

**BIOINDICADORES E SEU PAPEL FUNDAMENTAL NA AVALIAÇÃO DE
IMPACTOS AMBIENTAIS*****BIOINDICATORS AND THEIR FUNDAMENTAL ROLE IN THE EVALUATION OF
ENVIRONMENTAL IMPACT***

Tatiane Cristina de Oliveira^I
Celso Antônio Jardim^{II}
Maria Aparecida Bovério^{III}

RESUMO

Este trabalho investiga o uso de bioindicadores como uma alternativa inovadora e eficaz para o monitoramento ambiental, com ênfase na análise de resultados quanto à sua capacidade de detecção e resposta a poluentes em diferentes ecossistemas. Organismos bioindicadores, reagem de maneira mensurável às condições ambientais, permitindo que se identifiquem poluentes atmosféricos, aquáticos e do solo por meio de suas respostas fisiológicas e comportamentais. Essa metodologia destaca-se em relação aos métodos tradicionais pelo baixo custo e pela capacidade de acumular dados, capturando informações que, frequentemente, escapam à detecção convencional. A análise qualitativa realizada neste estudo abrange três principais tipos de bioindicadores e suas aplicações: os macroinvertebrados bentônicos, úteis para monitorar a qualidade da água; líquens, sensíveis a poluentes atmosféricos; e nematoides, que indicam a qualidade do solo. Os macroinvertebrados bentônicos, que vivem em ambientes aquáticos variados, apresentam alta diversidade funcional e desempenham papéis essenciais na ciclagem de nutrientes. Como bioindicadores, sua presença e variedade refletem as condições de oxigenação e contaminação hídrica. Os líquens, por sua vez, absorvem diretamente da atmosfera nutrientes e substâncias prejudiciais, tornando-se indicadores de poluição do ar. Os nematoides, microscópicos e com distintos hábitos alimentares, respondem rapidamente a mudanças ambientais, revelando as condições do solo e os impactos de práticas agrícolas. Os resultados evidenciam a eficácia dos bioindicadores para identificar poluentes e monitorar a saúde ambiental de forma contínua e sustentável. Em conclusão, este estudo reafirma a importância do uso de bioindicadores como ferramentas estratégicas de gestão ambiental, capazes de promover práticas de conservação mais sustentáveis e de otimizar o manejo dos recursos naturais, contribuindo significativamente para o diagnóstico e prevenção de impactos ambientais.

Palavras-chave: ecossistemas; avaliação; impactos ambientais.

ABSTRACT

^I Estudante do Curso superior de Tecnologia em Gestão Ambiental. E-mail: tacristina851@gmail.com

^{II} Prof. Dr. da Fatec Nilo De Stéfani. E-mail: aj.jardim@yahoo.com

^{III} Profa. Dra. da Fatec Nilo De Stéfani. E-mail: maria.boverio@fatec.sp.gov.br

This study investigates the use of bioindicators as an innovative and effective alternative for environmental monitoring, with an emphasis on analyzing results regarding their detection and response capabilities to pollutants across different ecosystems. Bioindicator organisms respond measurably to environmental conditions, allowing the identification of atmospheric, aquatic, and soil pollutants through their physiological and behavioral responses. This methodology stands out compared to traditional methods due to its low cost and its ability to accumulate data, capturing information that often escapes conventional detection methods. The qualitative analysis in this study covers three main types of bioindicators and their applications: benthic macroinvertebrates, useful for monitoring water quality; lichens, sensitive to atmospheric pollutants; and nematodes, which indicate soil quality. Benthic macroinvertebrates, which inhabit diverse aquatic environments, exhibit high functional diversity and play essential roles in nutrient cycling. As bioindicators, their presence and variety reflect oxygenation levels and water contamination conditions. Lichens, on the other hand, directly absorb nutrients and harmful substances from the atmosphere, making them effective indicators of air pollution. Nematodes, microscopic organisms with varied feeding habits, respond quickly to environmental changes, revealing soil conditions and the impacts of agricultural practices. The results demonstrate the effectiveness of bioindicators in identifying pollutants and continuously and sustainably monitoring environmental health. In conclusion, this study reaffirms the importance of using bioindicators as strategic tools for environmental management, capable of promoting more sustainable conservation practices and optimizing natural resource management, significantly contributing to the diagnosis and prevention of environmental impacts.

Keywords: ecosystems; assessment; environmental impacts.

Data de submissão do artigo: 29/10/2024

Data de aprovação do artigo:

DOI:

1 INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial trouxe um aumento expressivo na produção de poluentes, impulsionado pela criação de novas tecnologias e pelo consumo em massa. Hoje, grande parte da população desfruta das vantagens proporcionadas pelo avanço tecnológico, utilizando celulares de última geração, computadores, veículos e outros produtos. No entanto, o crescimento da produção e do consumo acarreta um aumento significativo na poluição, exemplificado pelo descarte inadequado de baterias, pilhas, embalagens plásticas e eletrônicos, que liberam metais pesados e outros contaminantes no meio ambiente.

A utilização de bioindicadores tem sido destacada como uma abordagem eficaz e inovadora do controle ambiental, oferecendo informações sobre a saúde dos ecossistemas em resposta às crescentes pressões ambientais. Segundo a CETESB (s.d) bioindicadores, que podem ser tanto vegetais quanto animais, são organismos que reagem de maneira específica à qualidade do ambiente onde estão localizados. Eles podem ser utilizados de forma passiva, analisando as espécies que ocorrem naturalmente em uma determinada área, ou de modo ativo, quando espécies escolhidas e preparadas são expostas a ambientes específicos para avaliar suas reações a poluentes. Essa metodologia permite identificar poluentes atmosféricos específicos com base nos sintomas que os bioindicadores apresentam.

Em comparação com as técnicas de monitoramento tradicionais, a utilização de bioindicadores traz vantagens consideráveis, como a redução de custos e a capacidade de registrar um histórico ambiental ao longo do tempo, que revela a presença acumulada de poluentes que muitas vezes escapam à detecção pelos métodos convencionais. A escolha de bioindicadores apropriados para cada categoria de poluente é fundamental para obter um diagnóstico ambiental acurado. Apesar de as extrapolações para ambientes naturais apresentarem algumas restrições, as pesquisas realizadas em laboratórios sob condições controladas fornecem dados significativos sobre as consequências ecológicas dos poluentes tóxicos e possibilitam uma avaliação minuciosa dos efeitos desses contaminantes na saúde do meio ambiente.

Nesse contexto, o objetivo geral dessa pesquisa foi analisar a efetividade desses organismos em detectar mudanças ambientais e identificar poluentes em ecossistemas aquáticos e terrestres. O objetivo específico foi o de entender a habilidade desses seres em espelhar a qualidade do ambiente e suas respostas fisiológicas e comportamentais frente a situações de estresse, bem como analisar a função dos bioindicadores como instrumentos estratégicos para a administração e supervisão do meio ambiente. Esse tema foi escolhido, considerando a importância de pesquisas científicas que se preocupem com a gestão sustentável dos recursos naturais.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

A pesquisa utilizou a metodologia de revisão de literatura para identificar e compilar conhecimentos sobre o uso de bioindicadores na gestão ambiental. Foram realizadas buscas em bases de dados acadêmicas, como Google Acadêmico, Scielo, entre outros periódicos e revistas, 10 artigos foram analisados buscando priorizar os mais atuais, considerando publicações que tratam do uso de bioindicadores e suas respostas a pressões ambientais e capacidade de refletir a

concentração de poluentes e períodos de exposição. A análise dos materiais selecionados foi qualitativa, visando sintetizar as principais contribuições e tendências identificadas.

3 TIPOS DE BIOINDICADORES E SUAS CARACTERÍSTICAS

Andréa (2008) ressalta que bioindicadores reagem de maneira mensurável a mudanças nas condições do ambiente, manifestando respostas tanto fisiológicas quanto comportamentais, que incluem alterações nas taxas de metabolismo, reprodução e alimentação. Ademais, a adaptabilidade e a resistência dos organismos são cruciais, pois evidenciam sua capacidade de se recuperar de perturbações e de manter um desempenho adequado em situações adversas. Além disso, alguns indicadores biológicos têm a tendência de acumular substâncias químicas em seus tecidos, um fenômeno conhecido como bioacumulação, que se intensifica ao longo da cadeia alimentar.

O uso de bioindicadores é multidisciplinar, abrangendo áreas como biologia, ecologia, toxicologia e ciências ambientais, o que possibilita uma compreensão ampla das condições do ambiente e auxilia na tomada de decisões fundamentadas. Andréa (2008), destaca que é essencial distinguir entre bioindicadores e biomonitores. O biomonitoramento envolve a observação contínua de organismos em uma área específica, fornecendo alertas rápidos sobre mudanças ambientais que possam ameaçar espécies, populações, comunidades ou ecossistemas. Como monitorar todas as espécies em um ecossistema é inviável, um conjunto de bioindicadores auxilia na avaliação de condições e tendências ecotoxicológicas no ecossistema.

3.1 Macroinvertebrados bentônicos (qualidade da água)

A Lei nº 9.433/97, que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos, é fundamental para a gestão sustentável da água no Brasil, promovendo o uso consciente e a proteção dos ecossistemas aquáticos, ela define diretrizes que facilitam o monitoramento e a conservação da qualidade hídrica, onde os bioindicadores bentônicos desempenham um papel importante. Esses indicadores são utilizados como ferramentas de monitoramento ambiental, permitindo a avaliação da saúde dos corpos d'água e alinhando-se aos princípios da legislação. A análise de organismos bentônicos possibilita a obtenção de dados detalhados sobre a presença de poluentes, a qualidade da água e os impactos das atividades humanas, contribuindo para a classificação dos corpos d'água e a formulação de estratégias de manejo em conformidade com a política nacional de recursos hídricos (Brasil, 2005).

Segundo Silva e Callisto (2019), os macroinvertebrados bentônicos são organismos macroscópicos que apresentam grande diversidade de espécies e grupos funcionais, vivendo em uma ampla variedade de ambientes aquáticos como riachos, rios, lagos, represas e mares. Esses organismos, apesar de seu pequeno tamanho, desempenham funções essenciais na ciclagem de

nutrientes e energia em ecossistemas aquáticos, influenciando significativamente a dinâmica ambiental. Silveira, Queiroz e Boeira (2004) destacam que a comunidade de invertebrados bentônicos (Figura 1) de água doce possui alta riqueza taxonômica, abrangendo protozoários, vermes de vários filos, crustáceos, moluscos e insetos, os quais desempenham papéis específicos que impactam a estrutura e a funcionalidade dos sistemas aquáticos.

Figura 1 - Bioindicadores bentônicos

Macroinvertebrados Bentônicos	Bioindicação
Plecoptera 	Insetos aquáticos sensíveis à poluição
Ephemeroptera  <i>Leptophlebiidae</i> <i>Leptohyphidae</i>	Insetos aquáticos sensíveis à poluição
Trichoptera  <i>Calamoceratidae</i> <i>Hydropsychidae</i>	Insetos aquáticos sensíveis à poluição
Diptera  <i>Chironomidae</i>  <i>Psychodiade</i>	Larvas aquáticas resistentes à poluição
Annelida  <i>Oligochaeta</i>	Minhocas d'água. Predominam em ambientes poluídos
Mollusca: Gastropoda  <i>Planorbidae</i>  <i>Physidae</i>	Caramujos aquáticos resistentes à poluição e, também, encontrados em ecossistemas naturais

Fonte: França (2015, p. 62)

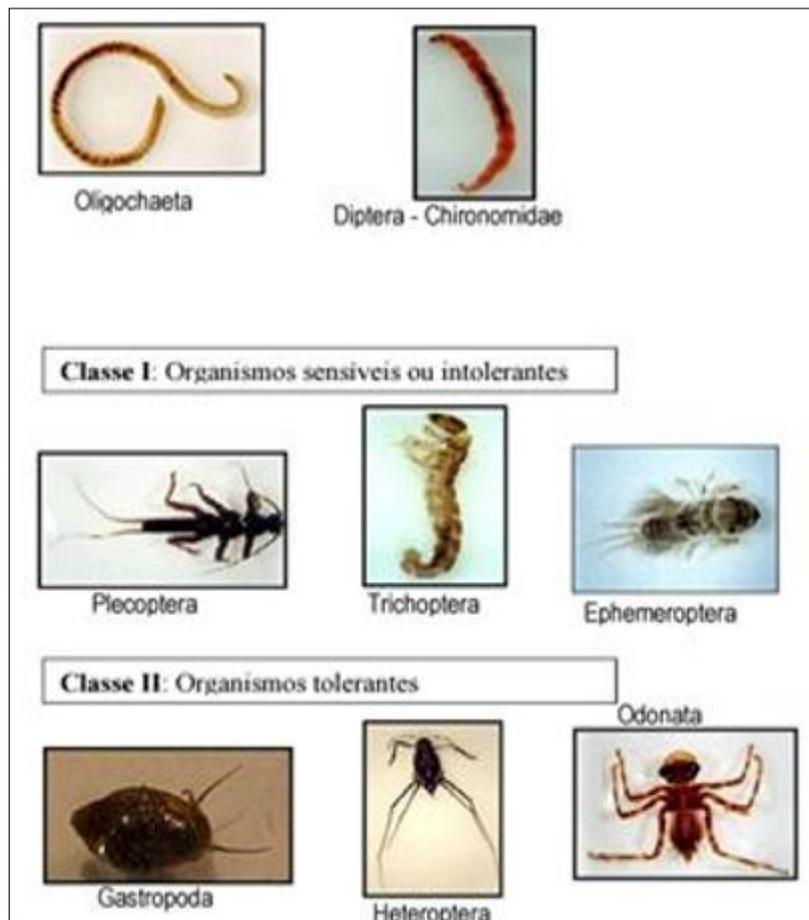
Goulart e Callisto (2003) afirmam que quanto à capacidade de lidar com adversidades ambientais, é viável dividir os macroinvertebrados bentônicos em três categorias principais (Figura 2) (apesar de haver exceções em cada grupo): organismos sensíveis ou intolerantes, organismos tolerantes e organismos resistentes. O primeiro grupo, especialmente composto por representantes das ordens dos insetos aquáticos Ephemeroptera, Trichoptera e Plecoptera, é caracterizado por organismos que necessitam de altas concentrações de oxigênio dissolvido na água. Geralmente, esses organismos habitam ambientes que apresentam uma ampla diversidade de habitats e micro-habitats.

O segundo grupo é composto por uma variada gama de insetos e outros invertebrados aquáticos, como moluscos, bivalves, certas famílias de Diptera e, principalmente, por

representantes das ordens Heteroptera, Odonata e Coleoptera, embora algumas espécies desses grupos sejam comuns em ambientes não poluídos. A demanda por níveis altos de oxigênio dissolvido é menor, pois parte desses representantes, como os Heteroptera, adultos de Coleoptera e alguns Pulmonata (Gastropoda), obtêm oxigênio da atmosfera. A necessidade por uma diversidade de habitats e micro-habitats também é reduzida, devido à grande adaptação do grupo (muitos heterópteros e coleópteros vivem na superfície da água ou na interface coluna d'água-superfície) (ibid.).

O terceiro grupo é formado por organismos extremamente tolerantes, por isso chamados de resistentes. É formado principalmente por larvas de Chironomidae e outros Diptera e por toda a classe Oligochaeta. Estes organismos são capazes de viver em condição de anóxia (depleção total de oxigênio) por várias horas, além de serem organismos detritívoros, se alimentando de matéria orgânica depositada no sedimento, o que favorece a sua adaptação aos mais diversos ambientes. Tanto os Oligochaeta quanto os Chironomidae são organismos de hábito fossorial, não possuindo nenhum tipo de exigência quanto à diversidade de habitats e micro-habitats (ibid.).

Figura 2 - Classificação dos macroinvertebrados



Fonte: Goulart e Callisto (2003, p. 9)

Como exemplo um estudo conduzido por Leite et al. (2016) sobre macroinvertebrados bentônicos na lagoa do IFMG - campus Bambuí concluiu que esses organismos são indicadores eficazes da qualidade da água e refletem a saúde do ecossistema aquático. Foram coletados 297 indivíduos, majoritariamente do filo Arthropoda (293), incluindo 65 do subfilo Crustacea, além de 4 pertencentes ao filo Mollusca. Dentre os organismos, destacaram-se 111 exemplares das ordens Plecoptera e Ephemeroptera, reconhecidas por sua alta sensibilidade à poluição, sugerindo boas concentrações de oxigênio na lagoa. A presença de indivíduos da ordem Odonata também foi registrada, indicando condições favoráveis relacionadas à matéria orgânica.

A pesquisa confirmou que a lagoa apresenta condições ambientais satisfatórias, evidenciadas pela diversidade e abundância dos macroinvertebrados. Esses resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo para avaliar a integridade ecológica dos ecossistemas aquáticos e garantir a preservação dos corpos hídricos.

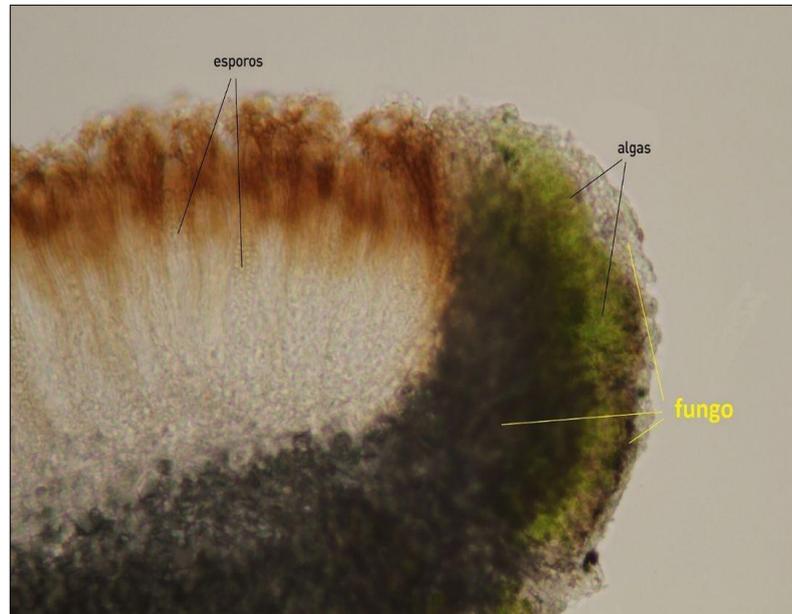
3.2 Líquens (qualidade do ar)

Por Martins, Käffer, Lemos (2008) a qualidade do ar é fundamental para a saúde dos seres vivos, afetando diretamente tanto a saúde respiratória quanto cardiovascular das populações, além de influenciar a estabilidade dos ecossistemas. A poluição atmosférica, proveniente de fontes como indústrias, veículos e queimadas, libera poluentes como dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂), ozônio (O₃) e partículas em suspensão (PM₁₀ e PM_{2,5}). A exposição a esses poluentes está associada ao desenvolvimento de doenças como asma, bronquite crônica e até câncer de pulmão. Além disso, a poluição do ar é um fator que contribui para o aquecimento global e a degradação dos ecossistemas, impactando negativamente a biodiversidade.

Para atenuar os efeitos da poluição atmosférica, é essencial adotar estratégias de monitoramento eficazes. Uma abordagem relevante é o uso de bioindicadores, como líquens e musgos, que são sensíveis à presença de poluentes no ar. A presença ou ausência desses organismos pode ser um indicativo da qualidade do ar em determinada área. Segundo Munzi e Gouveia (2018), os líquens são simbiontes compostos por múltiplos organismos, principalmente fungos e fotobiontes, como algas verdes ou cianobactérias.

Os fungos, que representam cerca de 90% da massa do líquen, protegem as algas de condições adversas, como desidratação, radiação UV e poluição, além de fornecer água e nutrientes minerais essenciais. As algas, por sua vez, realizam a fotossíntese, produzindo açúcares e energia que beneficiam tanto elas mesmas quanto os fungos.

A morfologia complexa dos líquens resulta da interação entre esses parceiros, que se combinam em níveis microscópicos, formando camadas onde as células das algas se entrelaçam com as dos fungos. Encontrados em diversos ecossistemas, desde desertos até tundras, os líquens se alimentam diretamente da atmosfera, sem estruturas excretoras ou absorventes convencionais. A ausência de barreiras estruturais permite que esses organismos absorvam tanto nutrientes quanto substâncias prejudiciais, tornando-os indicadores sensíveis da qualidade do ar, apesar de seu crescimento extremamente lento e de seu longo ciclo de vida (ibid.).

Figura 3 - Foto de uma secção de um apotécio

Fonte: Munzi (2018, p. 2)

Segundo Munzi e Gouveia (2018), esse comportamento leva à acumulação desordenada de substâncias nos tecidos dos líquens, tornando-os sensíveis às condições ambientais e vulneráveis a situações adversas. Além disso, o delicado equilíbrio entre os parceiros simbióticos nos líquens pode ser facilmente perturbado por estresses ambientais, o que pode resultar na morte e extinção desses organismos. Essas características únicas fazem com que os líquens sejam relevantes como bioindicadores, uma vez que sua resposta às condições ambientais em escala global é ampla e reveladora. Usando como exemplo de prática, um estudo realizado por Martins, Käffer, Lemos (2008) mostra um monitoramento passivo realizado na área de abrangência de uma usina termoeletrica, na região sul do Brasil, em Canoas, Porto Alegre em 2003.

Os líquens foram avaliados em cinco pontos da usina onde foi amostrado um total de 50 forófitos. Foram registrados 45 táxons, cinco destes são citados na literatura como bioindicadores da qualidade do ar. As áreas amostradas não apresentam condições adequadas para o estabelecimento e desenvolvimento da micota liquenizada, pois sofrem influência antrópica direta. A ocorrência de espécies tolerantes à poluição pode ser explicada pelo desaparecimento das espécies mais sensíveis, proporcionando mais espaço para o seu desenvolvimento.

Na avaliação da aparência externa dos líquens ocorrentes nas áreas foram detectadas manchas escuras no talo, especialmente nas espécies foliosas e frutuosas. Supostamente, estes danos seriam consequências da acumulação de poluentes nos tecidos dos líquens, o que provoca a morte de células e ocasiona a degradação da clorofila e a redução da fotossíntese, surgindo manchas escuras a marrons nos talos. Indivíduos de hábito fruticoso, quando presentes, apresentavam-se pouco desenvolvidos, evidenciando indivíduos jovens ou com dificuldades de crescimento. Lembrando que a baixa diversidade e a dominância de algumas poucas espécies indicam um ambiente degradado. A comparação dos resultados com outros estudos na região corroborou a eficácia dos líquens como bioindicadores, (Martins-Mazzitelli et al. 2006).

3.3 Nematoides (qualidade do solo)

Enquanto estudos sobre comunidades de nematoides já são uma realidade em outros países, no Brasil, essa pesquisa tem crescido nos últimos anos, embora de maneira lenta, em grande parte devido à escassez de nematologistas especializados em taxonomia, uma área crucial para esse tipo de estudo, Agro Insight (2022).

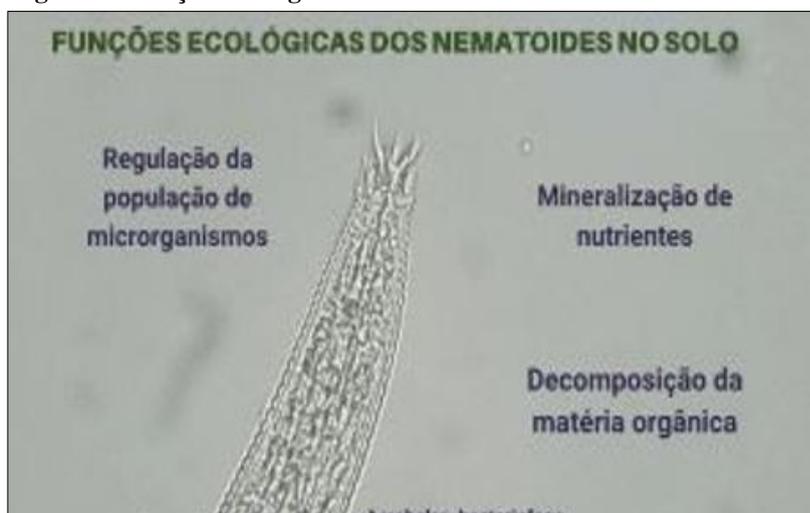
Conforme apontam Camacho et al. (2021), os nematoides são organismos microscópicos que abundam em diversos tipos de solo e apresentam uma variedade de hábitos alimentares. Eles podem ser classificados em nematoides de vida livre — que incluem aqueles que se alimentam de bactérias, fungos, outros organismos (predadores), e os que se alimentam de fungos e de matéria orgânica (micófagos e onívoros) — e em parasitas de plantas, conhecidos como nematoides fitoparasitas.

A diversidade de hábitos alimentares dos nematoides em um solo oferece informações valiosas sobre o ecossistema, o que os torna excelentes indicadores biológicos. A variação na população de nematoides é influenciada pelas interações com outros organismos, além das condições físicas e químicas do solo, tornando os nematoides de vida livre elementos fundamentais para monitorar a poluição ambiental e os efeitos de práticas agrícolas, como a rotação de culturas. Os testes foram realizados com o objetivo de avaliar a composição da nematofauna e os impactos de diferentes práticas agrícolas sobre a saúde do solo.

O estudo realizado por Camacho et al. (2021) investigou o impacto de intervenções agrícolas alternativas à monocultura intensiva sobre a biodiversidade do solo e a qualidade das culturas, analisando amostras de solo coletadas em dois locais específicos: o Campo Piloto de S. João de Brito e o Campo Piloto de Manique. A pesquisa focou na presença de nematoides fitoparasitas, reconhecidos por causarem danos diretos às culturas, revelando que o aumento desses organismos pode estar associado às práticas agrícolas adotadas, comprometendo a produtividade.

Paralelamente, observou-se uma redução na população de nematoides predadores e onívoros, sinalizando desequilíbrios na comunidade de nematoides e possíveis sinais de estresse ambiental no solo. O estudo abrangeu práticas agrícolas como biofumigação, consociação e cultivo de azevém, com amostras de solo analisadas para determinar a composição da nematofauna, incluindo nematoides de vida livre, fitoparasitas e predadores. A avaliação foi realizada ao longo de dois anos (2017 e 2018), permitindo identificar mudanças na biota do solo em resposta às diferentes práticas implementadas.

Os resultados demonstraram alterações significativas na composição da nematofauna. Em algumas intervenções, houve aumento na população de nematoides benéficos, como os omnívoros, sugerindo uma possível melhoria do status biológico do solo. Além disso, o crescimento de nematoides bacteriófagos foi associado ao aumento na decomposição da matéria orgânica e na mineralização de nutrientes, favorecendo a fertilidade do solo. Contudo, o elevado número de nematoides fitoparasitas e a ausência de predadores continuam sendo desafios para alcançar um equilíbrio saudável na biota do solo. Esses resultados reforçam a importância dos nematoides como bioindicadores da saúde do solo e destacam a necessidade de adotar práticas agrícolas que promovam maior biodiversidade e resiliência nos ecossistemas agrícolas.

Figura 4 - Funções ecológicas dos nematoides no solo

Fonte: Aggroinsight (2021)

De acordo com Tihohod (1993), os nematoides necessitam mover-se livremente pela água para se alimentarem e completarem seus ciclos de vida. Assim, a textura, a umidade do solo e a disponibilidade de alimentos são fatores cruciais que influenciam a diversidade das comunidades desses organismos. Em virtude de sua capacidade de responder rapidamente a mudanças ambientais, os nematoides do solo são amplamente utilizados como indicadores ecológicos de perturbações no meio ambiente. Eles são considerados excelentes bioindicadores em pesquisas sobre a qualidade do solo, principalmente porque representam formas de vida elementares, encontradas em diversos tipos de solo, sob diferentes condições climáticas e em habitats que variam de equilibrados a altamente perturbados. Esses organismos habitam o solo, vivendo em filmes de água, e sua cutícula permeável facilita o contato com o microambiente circundante.

Embora não se movam rapidamente em situações de estresse, muitas espécies são capazes de sobreviver à desidratação, congelamento e variações nos níveis de oxigênio. Além disso, desempenham papéis fundamentais nos ecossistemas do solo. Suas características internas podem ser observadas sem a necessidade de dissecação, devido à sua transparência, e seu padrão alimentar é facilmente identificável pela estrutura da boca e da faringe. Eles reagem prontamente a distúrbios e às condições de crescimento do ambiente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa destacou a relevância do uso de bioindicadores como ferramentas para monitoramento ambiental e avaliação da qualidade de diferentes ecossistemas. Por meio de uma abordagem de revisão de literatura, foi possível reunir informações essenciais sobre o potencial de organismos como macroinvertebrados bentônicos, líquens e nematoides para refletir as condições ambientais e fornecer dados para a gestão sustentável dos recursos naturais.

Os macroinvertebrados bentônicos demonstraram ser excelentes indicadores da qualidade da água, especialmente devido à sua sensibilidade a alterações nos níveis de oxigênio e à presença de poluentes. Da mesma forma, os líquens se destacaram pela sua capacidade de indicar a qualidade do ar, acumulando substâncias atmosféricas em seus tecidos e reagindo a diferentes tipos de poluição. Já os nematoides, como bioindicadores do solo, ofereceram insights importantes sobre a saúde do ecossistema terrestre e os impactos das práticas agrícolas, reforçando a importância de práticas que favoreçam a biodiversidade e o equilíbrio ecológico.

Conclui-se que o uso de bioindicadores oferece não apenas informações precisas sobre a qualidade ambiental, mas também contribui para a educação e conscientização da sociedade sobre a importância da preservação dos ecossistemas. Pesquisas futuras devem buscar integrar diferentes tipos de bioindicadores e explorar abordagens interdisciplinares, a fim de fortalecer ainda mais sua aplicação em políticas públicas e práticas de gestão ambiental.

REFERÊNCIAS

AGRO INSIGHT. Uso de nematoides como bioindicadores de qualidade ambiental. Disponível em: <https://agroinsight.com.br/uso-de-nematoides-como-bioindicadores-de-qualidade-ambiental/>. Acesso em: 7 jul. 2024.

ANDRÉA, M. M. de. Bioindicadores ecotoxicológicos de agrotóxicos. Infobibos, 2008. Disponível em: https://www.infobibos.com.br/artigos/2008_4/bioindicadores/index.htm. Acesso em: 28 jan. 2024.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 mar. 2005. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 28 set. 2024.

CAMACHO, Maria João et al. Conhecer e melhorar o solo para a sustentabilidade dos sistemas hortícolas: Projeto MaisSolo - Parte 2: bioindicadores para avaliação do status do solo. 1. Indicadores microbiológicos. [s.d.]. [Instituição não especificada]. Disponível em: PDF. Acesso em: 7 jul. 2024.

CETESB. Qualidade do solo: Bioindicadores. [S.l.: s.n.], [s.d.]. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/solo/bioindicadores/>. Acesso em: 04 nov. 2024.

EMBRAPA. Análise de dados em estudos de diversidade de nematoides. 2004. Documento institucional – EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. PDF. Acesso em: 7 jul. 2024.

Figura 4 – Funções ecológicas dos nematoides no solo. Acesso em: 7 jul. 2024. FRANÇA, Juliana Silva. Conferência: 5ª Reunião de Estudos Ambientais; II Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis. Porto Alegre: Universidade Federal de Minas Gerais, março de 2015. v. 1, p. 62. Disponível em: PDF. Acesso em: 25 jan. 2024.

FRANÇA, Juliana. Monitoramento ambiental participativo de qualidade de água: a comunidade escolar como parceira na conservação de biodiversidade. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/280977735_monitoramento_ambiental_participativo_de_qualidade_de_agua_a_comunidade_escolar_como_parceira_na_conservacao_de_biodiversidade. Acesso em: 25 jan. 2024.

GOULART, Michael Dave C.; CALLISTO, Marcos. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. 2003. p. 9. PDF. Acesso em: 25 jan. 2024.

LEITE, Izabela Tassar Évora; CARVALHO, Júlia Pimenta Melo; CAMARGOS, Ludmila Maria Gonçalves Godoi de; CARVALHO, Grazielle Wolff de Almeida. Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade da água em uma lagoa do IFMG - campus Bambuí. In: II SEMINÁRIO DOS ESTUDANTES DE PÓS-GRADUAÇÃO, 2016, Bambuí. Anais [...]. Bambuí: Instituto Federal de Minas Gerais, 2016. PDF. Acesso em: 25 jan. 2024

MUNZI, S.; GOUVEIA, C. Perguntem aos líquenes. Revista Ciência Elementar, v. 6, n. 1, p. 008, 2018.

DOI: 10.24927/rce2018.008. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2018/008/>. Acesso em: 31 jan. 2024.

MUNZI, Silvana. Estrutura reprodutiva do líquen: onde é possível observar as células da alga, do fungo, bem como dos esporos fúngicos. Ampliação: 40 vezes. In: Perguntem aos líquenes. Rev. Ciência Elem., v. 6, n. 1, 2018. p. 2. PDF. Acesso em: 31 jan. 2024.

MARTINS, Suzana Maria de Azevedo; KÄFFER, Márcia Isabel; LEMOS, Alessandra. Líquens como bioindicadores da qualidade do ar numa área de termoelétrica, Rio Grande do Sul, Brasil. *Hoehnea*, v. 35, n. 3, p. 425-433, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2236-89062008000300011> PDF Acesso em: 7 jul. 2024.

NIEMI, Gerald J.; MCDONALD, Michael E. Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 35, 2004, p. 89–111. JSTOR, PDF Acesso em: 16 jan. 2024.

SILVA, J.; CALLISTO, M. Estação 3: bioindicadores bentônicos de qualidade de água. 2019, p. 185-233. PDF

SILVEIRA, M. P.; QUEIROZ, J. F. de; BOEIRA, R. C. Protocolo de coleta e preparação de amostras de macroinvertebrados bentônicos em riachos. Comunicado Técnico, 19.

TIHOHOD, D. Nematologia agrícola aplicada. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 372 p. PDF Acesso em: 25 jan. 2024

HEPP, Luiz Ubiratan; MILESI, Silvia Vendruscolo; BIASI, Cristiane; RESTELLO, Rozane Maria. Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade das águas. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS. *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Bento Gonçalves: ABRH, 2011. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/1c925f9b006f85585604645801df04b7_a807c339a9eb447e2652d004e284a041.pdf. Acesso em: 14 dez. 2024.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais Osvaldo e Ilda, que foram e sempre serão minha base e inspiração; em especial à minha mãe, *in memoriam*, que sempre acreditou nos meus sonhos e cujo amor permanece em cada conquista minha. À minha irmã Cristiane Ruy, pelo carinho e por ser uma presença constante em minha vida, aos amigos Amanda, Adalgisa, Daniel, Madeleise, Yan, que estiveram ao meu lado durante cada etapa desta caminhada e ao meu noivo Daniel Rosa, que com paciência e encorajamento foi meu alicerce. Aos meus sogros Arinete e Paulo, que me acolheram com carinho e apoio ao longo desse percurso.

A todos os professores que, com dedicação e conhecimento, contribuíram de forma significativa para minha formação. Em especial, agradeço ao meu orientador, Celso Antônio Jardim, e à minha coorientadora, Maria Aparecida Bovério, pela paciência, orientação e incentivo em todos os momentos, ajudando-me a superar os desafios e a trilhar um caminho de autoconhecimento e crescimento. Agradeço também à Fatec, que se tornou uma segunda casa para mim, oferecendo suporte e sendo o palco de tantas experiências que levarei para a vida.

APÊNDICE A – TERMO DE ORIGINALIDADE

TERMO DE ORIGINALIDADE

Eu, Tatiane Cristina de Oliveira, RG 49713763-X, CPF 43937563806, declaro ou declaramos que o artigo intitulado **bioindicadores e seu papel fundamental na avaliação de impactos ambientais**, é **ORIGINAL**. Declaro ou Declaramos que li ou lemos e estamos cientes sobre as normas de publicação na Revista Ciência & Tecnologia da Fatec-JB, que orienta sobre as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), para evitar o uso do plágio. Portanto, estou ciente ou estamos cientes das consequências legais cabíveis em caso de detectado PLÁGIO (Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, que altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais, publicada no D.O.U. de 20 de fevereiro de 1998, Seção I, pág. 3) e assumo integralmente quaisquer tipos de consequências, em quaisquer âmbitos, oriundas desse artigo, objeto desse termo de originalidade.

Jaboticabal/SP, 26 de outubro de 2024.

Documento assinado digitalmente



TATIANE CRISTINA DE OLIVEIRA

Data: 26/10/2024 11:19:37-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Tatiane Cristina de Oliveira