

A CONTRIBUIÇÃO DOS BIOINDICADORES VEGETAIS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL E NA MONITORIZAÇÃO DOS ECOSISTEMAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA.

THE CONTRIBUTION OF PLANT BIOINDICATORS IN THE ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY AND IN THE MONITORING OF ECOSYSTEMS: A SYSTEMATIC REVIEW.TITULO

LA CONTRIBUCIÓN DE LOS BIOINDICADORES VEGETALES EN LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL Y EN EL SEGUIMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA.

Maria Eduarda de Souza Oliveira

Graduando em Ciências Biológicas. Universidade Estadual de Alagoas (UNEAL). E-mail:
souzaoliveiramariaeduarda03@gmail.com | Orcid.org/0009-0002-8278-1869

Mayra Kaylane Silva

Graduando em Ciências Biológicas. Universidade Estadual de Alagoas (UNEAL). E-mail:
mayra.silva.2022@uneal.edu.br | Orcid.org/0009-0005-0248-3098

Daniel de Souza Santos

Mestre em Agricultura e Ambiente (PPGAA) e Doutorando pelo Programa de Proteção de Plantas do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias/ CECA (UFAL). E-mail:
daniel.biologo14@gmail.com | https://orcid.org/0000-0001-6230-2985

Rosineide Nascimento da Silva

Professora do Curso de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Alagoas (UNEAL), aluna de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal – PPGA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). E-mail:
rosineide.silva@uneal.edu.br | https://orcid.org/0000-0002-0197-2309.

RESUMO:

Ao longo do crescimento da humanidade, foram criadas cidades que, ao passar dos séculos, se desenvolveram e se expandiram. Entretanto, esse progresso veio acompanhado de impactos negativos na natureza. O presente estudo objetivou realizar uma revisão sistemática sobre o uso de bioindicadores vegetais, analisando sua eficácia e relevância na avaliação da qualidade ambiental e na monitorização de ecossistemas, visando fornecer uma análise abrangente sobre o assunto. Portanto, buscou-se reunir e analisar alguns trabalhos disponíveis eletronicamente, tendo como referência a metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Foram encontrados 45 trabalhos presentes nas plataformas *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) e *Google Scholar*. Nessa perspectiva, a escolha qualitativa dos trabalhos ocorreu através da leitura do título e do resumo, e após a aplicação dos critérios de exclusão e inclusão, restaram 10 desses trabalhos. Os resultados refletem a amplitude e a profundidade da pesquisa realizada, bem como os critérios aplicados na seleção dos trabalhos para a revisão. A pesquisa desempenha um papel fundamental ao identificar lacunas de conhecimento sobre a utilidade dos indicadores biológicos vegetais na monitorização ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Impactos ambientais; Monitorização de ecossistemas; PRISMA; Bioindicadores.

ABSTRACT:

Throughout the development of humankind, cities were created that, over the centuries, have grown and expanded. However, this progress has been accompanied by negative impacts on nature. The present study aimed to conduct a systematic review on the use of vegetables bioindicators, analyzing their effectiveness and relevance in assessing environmental quality and monitoring ecosystems, with the goal of providing a comprehensive analysis of the subject. Therefore, the study sought to gather and analyze electronically available papers, using the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) methodology as a reference. A total of 45 papers from the Scientific Electronic Library Online (SciELO) and Google Scholar platforms were found. From this perspective, the qualitative selection of the studies was based on reading their titles and abstracts. After applying inclusion and exclusion criteria, 10 papers remained. These results reflect the breadth and depth of the research conducted, as well as the criteria applied in the selection of studies for the review. The research plays a key role in identifying knowledge gaps regarding the usefulness of plant-based biological indicators in environmental monitoring.

KEYWORDS: Environmental impacts; Ecosystem monitoring; PRISMA; Bioindicators.

RESUMEN:

lo largo del desarrollo de la humanidad, se han creado ciudades que, con el paso de los siglos, han crecido y se han expandido. Sin embargo, este progreso ha venido acompañado de impactos negativos sobre la naturaleza. El presente estudio tuvo como objetivo realizar una revisión sistemática sobre el uso de bioindicadores vegetales, analizando su eficacia y relevancia en la evaluación de la calidad ambiental y en la monitorización de los ecosistemas, con el fin de proporcionar un análisis integral sobre el tema. Por lo tanto, se buscó reunir y analizar trabajos disponibles electrónicamente, utilizando como referencia la metodología Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Se encontraron 45 trabajos de las plataformas Scientific Electronic Library Online (SciELO) y Google Scholar. Desde esta perspectiva, la selección cualitativa de los trabajos se realizó mediante la lectura del título y del resumen, y tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, quedaron 10 trabajos. Estos resultados reflejan la amplitud y profundidad de la investigación realizada, así como los criterios aplicados en la selección de los estudios para la revisión. La investigación desempeña un papel fundamental al identificar lagunas de conocimiento sobre la utilidad de los indicadores biológicos vegetales en la monitorización ambiental.

Palabras clave: Impactos ambientales; Monitoreo de ecossistemas; PRISMA; Bioindicadores.

INTRODUÇÃO

Durante o curso da história humana, cidades foram estabelecidas e ao longo dos séculos cresceram e se expandiram. Entretanto, esse progresso veio acompanhado de impactos negativos causados na natureza e em ecossistemas à sua volta. Praticamente não existe um ecossistema no mundo que não tenha sido afetado pelo homem direta ou indireta (Prestes; Vincenci, 2019).

O sistema produtivo pressiona fortemente os recursos naturais para obter as matérias-primas necessárias para a fabricação de bens que impulsionam o crescimento econômico (Goulart; Callisto, 2003). Essas alterações podem levar a extinção de espécies importantes para o ecossistema onde vivem, afetando relações ecológicas e todo o globo (Didham, 1997).

Assim, no esforço para alcançar a sustentabilidade, torna-se essencial o estabelecimento de estratégias eficazes para avaliar e monitorar os impactos oriundos das atividades humanas sobre o ambiente e, para isso, é necessário adotar abordagens criteriosas que permitam uma avaliação mais precisa e consistente (Sutherland *et al.*, 2004).

Para avaliar os efeitos dessas atividades pode-se utilizar bioindicadores, os quais são um método acurado da avaliação de vários efeitos, como poluição, deposição de contaminantes e resíduos, manejo do solo e desmatamento, tendo a diversidade biológica e os organismos como parâmetros utilizados para se investigar eventos ambientais não naturais (Paoletti, 1999).

O monitoramento biológico inclui o uso de índices biológicos e multímetros, bem como uma variedade de protocolos de avaliação, que se baseiam na utilização de bioindicadores para avaliar a qualidade da água e do habitat, por exemplo, cujo levantamento e a análise de mudanças na diversidade e nos índices de diversidade de uma espécie, a contagem de organismos resistentes, a identificação de perda de espécies sensíveis, a avaliação da produtividade primária e secundária, a avaliação da sensibilidade a substâncias tóxicas por meio de ensaios ecotoxicológicos, entre outras técnicas (Barbour *et al.*, 1999), são essenciais para compreender e monitorar os efeitos ambientais, bem como para implementar medidas para conservação e gestão sustentável dos recursos naturais.

Nesse viés, do ponto de vista científico, trabalhos que se caracterizam pela elaboração de revisões sistemáticas podem ampliar e fortalecer o entendimento sobre determinados assuntos de interesse, como os indicadores biológicos vegetais, suas aplicações e eficácia.

Em termos sociais, a discussão sobre indicadores biológicos pode contribuir para melhorar a qualidade de vida ao favorecer ambientes mais saudáveis; sob a óptica acadêmica, pode fornecer uma base sólida para pesquisas futuras e educação ambiental; e, no âmbito econômico, pode auxiliar na otimização de

recursos em programas de monitoramento ambiental, prevenindo danos substanciais e os custos relacionados à degradação do ambiente (Zaghloul, 2020; Chowdhury, 2023). Portanto, através da revisão sistemática, busca-se reunir descobertas, reconhecer melhores práticas e influenciar futuras pesquisas e políticas ambientais (Abas, 2021a), principalmente, ao se considerar a crescente pressão humana sobre os ecossistemas globais, onde a capacidade de monitorar e avaliar objetivamente a qualidade ambiental torna-se vital para a conservação e o equilíbrio da biodiversidade (Holt; Miller, 2010).

Este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão sistemática sobre a eficácia e relevância dos bioindicadores vegetais na avaliação da qualidade ambiental e monitorização dos ecossistemas, visando fornecer uma análise abrangente sobre o assunto.

REFERENCIAL TEÓRICO

O constante desenvolvimento das áreas urbanas tem gerado diversos impactos devido às ações antrópicas sobre os recursos naturais, atividades como desmatamentos, poluição de rios, contaminação do lençol freático e a introdução de espécies exóticas contribuem para a perda da biodiversidade tanto de habitat como da diversidade natural (Preste; Vincenci, 2019).

A degradação do solo tem causado sérios problemas ambientais, como o empobrecimento da biodiversidade animal, o que resulta na desregularização dos ecossistemas terrestres, uma vez que a extinção em massa de espécies pode ser provocada pela modificação de seus habitats (Azevedo, 2004). Nesse cenário de crescente degradação, surge a necessidade de buscar métodos eficazes para avaliar a qualidade ambiental e monitorar os ecossistemas afetados (Wink *et.al.*, 2005). Dessa forma, os bioindicadores representados por espécies são essenciais na indicação de determinados fatores ecológicos, que podem atuar como um parâmetro ambiental (Mendes *et al.*, 2020).

Uma condição que pode atuar como bioindicador em um sistema é o estresse, seja biótico ou abiótico. Quando uma "força" é aplicada, o sistema reage manifestando deformação, que ocorre antes de qualquer dano, o qual, por sua vez, resulta de um nível excessivo dessa força que não pode ser mitigado (Csermely, 1998).

De acordo com Fränzle (2006), a aprimoração e resolução depende do reconhecimento de uma situação de estresse ambiental. O reconhecimento precoce desse estresse é fundamental para que as mudanças e danos não se tornem generalizados e óbvios. Nesta situação, identificar previamente padrões inesperados dentro de um ecossistema se torna uma prioridade.

Do um ponto de vista prático, os bioindicadores podem ser definidos como: Indicadores de efeito (ou reação), que são organismos que reagem rapidamente

ao estresse físico ou químico de maneira observável ou mensurável; Indicadores de acumulação, que dependendo de como absorvem e excretam substâncias, precisam ter uma capacidade significativa de resistir ao estresse, o que lhes permitem assimilar substâncias potencialmente prejudiciais por períodos prolongados (Fränzle, 2006).

A bioindicação pode ser classificada em duas categorias principais: ativa e passiva. A bioindicação ativa envolve a exposição controlada e deliberada de organismos cultivados, células ou estruturas biológicas a um ambiente por um determinado período, buscando representar uma gama de respostas taxonômicas e fisiológicas. Já a bioindicação passiva baseia-se na observação e análise das reações naturais de organismos nativos submetidos a estressores ambientais, permitindo a identificação de alterações nos ecossistemas ao longo do tempo (Markert, Breure e Zechmeister, 2003).

Ao considerar essas diferentes perspectivas, indicadores em diferentes níveis de organização biológica podem fornecer mais informações sobre o ecossistema, tornando-se um método abrangente que permite uma análise mais completa e precisa dos impactos potenciais ao ambiente (Clements, 2000). Com o uso estratégico de determinados indivíduos, é possível obter informações importantes sobre a saúde do ambiente, identificar possíveis impactos e embasar decisões cruciais para a conservação e o manejo ambiental sustentável. Portanto, o monitoramento baseado em bioindicadores, como os vegetais, desempenha um papel fundamental na gestão eficaz e sustentável dos recursos naturais (Arias, 2007).

METODOLOGIA

Essa revisão sistemática se baseou na metodologia adaptada de Costa *et al.* (2024), cujos autores utilizaram o modelo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) para determinar a inclusão e exclusão de trabalhos que foram encontrados nas seguintes bases de dados: *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) e *Google Scholar*.

Para a busca dos trabalhos nas bases de dados foram empregadas palavras-chaves, como: bioindicador, monitoramento por bioindicadores, monitorização dos ecossistemas, bioindicadores, *bioindicator, monitoring by bioindicators, monitoring ecosystems e bioindicators*.

A escolha qualitativa dos trabalhos aconteceu, inicialmente, através da leitura dos títulos e resumos. Além disso, as buscas ocorreram no período entre abril e junho de 2024. Após a seleção, os trabalhos foram submetidos a um sistema de filtragem. Segundo alguns critérios, determinados trabalhos foram excluídos, tais como: duplicidade, ausência de menção direta da espécie no resumo ou no título, não publicados no período 2014-2024, desvirtuamento do objeto direto

da pesquisa (bioindicadores vegetais), que não fossem artigos, dissertações e teses provenientes das bases de dados citadas acima.

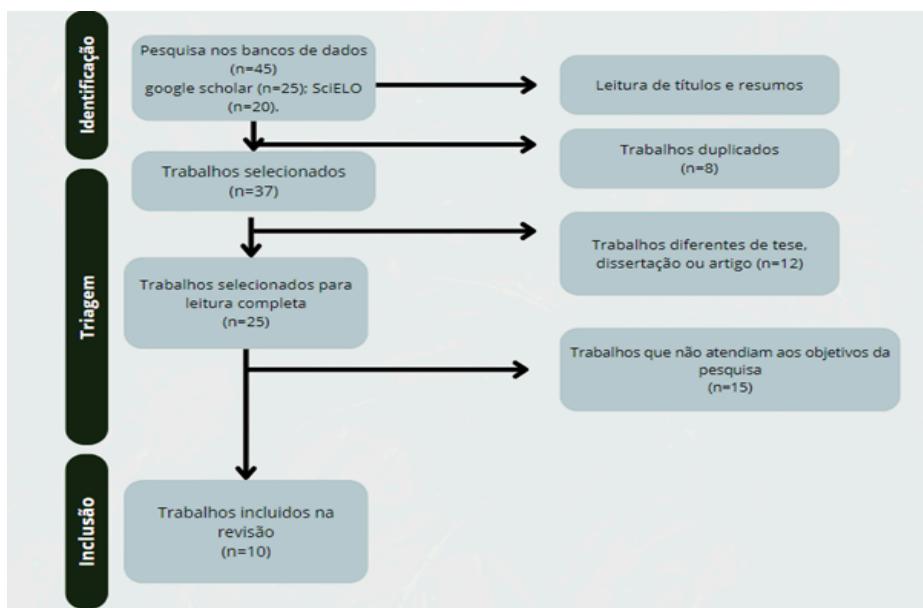
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados um total de 45 trabalhos nas bases de dados *Google Scholar* (20), SciELO (25), utilizando as palavras-chave supracitadas e termos associados ao tema proposto.

Após passarem por um processo de filtragem rigoroso, seguindo a metodologia PRISMA, 10 trabalhos foram selecionados para análise detalhada nesta pesquisa. Esses resultados refletem a amplitude e a profundidade da pesquisa realizada, bem como os critérios aplicados na seleção dos trabalhos para a revisão (Costa *et al.*, 2024). O uso da metodologia PRISMA assegurou a transparência e a consistência do processo de seleção, garantindo a qualidade e a relevância dos trabalhos selecionados para análise (Figura 1).

Após a aplicação dos filtros foram selecionados estudos que incluíam os seguintes bioindicadores vegetais: três de alface (*Lactuca sativa L.*), um de cebola (*Allium cepa*); um Clone KU-20 de *Tradescantia*; um sobre as espécies *Tillandsia usneoides*, *Tradescantia pallida*, *Nicotiana tabacum*, *Mangifera indica*, *Citrus sinensis*, *Daucus carota*, *Gladiolus* sp e a *Sphagnum* sp.; um sobre as espécies *Ulva australis*, *Zostera muelleri*, *Ruppia megacarpa*, *Eichhornia crassipes*, *Salvinia minima*, *Azolla caroliniana*, *Ludwigia stolonifera*, *Echinochloa stagnina*, *Phragmites australis*, *Ceratophyllum demersum*, *Rhodophyta* sp. (algas vermelhas), *Ochrophyta* sp. (alga marrom) e *Chlorophyta* sp. (alga verde); um sobre as espécies *Andropogon gayanus* Kunth cv. *Planáltina*, *Panicum maximum* Jacq. cv. *Colonião*, *Panicum maximum* Jacq. cv. *Tobiatã*, *Chloris gayana* Kunth, *Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees, *Paspalum notatum* Flug. cv. *Pensacola*, *Hiparrhenia rufa* (Nees.) Stapf., *Melinis minutiflora* Pal. de Beauv., *Brachiaria decumbens* Stapf., *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schw. e *Lolium multiflorum* ssp. *italicum* cv. *Lema*; e um sobre *Bougainvillea glabra* (paperflower). Assim sendo, totalizou-se 10 artigos sobre os bioindicadores vegetais (Tabela 1).

Figura 1 – Diagrama de fluxo de inclusão ou exclusão de trabalho



Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

O uso de ferramentas ecológicas para monitoramento ambiental, tem colaborado em diversas áreas, como por exemplo, a sensibilidade de *Lactuca sativa* a herbicidas alinha-se com estudos globais que destacam sua aplicação em avaliações de risco ecotoxicológico (Zaghoul, 2020). Já a espécie *Tillandsia usneoides*, amplamente utilizada no Brasil, emerge como alternativa viável a sensores eletrônicos para monitorar PM_{2,5} (Material Particulado Fino) em centros urbanos (Figueiredo et al., 2007).

A especificidade limitada de bioindicadores como *Allium cepa* que responde a múltiplos estressores químicos, exige combinação com análises químicas para evitar falsos positivos (Smith et al., 2012). Além disso, fatores abióticos (ex: pH do solo) influenciaram a absorção de metais por *Eichhornia crassipes*, limitando sua aplicação em ambientes dinâmicos (Mishra et al., 2008).

Tabela 1 – Bioindicadores na avaliação da qualidade ambiental e monitorização dos ecossistemas.

Espécie	Tipo de bioindicador	Parâmetros avaliados	Resultados principais	Autores
Aroeira mansa (<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi).	Bioindicadores da qualidade ambiental	A facilidade na realização de ensaio, baixo custo, sensibilidade na indicação qualitativa da presença de substâncias tóxicas ou inibidores biológicos (existindo espécies mais sensíveis que outras), reprodutibilidade do experimento, ausência de sazonalidade, sementes facilmente adquiridas no comércio, pequeno volume de amostra, rápida germinação e por terem boa correlação com outros sistemas teste.	Concluiu-se que as substâncias presentes no extrato das folhas e flores da aroeira mansa têm potencial para estudos como insumos na agricultura.	Da Rosa; Freitag; Bobrowski (2023).
Alface (<i>Lactuca sativa</i> L.)	Bioindicadores vegetais para avaliação de	Destaca-se a utilização de vegetais, que são considerados mais sensíveis e simples em relação aos estudos com animais e que por apresentarem	Por meio de avaliações das atividades específicas das enzimas guaiacol peroxidase (GPOX) e	Fermino (2022).

	toxicidade de Zn e Cu no solo.	características desejáveis como rapidez no crescimento, baixo custo, alta sensibilidade e boa correlação com modelos animais, estão sendo amplamente utilizados em estudos de prospecção de efeitos de poluentes ambientais.	ascorbato peroxidase (APX), não foi possível verificar se houve danos causados pelos tratamentos utilizados.	
Alface (<i>Lactuca sativa L.</i>)	Bioindicador da fitotoxicidade e a citogenotoxicidade do óleo essencial do alecrim.	Foi avaliado potencias citogenotóxico, antiproliferativo e alelopático do óleo essencial de alecrim sobre células meristemáticas de alface como bioindicador.	Os resultados obtidos neste experimento evidenciaram a presença de compostos alelopáticos no óleo de alecrim.	Santos; Freitag; Bobrowski (2023).
Clone KU-20 de <i>Tradescantia</i>	Bioindicador da poluição.	O progressivo crescimento de poluentes e resíduos liberados.	Quanto maior a frequência de células afetadas, maior é a intensidade da poluição. O fato da planta não apresentar mutações, significa que o nível de poluição no ambiente não é agressivo aos seres vivos.	Santos <i>et al.</i> (2014).
Cebola (<i>Allium cepa</i>)	Biomonitoramento.	Realizou-se a avaliação do potencial genotóxico de águas do Rio da Antas no perímetro urbano do município de Irati-PR e com o auxílio de imagens orbitais fusionadas de alta resolução do satélite	Os resultados confirmaram a notável interferência antrópica ao ecossistema, bem como, a importância da APP na	Sieklicki <i>et al.</i> (2019).

		Geoeye, buscou-se possíveis relações com o uso e ocupação da terra do entorno deste rio.	preservação e qualidade do recurso hídrico.	
<i>Tillandsia usneoides,</i> <i>Tradescantia pallida,</i> <i>Nicotiana tabacum,</i> <i>Mangifera indica,</i> <i>Citrus sinensis,</i> <i>Daucus carota,</i> <i>Gladiolus sp e a</i> <i>Sphagnum sp.</i>	Bioindicadores da poluição atmosférica .	Algumas espécies vegetais das divisões angiospermas, briófitas e líquens, que poderiam ser utilizadas como bioindicadores da poluição atmosférica no Município de Camaçari, Estado da Bahia.	Os resultados obtidos mostraram que <i>Tillandsia usneoides</i> , <i>Tradescantia pallida</i> , <i>Nicotiana tabacum</i> , <i>Mangifera indica</i> , <i>Citrus sinensis</i> , <i>Daucus carota</i> , <i>Gladiolus sp</i> e <i>Sphagnum sp</i> seriam as espécies mais adequadas para o controle da qualidade do ar no município de Camaçari por encontrarem fatores climáticos como temperatura e luminosidade mais favoráveis ao seu desenvolvimento por conseguirem maior adaptação e cultivo para as condições de solo.	Rodrigues; Soriano; Montenegro (2020).
<i>Ulva australis,</i> <i>Zostera muelleri,</i> <i>Ruppia megacarpa,</i> <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Salvinia minimos</i> , <i>Azolla</i>	Bioindicadores da poluição de água.	Potencial para atuarem como bioindicadores, sendo boas candidatas para processos de fitorremediação, devido ao seu potencial para acumular altas concentrações de metais pesados, podendo ser utilizadas em avaliações de impacto ambiental, tais como avaliações da qualidade da	Mostra-se uma alternativa viável e sustentável para o tratamento de corpos hídricos poluídos.	Bernardo (2023).

<i>caroliniana</i> , <i>Ludwigia</i> <i>stolonifera</i> , <i>Echinochloa</i> <i>stagnina</i> , <i>Phragmites</i> <i>australis</i> , <i>Ceratophyllum</i> <i>demersum</i> , <i>Rhodophyta</i> sp. (algas vermelhas), <i>Ochrophyta</i> sp. (alga marrom) e <i>Chlorophyta</i> sp. (alga verde)		água.		
Alface crespa <i>(Lucy Brown)</i>	Bioindicadores do solo.	Pontos coletados foram georreferenciados, coletados em profundidade de 0–20 cm, realizadas análises microbiológicas, biomassa microbiana do carbono e nitrogênio, desidrogenase, respiração e coeficiente microbiano.	Os atributos da planta bioindicadora e a análise microbiana do solo demonstram as áreas agrícolas avaliadas e o índice de qualidade do solo. O coeficiente metabólico e o N da biomassa microbiana,	Oikawa; Custódio; Araújo (2021).

			apresentam-se como um dos maiores valores de covariância pela análise multivariada.	
<i>Andropogon gayanus</i> Kunth cv. <i>Planaltina</i> , <i>Panicum maximum</i> Jacq. cv. <i>Colonião</i> , <i>Panicum maximum</i> Jacq. cv. <i>Tobiatã</i> , <i>Chloris gayana</i> Kunth, <i>Eragrostis curvula</i> (Schrad.) Nees, <i>Paspalum notatum</i> Flug. cv. <i>Pensacola</i> , <i>Hiparrhenia rufa</i> (Nees.) Stapf., <i>Melinis minutiflora</i> Pal. de Beauv., <i>Brachiaria decumbens</i> Stapf., <i>Brachiaria humidicola</i> (Rendle) Schw. e <i>Lolium</i>	Bioindicadores de flúor em regiões tropicais.	Avaliar a sensibilidade relativa e o potencial bioindicador de cada espécie para regiões tropicais.	Os resultados obtidos caracterizam o <i>Panicum maximum</i> cv. <i>Colonião</i> como bioindicador de resposta e <i>Chloris gayana</i> como espécie tolerante, semelhante a <i>L. multiflorum</i> .	Oliva; Figueiredo (2005).

<i>multiflorum</i> ssp. <i>italicum</i> cv. Lema				
<i>Bougainvillea glabra</i> (paperflower)	Bioindicadores e biomarcadores de poluição industrial.	Amostras de ar, água e solo associadas a <i>B. glabra</i> amostradas em áreas industriais e residenciais também foram analisadas quanto à presença de compostos fenólicos, flavonóides, metais e material particulado.	A poluição tem efeitos significativos nos níveis totais de fenólicos, flavonóides e metais em <i>B. glabra</i> .	Azzazy (2020).

Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

Segundo Oliveira et al. (2020), o uso de bioindicadores vegetais em ações de monitoramento ambiental tem se mostrado uma estratégia eficiente e de baixo custo, contribuindo para a elaboração de políticas públicas voltadas à recuperação de áreas degradadas e à promoção da sustentabilidade em diferentes regiões do Brasil. Socialmente, o uso de espécies nativas (ex: *Bougainvillea glabra*) em projetos de ciência cidadã fortalece a conscientização ambiental (Abas, 2021b).

Diferentes espécies e, até mesmo, indivíduos dentro da mesma espécie, apresentam respostas variadas a diferentes tipos de estresse. Por exemplo, nos trabalhos de Santos, Freitag e Bobrowski (2023) e Oikawa, Custódio, Araújo (2021), é possível perceber que em ambos os estudos conduzidos a alface (*Lactuca sativa L.*), apresentou respostas ao estresse a que foi submetido. No entanto, Fermino (2022) não conseguiu verificar se houve danos na alface causados pela toxicidade de zinco (Zn) e cobre (Cu) no solo.

Em estudos como o de Kateivas *et al.* (2022), três espécies de plantas bioindicadoras, *Psidium cattleianum Sabine*, *Lolium multiflorum Lam.*, e *Mangifera indica L.*, foram analisadas quanto às suas alterações morfofisiológicas e anatômicas causadas pelo NO atmosférico_x e SO₂. Os resultados mostraram que a área foliar total, a quantidade de folhas e a massa seca das folhas, caule e raiz foram menores em *P. cattleianum* e *L. multiflorum*, e maiores em *M. indica*. No entanto, a massa seca do caule e da raiz não apresentou diferença entre os tratamentos. Os dados obtidos corroboram a afirmação de que, ao serem submetidos ao mesmo estresse em determinado ambiente, diferentes espécies vegetais podem apresentar variadas respostas. Todavia, ressalte-se que é necessária a discussão sobre a necessidade de se buscar parametrização desses bioindicadores, indicando suas possíveis aplicações.

A aplicação de bioindicadores vegetais demonstra ser eficaz em diversos ambientes, abrangendo desde áreas agrícolas até ecossistemas aquáticos. Além de seu uso prático, esses bioindicadores têm o potencial de promover a conscientização ambiental e educar sobre a importância da biodiversidade e da sustentabilidade (Oliveira et. al., 2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão sistemática apresentada evidencia a importância dos bioindicadores vegetais na avaliação e monitorização da qualidade ambiental. Esses, são ferramentas essenciais para identificar as alterações ambientais, oferecendo uma visão integrada das mudanças naturais nos ecossistemas. Certas espécies

Como citar este artigo:

SILVA, M. A.; ALMEIDA, P. S.; COSTA, J. Proposta de Projeto Gráfico para a Revista “Desafios”: um modelo de formatação em Microsoft Word. **Desafios. Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins.** Palmas, v. 4, n. 1, p. 19-29, 2023. DOI: <https://doi.org/00.00000/ama.v4i3.168715>

vegetais têm a capacidade de refletir as condições ambientais específicas, o que permite a detecção rápida de degradação e a orientação de medidas para conservação e recuperação do meio ambiente.

Os estudos revisados demonstram que a aplicação dos bioindicadores vegetais é eficaz em diferentes ambientes, incluindo os ecossistemas agrícolas e aquáticos. Além disso, a utilização destes, podem aumentar a consciência ambiental e a educação ao demonstrar de forma concreta como as mudanças no ambiente afetam a biodiversidade e a sustentabilidade, auxiliando na busca da sensibilização da sociedade quanto a importância da conservação e do manejo adequado dos ecossistemas.

No entanto, a implementação prática dos bioindicadores vegetais requer uma abordagem integrada que leve em consideração a diversidade ecológica, a especificidade regional e os objetivos de monitorização. Além disso, existem áreas de pesquisa ainda a serem exploradas, como a padronização dos métodos de coleta e análise de dados vegetais, a adaptação dos bioindicadores a diferentes ecossistemas e a avaliação da sensibilidade dos indicadores vegetais a diferentes estresses ambientais. A colaboração interdisciplinar e o desenvolvimento de protocolos padronizados são essenciais para superar esses desafios, melhorar a validade e a comparabilidade dos resultados obtidos.

Agradecimentos

À Universidade Estadual de Alagoas (UNEAL) pelo suporte institucional, que possibilitou a realização deste estudo e, sobretudo, aos revisores deste trabalho que contribuíram com a melhoria do mesmo.

Referências Bibliográficas

- ABAS, A. A systematic review on biomonitoring using lichen as the biological indicator: A decade of practices, progress and challenges. *Ecological Indicators*, v. 121, p. 107197, 2021a.
- ABAS, A. Citizen science and environmental policy: A synergy for biodiversity conservation. *Frontiers in Ecology and Evolution*, v. 9, p. 654321, 2021b.
- A.M.G. Figueiredo, C.A. Nogueira, M. Saiki, F.M. Milian, M. Domingos, Assessment of atmospheric metallic pollution in the metropolitan region of São Paulo, Brazil, employing *Tillandsia usneoides* L. as biomonitor, *Environmental Pollution*, Volume 145, Issue 1, 2007, Pages 279-292, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.03.010>.
- ARIAS, A.; BUSS, D.; ALBUQUERQUE, C.; INÁCIO, A. F.; FREIRE, M. M.; EGLER, M.; MUGNAI, R.; BAPTISTA; D. F. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 12, p. 61-72, 2007.
- AZEVEDO, A.C. de. **Funções ambientais do solo.** In: AZEVEDO, A.C.de.; DALMOLIN, R.S.D.; PEDRON, F.de A. (Org.). Fórum Solos e ambiente 1., 2004, Santa Maria: Pallotti, 2004. p. 7-22.

AZZAZY, M. F. Bioindicadores vegetais de poluição na cidade de Sadat, Delta do Nilo Ocidental, Egito. **PLoS One**, v. 3, p. e0226315, 2020.

BARBOUR, Michael T.; GERRITSEN, Jan; SNYDER, Blake D.; STRIBLING, James B. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish. 2. ed. Washington, D.C.: U.S. **Environmental Protection Agency**, 1999.

BERNARDO, Nathali Silva. O uso de macrófitas aquáticas como bioindicadores vegetais de poluição da água. 2023.

CHOWDHURY, S.; DUBEY, V.R., CHOUDHURY, S.; DAS, A.; JEENGAR, D.; SUJATHA, B.; KUMAR, A.; KUMAR, N.; SEMWAL, A.; KUMAR, V. Insects as bioindicator: A hidden gem for environmental monitoring. **Frontiers in Environmental Science**, v. 11, 2023.

CLEMENTS, W. H. Integrating effects of contaminants across levels of biological organization: an overview. **Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery**, v. 7, p. 113-116, 2000.

COSTA, M.D.; COSTA, A.C.B.; SANTOS, D.S.; GALDINO, W.O.; SOUSA, J. I; SILVA, D. M. R. Expressão de genes responsivos ao déficit hídrico em plantas do semiárido brasileiro: uma revisão sistemática. **Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 1, p. 7259-7278, 2024.

CSERMELY, P. Stress of Life from Molecules to Man. **Annals of New York Academy of Sciences**, vol. 851. New York, 1998.

DA ROSA, N.F. FREITAG, R.A.; BOBROWSKI, V.L. Bioatividade de extratos etanólicos e aquoso de folhas e flores *Schinus terebinthifolia* Raddi sobre bioindicador vegetal. **Scientia Plena**, v. 12, 2023.

DIDHAM, R. The influence of edge effects and forest fragmentation on leaf litter invertebrates in central Amazonia. In: LAURANCE, W. F.; BIEREGAARD JUNIOR, R. O. (Eds.). **Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities**. Chicago: University of Chicago Press, 1997. p. 55-70.

FERMINO, B. *et al.* **Lactuca sativa** L.: Bioindicador Vegetal Para Avaliação De Toxicidade De Zn e Cu. 2022.

FRÄNZLE, O. Complex bioindication and environmental stress assessment. **Ecological indicators**, v. 6, n. 1, p. 114-136, 2006.

GOULART, M. D. C.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, v. 2, n. 1, p. 156-164, 2003.

HOLT, E. A.; MILLER, S. *et al.* Bioindicators: Using organisms to measure environmental impacts. **Nature Education Knowledge**. 2010.

KATEIVAS, K.S.B.; CAIRO, P.A.R.; NEVES, P.H.S; RIBEIRO, R.S.S; MACHADO, L. M.; LEITÃO C.A.E. The impact of NO_x and SO₂ emissions from a magnesite processing industry on morphophysiological and anatomical features of plant bioindicators. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 44, n. 8, p. 77, 2022.

MARKERT, B.; BREURE, A. M.; ZECHMEISTER, H. G. **Bioindicators and biomonitoring: principles, concepts and applications**. Amsterdam: Elsevier, 2003.

MENDES, M. P.; DUARTE, M. N.; RODRIGUES, W. C. Levantamento de insetos com potencial bioindicador de qualidade ambiental em fragmento de floresta Atlântica no estado do Rio de Janeiro. **Entomology Beginners**, [S. l.], v. 1, p. e001, 2020.

MISHRA, A. *et al.* Influence of soil pH on heavy metal accumulation by *Eichhornia crassipes* in dynamic aquatic environments. **Journal of Environmental Management**, v. 88, n. 4, p. 789-798, 2008.

OIKAWA, R. T.; CUSTÓDIO, A. S.; ARAÚJO, F. F. Validação de índice de qualidade do solo em solo utilizando planta bioindicadora. **Colóquio Agrariae**. p. 59-69. 2021.

OLIVA, M.A.; FIGUEIREDO, J.G. Gramíneas bioindicadoras da presença de flúor em regiões tropicais. **Brazilian Journal of Botany**, v. 28, p. 389-397, 2005.

OLIVEIRA, M. A.; SOUZA, G. S.; SANTOS, C. R.. Bioindicadores vegetais como ferramenta para educação ambiental: uma revisão integrativa. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, 2020.

PAOLETTI, M. G. Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability. **Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes**. Elsevier, p. 1-18, 1999.

PRESTES, R. M.; VINCENCI, K. L. Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental/Bioindicators as environmental impact assessment. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, 2019.

RODRIGUES, R. B. CARAMANTIN-SORIANO, H.; MONTENEGRO, J.S. Uso de Bioindicadores Vegetais no Monitoramento da Qualidade do Ar no Município de Camaçari-BA. **Revista Internacional de Ciências**, v. 10, n. 1, 2020.

SANTOS, A. P. M. et al. *Tillandsia usneoides* as a low-cost biomonitor of PM_{2,5} in urban environments: A case study in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 15, p. 21845-21856, 2022.

SANTOS, J. K.; FREITAG, R.A.; BOBROWSKI, V.L. Avaliação do potencial antiproliferativo e alelopático do óleo essencial de alecrim sobre bioindicador vegetal. **International Multilingual Journal of Science and Technology (IMJST)**, Vol. 8 Issue 4, April – 2023.

SIEKLICKI, J. et al. Relações pontuais entre o uso e ocupação da terra e a qualidade da água obtida pela avaliação dos efeitos genotóxicos em bioindicadores vegetais. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, p. e2299, 2019.

SMITH, J. et al. Limitations of *Allium cepa* as a bioindicator: Multistressor responses and the need for complementary chemical analyses. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 31, n. 5, p. 1023-1030, 2012.

SUTHERLAND, W.J., PULLIN, A.S., DOLMAN, P.M., & KNIGHT, T.M. The need for evidence-based conservation. **Trends in Ecology & Evolution**, 2004.

WINK, C.; GUEDES, J. V. C.; FAGUNDES, C. K.; ROVEDDER, A. P. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages**, v. 4, n. 1, p. 60–71, 2005.

ZAGHLOUL, A.; SABER, M.; GADOW, S.; AWAD, F. Biological indicators for pollution detection in terrestrial and aquatic ecosystems. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 44, p. 1-11, 2020.