



BIOINDICADORES DO REINO *ANIMALIA* SOBRE A QUALIDADE AMBIENTAL: REVISÃO FOCADO NOS ANIMAIS DO CERRADO

FABRÍCIO ALVES RODRIGUES; FELIPE JAKOBY SOUSA; TARICK GABRIEL
ALMEIDA DE MORAIS; GEOVANNA HELENA CRUZ COELHO; ANA VITÓRIA
ALVES-SOBRINHO

RESUMO

Esta revisão científica teve como objetivo avaliar os bioindicadores de saúde ambiental no ecossistema do Cerrado, focando em diferentes metodologias e organismos animais utilizados para detectar poluentes e monitorar a qualidade ambiental. Justifica-se a necessidade deste estudo pela crescente pressão antrópica sobre o Cerrado, um dos biomas mais biodiversos e antropizado pela agricultura. A revisão resultou em estudos que utilizaram análises de micronúcleos e alterações nos eritrócitos em anfíbios, aves, répteis, morcegos e peixes, bem como a diversidade populacional de insetos como libélulas e besouros, para identificar a presença de poluentes como agrotóxicos, metais pesados e impactos de atividades urbanas e agrícolas. Os resultados indicam que a detecção de micronúcleos e alterações hematológicas é um método sensível para monitorar a contaminação por agrotóxicos, com impactos significativos observados em *Physalaemus cuvieri*, *Scinax fuscovarius*, *Antilophia galeata*, *Basileuterus culicivorus*, e *Ara ararauna*. Os estudos sobre metais pesados mostraram alterações genotóxicas em *Carollia perspicillata*, *Glossophaga soricina* e *Tropidurus torquatus*, refletindo a poluição por alumínio, zinco e outros metais. Indicadores positivos de reestruturação ecológica foram identificados através da recuperação da diversidade de *Drosophila* e besouros escarabeíneos em áreas reflorestadas e pós-incêndio, respectivamente, destacando a importância de práticas sustentáveis de manejo. A poluição urbana foi monitorada através de alterações em peixes de riachos do Cerrado e aves em áreas urbanas, ressaltando a necessidade de políticas públicas para controle da poluição do ar e da água. A diversidade de libélulas foi utilizada como indicador da saúde dos habitats vegetais, revelando a perda de biodiversidade em áreas afetadas pela degradação ambiental. Conclui-se que os bioindicadores são ferramentas essenciais para o monitoramento contínuo e eficaz da saúde ambiental do Cerrado, permitindo a detecção precoce de poluentes, a avaliação de técnicas de restauração e a implementação de políticas de conservação. A adoção de programas de monitoramento ecológico é crucial para a preservação e sustentabilidade deste bioma frente aos desafios ambientais atuais.

Palavras-chave: Bioindicador; Meio Ambiente; Saúde Ambiental; Animal; Conservação Ambiental.

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado, conhecido por sua riqueza em flora e fauna, enfrenta ameaças significativas devido à expansão agrícola, urbanização descontrolada e práticas de manejo insustentáveis (SAWYER et al., 2018). Essas atividades humanas têm resultado em perda de habitat, fragmentação de ecossistemas e degradação do solo, levando a consequências adversas para a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (SANTOS, 2021). Neste contexto, o uso de

bioindicadores ambientais surge como uma abordagem promissora para avaliar a qualidade ambiental e detectar mudanças ecológicas no Cerrado.

Para os estudos do meio ambiente, os bioindicadores são utilizados como uma ferramenta valiosa para avaliar a saúde de um ecossistema. Essencialmente, bioindicadores são organismos ou processos biológicos que dão informações sobre a qualidade ambiental e ajudam pesquisadores a avaliar as mudanças ao longo do tempo, estende-se a vários domínios de monitorização ambiental, incluindo avaliação da poluição, avaliação da biodiversidade, análise da saúde do solo e monitorização da qualidade da água (CALLISTO et al., 2001; MAGALHÃES; FERRÃO FILHO, 2008; MIRANDA, 2018; PRESTES; VINCENCI, 2019). Eles podem ser classificados como bioindicadores vegetais, animais e microbianos.

Os animais também desempenham um papel significativo na monitorização ambiental. Os seus comportamentos, dinâmica populacional e respostas fisiológicas podem refletir mudanças na qualidade do habitat, nos níveis de poluição e na saúde do ecossistema (STARK, 2022; NASCIMENTO, 2023).

Este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão bibliográfica científica sobre estudos existentes onde animais silvestres atuam como bioindicadores, diretos ou indiretos, da saúde do meio ambiente no bioma Cerrado. Pretende-se fornecer uma compreensão abrangente dos principais animais utilizados como indicadores da qualidade ambiental neste ecossistema, destacando sua importância na avaliação e impactos no ecossistema do Cerrado. Com objetivo específico identificar as espécies animais mais comumente usadas como bioindicadores no Cerrado e discutir suas características que os tornam adequados para este papel.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desta revisão científica sobre bioindicadores de saúde ambiental no ecossistema do Cerrado, adotou-se uma abordagem sistemática e criteriosa. A pesquisa foi conduzida em três bases de dados eletrônicas amplamente reconhecidas na comunidade científica: PubMed, Wiley e Springer Link. As buscas foram realizadas utilizando-se os termos em inglês "(*bioindicator*) AND (Cerrado)", abrangendo um período de dez anos, correspondendo a 2014 a 2024. Este recorte temporal visa assegurar a inclusão dos estudos mais recentes e relevantes sobre o tema.

Os critérios de seleção foram divididos em duas etapas:

- Seleção Inicial: A partir das buscas nas bases de dados, os artigos foram inicialmente selecionados pela leitura dos resumos (abstracts). Nesta etapa, foram considerados todos os artigos que mencionavam bioindicadores no contexto do Cerrado, independentemente do tipo específico de bioindicador ou da metodologia utilizada.
- Seleção Secundária: Em seguida, os artigos pré-selecionados passaram por uma leitura na íntegra para verificar sua pertinência específica ao tema da revisão. Somente os artigos que tratavam diretamente de bioindicadores de saúde ambiental no Cerrado foram incluídos na análise final. Artigos que não abordavam diretamente o uso de bioindicadores no Cerrado, ou que tinham foco exclusivo em outras regiões ou ecossistemas, foram excluídos.

Os artigos que passaram pelo crivo das duas etapas de seleção foram então analisados em detalhe. A análise dos artigos incluiu os seguintes aspectos: **Tipo de Bioindicadores Utilizados:** Identificação dos organismos utilizados como bioindicadores. **Metodologias Empregadas:** Avaliação das metodologias utilizadas nos estudos para analisar dados sobre os bioindicadores, incluindo as técnicas de métodos de análise laboratorial ou de dados de campo. **Impactos Ambientais Avaliados:** Análise dos diferentes tipos de impactos ambientais investigados pelos estudos, como poluição, mudanças climáticas, degradação do habitat e outros fatores de estresse ambiental.

A revisão foi conduzida seguindo as normas de revisão sistemática, garantindo rigor metodológico e a minimização de vieses. Foi utilizado o *software* de gerenciamento de

referências Mendeley para organizar e facilitar o processo de seleção e análise dos artigos.

A síntese dos resultados incluiu a comparação entre diferentes tipos de bioindicadores e suas respectivas eficácias em monitorar a saúde ambiental do Cerrado. Esta metodologia permite uma compreensão abrangente e detalhada do estado atual da pesquisa sobre bioindicadores de saúde ambiental no ecossistema do Cerrado, oferecendo uma base sólida para futuras investigações e práticas de conservação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão científica sobre bioindicadores animais que nos dá *insights* de saúde ambiental no ecossistema do Cerrado revelou algumas metodologias e uma diversidade de espécies utilizadas para monitorar diferentes tipos de impactos ambientais. A tabela 1, que pode ser acessada pelo link: <https://1drv.ms/b/s!Ao9Y2sU0xW3V11VjZb6yQetFrho3?e=2zrpLw>, apresenta um compilado de estudos que utilizam tanto indicadores genotóxicos quanto populacionais, refletindo a amplitude das abordagens empregadas na avaliação da saúde ambiental desse bioma.

3.1 Indicadores Genotóxicos

Os estudos de BORGES et al. (2019), BAESSE (2015), NASCIMENTO (2024), MENDONÇA et al. (2023), SOTERO et al. (2023), DALA-CORTE et al. (2023), SILVEIRA et al. (2021), LOPES et al. (2023) e SALVADOR et al. (2018) empregaram a análise de micronúcleos e alterações nos eritrócitos para detectar a presença de poluentes. Esses estudos abrangem uma variedade de organismos, incluindo anuros, aves, répteis, morcegos e peixes, e demonstram a versatilidade desta metodologia em diferentes contextos ambientais.

Anuros: BORGES et al. (2019) e LOPES et al. (2023) estudaram *Physalaemus cuvieri* e *Scinax fuscovarius*, analisando os efeitos de agrotóxicos em áreas agrícolas do Cerrado. Ambos os estudos reportaram alterações genotóxicas significativas, indicando a presença de contaminantes químicos.

Aves: BAESSE (2015) e NASCIMENTO (2024) analisaram passeriformes e psitacídeos, respectivamente, em áreas urbanas, detectando poluição do ar. Alterações nos eritrócitos e micronúcleos foram observadas em *Antilophia galeata*, *Basileuterus culicivorus* e *Ara ararauna*, sugerindo a presença de poluentes atmosféricos. SILVEIRA et al. (2021) identificaram anormalidades nucleares em *Gnorimopsar chopi*, correlacionadas ao uso de agrotóxicos.

Répteis: MENDONÇA et al. (2023) estudaram a composição da casca dos ovos de *Podocnemis expansa*, revelando a influência de agrotóxicos no solo. SALVADOR et al. (2018) identificaram danos genotóxicos em *Tropidurus torquatus*, associados à contaminação por alumínio e zinco.

Morcegos: SOTERO et al. (2023) observaram alterações hematológicas em *Carollia perspicillata* e *Glossophaga soricina* devido à exposição a metais pesados em áreas de mineração de níquel.

Peixes: DALA-CORTE et al. (2023) reportaram biomarcadores em *Astyanax lacustres* que refletem poluição por ações antrópicas em riachos do Cerrado.

3.2 Indicadores Por Metodologia Diversidade Populacional

Os estudos de BRITO et al. (2024), RODRIGUES et al. (2018) e GONÇALVES et al. (2022) focaram na análise de diversidade populacional como metodologia para indicar a saúde ambiental.

Insetos *Diptera*: BRITO et al. (2024) analisaram a diversidade de *Drosophila* em áreas pós-mineração, observando uma recuperação positiva da comunidade de insetos com técnicas de restauração florestal.

Libélulas: RODRIGUES et al. (2018) estudaram assembléias de *Anisoptera*, revelando que a perda de vegetação em áreas próximas de rios afeta significativamente a ovoposição e, que por consequência, altera também estrutura dessas populações.

Besouros escarabeíneos: GONÇALVES et al. (2022) quantificaram a recuperação pós-incêndio de besouros, demonstrando a eficácia das áreas restauradas em suportar a diversidade taxonômica e funcional desses organismos.

3.3 Discussão

Os bioindicadores utilizados para detectar a poluição por agrotóxicos, como demonstrado nos estudos de BORGES et al. (2019), MENDONÇA et al. (2023), LOPES et al. (2023) e SILVEIRA et al. (2021), são cruciais para identificar a presença de contaminantes no solo e na água em áreas que, idealmente, não deveriam estar expostas a tais substâncias. A análise de micronúcleos e alterações nos eritrócitos em anfíbios, aves e répteis oferece um método sensível para monitorar a contaminação ambiental. É fundamental que se implementem projetos de monitoramento ecológico em áreas com alta produção agrícola, similar ao que já é feito em hidrelétricas, para garantir a detecção precoce de poluentes e a mitigação de seus efeitos adversos no ecossistema.

Com base nos estudos de SOTERO et al. (2023) e SALVADOR et al. (2018) sobre a contaminação por metais pesados, como alumínio, zinco e outros, destacam a capacidade dos bioindicadores de revelar a poluição do solo e da água em regiões impactadas por atividades de mineração e indústrias. Os morcegos e lagartos estudados apresentaram alterações genotóxicas que indicam a presença desses poluentes. Esses bioindicadores são essenciais para a identificação de áreas contaminadas e, assim, pode-se utilizar formas de mitigar ou até de reestruturar a saúde destes locais e implementar investigações para saber a causa dessas contaminações.

A importância revelada pelos estudos de BRITO et al. (2024) e GONÇALVES et al. (2022) ilustram como a diversidade populacional de insetos pode servir como um indicador positivo de reestruturação ecológica em áreas afetadas que foram reflorestadas. A recuperação da diversidade de *Drosophila* em áreas pós-mineração e a recuperação de besouros escarabeíneos em áreas pós-incêndio são exemplos de sucesso na restauração ambiental. Esses indicadores são importantes para avaliar a eficácia das técnicas de restauração e para promover práticas sustentáveis de manejo de ecossistemas degradados.

Os estudos de BAESSE (2015), NASCIMENTO (2024) e DALA-CORTE et al. (2023) abordam os efeitos da poluição do ar e da água em ambientes urbanos. A análise de alterações nos eritrócitos em aves e peixes em áreas urbanizadas demonstra como a poluição resultante de atividades humanas pode impactar negativamente a saúde ambiental. A identificação de bioindicadores em rios e ar contaminados por poluentes urbanos é crucial para o desenvolvimento de políticas públicas de controle e mitigação da poluição.

Por fim, os estudos de RODRIGUES et al. (2018) mostram que a ovoposição e estrutura das assembleias de libélulas podem ser utilizadas como bioindicadores da perda de vegetação em áreas fluviais. A diversidade desses insetos reflete a saúde dos habitats vegetais, e sua ausência ou declínio pode indicar a degradação do ambiente e a perda de biodiversidade. Assim, a análise de bioindicadores de vegetação é fundamental para a avaliação da integridade ecológica e para a conservação fluvial dos ecossistemas do Cerrado.

4 CONCLUSÃO

A presente revisão científica destaca a importância dos bioindicadores na avaliação da saúde ambiental do ecossistema do Cerrado. Os resultados obtidos a partir dos estudos analisados demonstram que diferentes organismos, como anfíbios, aves, répteis, morcegos, peixes e insetos, podem ser utilizados de maneira eficaz como bioindicadores para monitorar

a presença de poluentes, avaliar a qualidade ambiental em diversas condições e até mesmo nos indicar a eficácia de métodos de reestruturação de áreas degradadas.

Os bioindicadores de agrotóxicos revelam a contaminação do solo e da água em áreas agrícolas, sugerindo a necessidade de monitoramento contínuo e rigoroso nessas regiões. A detecção de micronúcleos e alterações nos eritrócitos em diferentes espécies indica a presença de poluentes agrícolas que podem comprometer a saúde dos ecossistemas em áreas próximas, sendo assim, poderiam ter políticas de monitoramento ambiental, assim como já existe em áreas degradadas para criação de hidrelétricas e exploração mineral.

Já os indicadores de metais pesados, como os utilizados para monitoramento de atividades industriais e de mineração fornecem dados críticos para a implementação de medidas de remediação e controle de poluentes em áreas próximas afetadas.

Em suma, os bioindicadores são ferramentas indispensáveis para o monitoramento ambiental do Cerrado, permitindo a detecção precoce de poluentes, a avaliação da eficácia de técnicas de restauração e a implementação de políticas de conservação. A adoção de programas de monitoramento ecológico contínuo é crucial para a preservação deste bioma, assegurando a resiliência e a sustentabilidade de seus ecossistemas frente aos desafios ambientais contemporâneos.

REFERÊNCIAS

BAESSE, Camilla Queiroz. **Aves como biomonitoras da qualidade ambiental em fragmentos florestais do Cerrado**. 2015. Dissertação de Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 115 p.

BORGES, R. E., SANTOS, L. R. de S., BENVINDO-SOUZA, M., MODESTO, R. S., ASSIS, R. A., OLIVEIRA, C. de. Genotoxic Evaluation in Tadpoles Associated with Agriculture in the Central Cerrado, Brazil. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, 2019.

BRITO, R. O.; VIANA-JUNIOR, A. B.; PRAXEDES, C. L. B.; MARTINS, M. B. Diversity and community structure of *Drosophila* (Hexapoda, Diptera) in post-mining sites under different forest restoration techniques in the Brazilian Amazon. *Restoration Ecology*, 2023.

CALLISTO, Marcos; MORETTI, M.; GOULART, M. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 1, p. 71-82, 2001.

DALA-CORTE, Rafael B.; MOSCHINI-CARLOS, Vanessa; ROCHA, Odete. Fish biomarker responses reflect landscape anthropic disturbance in savanna streams. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 19, p. 54631-54642, 2023.

GONÇALVES, T. F.; CORREA, C. M. A.; AUDINO, L. D.; VAZ-DE-MELLO, F. Z.; FONTOURA, F. M.; GUEDES, N. M. R. Quantifying the post-fire recovery of taxonomic and functional diversity of dung beetles in the Brazilian Pantanal. **Ecological Entomology**, v. 47, n. 4, p. 601–612, 1 ago. 2022.

LOPES, A. T. de C.; DE BENVINDO-SOUZA, M.; SOTERO, D. F.; PEDROSO, T. M. A.; GUERRA, V.; VIEIRA, T. B.; ANDREANI, T. L.; BENETTI, E. J.; SIMÕES, K.; BASTOS, R. P.; DE MELO E SILVA, D. The Use of Multiple Biomarkers to Assess the Health of Anuran Amphibians in the Brazilian Cerrado Savanna: An Ecotoxicological Approach. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 42, n. 11, p. 2422–2439, 1 nov. 2023

MAGALHÃES, Danielly de Paiva; FERRÃO FILHO, Aloysio da Silva. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecol. Bras.**, v.12, n.3, p.355-381, 2008.

MENDONÇA, J. dos S.; VIEIRA, L. G.; HIRANO, L. Q. L.; QUALHATO, G.; ALMEIDA, J. C. N. de; SANTOS, A. L. Q.; FERNANDES, E. de A.; MALAFAIA, G.; ANDRADE, D. V. Eggshell composition of Amazon turtle (*Podocnemis expansa*) is altered after incubation in substrates containing glyphosate and fipronil formulations. **Science of The Total Environment**, v. 893, p. 164901, 1 out. 2023.

MIRANDA, Alexandre A. C. **Relação entre indicadores de qualidade de solo sob diferentes sistemas de manejo**. 2018. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Bananeiras, Paraíba, 2018.

NASCIMENTO, M. E. M. **Araras-Canindé (*Ara Ararauna*) Em Área Urbana Como Bioindicadoras De Qualidade Ambiental**. 2024. Dissertação - Programa De Pós-Graduação Em Ciências Veterinárias, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2024.

PRESTES, Rosi Maria; VINCENCI, Kelin Luiza. Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 4, p. 1473-1493, 2019.

RODRIGUES, M. E.; ROQUE, F. D. O.; GUILLERMO-FERREIRA, R.; SAITO, V. S.; SAMWAYS, M. J. Egg-laying traits reflect shifts in dragonfly assemblages in response to different amount of tropical forest cover. **Insect Conservation and Diversity**, v. 12, n. 3, p. 231–240, 2018.

SALVADOR, R. M. V.; PIM, F.; JÚNIOR, H. A. N.; DE ABREU, A. T.; PIMENTEL, E. F.; DE CERQUEIRA, L. O.; JUNIOR, P. D. F.; ENDRINGER, D. C. *Tropidurus torquatus* (Squamata: Tropicuridae) as a bioindicator of heavy metal (aluminum and zinc) pollution in Vila Velha, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 2, p. 1210–1219, 1 jan. 2018.

SANTOS, Gabriela Eliza. **Estudo da qualidade ambiental de fragmentos florestais de Ituiutaba – MG**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, Minas Gerais, 2021.

SAWYER, D.; MESQUITA, B.; COUTINHO, B.; DE ALMEIDA, F.; FIGUEIREDO, I.; ELOY, L. **Perfil do Ecossistema: Hotspot de Biodiversidade do Cerrado**. [s.l.] ed. SuperNova, 2018.

SILVEIRA, E. D. R.; BENVINDO-SOUZA, M.; ASSIS, R. A.; SANTOS, C. G. A.; AMORIM, N. P. L.; BORGES, R. E.; MELO, C.; SANTOS, L. R. S. Micronucleus and different nuclear abnormalities in wild birds in the Cerrado, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, 2021.

SOTERO, D. F.; BENVINDO-SOUZA, M.; DE CARVALHO LOPES, A. T.; DE FREITAS, R. M. P.; DE MELO E SILVA, D. Damage on DNA and hematological parameters of two bat

species due to heavy metal exposure in a nickel-mining area in central Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 195, n. 8, p. 1–13, 1 ago. 2023.

STARK, Amanda A. P. **Metais pesados: prejuízos causados e répteis como bioindicadores de monitoramento**. 2022. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Veterinária, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul, 2022.