para promover transformação e emancipação.

No contexto de temas complexos como ecotoxicologia, que envolvem múltiplas disciplinas (química, biologia, farmacologia), a criticidade só emerge quando o indivíduo tem

¹ Para a compreensão dos efeitos dos agentes tóxicos em diferentes níveis de organização biológica, adota-se a classificação proposta por Azevedo e Chasin (2004), segundo a qual os mecanismos de ação tóxica incluem: agentes carcinogênicos, capazes de induzir o desenvolvimento de câncer em organismos expostos, afetando sua saúde e sobrevivência; agentes mutagênicos, que provocam alterações no material genético, podendo resultar em mutações hereditárias e mudanças evolutivas nas espécies; agentes teratogênicos, responsáveis por defeitos no desenvolvimento embrionário, ocasionando malformações e comprometendo a reprodução. Além disso, os autores destacam os agentes alergênicos, que desencadeiam reações imunológicas adversas, e os neurotóxicos, que interferem no funcionamento do sistema nervoso, alterando o comportamento, a fisiologia e a sobrevivência dos organismos.

acesso às bases histórico-contextuais do conhecimento científico e dispõe de ferramentas para experimentar e vivenciar esse conhecimento, tornando-se parte ativa do processo de aprendizagem.

Silva e Sasseron (2021) reforçam a importância do ensino por investigação como caminho privilegiado para a promoção da Alfabetização Científica (AC). As autoras destacam que a investigação, com a argumentação e a modelagem², compõe processos essenciais que caracterizam elementos sociais da atividade científica e que esses processos devem estar presentes nas práticas educacionais para mobilizar o domínio epistêmico do conhecimento científico em construção contínua.

A integração de conceitos da ecotoxicologia, tema frequentemente restrito a contextos acadêmicos especializados, pode possibilitar, por meio das práticas experimentais, quando bem planejadas e contextualizadas, meios fundamentais para o desenvolvimento da AC. Corroborando com Lorenzetti e Delizoicov (2001), que defendem que o acesso dos estudantes a conhecimentos de laboratório vai além de habilidades motoras, favorece a construção de saberes científicos por meio de uma postura investigativa.

A justificativa deste trabalho fundamenta-se na importância de inserir a ecotoxicologia no contexto da Educação Básica, especialmente nos anos iniciais do Ensino Fundamental, como possibilidade de promover a alfabetização científica e a educação ambiental crítica desde a infância. Embora temas como poluição, contaminação da água e do solo, o uso de produtos químicos e impactos ambientais façam parte da realidade cotidiana dos estudantes, conceitos fundamentais da ecotoxicologia, como toxicidade, sensibilidade dos organismos, bioindicadores e relação dose-resposta, ainda são pouco explorados de forma sistemática e acessível nas práticas escolares.

Objetiva-se, com isso, analisar as contribuições de estratégias didáticas baseadas em narrativas, experimentos acessíveis e atividades lúdicas para a promoção da alfabetização científica e da educação ambiental crítica, por meio da abordagem de conceitos ecotoxicológicos com estudantes do 2º ano do Ensino Fundamental I.

² A modelagem envolve a elaboração e o uso de representações que ajudam a explicar e interpretar fenômenos científicos. Ela é parte integrante do trabalho científico, permitindo que estudantes e pesquisadores construam, testem e validem explicações, contribuindo para o desenvolvimento do conhecimento científico como prática social e colaborativa. No entanto, a simples manipulação de objetos ou realização de experimentos não garante o reconhecimento das práticas científicas se for apenas de forma tradicional ou ilustrativa. Para que um experimento seja efetivamente parte da modelagem científica, ele precisa estar inserido em um processo de investigação, argumentação e construção de conhecimento, mobilizando os aspectos sociais, epistêmicos e materiais do conhecimento científico.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar as contribuições de estratégias didáticas baseadas em narrativas, experimentos acessíveis e atividades lúdicas para a promoção da alfabetização científica e da educação ambiental crítica, por meio da abordagem de conceitos ecotoxicológicos com estudantes do 2º ano do Ensino Fundamental I.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar a transposição didática, para o Ensino Fundamental I, de três bioensaios da ecotoxicologia: teste de fuga com minhocas, teste *Allium* cepa e teste de germinação de sementes;
- Implementar as atividades didáticas transpostas junto a uma turma do 2º ano do Ensino Fundamental I, em uma escola municipal de Paranaguá;
- Analisar de que modo as atividades propostas favoreceram a compreensão inicial de conceitos ecotoxicológicos, tais como sensibilidade dos organismos, toxicidade, contaminação ambiental e relação dose-resposta;
- Identificar, nas produções orais, gráficas e escritas dos estudantes, indícios de alfabetização científica, tais como observação, registro, comparação de resultados, levantamento de hipóteses, justificativas e construção de explicações.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Abordagem Histórico-Cultural e Experimento Didático-Formativo na Promoção da Alfabetização Científica

No âmbito da abordagem sociocultural, conforme exposto por Vygotsky, Luria e Leontiev (2017), a aprendizagem é entendida como um processo intrinsecamente mediado pelo ambiente social e cultural no qual o indivíduo está inserido.

Vygotsky (1998) afirma que “o desenvolvimento psicológico da criança ocorre por meio da internalização de experiências socialmente mediadas”, ressaltando o papel ativo da interação social na construção do conhecimento. Nesse sentido, o ambiente sociocultural configura-se como elemento imprescindível para a mediação da aprendizagem, possibilitando a apropriação gradual de saberes e práticas socialmente legitimados.

A perspectiva histórico-cultural de Vygotsky, Luria e Leontiev (2017) oferece fundamentos sólidos para compreender a relevância de estratégias pedagógicas que valorizem a participação ativa dos estudantes. Para esses autores, a aprendizagem é um processo socialmente mediado, no qual a interação entre sujeitos e a utilização de instrumentos simbólicos, como a linguagem, a narrativa e a experimentação, são determinantes para o desenvolvimento das funções psicológicas superiores. Nesse contexto, práticas como a contação de histórias, a realização de experimentos e a proposição de atividades lúdicas assumem papel central no ensino de temáticas ambientais.

Para Freitas e Libâneo (2022), o uso do experimento didático formativo é uma modalidade de pesquisa em didática fundamentada na teoria histórico-cultural e na teoria do ensino desenvolvimental, que tem como base o entendimento de que o ensino deve promover o desenvolvimento das funções psíquicas superiores dos estudantes mediante a interação entre ensino e aprendizagem.

O experimento didático formativo na perspectiva Sforni (2015), se configura como uma metodologia que integra aspectos epistemológicos, psicológicos e socioculturais para investigar e promover a unidade entre ensino, aprendizagem e desenvolvimento humano, contribuindo para o avanço da didática desenvolvimental e a superação das desigualdades educacionais. A análise da elaboração dos conceitos nos experimentos didáticos

formativos, conforme apresentado pela autora, constitui um processo sistemático que busca compreender como os estudantes se apropriam dos conceitos científicos no contexto escolar, ultrapassando a simples memorização para alcançar uma compreensão teórica e aplicável.

O processo fundamenta-se na Teoria Histórico-Cultural e em metodologias inspiradas em Vygotsky, Davydov e Hedegaard (Freitas e Libâneo, 2022). Nos experimentos didáticos, a ação docente orienta-se pela mediação conceitual, que implica a análise intencional da gênese histórica e lógica dos conceitos, visando à identificação de seu núcleo fundamental.

Para os autores, a partir dessa base, são elaborados problemas desencadeadores que levam os estudantes a interagirem ativamente com os conceitos, incentivando-os a resolver desafios que só podem ser superados por meio da utilização desse referencial teórico. Ao final do processo, novos problemas são apresentados para verificar se os alunos conseguem operar mentalmente com os conceitos em diferentes contextos, demonstrando a capacidade de transcender da particularidade para o universal e vice-versa.

Segundo Sforzi (2015), nos experimentos didáticos formativos, a análise da apropriação dos conceitos é realizada por meio da observação de indicadores concretos, revelados na fala e na escrita dos estudantes ao explicarem fenômenos e ao incorporarem a linguagem conceitual em suas argumentações. Também são considerados aspectos como a autonomia na resolução de atividades que, embora externamente diversas, partem da mesma fundamentação conceitual, bem como a conduta no plano material, isto é, na prática da manipulação de objetos ou experimentos. Para aferir o nível de internalização dos conceitos, os estudantes são ainda levados a enfrentar novas situações empíricas, que funcionam como testes para verificar se a ascensão do abstrato ao concreto foi efetivamente conquistada.

Dessa forma, para a autora, a análise da elaboração dos conceitos transcende o simples julgamento sobre acertos e erros e investiga a qualidade da operação teórica realizada pelos estudantes. É um procedimento dialético e dinâmico, que envolve a interação entre o docente e o discente, e que se fundamenta na articulação entre teoria e prática pedagógica. Esse modelo de análise possibilita ao professor reorientar sua prática educativa a partir dos resultados observados, ajustando os princípios e ações de ensino às particularidades das condições concretas da sala de aula. Assim, os experimentos didáticos formativos revelam-se instrumentos para promover e compreender a construção

do conhecimento teórico, fortalecendo a relação entre didática e a Teoria Histórico-Cultural.

Concluída a análise das contribuições de Sforini e de Freitas e Libâneo para o ensino fundamentado em experimentos didáticos formativos e, ampliando o debate para o campo da Alfabetização Científica (AC), destaca-se a abordagem de Sasseron (2015), cuja proposta dialoga com os princípios da investigação e da argumentação científica. Mas que, no entanto, compartilham o objetivo de formar sujeitos capazes de compreender, interpretar e intervir criticamente na realidade a partir do conhecimento científico.

Tanto para Sasseron (2015), como para Sforini (2015) e Freitas e Libâneo (2021), propor um problema de investigação, levantar hipóteses, realizar procedimentos experimentais e analisar resultados, integram uma prática pedagógica que favorece a apropriação de conceitos, superando a simples memorização de definições.

Ao utilizar os experimentos didáticos, o ensino promove a mediação conceitual, levando os estudantes a compreenderem a gênese lógica e histórica dos conceitos científicos e a resolverem problemas desencadeadores que requerem a aplicação desses conceitos. Esse movimento favorece construir uma compreensão estruturada do conhecimento científico, fundamental para a AC, pois o estudante aprende a operar mentalmente com os conceitos, relacionando as situações particulares estudadas com princípios teóricos universais.

Além disso, a incorporação de textos científicos e a articulação entre o plano material (experimentos, objetos) e o verbal (linguagem oral e escrita) propiciam o desenvolvimento da linguagem própria da ciência, aspecto essencial para a AC, uma vez que essa linguagem permite a comunicação e argumentação baseada em evidências e conceitos científicos.

A AC, conforme defendida por Sasseron (2015), emerge como um conceito amplo e fundamental para o ensino das Ciências da Natureza na escola, constituindo-se não somente no domínio de conhecimentos científicos, mas na apropriação de uma cultura que integra práticas, valores e formas de pensar características do fazer científico. Para a autora, alfabetizar cientificamente é possibilitar que os estudantes desenvolvam uma compreensão crítica e reflexiva tanto das noções e conceitos científicos quanto dos processos que envolvem a construção do conhecimento, processos esses marcados pela investigação, argumentação e constante revisão de ideias.

Nesse sentido, a AC, defendida pela autora, é concebida como um movimento que ultrapassa o simples aprendizado de conteúdos curriculares, buscando inserir os

estudantes em uma cultura híbrida, na qual a cultura científica dialoga com outras culturas presentes no ambiente escolar e social. É na escola que se dão encontros e negociações culturais que conferem sentido ao conhecimento científico, tornando-o relevante para a vida cotidiana e para os desafios da sociedade contemporânea.

Para alcançar tal objetivo, a autora destaca que o ensino deve ser orientado pelo Ensino por Investigação, metodologia que aproxima os estudantes das práticas reais da ciência, permitindo-lhes experimentar os processos de formular hipóteses, buscar evidências, testar ideias e construir explicações. A investigação, longe de ser um procedimento único e padronizado, é entendida como uma atividade complexa, que engloba variados modos de raciocínio, práticas empíricas e teóricas, e deve ser mediada pelo professor para estimular a curiosidade, o questionamento e a reflexão crítica.

Silva e Sasseron (2021) destacam que a argumentação é um componente essencial dos processos sociais da atividade científica, fundamental para a construção e avaliação contínua de planos de análise e para a consolidação de ideias explicativas sobre fenômenos. Na perspectiva da AC, a argumentação está integrada ao Eixo Estruturante que articula os domínios social, material e epistêmico do conhecimento científico, evidenciando que não basta somente o domínio conceitual, mas a participação ativa em práticas científicas que envolvem investigar, argumentar e modelar.

Além disso, para as autoras a argumentação está relacionada à compreensão da ciência como uma prática social colaborativa, que envolve movimentos de investigação e modelagem, permitindo aos estudantes compreenderem os modos e práticas da ciência natural e utilizá-los para interpretar situações do cotidiano.

As atividades desenvolvidas, “As Descobertas de Luiz” (Krawczyk *et al.*, 2022); “Cebotele, a detetive ambiental” e o Experimento de germinação de sementes de feijão, especialmente quando articuladas com experimentos práticos, são fundamentais para o público-alvo de crianças do 2º ano do Ensino Fundamental I (7 a 8 anos), pois se alinham com os princípios da Teoria Histórico-Cultural, articulando mediação social, interação e o uso de instrumentos simbólicos.

As contribuições de Vygotsky reforçam que o desenvolvimento das funções psicológicas superiores, como a capacidade de investigação e o pensamento crítico, ocorre pela internalização de experiências socialmente mediadas (Martins, 2012). A integração de experimentos didáticos, com as narrativas, permite que as crianças mobilizem tanto o "plano material" (observação direta do experimento) quanto o "plano simbólico" (representação gráfica e escrita de suas percepções), caracterizando a

mediação conceitual que sustenta a aprendizagem e o desenvolvimento das funções intelectuais superiores.

A observação sistemática e a possibilidade de interagir com o ambiente (os minhocários) ajudam as crianças a fazerem conexões diretas entre suas ações e os resultados, desenvolvendo uma compreensão concreta da relação causa-efeito entre a ação humana (como o uso de agrotóxicos) e o impacto ambiental.

Alinhadas ao experimento didático-formativo, promovem a apropriação conceitual por meio de problemas desencadeadores e análise lógica dos conceitos científicos. Ao mesmo tempo, contribuem para a AC, inserindo os estudantes em práticas de investigação, argumentação e reflexão crítica. Assim, as atividades fortalecem a compreensão de ecotoxicologia, o desenvolvimento de funções psicológicas superiores e a capacidade de intervir de forma ética e fundamentada diante dos desafios ambientais contemporâneos.

3.2 Contação de História “As Descobertas de Luiz” (Krawczyk *et al.*, 2022)

A atividade de contação de história “As Descobertas de Luiz”, adaptada de Krawczyk *et al.* (2022), conduzida a partir da narrativa lúdica, se relaciona diretamente com o experimento de fuga das minhocas, que consiste na resposta desses organismos a estímulos ambientais adversos, funcionando como um mecanismo adaptativo e indicador biológico da qualidade do solo.

Na história de Krawczyk *et al.* (2022), as crianças observaram minhocas em minhocários contendo terra limpa e terra “contaminada”, permitindo que percebessem a evasão das minhocas em condições desfavoráveis, refletindo a sensibilidade desses organismos a alterações físico-químicas do solo, como umidade, pH, presença de contaminantes e qualidade geral do substrato.

A montagem dos minhocários e a observação sistemática reproduzem, adaptadamente, os procedimentos normatizados pela ABNT NBR ISO 17512-1 (2011) para avaliação da ecotoxicidade do solo. Essa norma estabelece o ensaio de fuga com minhocas (*Eisenia fetida* e *Eisenia andrei*) como método para avaliar a qualidade do solo, considerando a evasão, bem como efeitos sobre crescimento e sobrevivência, na determinação do impacto de substâncias químicas ou contaminantes.

Azevedo e Coronas (2018) ressaltam que o ensaio, também conhecido como teste de evasão é particularmente relevante por sua sensibilidade e rapidez, permitindo a

detecção de efeitos subletais em um curto intervalo de tempo, representando uma vantagem em relação a outros métodos de avaliação toxicológica.

Segundo Fragoso *et al.* (2013) destacam que, pela facilidade de manejo e pela representatividade ecológica das minhocas nos processos biogeoquímicos do solo, esses organismos são ferramentas fundamentais para estudos de impacto ambiental e monitoramento da qualidade do solo.

De acordo com Niva *et al.* (2019), o bioensaio de evasão, ou ensaio de fuga com minhocas, consiste na avaliação do comportamento de rejeição desses organismos a solos contaminados ou submetidos à adição de substâncias químicas. O princípio do ensaio baseia-se no fato de que as minhocas possuem quimiorreceptores capazes de detectar contaminantes no solo e, conseqüentemente, evitá-los, buscando permanecer no solo controle não contaminado.

Nesse contexto, conforme descrito pelos mesmos autores, utilizam-se, geralmente, espécies de oligoquetas como *E. fetida*, *E. andrej*, *Pontoscolex corethrurus*, entre outras, com pesos individuais padronizados para garantir a uniformidade dos testes. As minhocas são colocadas em recipientes bipartidos contendo solo contaminado de um lado e solo controle do outro e, após um período de 48 horas, avalia-se a distribuição dos organismos entre os dois compartimentos.

A alteração no comportamento das minhocas é utilizada para quantificar os efeitos subletais do estresse causado por contaminantes nas populações desses invertebrados do solo. De acordo com Niemeiyer *et al.* (2019) apesar do ensaio ser recomendado para detectar efeitos subletais, não substitui os testes de letalidade ou reprodução, mas fornece informações complementares sobre a qualidade do solo e potenciais riscos causados a organismos ali presentes.

Cesar *et al.* (2014) destacam que a avaliação da ecotoxicidade de metais em solos não deve se restringir às concentrações totais, mas considerar, sobretudo, a biodisponibilidade efetiva desses elementos para os organismos. Nesse contexto, os testes de fuga configuram-se como bioensaios comportamentais capazes de evidenciar diretamente a resposta de organismos, como os oligoquetas, à presença de contaminantes, constituindo importantes indicadores da toxicidade percebida e da qualidade do habitat edáfico.

Segundo os mesmos autores, a presença de oxi-hidróxidos de ferro e alumínio exerce influência significativa nos resultados desses testes, uma vez que esses minerais reduzem a biodisponibilidade e, conseqüentemente, a ecotoxicidade dos metais no solo.

Dessa forma, em solos ricos nesses compostos, a toxicidade dos metais tende a ser atenuada, refletindo-se em menor comportamento de evitação pelos organismos, mesmo sob elevadas concentrações totais.

Niemeiyer *et al.* (2019) destacam que para além das características do solo, as propriedades, tais como textura, pH e teor de matéria orgânica, têm grande influência sobre o comportamento das minhocas utilizadas nos ensaios de fuga. Portanto, os autores recomendam que o solo controle apresente características físicas e químicas semelhantes ao solo contaminado, com exceção da contaminação, para evitar interferências nos resultados do ensaio.

Segundo Cesar *et al.* (2014) e Niemeiyer *et al.* (2019), o ensaio de fuga é rápido, de baixo custo e ecologicamente relevante para avaliação de solos contaminados, remediados ou potencialmente impactados. Além disso, o uso das minhocas *E. fetida* ou *E. andrei* é prático, pois sua aclimatação e manejo são simples, facilitando a condução do bioensaio em laboratório.

Sissino, Rizzo e Moreira (2006) realizaram bioensaio de evasão de minhocas para avaliar amostras de áreas contaminadas por hidrocarbonetos coletadas de uma garagem de ônibus (Amostra 1), um posto de serviços (Amostra 2) e uma área com derramamento de óleo (Amostra 3). A amostra proveniente da garagem de ônibus apresentou alta toxicidade, evidenciada pelo fato de 96% dos organismos terem evitado o solo contaminado, migrando para o solo controle, o que indica que o habitat estava comprometido.

Essa toxicidade foi posteriormente confirmada pelos autores, com o ensaio de letalidade, que registrou 100% de mortalidade das minhocas, e pelo ensaio de reprodução, que não registrou a formação de casulos nem indivíduos jovens, demonstrando o impacto negativo da contaminação para os organismos do solo. Esses resultados sugerem que o ensaio de comportamento pode ser utilizado como ferramenta complementar na avaliação de áreas contaminadas.

Marques *et al.* (2018) utilizaram *E. fetida* para detectar contaminação do solo pelo pesticida organofosforados clorpirifós, especificamente na formulação comercial Capataz® BR (480 g. L⁻¹), utilizada para controle de pragas em lavouras. O produto foi considerado moderadamente tóxico para a espécie testada indicando que o equilíbrio ecológico mantido por estes organismos se torna ameaçado, implicando em prejuízos para o ecossistema terrestre.

3.3 “Cebolete, a detetive ambiental”:

Na história “Cebolete, a detetive ambiental”, o fantoche e a narrativa investigativa funcionam como instrumentos simbólicos de mediação, convidando os estudantes a participar ativamente da resolução de um problema científico baseado no bioensaio com cebolas (*Allium cepa*).

O teste com *A. cepa* consolidou-se como uma das metodologias mais utilizadas na avaliação da genotoxicidade e citotoxicidade de agentes químicos e ambientais. De acordo com Tedesco e Laughinghouse (2012), esse modelo experimental constitui um sistema biológico econômico e ecologicamente relevante para detectar alterações cromossômicas e disfunções mitóticas em organismos eucarióticos. Sua popularização decorre da alta sensibilidade das células meristemáticas das raízes da cebola, que permitem identificar efeitos adversos de poluentes, efluentes industriais, pesticidas e outras substâncias potencialmente mutagênicas.

Almeida *et al.* (2021) destacam que o contexto de aplicação do teste está diretamente relacionado à crescente demanda por métodos alternativos de monitoramento ambiental e avaliação de risco genético, especialmente em tempos em que a sustentabilidade e a prevenção de danos ambientais assumem papel central nas políticas públicas e na pesquisa científica. Os autores descrevem o teste, portanto, como um bioindicador capaz de refletir, de maneira simples e acessível, os impactos de contaminantes sobre a estabilidade genômica de organismos vivos, apresentando resultados que frequentemente se correlacionam com testes realizados em células de mamíferos.

Bonciu *et al.* (2018) e Grisolia (2002) descrevem o ponto de vista teórico, em que o ensaio se baseia na observação das células do meristema radicular, região de intensa atividade mitótica. Durante a divisão celular, os cromossomos encontram-se condensados e visíveis ao microscópio óptico, o que permite identificar alterações estruturais e numéricas decorrentes da exposição a agentes genotóxicos. O princípio fundamental consiste em comparar a frequência de células em diferentes fases da mitose entre grupos controle e tratados, além de registrar anomalias cromossômicas, como pontes anafásicas, fragmentos, adesões, cromossomos retardatários e micronúcleos. Tais alterações indicam falhas na segregação cromossômica ou quebras de DNA, sugerindo o potencial mutagênico das substâncias testadas.

Nicuță *et al.* (2025) discutem que a interpretação dos resultados deve considerar, ainda, a relação dose-resposta, já que a intensidade dos efeitos tende a crescer proporcionalmente à concentração ou ao tempo de exposição ao agente testado. Diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos e controles reforçam a confiabilidade das conclusões, permitindo distinguir efeitos aleatórios de respostas biologicamente relevantes.

O teste é reconhecido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pela *Environmental Protection Agency* (EPA), apresenta-se como uma ferramenta simples, de baixo custo e alta sensibilidade, permitindo a análise de efeitos biológicos em células meristemáticas da raiz de cebola, que apresentam intensa atividade mitótica e fácil observação ao microscópio óptico (Fernandes *et al.*, 2007). Além disso, o modelo é aceito internacionalmente por fornecer resultados comparáveis a ensaios realizados com células de mamíferos (Fiskesjö, 1993).

O teste com *A. cepa* é amplamente utilizado em pesquisas e no ensino devido à sua simplicidade, sensibilidade e eficácia na avaliação de efeitos genotóxicos de agentes químicos. Essa característica permite que estudantes e pesquisadores observem, de forma prática, as interações entre substâncias químicas e organismos vivos, contribuindo para o desenvolvimento da alfabetização científica e para a promoção da consciência ecológica.

O princípio do teste baseia-se na exposição de bulbos de cebola a diferentes amostras de interesse, permitindo o crescimento de raízes em condições controladas. As raízes são então coletadas, fixadas e submetidas a técnicas citológicas para análise do índice mitótico e observação de aberrações cromossômicas (Gopalan, 1999).

Este bioensaio possui ampla aplicabilidade, ultrapassando os limites do ambiente laboratorial e assumindo um papel relevante em diferentes contextos científicos e educativos. Sua utilização é recorrente em pesquisas voltadas ao monitoramento da qualidade da água, à análise de efluentes industriais e à avaliação de solos contaminados, demonstrando sua eficácia como ferramenta de diagnóstico ambiental e de detecção de efeitos genotóxicos e citotóxicos.

Estudos relatados no artigo de Nicuță *et al.* (2025) demonstram a valiosa aplicação do teste, mesmo diante da grande diversidade genética e química de extratos vegetais (extratos aquosos, metanólicos ou hidroalcoólicos de diversas espécies), os quais podem apresentar efeitos variados, desde a ausência de genotoxicidade até a indução de efeitos citotóxicos e mutagênicos. O teste se destaca, portanto, como uma ferramenta valiosa

para estudos preliminares de segurança de extratos de plantas utilizados nas indústrias farmacêutica, alimentícia e cosmética.

O estudo de Alias *et al.* (2023) reforça a relevância do ensaio com *A. cepa* como uma ferramenta eficiente para a detecção precoce de efeitos tóxicos e genotóxicos de novas moléculas antifúngicas. Os autores destacam que o teste apresenta forte correlação com resultados obtidos em sistemas animais, o que lhe confere validade ecológica e potencial para substituir, de forma ética, métodos que envolvem o uso de vertebrados. Essa característica alinha-se aos princípios das 3Rs, reutilização, redução e refinamento, que orientam práticas científicas mais sustentáveis e humanitárias.

A pesquisa também evidencia a alta estabilidade genômica de *A. cepa*, fator determinante para sua eficiência como organismo-teste. Por possuir baixa incidência de alterações cromossômicas espontâneas, a cebola permite identificar com maior precisão os danos genéticos provocados por contaminantes externos, consolidando-se como um bioindicador sensível e confiável em estudos de toxicidade e genotoxicidade ambiental.

Em termos ambientais e regulatórios, Alias *et al.* (2023) ressaltam a importância de empregar métodos alternativos na avaliação de pesticidas e fungicidas, especialmente diante das políticas europeias que visam a redução do uso de compostos químicos agrícolas para proteger tanto a saúde humana quanto a integridade dos ecossistemas.

Uma vez que, os resultados obtidos pelos autores demonstraram que alguns compostos antifúngicos analisados provocaram efeitos genotóxicos significativos nas raízes da cebola, indicando que, nas condições estudadas, não seriam adequados para uso agrícola, reforçando o valor do bioensaio como etapa essencial na avaliação preliminar da segurança química de novos produtos.

Bagatini *et al.* (2007) destacam que as infusões de plantas medicinais causam diversos efeitos no ciclo celular de *A. cepa*, sendo esses efeitos importantes para a avaliação de citotoxicidade e genotoxicidade. Estudos demonstraram que extratos de plantas como *Psidium guajava* (goiabeira) e *Achillea millefolium* (mil folhas) apresentaram efeitos antimutagênicos em diferentes sistemas testes, incluindo *Allium cepa*, medula óssea de ratos e linfócitos humanos, embora o consumo desses chás não seja recomendado por tempo prolongado ou em doses não prescritas.

Além das plantas citadas, extratos de outras espécies como *Maytenus ilicifolia* (espinheira santa) e *Bauhinia candicans* (pata-de-vaca) também foram avaliados, e os resultados indicaram que seu consumo pode ser seguro se respeitadas as formas tradicionais de preparo e concentrações adequadas.

Assim, conforme os autores, o teste *Allium cepa* possibilita a prevenção de riscos à saúde decorrentes do uso de substâncias nocivas presentes em plantas consideradas curativas pela população, evitando possíveis enfermidades causadas pela ingestão dessas substâncias. Além disso, o teste é reconhecido como sensível e exato para o primeiro *screening* da citogenotoxicidade, sendo amplamente adotado pela comunidade científica para garantir o uso seguro das plantas medicinais.

De Oliveira, Voltolini e Barbério (2011) caracterizaram o potencial mutagênico dos poluentes presentes na água do rio Paraíba do Sul, cidade de Tremembé – SP, analisando alterações cromossômicas em células meristemáticas de *Allium cepa*, no verão (abril) e inverno (agosto) de 2008.

No verão, a água apresentou maior frequência de micronúcleos, como c-mitoses e *stickiness* (cromossomos pegajosos) e aberrações cromossômicas não identificadas, mostrando um alto potencial mutagênico. No inverno, o único efeito significativo observado foram pontes cromossômicas, indicando uma diminuição dos efeitos genotóxicos, porém ainda com ocorrência de anomalias cromossômicas.

Segundo os autores, tais resultados sugerem interferência sazonal na concentração e efeito dos poluentes na água, possivelmente influenciada pela variação na descarga de efluentes, vazão e índice de chuva. Dessa forma, reafirmou-se a importância do biomonitoramento contínuo e da adoção de medidas de controle dos efluentes para preservar a qualidade da água e os recursos naturais do rio Paraíba do Sul, que é utilizado para abastecimento público, irrigação e outras finalidades.

Pereira *et al.* (2017) avaliaram a toxicidade e citogenotoxicidade de amostras de água e sedimento do rio São Francisco em Juazeiro-BA e Petrolina-PE usando o bioensaio *Allium cepa* L. Os autores observaram a diminuição no índice de germinação e no comprimento das raízes em diversas amostras na estação de estiagem, enquanto na estação chuvosa houve estímulo ao crescimento em algumas amostras, indicando toxicidade em ambas as estações. A frequência de micronúcleos, perdas e quebras cromossômicas (%) apontaram genotoxicidade em amostras de água e sedimento, sugerindo a influência de nutrientes e metais pesados

Acrescido das informações acima, além de seu valor técnico, o teste com *A. cepa* destaca por seu potencial formativo. Em projetos de educação ambiental, seu uso contribui para despertar uma consciência crítica sobre as consequências das ações humanas no meio ambiente, aproximando teoria e prática por meio de atividades experimentais acessíveis e de fácil execução.

No campo educacional, o bioensaio tem sido incorporado como recurso didático em aulas práticas, promovendo a integração de conhecimentos de citologia, genética, toxicologia e ecologia. Experimentos realizados por estudantes, bem como vídeos e oficinas pedagógicas, demonstram que o teste facilita a compreensão de conceitos científicos complexos ao vinculá-los a situações reais de impacto ambiental (Santos *et al.*, 2015).

Dessa forma, o ensaio com *A. cepa* consolida-se não apenas como um método científico de avaliação toxicológica, mas também como uma ferramenta educativa capaz de articular o aprendizado teórico à reflexão ética e ambiental.

3.4 Experimento de germinação de sementes de feijão:

Os bioensaios ecotoxicológicos emergem como ferramentas essenciais para a avaliação da qualidade ambiental. Diferentemente das análises químicas tradicionais, que apenas quantificam substâncias presentes nas amostras, os bioensaios possibilitam a observação dos efeitos biológicos reais, revelando respostas fisiológicas e morfológicas dos organismos expostos a poluentes (Mitelut e Popa, 2011).

A utilização de organismos bioindicadores, como microcrustáceos, algas e plantas, permite avaliar o potencial tóxico de efluentes, solos e corpos hídricos, tornando os bioensaios instrumentos indispensáveis nos estudos ecotoxicológicos (Cetesb, 2016).

Para Lourenço *et al.* (2021), no âmbito da fitotoxicologia, as plantas têm sido amplamente empregadas como bioindicadoras, devido à sua sensibilidade e à capacidade de refletir alterações ambientais por meio de respostas fisiológicas, bioquímicas e genéticas. Esses bioensaios fundamentam-se no princípio de que as plantas, por sua sensibilidade e rápida resposta a agentes externos, funcionam como bioindicadores eficientes (Grant, 1998).

Conforme Duque *et al.* (2020) a avaliação da toxicidade por meio de sementes de *Lactuca sativa* (alface) e de *Phaseolus vulgaris* (feijão) constitui um método amplamente empregado na análise de substâncias químicas e amostras ambientais, permitindo estimar seus efeitos fisiológicos sobre organismos vegetais. Trata-se de um ensaio simples, de baixo custo e ambientalmente relevante, que fornece dados confiáveis acerca do potencial tóxico de compostos presentes em solos, águas ou efluentes.

Para Almeida *et al.* (2022), a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas são fases críticas do ciclo vegetal, sendo particularmente vulneráveis à presença de

contaminantes. Dessa forma, alterações na germinação, no alongamento radicular e na morfologia das plântulas constituem parâmetros sensíveis para a detecção de efeitos tóxicos.

A alface (*L. sativa*) é uma das espécies mais utilizadas em testes de toxicidade devido à uniformidade genética, à alta taxa de germinação e à resposta rápida a diferentes substâncias. Já as sementes de feijão (*P. vulgaris*) permitem observar com clareza o crescimento radicular e as possíveis alterações morfológicas decorrentes da exposição a contaminantes, como espessamento, necroses e redução do comprimento das raízes (Duque *et al.*, 2020).

No aspecto metodológico, Mothe *et al.* (2019) destacam que o ensaio consiste na exposição de grupos de sementes previamente selecionadas e desinfetadas a diferentes concentrações da amostra de interesse, sob condições controladas de temperatura, luminosidade e umidade. As sementes são dispostas sobre papel filtro ou algodão umedecido com a solução-teste, sendo o grupo controle mantido apenas com água destilada. Após um período de incubação, geralmente entre 48 e 120 horas, procede-se à avaliação da taxa de germinação e à medição do comprimento das radículas e hipocótilos. Os resultados obtidos permitem calcular o índice de inibição do crescimento ou a concentração efetiva (CE_{50}), expressando quantitativamente o grau de toxicidade da amostra.

Peduto, Jesus e Kohatsu (2019) explicam os efeitos fitotóxicos quanto à inibição do crescimento radicular, como alterações fisiológicas e bioquímicas pelas substâncias tóxicas uma vez que a redução na germinação e no crescimento das raízes é um indicativo direto da presença de substâncias com potencial tóxico. Esses efeitos podem decorrer de danos às membranas celulares, interferências no transporte de íons e nutrientes, inibição de enzimas essenciais ao metabolismo vegetal ou ainda de perturbações em processos fisiológicos, como respiração e síntese proteica. Em casos mais severos, compostos genotóxicos podem causar alterações cromossômicas nas células meristemáticas das raízes, afetando o desenvolvimento subsequente das plantas.

O uso de bioensaios vegetais apresenta vantagens relevantes sob a perspectiva científica e ética, pois dispensa o uso de modelos animais e apresenta boa correlação com resultados obtidos em outros sistemas biológicos. De acordo com estudos de Alias *et al.*, (2023), ensaios com *A. cepa* e *L. sativa* têm demonstrado grande eficácia na detecção precoce de toxicidade e genotoxicidade, configurando-se como ferramentas alternativas e sustentáveis para o monitoramento ambiental. Assim, a aplicação de sementes de alface

e de feijão em testes ecotoxicológicos representa uma abordagem metodológica consistente, capaz de aliar simplicidade experimental, sensibilidade biológica e relevância ecológica.

Peduto, Jesus e Kohatsu (2019) avaliaram a fitotoxicidade utilizando seis espécies vegetais como bioindicadoras: *A. cepa* (cebola), *Cucumis sativus* (pepino), *Lepidium sativum* (agrião do jardim), *L. sativa* (alface), *Sinapis alba* (mostarda) e *Eruca sativa* (rúcula). Para isso, sementes dessas espécies foram incubadas em contato com três soluções de controle (dicromato de potássio, água ISO e água destilada) à temperatura constante de 20 °C.

O experimento foi realizado utilizando placas de Petri contendo papel filtro, nas quais foram adicionados 3 mL da respectiva solução e dispostas 10 sementes em linha reta. Foram realizadas quatro réplicas para cada solução testada. As placas foram mantidas em incubadora inclinadas a 45 graus para facilitar a radiação e umidade adequadas. Durante diferentes períodos, foi avaliado o crescimento inicial por meio da medição do comprimento das radículas, bem como a germinação das sementes, para calcular o Índice de Germinação (IG) e analisar alterações macroscópicas nos brotos.

Nos resultados, os autores observaram que sementes de *A. cepa* não germinaram, fator atribuído à ausência do tratamento de pré-resfriamento recomendado pelas normas Regras para Análise de Sementes (RAS), essencial para despertar sementes dormentes. As sementes de *E. sativa* apresentaram o maior crescimento médio das radículas, especialmente no controle positivo (dicromato de potássio), seguidas por *L. sativum*. Já as espécies *S. alba* e *L. sativa* mostraram sensibilidade ao controle negativo, recebendo classificação fitotóxico, segundo o IG.

A sensibilidade variável das sementes à toxicidade foi discutida, explicando-se que o tamanho das sementes influencia na proteção contra contaminantes, conforme evidenciado pela maior resistência de *C. sativus*, cuja semente é relativamente grande. Entretanto, a *L. sativa*, apesar do tamanho reduzido, apresentou menor crescimento radicular comparado a outras sementes pequenas, fato atribuído à falta do tratamento prévio recomendado. Alterações fisiológicas como crescimento tortuoso e partes escurecidas nas radículas foram associadas à ação de toxinas que afetam o fluxo de água e nutrientes, a homeostase e o ciclo celular, causando a fitotoxicidade.

De Oliveira *et al.* (2024), utilizaram a espécie *L. sativa* como organismo-teste para avaliar a toxicidade em amostras de água e efluentes. O ensaio consistiu na exposição das sementes a diferentes concentrações das amostras de efluentes, contemplando

variações do efluente bruto e tratado. Os parâmetros avaliados incluíram taxa de germinação, comprimento das raízes e radículas, além de marcado interesse em identificar efeitos letais e subletais, tais como a inibição da germinação e o crescimento da parte radicular. Em alguns casos, análises complementares de toxicidade foram realizadas com outros organismos, como *Artemia salina*, para confirmar a toxicidade aguda.

Os testes mostraram que, apesar dos efluentes tratados apresentarem redução significativa de parâmetros físico-químicos como Demanda Química de Oxigênio (DQO), cor e turbidez, a toxicidade residual ainda esteve presente, evidenciada pela redução no índice de germinação, que em muitos casos ficou abaixo do limite de 80% considerado aceitável para evitar impactos adversos. O crescimento das raízes também foi afetado, apresentando inibição e alterações temporais vinculadas à qualidade das amostras e processos de tratamento.

Os autores, a partir dos resultados, confirmaram que a *Lactuca sativa* é um bioindicador eficaz para avaliação da toxicidade ambiental de efluentes líquidos, devido à sua resposta robusta nos testes de fitotoxicidade, facilidade operacional e baixo custo. A redução na germinação e o desenvolvimento radicular indicam a presença de compostos tóxicos que interferem na absorção de água, no metabolismo celular e em processos fisiológicos essenciais, corroborando com relatos da literatura sobre mecanismos de dano envolvendo permeabilidade de membranas, transporte iônico e inibição enzimática.

De Sousa *et al.* (2022), avaliaram a toxicidade do lodo da Estação de Tratamento (ETA) de Gurjaú, focando no efeito do alumínio presente nele sobre a germinação e o crescimento de diferentes sementes: Alface (*L. sativa*); tomate (*Solanumlyco persicum*); repolho (*Brassica oleracea*); cebolinha (*A. cepa*); pepino (*Cucumis sativus*) e milho (*Zea mays*). Essas espécies foram escolhidas devido à facilidade de trabalho em laboratório, disponibilidade no mercado e baixo custo, além de apresentarem respostas sensíveis e diversificadas aos testes de germinação e crescimento.

Os autores concluíram que o alumínio presente no lodo da ETA afeta negativamente a germinação e o crescimento das espécies vegetais testadas, sendo a toxicidade dependente da concentração e variando conforme a sensibilidade da espécie.

No estudo as sementes apresentam diferentes sensibilidades à toxicidade do alumínio presente no lodo, evidenciadas pela variação nos valores de CL50 (concentração letal para 50% de inibição do crescimento das plântulas). A semente mais sensível foi a cebolinha, com CL50 de 2,95%, indicando que apresenta germinação e crescimento radicular muito menores em comparação com outras sementes quando exposta à mesma

concentração do resíduo. Já a semente mais resistente foi a alface, com CL50 de 77,82%, demonstrando maior tolerância ao alumínio presente no lodo. As sementes de tomate, repolho e pepino apresentaram CL50 próximas, indicando similaridade em sua elevada sensibilidade. A semente de milho teve um CL50 de 20,73%, sendo a segunda com maior valor, porém ainda mostrando letalidade para concentrações relativamente baixas do resíduo.

Quanto à resposta à dose, os autores observaram que, em geral, o aumento da concentração do resíduo contendo alumínio promove maior inibição da germinação e do crescimento das raízes nas sementes testadas, caracterizando uma relação dose-resposta típica. Essa toxicidade é atribuída ao aumento da permeabilidade da membrana celular provocado pelo alumínio, resultando em efluxo de solutos, peroxidação lipídica e degradação de proteínas, diminuindo o potencial fisiológico e bioquímico das sementes, reduzindo seus indicadores de germinação e crescimento radicular.

No artigo de Rodrigues *et al.* (2022), os autores apresentam uma atividade prática para o ensino básico, utilizando testes de toxicidade em plantas para ensinar ecotoxicologia. O teste de germinação de sementes foi escolhido por ser um método fácil, rápido e muito visual que ajuda a entender conceitos como sensibilidade das espécies, toxicidade e dose-resposta. No teste foi avaliada a utilização de insumos domésticos (água sanitária, detergente e sal) frente aos efeitos nas sementes de alface (*L. sativa*), rúcula (*E. sativa*), feijão (*P. vulgaris*) e cebola (*A. cepa*). Cada espécie teve respostas diferentes, mostrando como esses contaminantes impactam os ecossistemas em níveis variados.

Os resultados obtidos a partir dos experimentos realizados em condições disponíveis no ambiente escolar mostraram que as sementes utilizadas apresentaram diferentes sensibilidades a diferentes concentrações de sal e água sanitária, sendo a cebola a espécie vegetal mais sensível entre as testadas. Com base nos procedimentos experimentais descritos, foi proposto um roteiro prático de aula para testes de germinação de sementes, visando contribuir para o processo de ensino-aprendizagem no ensino fundamental, abordando conceitos relacionados em sala de aula sobre ecotoxicologia, bioindicadores de qualidade ambiental e contaminação ambiental.

4. METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se pela abordagem qualitativa, adotando um caráter exploratório-descritivo (Severino, 2017). O caráter exploratório deve-se à investigação de uma estratégia pedagógica inovadora (o uso de narrativas e experimentos didáticos) para o ensino de ecotoxicologia, um tema ainda pouco consolidado no currículo da educação básica. Já o caráter descritivo manifesta-se na análise e interpretação sistemática dos dados gerados a partir da aplicação desses experimentos, buscando registrar as respostas, interações e percepções dos estudantes perante a proposta pedagógica. Todas as atividades foram realizadas pela professora da turma, e responsável pela pesquisa, com a anuência da Secretaria Municipal de Educação de Paranaguá (SEMEDI), a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual do Paraná (CEP/UNESPAR) (Número do Parecer: 7.063.085 7), a autorização formal dos pais ou responsáveis.

A pesquisa ocorreu na Escola Municipal Manoel Viana, Paranaguá - PR, num período de 2 meses, com grupo focal de crianças entre 7 a 8 anos distribuídas em 2 turmas de 2º ano, totalizando 30 estudantes. As atividades só iniciaram a partir do preenchimento do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para os pais ou responsáveis (ANEXO 1) e Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) para os estudantes (ANEXO 2).

Os experimentos didáticos foram registrados por vários instrumentos de coleta de dados, sendo eles:

- a) Desenhos ou atividades artísticas: Foram solicitados desenhos ou atividades relacionadas aos experimentos didáticos, uma vez que, muitas vezes, se expressam melhor via desenhos ou outras formas de expressão artística.
- b) Registro fotográfico, áudio e vídeo: Foram realizados registros, fotos/vídeos das atividades para análise posterior, permitindo que expressem suas opiniões oral ou visualmente, gravando áudios ou vídeos curtos sobre o tema da pesquisa.
- c) Registro de Narrativas Espontâneas: Os estudantes foram encorajados a contarem suas próprias histórias sobre os experimentos didáticos, com o registro individual na forma de produção de texto.

4.1 Experimentos didáticos

Antes das atividades de pesquisa se iniciarem na sala de aula junto às turmas, foram desenvolvidas sequências didáticas com temáticas voltadas para a ecotoxicologia. No entanto, as atividades propostas serviram apenas como um roteiro, sofrendo adaptações conforme descrito abaixo.

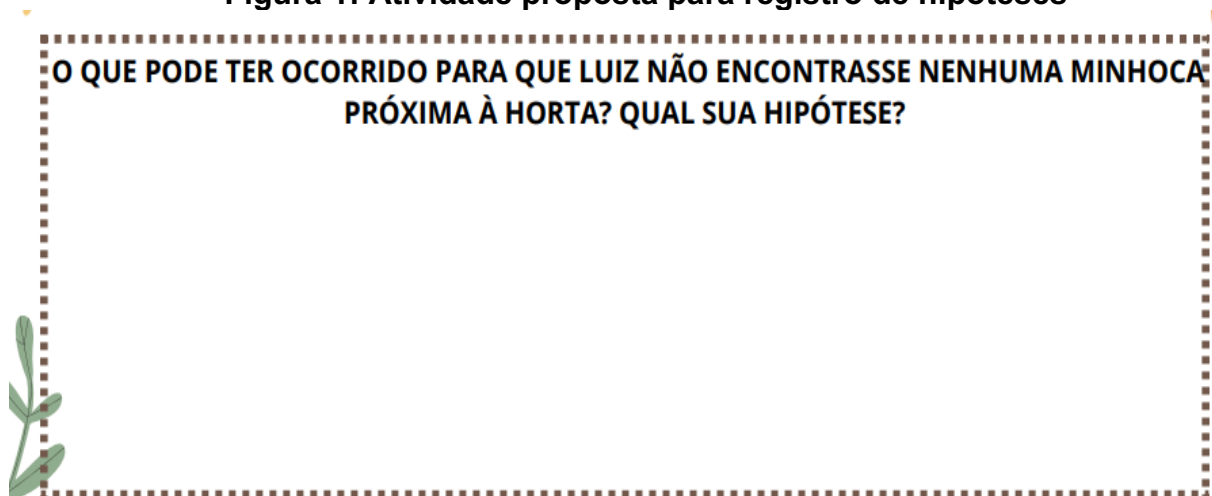
4.1.1 Contação da história “As Descobertas de Luiz” (Krawczyk et al., 2022)

O experimento “As Descobertas de Luiz” foi desenvolvido ao longo de duas semanas. A proposta teve como ponto de partida a contação da história que narra o desaparecimento de minhocas na horta de um menino chamado Luiz, uma vez que, certo dia, ele percebeu que as minhocas que coletava no quintal para pescar haviam desaparecido.

Em sala, a professora utilizou partes do livro impresso para a contação da história e fez rodas de conversa, incentivando os alunos a levantarem hipóteses sobre o sumiço das minhocas.

Na história, Luiz, quando estava procurando por minhocas em sua casa, não as encontra perto do jardim, apesar de existirem condições perfeitas para elas sobreviverem. Neste momento foi feita uma pergunta para a turma: - O que vocês acham que pode ter acontecido para as minhocas fugirem? Os estudantes propuseram muitas hipóteses que poderiam ter acontecido. Todas as hipóteses foram registradas numa cartolina, na atividade (Figura 1).

Figura 1: Atividade proposta para registro de hipóteses



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Na história, Luiz solicitou ajuda ao professor de Ciências, que sugeriu o experimento “A fuga das minhocas” utilizando dois minhocários: um com terra limpa e outro com terra contaminada para observação do comportamento das minhocas. No entanto, em sala foi montado somente um minhocário, por se tratar de uma atividade realizada com crianças, e o perigo do uso de produtos químicos.

Com ajuda da professora, os estudantes construíram um minhocário para observarem o comportamento das minhocas no solo e, durante uma semana, observaram o comportamento das minhocas. Após a confecção do minhocário, os estudantes escolheram um local na sala de aula para poderem deixar o experimento.

Passados sete dias, a turma pegou o aquário e observou as modificações que tinham ocorrido, os estudantes visualizaram o comportamento normal das minhocas e fizeram anotações de suas observações (Figura 2).

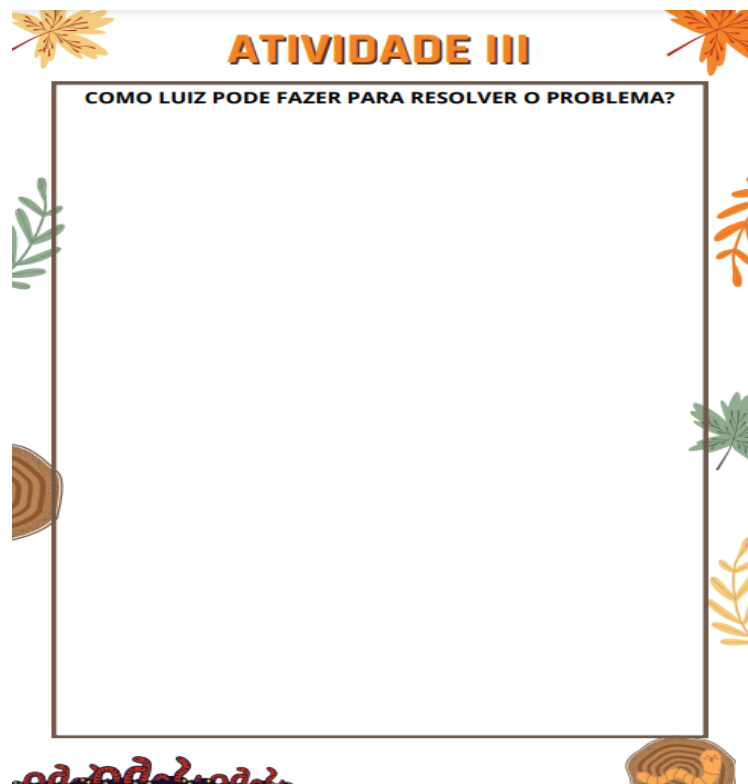
Figura 2: Atividade proposta para anotação das observações do comportamento das minhocas no minhocário



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

A partir deste ponto, os estudantes foram conduzidos de volta para a contação da história, na qual ocorre a explicação do que acontece com as minhocas quando colocadas em um ambiente estressante. Ao final da história foi perguntado aos estudantes se eles sabiam o que tinha acontecido com as minhocas (Figura 3). Neste momento, os estudantes foram incentivados a resolver esse problema que tem impacto no meio ambiente.

Figura 3: Atividade de finalização do experimento didático



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

4.1.2 “Cebolete, a detetive ambiental”

Com dois dias de antecedência, foram coletadas as amostras de água que seriam utilizadas posteriormente em sala de aula. As coletas foram nomeadas com letras e números. As amostras foram armazenadas em frascos higienizados, devidamente identificados e mantidos em local apropriado até o momento da atividade em sala de aula.

A1: Complexo Olímpico de Natação (Rua Um, Ponta do Caju);

A2: Praça do Japão (Rua João Estevão);

A3: Ponte da Ilha dos Valadares;

A4: Água da torneira (residência da professora).

Também foi necessário a compra das cebolas, de aproximadamente mesmo tamanho e peso para facilitar o manuseio e padronizar as condições dos testes. Ademais foram comprados 12 copos plásticos transparentes (capacidade de 50 mL) e palitos de dente para sustentação dos bulbos.

A atividade se iniciou com a apresentação da Cebolete, um fantoche, e o caso que ela precisava resolver quadro 1.

Quadro 1: História da Cebolete, a detetive ambiental

“Em uma horta muito distante, havia uma linda plantação de cebolas, em cada espaço havia cebolas lindas. Lá elas cresciam em um solo muito promissor, onde também contavam com a ajuda dos raios solares e água fresca da chuva. Viviam muito felizes e saudáveis.

Conforme o tempo foi passando, perceberam estar ocorrendo movimentações estranhas, barulhos que nunca tinham ouvido antes e cheiros diferentes do que estavam acostumadas.

Então começaram a notar que algumas cebolas começaram a adoecer e outras até morreriam. Observando que isso acontecia com as cebolas que estavam próximas de onde vinha o barulho, onde tinha um cheiro diferente e onde havia movimentações estranhas, ficaram preocupadas e resolveram chamar a CEBOLETE. A Cebolete era uma detetive e provavelmente a única que iria conseguir solucionar este mistério.

Então ela foi chamada nesta horta e as cebolas começaram a relatar o que estava acontecendo. A Detetive Cebolete, então foi onde havia movimentações estranhas e observou que lá foi construída uma praça, onde muitas pessoas circulavam com suas famílias para brincar, fazer esportes, etc, porém, percebeu também que o lugar estava muito diferente de como era antes.

A Cebolete ficou muito triste ao ver que estas pessoas não estavam cuidando do local, jogando no solo: restos de comida, plásticos, bitucas de cigarros etc. Em seguida foi até o local com barulhos que nunca tinham ouvido, e observou uma casa, com vários carros. Nela havia pessoas lavando carros, e logo percebeu que ali era um lavar car. Ela ficou ali analisando a situação e percebeu que os produtos (detergente, desinfetantes etc.), eram todos descartados diretamente no solo.

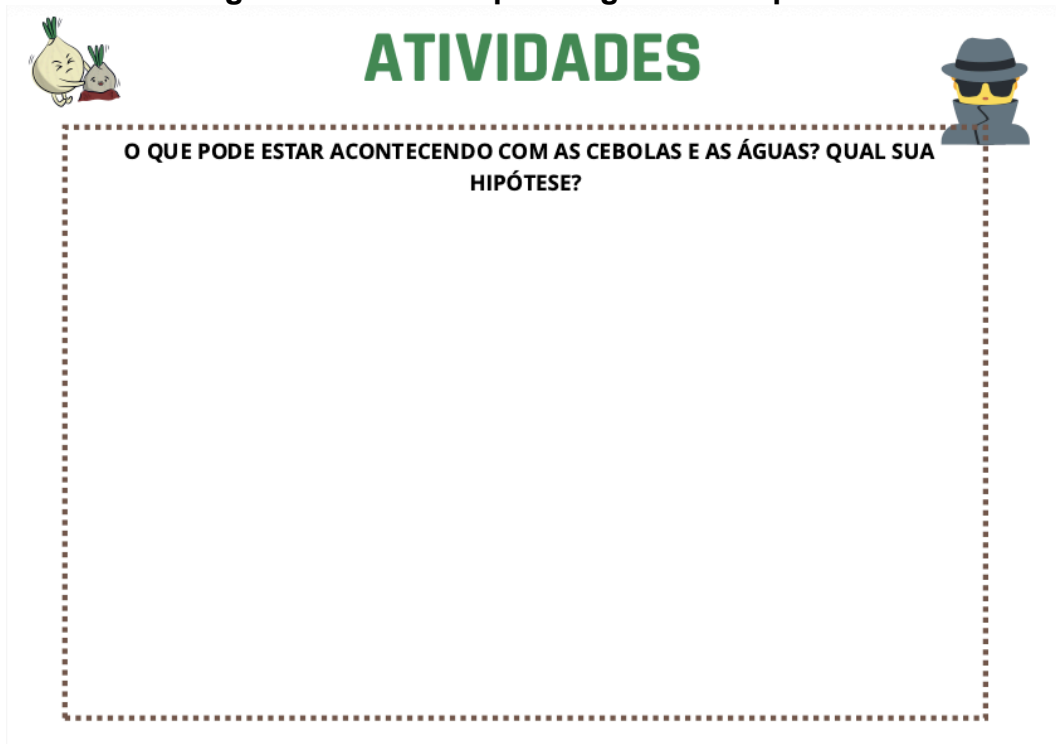
E por último, foi onde tinha cheiros diferentes. Viu então uma enorme fábrica, que saía uma fumaça muito escura e com cheiro muito ruim, que lhe ardia os olhos e até mesmo a sua garganta. Chegando mais próximo do local, viu que tinha tubulações de esgoto que estavam ligadas ao rio, despejando nele, diversos tipos líquidos e óleos.

Após todas estas descobertas, levou as informações para as demais cebolas e iniciaram uma longa conversa e depois de alguns dias analisando os fatos, A Detetive constatou que...”

Durante a narrativa, foram exploradas questões que instigaram os estudantes à formulação de hipóteses, como: O que está acontecendo com as cebolas? O que havia nas águas que prejudicou o crescimento? Por que algumas raízes mudaram de cor? Por que há diferenças no tamanho das raízes?

Ao terminar a história a professora solicitou aos estudantes que propusessem algumas hipóteses sobre as causas do problema, o que poderia ter de diferente nas águas que pode afetar o desenvolvimento delas. O registro das hipóteses foi realizado em folha por desenho ou produção de texto (Figura 4).

Figura 4: Atividade para registro de hipóteses.



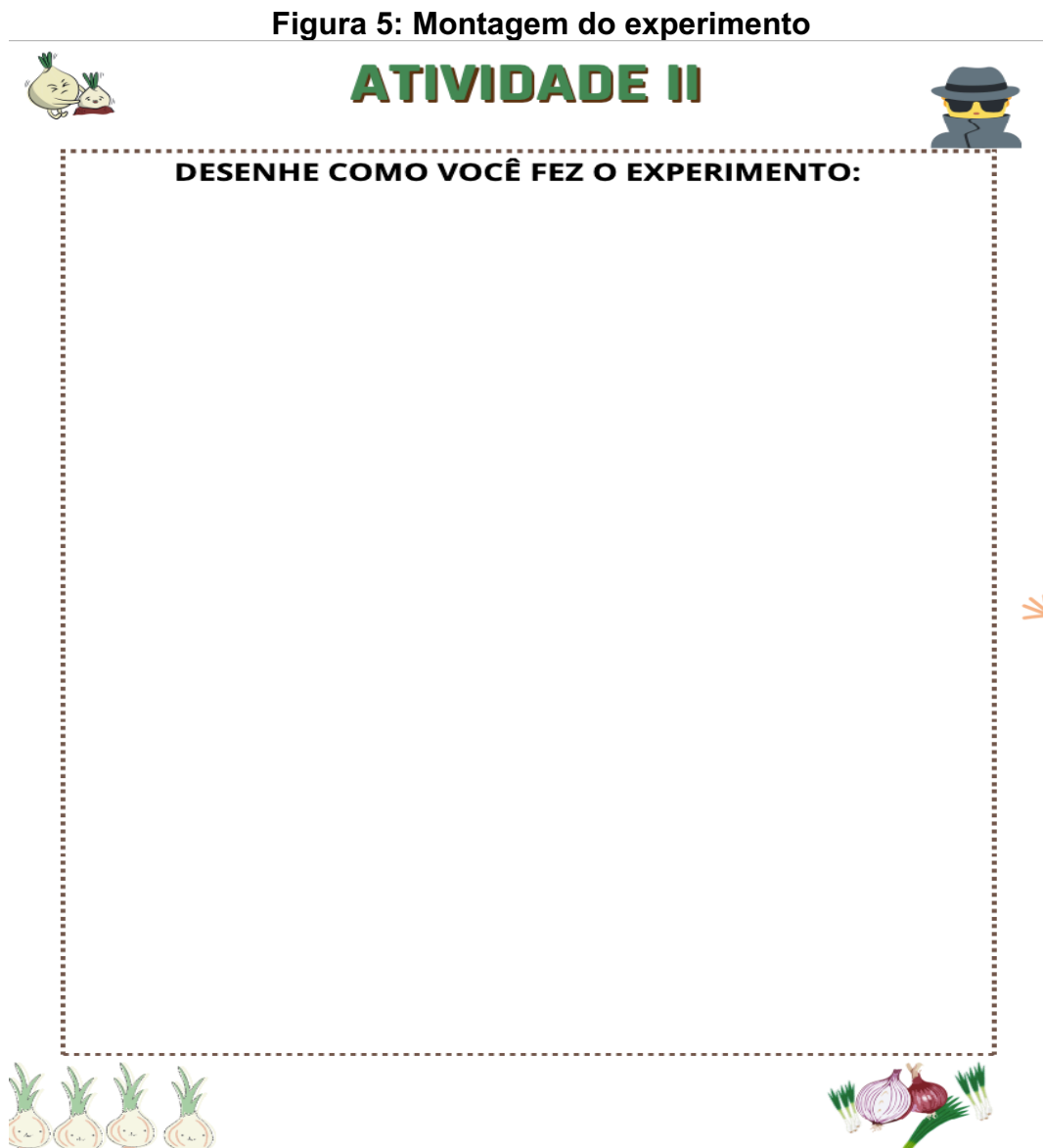
A atividade é apresentada em uma folha com o título "ATIVIDADES" em letras verdes grandes no topo central. À esquerda do título há um desenho de duas cebolas com rostos, e à direita há um desenho de um detetive com um chapéu e óculos amarelos. Abaixo do título, dentro de um retângulo tracejado, está a pergunta: "O QUE PODE ESTAR ACONTECENDO COM AS CEBOLAS E AS ÁGUAS? QUAL SUA HIPÓTESE?".

Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Depois de supor sobre as causas do problema e levantar as hipóteses, iniciou-se o experimento similar ao do teste ecotoxicológico com cebolas. O procedimento utilizado neste experimento didático consiste basicamente em colocar os bulbos de cebola (*Allium cepa*), em um recipiente com água para brotamento de raízes e exposição das amostras de águas coletadas a serem investigadas.

O procedimento foi realizado da seguinte forma. Primeiro foi necessária a identificação dos copos, que foram etiquetados com os códigos A1, A2, A3 (referentes aos pontos de coleta) e R1, R2 e R3 (para as repetições, totalizando 12 unidades experimentais). A repetição de cada amostra com três bulbos distintos garantiu a confiabilidade aos dados obtidos, evitando que variações individuais influenciassem nos resultados do experimento.

Foram adicionados 40 mL de cada amostra de água nos respectivos copos e cada cebola foi fixada com três palitos, de forma que somente sua base entrasse em contato com a amostra de água, sem tocar o fundo do recipiente. Após tudo pronto, os copos foram organizados em uma bandeja plástica e cobertos com plástico filme para evitar contaminações externas. Após o experimento, os estudantes foram convidados a fazer o registro do experimento (Figura 5).



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Os bulbos permaneceram em repouso por cinco dias no mesmo local da sala de aula, sem interferência externa. Durante esse período, os estudantes observaram

diariamente o crescimento das raízes e, após os cinco dias, os bulbos foram retirados e o comprimento das raízes foi medido e registrado (Figura 6).

Figura 6: Mensuração do comprimento das raízes de cebola



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Com base nos dados observados, a turma foi convidada a discutir os resultados e comparar o desenvolvimento das raízes em relação à qualidade da água de cada ponto de coleta. A professora retomou o caso da Cebolete, estimulando os estudantes a proporem explicações para os efeitos observados, articulando o conhecimento científico com a narrativa investigativa. Por fim, promoveu-se uma roda de conversa sobre a importância da preservação e o papel individual e coletivo na proteção do meio ambiente.

4.1.3 Experimento de germinação de sementes de feijão

Neste experimento didático, foi necessário o preparo prévio de copos plásticos com papel filtro recortado no fundo. Além do preparo de diferentes soluções (água sanitária, óleo de cozinha usado e detergente), devidamente etiquetada, com concentrações diferentes:

a) Água sanitária:

100%: apenas água sanitária

75%: (75 ml de água sanitária + 25 ml de água filtrada).

50%: (50 ml de água sanitária + 50 ml de água filtrada).

25%: (25 ml de água sanitária + 75 ml de água filtrada).

b) Detergente:

100%: apenas detergente

75%: (75 ml de detergente + 25 ml de água filtrada).

50%: (50 ml de detergente + 50 ml de água filtrada).

25%: (25 ml de detergente + 75 ml de água filtrada).

c) Óleo de cozinha usado:

100%: apenas óleo de cozinha usado.

75%: (75 ml de óleo de cozinha usado + 25 ml de água filtrada).

50%: (50 ml de óleo de cozinha usado + 50 ml de água filtrada).

25%: (25 ml de óleo de cozinha usado + 75 ml de água filtrada).

Para o controle do experimento, foi utilizada somente água filtrada.

Os estudantes foram inicialmente conduzidos para uma roda de conversa em que precisavam discutir sobre a poluição em nosso planeta e, com isso, todos os nossos ecossistemas podem sofrer alguma alteração. Na discussão, a professora questionou quais os poluentes que podem causar contaminação no ambiente (Lixos, detergentes, óleo de cozinha, derivados de petróleo, etc.).

A seguir, a professora dialogou com os estudantes em relação ao modo como a poluição pode afetar o desenvolvimento das espécies. Entre os focos deste momento destaca-se o questionamento: Será que produtos que estão no nosso cotidiano, como os detergentes e a água sanitária que utilizamos para lavar as roupas e as louças, também podem impactar o ambiente?

À medida que as discussões avançavam, a professora incentivou a elaboração de hipóteses sobre como a poluição pode afetar o desenvolvimento das espécies. Essas hipóteses foram registradas por meio de desenhos ou textos produzidos pelos estudantes. Após a realização do experimento, também foi solicitado um novo registro (Figura 7).

Figura 7: Registro das hipóteses de como a poluição pode afetar o desenvolvimento das espécies.

ATIVIDADE I

SERÁ QUE PRODUTOS DE LIMPEZA COMO DETERGENTE E A ÁGUA SANITÁRIA OU ÓLEO DE COZINHA USADO AJUDAM AS PLANTAS CRESCEREM? QUAL SUA HIPÓTESE?

DESENHE COMO VOCÊ FEZ O EXPERIMENTO:

Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Quando o registro das hipóteses foi finalizado, a professora propôs um experimento para germinação de sementes de feijão adaptado de Rodrigues *et al.* (2022). Em copos plásticos preparados previamente com uma folha de papel de filtro, no fundo, foram colocadas dez sementes de feijão.

Foi proposto que os estudantes se organizassem para cada um conseguir participar ativamente da atividade. Em cada um dos copos foi colocado 2ml das diferentes soluções (Figura 8).

Figura 8: Organização do experimento de sementes de feijão expostas a diferentes concentrações e soluções



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Depois do experimento concluído, ele foi coberto com sacos plásticos pretos e escolhido um local da sala de aula para que os experimentos permanecessem durante 5 dias. Os estudantes fizeram o registro do experimento.

Após este período, a turma observou que as sementes germinaram, mediram e anotaram o número de sementes germinadas em centímetros (Figura 9). Com as informações anotadas, na semana seguinte as turmas puderam discutir os resultados.

Figura 9: Observação da germinação das sementes.

ATIVIDADE II

ANOTE QUANTAS SEMENTES CRESCERAM DEPOIS DE CINCO DIAS DE EXPERIMENTO

	CONTROLE	25%	50%	100%
20				
19				
18				
17				
16				
15				
14				
13				
12				
11				
10				
9				
8				
7				
6				
5				
4				
3				
2				
1				
0				

ÁGUA SANITÁRIA

	CONTROLE	25%	50%	100%
20				
19				
18				
17				
16				
15				
14				
13				
12				
11				
10				
9				
8				
7				
6				
5				
4				
3				
2				
1				
0				

DETERGENTE

	CONTROLE	25%	50%	100%
20				
19				
18				
17				
16				
15				
14				
13				
12				
11				
10				
9				
8				
7				
6				
5				
4				
3				
2				
1				
0				

ÓLEO DE COZINHA USADO

Fonte: Arquivo pessoal da autora.

4.2 Análise das Produções dos Estudantes (Desenhos e Textos)

A análise das produções dos estudantes, compreendendo desenhos, atividades artísticas e registros de narrativas espontâneas, foi realizada a partir de uma abordagem qualitativa, interpretativa e fundamentada na análise de conteúdo. Esses materiais foram considerados dados primários, por possibilitarem o acesso aos processos de internalização conceitual, à formulação de hipóteses e à construção de significados atribuídos às experiências vivenciadas. O procedimento analítico buscou identificar padrões recorrentes, temas emergentes e, sobretudo, a articulação estabelecida pelos

estudantes entre a experiência prática, a linguagem científica inicial e a dimensão ética da aprendizagem.

As hipóteses formuladas ao longo das rodas de conversa e expressas nas produções gráficas e textuais foram categorizadas segundo diferentes níveis de elaboração conceitual. Inicialmente, identificaram-se hipóteses espontâneas ou descritivas, caracterizadas por observações diretas do fenômeno, sem atribuição explícita de causas ou explicações mais complexas.

Em um segundo nível, foram reconhecidas hipóteses causais iniciais, nas quais os estudantes buscavam estabelecer relações de causa e efeito, ainda ancoradas em conhecimentos cotidianos ou percepções empíricas. Em um terceiro nível, emergiram hipóteses relacionais ou científicas incipientes, que evidenciavam uma compreensão preliminar das interações entre agentes contaminantes e efeitos biológicos, incorporando, ainda que rudimentarmente, elementos do conhecimento ecotoxicológico discutido.

No caso específico do experimento com sementes de feijão, também foram identificadas hipóteses de dose-resposta, nas quais os estudantes demonstraram a capacidade de correlacionar diferentes concentrações de substâncias com distintos níveis de toxicidade.

Outro aspecto relevante foi a reconstrução conceitual, entendida como o movimento de transposição do fenômeno observado empiricamente para uma explicação que integrasse elementos do cotidiano com o conhecimento científico em construção. Esse processo foi acompanhado pela mediação conceitual, na qual os estudantes mobilizaram tanto o plano material da experiência quanto o plano simbólico da representação gráfica e escrita para elaborar hipóteses, interpretar resultados e propor soluções.

Os desenhos foram compreendidos como indicadores centrais do processo de internalização dos conceitos científicos, funcionando como uma forma inicial de linguagem científica que articula palavra, imagem e ação.

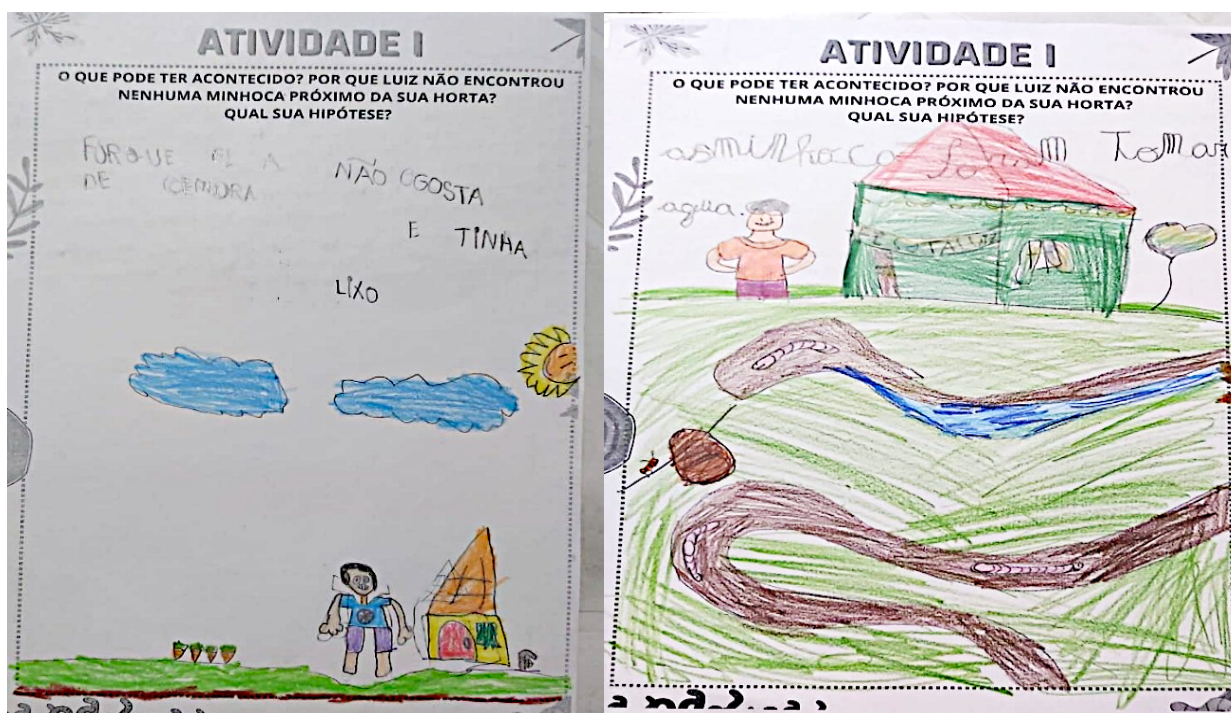
5. Resultados e Discussão

5.1 Contação da hist3ria “As Descobertas de Luiz”

A realização da atividade de contação da hist3ria “As Descobertas de Luiz” (Krawczyk *et al.*, 2022) constituiu um momento de grande envolvimento e curiosidade entre os estudantes. O uso da narrativa como estrat3gia inicial favoreceu a contextualização do tema da ecotoxicologia a partir de uma situação cotidiana para o p3blico infantil: a busca de minhocas para pescaria.

Logo ap3s a contação, os estudantes foram convidados a elaborar hip3teses sobre o motivo pelo qual Luiz n3o encontrava minhocas pr3ximo 3 horta, mesmo havendo condições favor3veis para sua sobreviv3ncia. Essa etapa revelou diferentes n3veis de pensamento cient3fico (Figura 10). As hip3teses levantadas indicaram desde explicações espont3neas, como “as minhocas n3o gostam de cenoura e tinha lixo”, ou “foram tomar 3gua”, at3 infer3ncias mais pr3ximas do racioc3nio cient3fico, como “pode haver alguma subst3ncia na terra que as espanta”.

Figura 10: Registro da atividade com hip3teses porque Luiz n3o encontrou nenhuma minhoca pr3ximo da sua horta



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Laugksch (2000) sugere que o processo de elaboração de hipóteses pode ser entendido como um aspecto importante e inicial do desenvolvimento da AC. Embora o autor não discuta explicitamente a elaboração de hipóteses como um marcador exclusivo do início da AC, ele enfatiza que esta envolve múltiplas dimensões, incluindo o conhecimento dos processos e métodos científicos, que compreendem a formulação de perguntas, hipóteses, a experimentação e o pensamento crítico.

O ato de elaborar hipóteses demonstra que o indivíduo está começando a compreender como a ciência funciona, não apenas como um corpo de conhecimentos, mas como um processo dinâmico que inclui a investigação e a busca por explicações baseadas em evidências. Esse tipo de atividade está alinhado com a perspectiva apresentada por Laugksch (2000) que destaca o papel do conhecimento científico e da compreensão do método científico para a construção da AC.

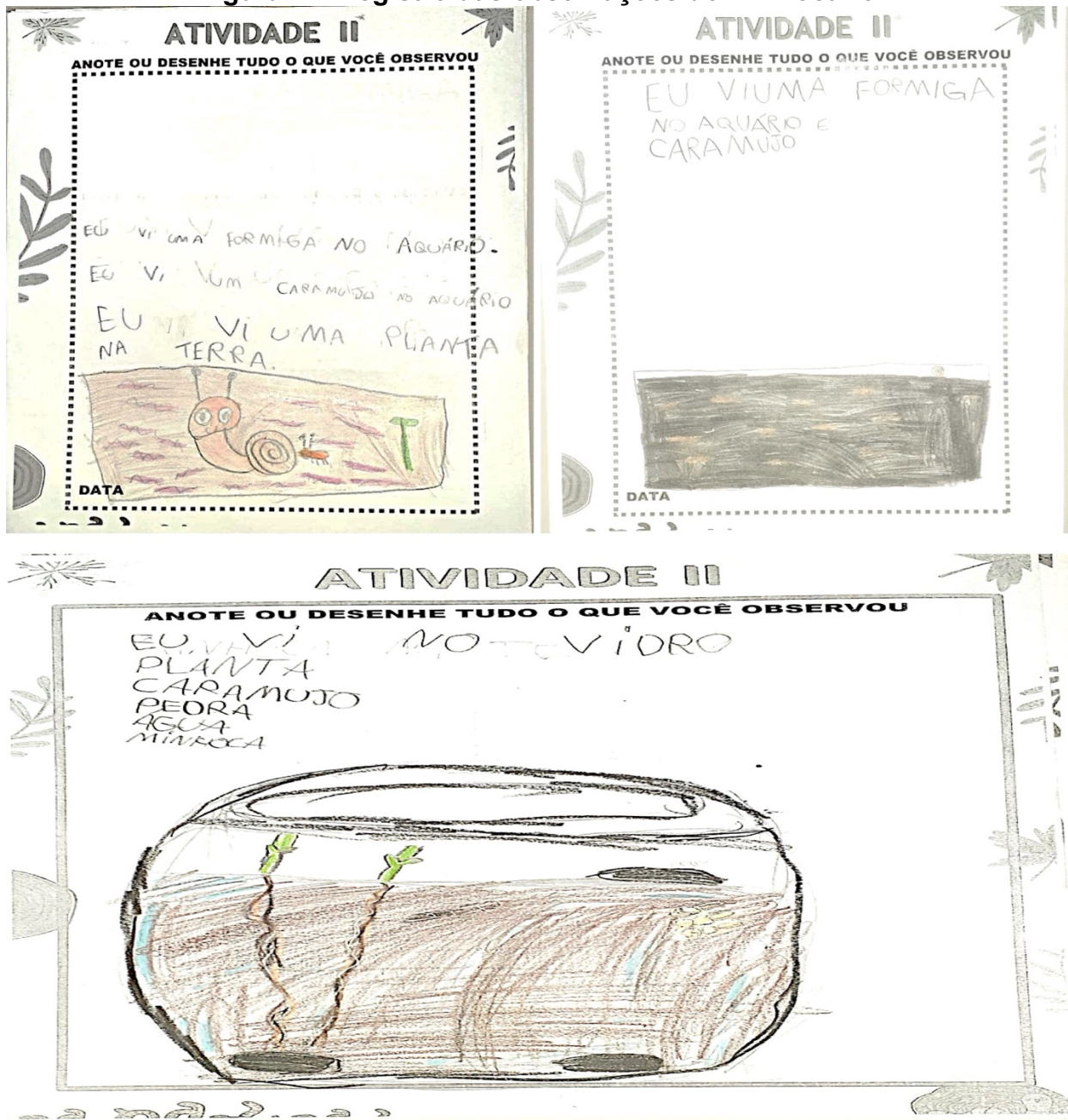
Além disso, o desenvolvimento da habilidade para formular hipóteses contribui para a participação ativa em processos de investigação e tomada de decisões informadas, sendo elementos centrais da AC no sentido de preparar o cidadão para lidar com questões científicas e tecnológicas em sua vida cotidiana e social.

Silva e Sasseron (2021) abordam que as produções dos estudantes, como os desenhos funcionam como indicadores fundamentais do processo de internalização dos conceitos científicos. Esse processo vai além da simples apropriação de conteúdos; envolve a incorporação dos conhecimentos, das tecnologias, dos modos de pensar e planejar investigações, bem como a articulação desses elementos com a compreensão das relações sociais e ambientais envolvidas na temática científica.

Conforme exposto pelas autoras, a internalização se dá quando os sujeitos conseguem estabelecer conexões entre os aspectos internos da ciência (os domínios do conhecimento científico, como leis, conceitos, processos) e os aspectos externos que remetem às interações da ciência com a sociedade e o ambiente, favorecendo uma visão integrada e crítica da prática científica.

Na sequência da atividade proposta, foi realizada a montagem do experimento adaptado "*A fuga das minhocas*", utilizando um aquário com solo saudável e minhocas trazidas pelos próprios estudantes fazendo com que os estudantes se sentissem corresponsáveis pela investigação. A adaptação do protocolo experimental para o contexto escolar favoreceu o desenvolvimento de habilidades investigativas acessíveis à faixa etária. Durante o acompanhamento semanal, os estudantes registraram observações sobre o comportamento dos animais (Figura 11).

Figura 11: Registro das observações do minhocário

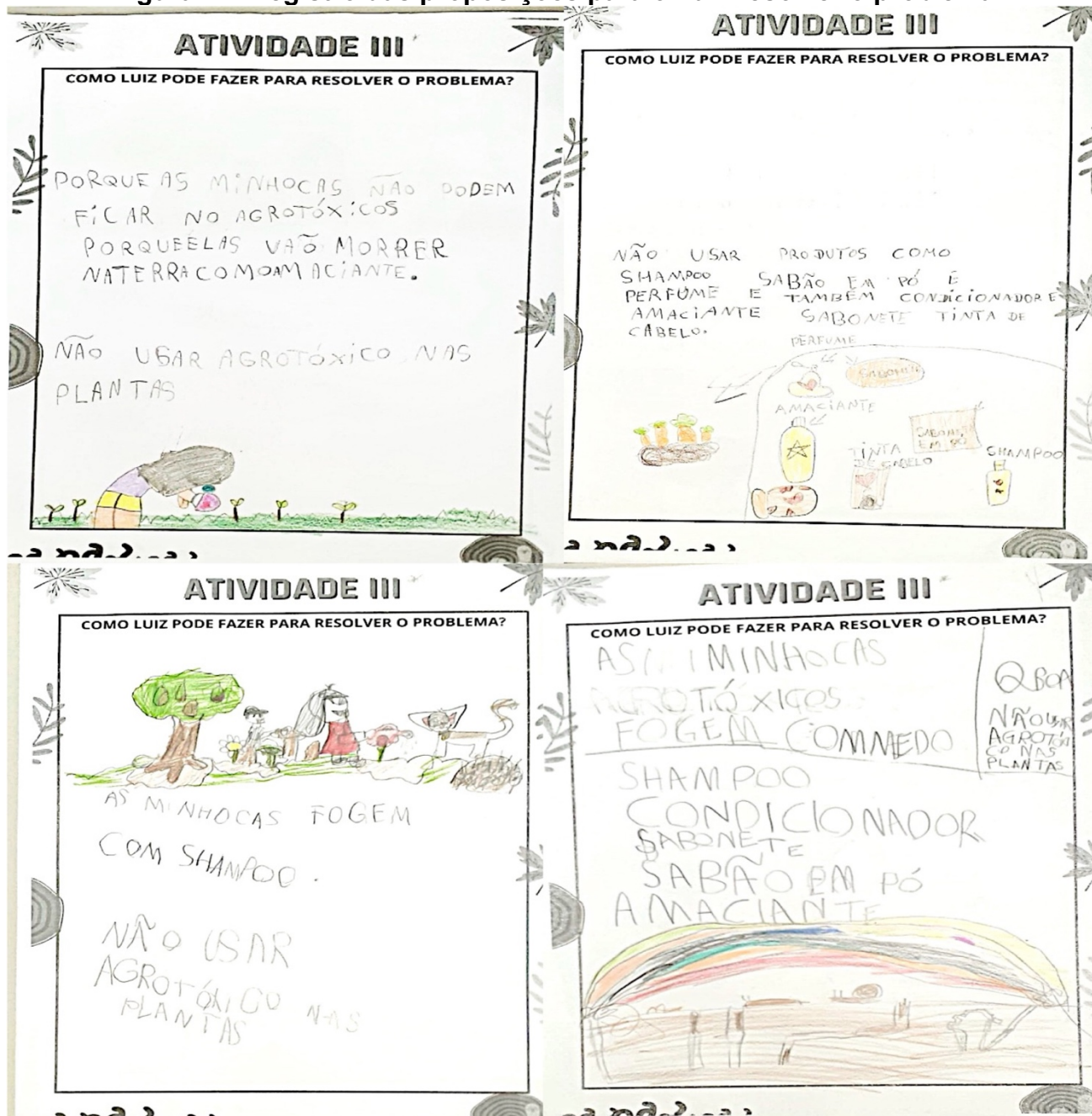


Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Os desenhos e registros produzidos pelas crianças (Figura 12) para responder a pergunta de “Como Luiz pode fazer para resolver o problema?” evidenciam a compreensão conceitual construída a partir da contação de história. As produções revelam que os estudantes identificaram o uso de produtos químicos e agrotóxicos como a principal causa do desaparecimento das minhocas, demonstrando a internalização de noções fundamentais

da ecotoxicologia e da relação entre contaminação e comportamento biológico dos organismos.

Figura 12: Registro das proposições para o Luiz resolver o problema



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

As respostas apresentadas, “não usar agrotóxico nas plantas”, “as minhocas fogem com shampoo” ou “elas morrem com amaciante”, expressam uma forma inicial de explicação causal sobre o fenômeno, indicando que as crianças reconheceram a ação humana como fonte de impacto ambiental. Nesses registros, é possível observar o movimento de

reconstrução conceitual mediado pela linguagem e pela experimentação, conforme discutido por Vygotsky (1998), ao destacar que o desenvolvimento das funções psicológicas superiores ocorre pela internalização de experiências socialmente mediadas.

Do ponto de vista didático-formativo, a atividade cumpriu o papel de problema desencadeador, conforme propõem Sforzi (2015) e Freitas e Libâneo (2022), ao promover a análise de uma situação concreta e estimular os estudantes a elaborarem hipóteses e soluções baseadas em conceitos científicos. As crianças, ao proporem ações para evitar o uso de substâncias poluentes, mobilizaram tanto o plano material (observação do experimento) quanto o plano simbólico (representação gráfica e escrita), caracterizando a mediação conceitual que sustenta a aprendizagem significativa e o desenvolvimento das funções intelectuais superiores.

A partir da perspectiva da AC, segundo Sasseron (2015), os registros revelam o envolvimento dos estudantes nos eixos estruturantes da prática científica: investigar, argumentar e modelar. Nos desenhos, observa-se a transposição do fenômeno observado (a fuga das minhocas) para uma representação explicativa que relaciona causa e consequência, integrando elementos do cotidiano, como produtos domésticos e práticas agrícolas, ao conhecimento científico sobre toxicidade do solo. Tal articulação entre o vivido e o conceitual reforça a formação de um pensamento científico em desenvolvimento, como processo de compreensão crítica e contextualizada da realidade.

O retorno à história, após a realização do experimento, foi essencial para a consolidação do aprendizado. Ao revisitar a narrativa, os estudantes conseguiram estabelecer conexões entre o enredo fictício e o fenômeno observado empiricamente, confirmando a hipótese de que a presença de agrotóxicos no solo afasta as minhocas.

As concepções discutidas por Lorenzetti e Delizoicov (2001) acerca da AC no contexto das séries iniciais em que o ensino de Ciências deve ultrapassar a simples transmissão de conceitos para se constituir como um processo de construção de significados, no qual a leitura e a escrita, inclusive na forma simbólica dos desenhos, se tornam instrumentos para compreender o mundo natural e social.

Nos registros gráficos das crianças, observa-se a atribuição de sentido às experiências vividas durante o experimento: ao representar as minhocas fugindo de produtos químicos ou de um solo “sujo”, os estudantes transformam a observação empírica em linguagem científica inicial, articulando palavra, imagem e ação. Esse movimento pode refletir o que estes autores descrevem como o desenvolvimento da leitura e da escrita

associadas ao discurso científico, um processo de alfabetização que se dá não apenas no domínio da língua, mas também na interpretação e comunicação de fenômenos naturais.

A atividade desenvolvida se insere na proposta dos autores de articular o cotidiano dos estudantes com práticas investigativas, ampliando o espaço educativo para além do ensino tradicional. A observação do comportamento das minhocas, mediada pela contação de história e pelo experimento, aproxima os conceitos científicos da realidade das crianças e dá concretude aos chamados “conceitos primitivos” (como solo, vida, matéria e transformação). Ao desenharem e discutirem suas hipóteses, os estudantes demonstram compreender, ainda que de modo inicial, os processos de transformação do ambiente causados pela ação humana, núcleo fundamental do pensamento científico segundo os autores.

5.2 Contação da história “Cebolete, a detetive ambiental”

A atividade de contação da história “Cebolete, a detetive ambiental” foi desenvolvida como estratégia inicial para promover a curiosidade, a problematização e o engajamento dos estudantes no tema da ecotoxicologia. A narrativa foi mediada pela professora por meio do uso de um fantoche, representando a detetive Cebolete, personagem principal da história. Essa mediação lúdica favoreceu a criação de um ambiente investigativo e participativo, no qual os estudantes puderam compreender, de forma simbólica e contextualizada, os impactos da poluição ambiental sobre os seres vivos.

Durante a contação da história, observou-se que os estudantes se mostraram atentos, curiosos e participativos, reagindo com entusiasmo aos acontecimentos narrados e demonstrando preocupação com as cebolas que estavam adoecendo. A dramatização da personagem Detetive Cebolete, aliada à linguagem acessível e aos elementos visuais do fantoche, despertou o interesse e a afetividade das crianças, promovendo uma relação de empatia com o problema ambiental apresentado.

Após a narrativa, a professora conduziu uma roda de conversa para incentivar a formulação de hipóteses sobre as causas do adoecimento das cebolas. Perguntas norteadoras como “*Será que tinha alguma coisa na água?*” e “*Por que algumas cebolas estão crescendo menos?*” estimularam o raciocínio investigativo das crianças.

A figura 13, composta pelos desenhos e hipóteses elaboradas pelas crianças durante o experimento com cebolas, aproximando-se com o bioensaio do teste *Allium cepa*, evidencia o processo de apropriação conceitual e simbólica sobre os efeitos da

contaminação ambiental. As representações “as pessoas jogaram agrotóxico e água”, “as cebolas morreram”, ou “a cebola não tem mais água” revelam que os estudantes compreenderam a relação entre a alteração da qualidade da água e as mudanças observadas nas raízes das cebolas, traduzindo em linguagem cotidiana um conceito essencial da ecotoxicologia, o impacto de substâncias químicas sobre os seres vivos.

Figura 13: Registro das atividades com as hipóteses e o desenho do experimento



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Do ponto de vista do experimento didático-formativo (Sforni, 2015; Freitas e Libâneo, 2022), a atividade se constitui como um problema desencadeador, no qual a narrativa de “Cebolete, a detetive ambiental” instiga a curiosidade e mobiliza o raciocínio científico.

As produções revelam a potência do experimento com *Allium cepa* como instrumento de AC e de Educação Ambiental. Ao representarem visualmente a toxicidade por meio de expressões como “água suja”, “agrotóxico” ou “cebola morta”, as crianças manifestam indícios de uma compreensão inicial e intuitiva da sensibilidade dos organismos vivos à contaminação, princípio essencial da ecotoxicologia. Além disso, os registros evidenciam atitudes de cuidado e responsabilidade ambiental, ao relacionarem os efeitos observados no experimento às ações humanas e aos impactos da poluição sobre os seres vivos.

Assim, o conjunto de registros analisados confirma que a integração entre narrativa, experimento e expressão simbólica favorece a formação de sujeitos críticos, curiosos e sensíveis à sustentabilidade, conforme defendem Lorenzetti e Delizoicov (2001) e Sasseron (2015).

Durante o acompanhamento dos experimentos, as crianças demonstraram grande interesse em observar o crescimento das raízes e registraram suas percepções. Essa vivência prática proporcionou a compreensão empírica de que a poluição da água interfere diretamente no desenvolvimento das plantas, confirmando ou refutando suas hipóteses iniciais.

Durante as discussões que sucederam o experimento, foi perceptível que os estudantes passaram a reconhecer o papel humano na degradação ambiental, atribuindo responsabilidades às ações humanas, como jogar lixo no chão, poluir os rios ou desperdiçar água. A retomada da narrativa após o experimento permitiu que os estudantes auxiliassem a Detetive Cebolete a resolver o mistério, reinterpretando a história à luz das evidências observadas no bioensaio.

Conforme Vygotsky, Luria e Leontiev (2017), o processo de aprendizagem se constitui nas interações sociais mediadas pela linguagem, sendo o professor o principal organizador dessas mediações, pois é ele quem cria as condições para que os estudantes avancem do nível de desenvolvimento real ao potencial. Nesse sentido, a ação docente não se restringe à transmissão de conteúdos, mas envolve a organização intencional das interações e das atividades, de modo a possibilitar que as crianças elaborem conceitos e os internalizem pela mediação simbólica e social.

Sforni (2015) corrobora essa concepção ao afirmar que o professor, ao propor situações didáticas problematizadoras, atua como mediador do processo de construção conceitual, orientando o pensamento dos estudantes rumo à generalização teórica. A autora destaca que a mediação docente é o elemento que converte a atividade externa em atividade mental, promovendo o desenvolvimento das funções psíquicas superiores, conforme os

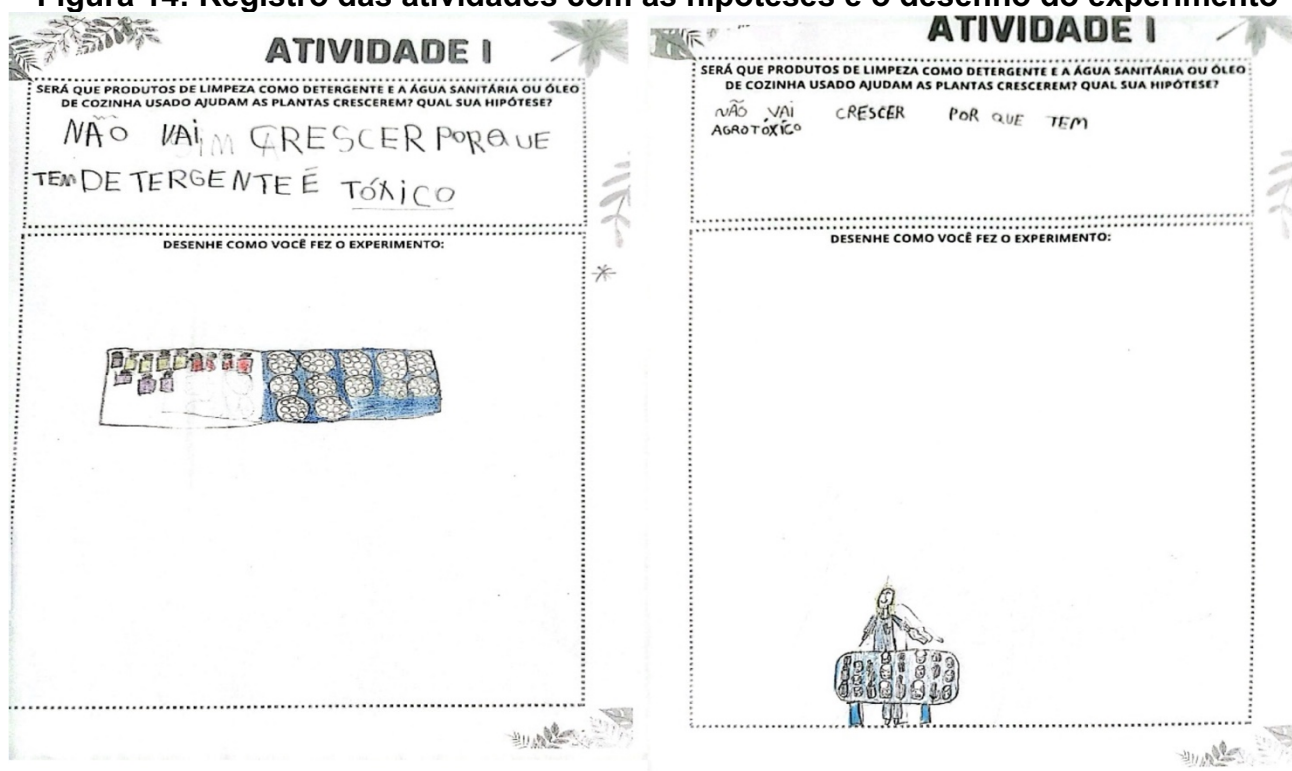
princípios da abordagem histórico-cultural. Assim, o papel do professor como organizador das interações, orientador do raciocínio e estimulador da argumentação se revela fundamental para que o ensino se converta em um processo de aprendizagem significativa e emancipadora.

5.3 Experimento de Germinação de Sementes de Feijão

O experimento de germinação de sementes de feijão (*P. vulgaris*) foi conduzido utilizando produtos de limpeza como detergente, água sanitária e o óleo de cozinha usado em diferentes concentrações. O experimento se aproximou com o bioensaio de germinação de sementes para favorecer a compreensão de noções fundamentais de toxicidade e sustentabilidade ambiental.

Ao observar as diferenças no crescimento das sementes (Figura 14), os estudantes vivenciaram, experimentalmente, o princípio da relação dose-resposta, segundo o qual a intensidade de um efeito biológico varia conforme a concentração da substância à qual o organismo é exposto. Essa vivência permitiu que os estudantes, por meio da observação e da argumentação coletiva, reconhecessem que o aumento de produtos químicos, causa maior comprometimento da germinação e do desenvolvimento das plantas.

Figura 14: Registro das atividades com as hipóteses e o desenho do experimento



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Os registros apresentados na Atividade I, da figura acima, evidenciam que as crianças compreenderam, inicialmente, a relação entre produtos químicos domésticos e o desenvolvimento das plantas, formulando hipóteses fundamentadas na noção de toxicidade. As respostas, “não vai crescer porque tem detergente e é tóxico” e “não vai crescer porque tem agrotóxico”, demonstram a emergência de um pensamento causal orientado pela observação e pela experiência cotidiana, no qual o termo “tóxico” é utilizado para explicar a interferência negativa das substâncias químicas sobre o crescimento vegetal.

Do ponto de vista didático, conforme Sforzi (2015), a atividade pode ser caracterizada como um experimento didático-formativo, ao colocar o estudante diante de uma situação-problema real — “os produtos de limpeza ajudam ou prejudicam o crescimento das plantas?” —, mobilizando a formulação de hipóteses, a observação sistemática e a análise dos resultados, o que o levou à construção de uma explicação teórica fundamentada em sua própria experiência experimental.

A análise dos registros e desenhos produzidos pelos estudantes ao longo das atividades propostas permite evidenciar uma compreensão inicial dos princípios fundamentais da ecotoxicologia, especialmente no que se refere à toxicidade de substâncias

químicas, à relação dose-resposta e aos efeitos dos contaminantes sobre os organismos vivos e o meio ambiente. A partir das situações investigativas, os estudantes construíram explicações sobre os impactos de produtos na água e nos seres vivos, revelando um processo de AC que articula observação empírica, linguagem e pensamento causal.

No bioensaio de germinação de sementes, os registros mostraram que os estudantes reconheceram o impacto de produtos de limpeza (detergente, água sanitária e óleo de cozinha) sobre o crescimento das plantas, atribuindo a eles o caráter de substâncias “tóxicas”. Essa percepção revela a assimilação intuitiva do conceito de fitotoxicidade, característica da ecotoxicologia vegetal, que estuda os efeitos de contaminantes sobre o metabolismo, o crescimento e a germinação das plantas (Saaristo *et al.*, 2018).

5.4 Análise das Produções dos Estudantes (Desenhos e Textos)

A análise das produções dos estudantes evidenciou que os resultados obtidos estão diretamente alinhados aos pressupostos metodológicos adotados, especialmente no que se refere à compreensão dos processos de formulação de hipóteses, internalização conceitual e reconstrução do conhecimento científico ao nível inicial. De modo geral, observou-se que os estudantes conseguiram mobilizar diferentes níveis de elaboração conceitual, transitando de explicações espontâneas para inferências progressivamente mais complexas, indicando um movimento consistente de desenvolvimento da alfabetização científica.

No que concerne à formulação de hipóteses, as atividades envolvendo as histórias As Descobertas de Luiz e Cebolete, a detetive ambiental, bem como os experimentos de germinação e cultivo, revelaram que as crianças inicialmente recorreram a explicações descritivas, ancoradas em percepções imediatas do fenômeno, como a ausência de minhocas ou o crescimento desigual das plantas. Essas hipóteses espontâneas foram gradualmente substituídas por hipóteses causais iniciais, nas quais os estudantes passaram a estabelecer relações de causa e efeito, atribuindo o adoecimento das plantas ou a fuga dos organismos à presença de “alguma coisa na água” ou de “substâncias na terra”. Em um nível mais elaborado, emergiram hipóteses científicas incipientes, nas quais os estudantes passaram a nomear explicitamente agentes contaminantes, como detergentes, agrotóxicos e outros produtos químicos, associando-os à toxicidade e à inibição do crescimento vegetal.

Esse movimento evidencia a apropriação inicial de uma lógica explicativa própria do pensamento científico, ainda que em estágio elementar.

A internalização de conceitos ecotoxicológicos constituiu outro eixo central dos resultados. As produções gráficas e textuais demonstraram que os estudantes passaram a reconhecer, de forma intuitiva, princípios fundamentais da ecotoxicologia, como a sensibilidade diferencial dos organismos vivos e os efeitos adversos da contaminação ambiental. Nos desenhos, a toxicidade foi representada por imagens de “água suja”, “solo contaminado” e “plantas mortas”, revelando a construção de uma compreensão simbólica acerca dos impactos de substâncias químicas sobre os seres vivos. Ademais, os registros indicaram que os estudantes assimilaram o conceito de fitotoxicidade ao correlacionarem o uso de produtos de limpeza com a redução ou ausência de crescimento das plantas, o que aponta para a emergência de uma leitura causal entre exposição a contaminantes e efeitos biológicos observáveis.

O processo de reconstrução conceitual mostrou-se particularmente relevante, uma vez que os estudantes foram capazes de transpor a experiência empírica para formas iniciais de linguagem científica, integrando observação, representação gráfica e produção textual. Ao reinterpretarem as histórias trabalhadas à luz dos experimentos realizados, os estudantes estabeleceram conexões entre o plano narrativo e o plano experimental, ressignificando os enredos ficcionais a partir das evidências observadas. Esse movimento evidencia a mediação conceitual como um elemento estruturante da aprendizagem, na medida em que os estudantes articularam conhecimentos do cotidiano com noções científicas em construção, produzindo explicações mais elaboradas e coerentes sobre os fenômenos investigados.

Por fim, os resultados também revelaram a incorporação de uma dimensão ética à aprendizagem, expressa nas atitudes de cuidado e responsabilidade ambiental manifestadas nas produções. Os estudantes passaram a reconhecer o papel da ação humana na degradação dos ecossistemas, atribuindo responsabilidades a práticas como o descarte inadequado de resíduos, o uso de agrotóxicos e o desperdício de água. Além disso, foram observadas proposições de soluções voltadas à preservação ambiental, o que indica que a aprendizagem não se restringiu à dimensão conceitual, mas se estendeu à formação de uma postura crítica e reflexiva frente aos problemas socioambientais.

Nesse sentido, os resultados apontam que as produções dos estudantes não apenas evidenciam a internalização de conceitos científicos iniciais, mas também revelam a constituição de modos de pensar e agir alinhados aos eixos fundamentais da prática

científica — investigar, interpretar, argumentar e modelar —, confirmando o potencial formativo das atividades desenvolvidas para a promoção da alfabetização científica em uma perspectiva crítica e contextualizada.

No entanto, é necessário reconhecer que, embora o uso dos desenhos como instrumento principal de análise tenha se mostrado potente para acessar dimensões simbólicas, afetivas e cognitivas da aprendizagem, essa estratégia metodológica também apresenta limitações e desafios que precisam ser problematizados.

Um primeiro desafio refere-se à subjetividade inerente ao processo de interpretação. Os desenhos, por sua natureza simbólica, não apresentam um significado unívoco e objetivo, o que implica que sua análise depende, em grande medida, do olhar interpretativo do pesquisador. Ainda que este estudo se apoie em categorias analíticas previamente definidas e em uma abordagem de análise de conteúdo, permanece a possibilidade de vieses interpretativos, uma vez que a atribuição de sentidos aos elementos gráficos pode ser influenciada por pressupostos teóricos, expectativas do pesquisador e pelo próprio contexto de produção dos dados. Assim, a leitura dos desenhos não constitui um retrato direto e transparente da compreensão dos estudantes, mas uma construção mediada pela interpretação, o que exige cautela quanto à validade inferencial dos achados.

Um segundo aspecto crítico diz respeito à dissociação entre habilidade gráfica e compreensão conceitual. O desenho, enquanto linguagem expressiva, não garante, por si só, que a criança possua domínio conceitual equivalente àquilo que consegue representar visualmente. Crianças com maior desenvoltura motora e expressiva tendem a produzir representações mais elaboradas, o que pode gerar uma superestimação de sua compreensão científica. Em contrapartida, estudantes com dificuldades na expressão gráfica podem apresentar desenhos mais simples ou pouco detalhados, mesmo possuindo compreensões conceituais mais sofisticadas, que não se manifestam plenamente no plano visual. Dessa forma, o desenho pode refletir mais a competência expressiva do que, necessariamente, o nível real de internalização conceitual.

Outro desafio metodológico está relacionado ao caráter não linear e não cumulativo da aprendizagem conceitual, especialmente em contextos de alfabetização científica. Os desenhos capturam momentos pontuais do processo formativo, mas não permitem, isoladamente, aferir de modo preciso a progressão conceitual dos estudantes ao longo do tempo, sobretudo no que se refere a dimensões metacognitivas, como a consciência sobre o próprio processo de aprendizagem, a capacidade de autorregulação e a explicitação de estratégias cognitivas. Nesse sentido, o desenho opera mais como um indicador qualitativo

de sentido do que como um instrumento avaliativo capaz de mensurar níveis de complexidade conceitual de forma sistemática.

Por fim, destaca-se que a ausência de protocolos mais estruturados de validação interpretativa, tais como triangulação entre avaliadores, análise intersubjetiva ou rubricas analíticas explícitas limita a possibilidade de generalização e de maior rigor avaliativo. Embora o estudo reconheça os desenhos como parte de um conjunto mais amplo de produções (falas, textos e registros), a centralidade atribuída a esse instrumento reforça a necessidade de problematizar seus limites enquanto ferramenta de avaliação do desenvolvimento conceitual.

Assim, ainda que os desenhos se configurem como recursos didático-metodológicos importantes para acessar processos de significação, internalização e reconstrução conceitual, seu uso como principal instrumento avaliativo deve ser compreendido como complementar e não exclusivo, demandando articulação com outros dispositivos de coleta e análise de dados que permitam reduzir a subjetividade interpretativa e distinguir, com maior precisão, a expressão gráfica da efetiva compreensão científica dos estudantes.

6. Conclusões

A presente pesquisa propôs-se a investigar o impacto de estratégias didáticas fundamentadas na ecotoxicologia para a promoção da alfabetização científica e da educação ambiental crítica junto a estudantes do 2º ano do Ensino Fundamental. As atividades contribuíram para o desenvolvimento da AC ao aproximarem os estudantes de procedimentos próprios da investigação científica, como levantar questões, observar evidências e construir explicações. Ao mesmo tempo, favoreceram a promoção da consciência ecológica, uma vez que possibilitam relacionar os efeitos observados no organismo-teste com problemas ambientais mais amplos, como a poluição da água, o uso inadequado de produtos químicos e a responsabilidade humana na degradação ambiental.

Assim, a AC e a consciência ecológica não são dimensões separadas, mas complementares: a primeira oferece instrumentos para compreender cientificamente os fenômenos ambientais, enquanto a segunda amplia essa compreensão para uma postura crítica, ética e responsável diante das questões socioambientais.

À luz dos objetivos estabelecidos e das evidências produzidas ao longo do estudo, é possível afirmar que foram alcançadas, ao mesmo tempo em que se revelaram desafios e limitações que merecem reflexão.

Os três experimentos didáticos desenvolvidos cumpriram seu propósito de transposição didática, convertendo protocolos científicos complexos em atividades acessíveis, seguras e pedagogicamente importantes para crianças de 7 a 8 anos. Mais do que meras adaptações, tais experimentos, quando integrados às narrativas "As Descobertas de Luiz" e "Cebolete, a detetive ambiental", configuraram-se como efetivos problemas desencadeadores, conforme preconizado pela perspectiva do experimento didático-formativo (Sforni, 2015; Freitas e Libâneo, 2022).

Os desenhos, registros escritos, hipóteses formuladas e argumentações orais demonstram que os estudantes não apenas se engajaram nas propostas, mas também internalizaram noções fundamentais da ecotoxicologia. A compreensão da sensibilidade das espécies manifestou-se na associação entre o desaparecimento das minhocas e o uso de agrotóxicos; a percepção da toxicidade emergiu nas referências a produtos domésticos como "tóxicos" para as plantas; e a relação dose-resposta foi intuitivamente apreendida ao se observar que concentrações mais elevadas de contaminantes resultavam em maior comprometimento da germinação. Tais achados confirmam o potencial da abordagem

investigativa e lúdica para promover a AC nos anos iniciais, tal como defendido por Lorenzetti e Delizoicov (2001) e Sasseron (2015).

Entretanto, uma reflexão crítica sobre os resultados obtidos impõe o reconhecimento de que a aprendizagem conceitual em ciências não se processa linearmente nem homogênea entre os estudantes. As produções analisadas, embora ricas em significados, apresentaram limitações enquanto instrumentos exclusivos de avaliação da internalização conceitual. A variabilidade nas habilidades expressivas das crianças, umas com maior desenvoltura gráfica, outras com mais dificuldade em representar visualmente suas ideias, sugere que os desenhos podem refletir tanto a compreensão científica quanto a competência comunicativa, demandando cautela interpretativa.

Ademais, a ausência de protocolos mais estruturados de validação das análises, como a triangulação entre diferentes avaliadores, aponta para a necessidade de complementar tais registros com outros instrumentos que permitam capturar com maior precisão a progressão conceitual ao longo do tempo.

Outro aspecto que emerge desta reflexão diz respeito aos limites da generalização dos achados. A pesquisa concentrou-se em um grupo específico de estudantes, inseridos em um contexto socioambiental particular, o município de Paranaguá. As especificidades desse território, marcado por questões ambientais próprias de uma região litorânea e portuária, podem influenciar as percepções e o repertório das crianças, o que torna recomendável cautela ao se extrapolar os resultados para outras realidades escolares com perfis distintos.

Não obstante tais limitações, a investigação oferece contribuições relevantes ao demonstrar, com base em evidências empíricas, que é possível e desejável articular ciência, narrativa e experimentação desde os anos iniciais da escolarização. A mediação docente intencional, ancorada nos pressupostos da teoria histórico-cultural, revelou-se elemento-chave para converter a experiência empírica em conhecimento conceitual, promovendo não apenas a compreensão de fenômenos ecotoxicológicos, mas também o desenvolvimento de atitudes éticas de cuidado e responsabilidade ambiental.

As lacunas identificadas, especialmente no que se refere à avaliação mais sistemática da progressão conceitual e à necessidade de maior aprofundamento na formação dos professores como mediadores, apontam caminhos promissores para pesquisas futuras. Estudos longitudinais que acompanhem o desenvolvimento das concepções científicas ao longo do tempo, bem como investigações que explorem a replicabilidade das estratégias em

diferentes contextos socioeducacionais, poderão ampliar e consolidar os achados aqui apresentados.

Em síntese, a pesquisa alcançou seus objetivos ao evidenciar que a ecotoxicologia, quando didaticamente transposta por meio de narrativas investigativas, experimentos acessíveis e mediação docente intencional, apresenta-se como uma potente ferramenta para a promoção da educação ambiental crítica e da AC nos anos iniciais do Ensino Fundamental.

7. Declaração de Uso de Inteligência Artificial

Este trabalho contou com o apoio de ferramentas de Inteligência Artificial generativa para fins de suporte técnico e linguístico, incluindo: (I) revisão normativa de textos, com foco na correção gramatical, ortográfica e de estilo; (II) traduções curtas e pontuais, sem prejuízo da autoria intelectual do conteúdo; e (III) auxílio na organização preliminar de dados, referências e ideias, por meio de processos como brainstorming e categorização temática.

8. Referências

AKHTAR, N. *et al.* Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: a review. **Water**, v. 13, n. 19, p. 2660, 2021.

ALIAS, C. *et al.* *Allium cepa* tests: a plant-based tool for the early evaluation of toxicity and genotoxicity of newly synthesized antifungal molecules. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 889, p. 503654, 2023.

ALMEIDA, Í. G. *et al.* Avaliação da toxicidade de efluente de aterro sanitário utilizando semente de alface *Lactuca sativa*. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 3, p. 163-172, 2022.

ALMEIDA, L. M. *et al.* Conservação e monitoramento ambiental utilizando *Allium cepa* como indicadora de poluição das águas superficiais: uma revisão narrativa. In: *Águas e florestas: desafios para conservação e utilização*. Editora Científica Digital, 2021. p. 174-191.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 17512-1: qualidade do solo: ensaios de toxicidade com oligoquetas: parte 1: determinação da evasão. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

AZEVEDO, A. R. de; CORONAS, M. V. Uso de testes de fuga com minhocas *Eisenia andrei* e *Eisenia fetida* para identificação da toxicidade de agrotóxicos no Brasil: uma breve revisão da literatura. **Ciência e Natura**, Santa Maria, p. 18-26, 2018.

AZEVEDO, F. A. de; CHASIN, A. A. da M. (Coords.). **As bases toxicológicas da ecotoxicologia**. São Paulo: RiMa, 2004. 322 p.

BONCIU, E. *et al.* An evaluation for the standardization of the *Allium cepa* test as cytotoxicity and genotoxicity assay. **Caryologia**, v. 71, n. 3, p. 191-209, 2018.

BOROS, B. V.; OSTAFE, V. Evaluation of ecotoxicology assessment methods of nanomaterials and their effects. **Nanomaterials**, v. 10, n. 4, p. 610, 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, DF: **MEC**, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais: 5ª a 8ª séries. Brasília, DF: **MEC/SEF**, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação. Temas contemporâneos transversais na BNCC: contexto histórico e pressupostos pedagógicos. Brasília, DF: **MEC/SEB**, 2019.

CARSON, Rachel. *Primavera silenciosa*. 1. ed. 3. reimpr. São Paulo: **Gaia**, 2013. 328 p.

CESAR, R. G. *et al.* (Eco)toxicologia de metais em solos: conceitos, métodos e interface com a geoquímica ambiental. Rio de Janeiro: **CETEM/MCTI**, 2014. (Série Gestão e Planejamento Ambiental).

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Guia para realização de ensaios ecotoxicológicos. São Paulo: **CETESB**, 2016.

DE OLIVEIRA, L. M.; VOLTOLINI, J. C.; BARBÉRIO, A. Mutagenic potential of pollutants in the water of the Paraíba do Sul river, Tremembé, SP, Brazil, using the *Allium cepa* test. **Ambiente e Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 6, n. 1, p. 90-103, 2011.

DUQUE, T. S. *et al.* Uso de bioindicadoras vegetais para identificação de resíduos de herbicidas no solo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e999998123, 2020.

EDO, G. I. *et al.* Impact of environmental pollution from human activities on water, air quality and climate change. **Ecological Frontiers**, v. 44, n. 5, p. 874-889, 2024.

FERNANDES, T. C. C. *et al.* Bioassay with *Allium cepa*: a promising tool for environmental monitoring. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 30, n. 3, p. 551-557, 2007.

FISKESJÖ, G. The *Allium* test as a standard in environmental monitoring. **Hereditas**, v. 102, p. 99-112, 1985.

FORD, A. T. *et al.* The role of behavioral ecotoxicology in environmental protection. **Environmental Science & Technology**, v. 55, n. 9, p. 5620-5628, 2022. DOI: 10.1021/acs.est.0c06493.

FRAGOSO, C. R.; FERNANDEZ, A. L.; SILVEIRA, A. A. A utilização de minhocas como bioindicadoras em estudos ambientais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 6, p. 1039-1046, 2013.

FREITAS, R. A. M. M.; LIBÂNEO, J.C. O experimento didático-formativo na perspectiva da teoria do ensino desenvolvimental. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 48, p. e246996, 2022.

FRITSCH, C. *et al.* Wildlife ecotoxicology of plant protection products: knowns and unknowns about the impacts of currently used pesticides on terrestrial vertebrate biodiversity. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 32, n. 6, p. 2893-2955, 2025.

GRANT, W. F. Higher plant assays for the detection of genotoxicity in air polluted environments. **Ecosystem Health**, v. 4, n. 4, p. 210-229, 1998.

GRISOLIA, C. K. A mutagênese ambiental. Brasília, DF: **Editora Universidade de Brasília**, 2002.

GUERRERO, Gonzalo; SJÖSTRÖM, Jesper. Critical scientific and environmental literacies: a systematic and critical review. **Studies in Science Education**, v. 61, n. 1, p. 41-87, 2025.

HEDEGAARD, M. A zona de desenvolvimento proximal como base para o ensino. In: DANIELS, Harris (org.). Uma introdução a Vygotsky. São Paulo: **Loyola**, 2002. p. 199-227.

KRAWCZYK, M.; SILVA, R. F.; SOUZA, T. P. As descobertas de Luiz: experimentação e educação ambiental. **Revista de Ensino de Ciências**, v. 14, n. 1, p. 45-58, 2022.

LAUGKSCH, R. C. Scientific literacy: a conceptual overview. **Science Education**, v. 84, n. 1, p. 71-94, 2000.

LORENZETTI, L.; DELIZOICOV, D. Alfabetização científica no contexto das séries iniciais. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 45-61, 2001.

LOURENÇO, C. *et al.* Uso de bioindicadores vegetais na ecotoxicologia ambiental. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 4, p. 45-54, 2021.

MA, T. H. *et al.* Protocol for short-term *Allium* test. **Mutation Research**, Amsterdam, v. 345, p. 115-121, 1995.

MARQUES, A. C. T. L.; MARANDINO, M. Alfabetização científica e criança: análise de potencialidades de uma brinquedoteca. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 21, p. e10562, 2019.

MARTINS, L. M. O desenvolvimento do psiquismo e a educação escolar: contribuições à luz da psicologia histórico-cultural e da pedagogia histórico-crítica. **Interface: Comunicação, Saúde, Educação**, Botucatu, v. 16, n. 40, p. 283, 2012.

MARUMURE, J. *et al.* Emerging organic contaminants in drinking water systems: human intake, emerging health risks, and future research directions. **Chemosphere**, v. 356, p. 141699, 2024.

MITELUT, A. C.; POPA, M. E. Seed germination bioassay for toxicity evaluation of different composting biodegradable materials. **Romanian Biotechnological Letters**, v. 16, n. 1, p. 121-129, 2011.

MOTHE, G. P. *et al.* Bioensaios de toxicidade aguda com sementes de *Lactuca sativa* utilizando o sulfato ferroso. In: Engenharia sanitária e ambiental: tecnologias para a sustentabilidade 2. **Editora Atena**, 2019. p. 194-199.

NEWMAN, M. C. Fundamentals of ecotoxicology: the science of pollution. Boca Raton: CRC Press, 2019.

NICUȚĂ, D. *et al.* The *Allium cepa* model: a review of its application as a cytogenetic tool for evaluating the biosafety potential of plant extracts. **Methods and Protocols**, v. 8, n. 4, p. 88, 2025.

NIVA, C. C.; BROWN, G. G. (ed.). Ecotoxicologia terrestre: métodos e aplicações dos ensaios com oligoquetas. Brasília, DF: **Embrapa**, 2019. 258 p.

OLIVEIRA, L. L. D. de *et al.* Avaliação ecotoxicológica de amostras de água e efluente utilizando a espécie *Lactuca sativa* (Plantae, Magnoliophyta). **Ensaio USF**, v. 8, n. 1, 2024.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. Referencial curricular do Paraná: princípios, direitos e orientações. Curitiba: SEED, 2018.

PEDUTO, T. A. G.; JESUS, T. A.; KOHATSU, M. Y. Sensibilidade de sementes em ensaios de fitotoxicidade. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia**, v. 4, n. 2, p. 201-212, 2019.

PEREIRA, I. F. M. *et al.* Toxicidade e citogenotoxicidade ambiental do Rio São Francisco no polo Petrolina (PE)/Juazeiro (BA) mediante bioensaio *Allium cepa* L. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 38, n. 1 supl., p. 247, 2017.

RODRIGUES, V. D. *et al.* Construindo conceitos de ecotoxicologia no ensino básico: experimentos com plantas. **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v. 17, n. 2, p. 64-77, 2022.

SAARISTO, M. *et al.* Direct and indirect effects of chemical contaminants on the behaviour, ecology and evolution of wildlife. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 285, n. 1885, p. 20181297, 2018.

SANTOS, F. S. *et al.* Uso do teste *Allium cepa* como ferramenta didática em práticas de educação ambiental. **Revista Educação Ambiental em Ação**, Porto Alegre, n. 51, 2015.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 17, p. 49-67, 2015.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.

SEVERINO, A. J. A pesquisa na pós-graduação em educação. **Revista Eletrônica de Educação**, São Carlos, v. 1, n. 1, p. 31-49, 2007.

SFORNI, M. S. F. Interação entre didática e teoria histórico-cultural. **Educação & Realidade**, Porto Alegre, v. 40, n. 2, p. 375-397, 2015.

SILVA, M. B.; SASSERON, L. H. Alfabetização científica e domínios do conhecimento científico: proposições para uma perspectiva formativa comprometida com a transformação social. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 23, p. e34674, 2021.

SINGH, R. P. *et al.* Ecotoxicology and its impact on ecosystem: a review. **Agricultural Reviews**, v. 42, n. 4, 2021.

SOUSA, S. S. O. de *et al.* Avaliação da toxicidade do lodo da estação de tratamento de Gurjaú utilizando diferentes sementes como bioindicadores. **Revista Saúde e Meio Ambiente**, v. 14, n. 2, p. 162-188, 2022.

SPARLING, D. W. Ecotoxicology essentials: environmental contaminants and their biological effects on animals and plants. London: **Academic Press**, 2016.

TEDESCO, B. S.; LAUGHINGHOUSE IV, H. D. Bioindicator of genotoxicity: the *Allium cepa* test. In: SRIVASTAVA, J. K. (ed.). **Environmental contamination**. London: IntechOpen, 2012. p. 137-156.

THOMAS, H.; KRAWCZYK, A. C. D. B. Ecotoxicology at school: a proposal for insertion into practical science classes. **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v. 18, n. 1, p. 28-37, 2023.

UNESCO. Guidelines on sustainability science in research and education. Paris: **UNESCO**, 2017.

VALLADARES, L. Scientific literacy and social transformation: critical perspectives about science participation and emancipation. **Science & Education**, v. 30, n. 3, p. 557-587, 2021.

VIEIRA, W. T. *et al.* Removal of endocrine disruptors in waters by adsorption, membrane filtration and biodegradation: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 18, n. 4, p. 1113-1143, 2020.

VYGOTSKY, L. S. A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. São Paulo: Martins Fontes, 1988.

VYGOTSKY, L. S.; LURIA, A. R.; LEONTIEV, A. N. Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem. Tradução de Maria da Penha Villalobos. 16. ed. São Paulo: Ícone, 2017.

ANEXO I

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)
Aos representantes legais das crianças menores de 12 anos que participarão da pesquisa

Título do Projeto: **Estratégias Educacionais na Compreensão de conceitos da Ecotoxicologia no Contexto Escolar**

O presente projeto de pesquisa foi aprovado pelo CEP UNESPAR.

DADOS DO PARECER DE APROVAÇÃO

Emitido Pelo Comitê de Ética em Pesquisa, CEP UNESPAR.

Número do parecer: (inserir após aprovação do projeto pelo CEP, para entregar ao participante).

Data da relatoria: ____ / ____ /202 ____

ANEXO II

(este termo será lido à criança pelo[a] pesquisador[a])

TERMO DE ASSENTIMENTO

Data ___/___/___

Olá! Meu nome é _____, sou sua a professora e responsável pela pesquisa **Estratégias Educacionais na Compreensão de conceitos da Ecotoxicologia no Contexto Escolar** que será realizada com sua turma aqui na _____ e precisamos da sua ajuda para desvendar uma coisa nova.

1	Nossa missão nessa aventura será fazer 3 atividades: Um Experimento com Minhocas, outro sobre a Germinação de Sementes e uma com Cebolas, para ajudar a Cebolete desvendar um mistério.
2	Para nossa missão durante as atividades vamos precisar conversar, desenhar e escrever textos.