

BIOINDICADORES DA QUALIDADE DA ÁGUA: UMA REVISÃO NARRATIVA DA LITERATURA

Zênia Moreira de Matos¹ (IC - zeniamatos@hotmail.com)*, Débora de Jesus Pires² (PO).

¹Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Sudoeste – Sede Quirinópolis. Avenida Brasil, nº 435, Conjunto Hélio Leão, CEP: 75860-000, Quirinópolis, Goiás.

²Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Sul – Avenida Modesto de Carvalho, S/Nº. Bairro: Distrito Agro Industrial, CEP: 75536-100, Itumbiara, Goiás.

Resumo: Os bioindicadores da qualidade da água compõem um grupo de organismos vegetais ou animais capazes de fornecer informações sobre possíveis efeitos toxicológicos presentes na água, que por sua vez, podem ser utilizados para monitorar a qualidade ambiental da água e conhecer alterações no metabolismo e nas estruturas genéticas da biota aquática. Desta forma, bioensaios como a técnica do ensaio cometa, verifica a frequência de micronúcleo, permitindo investigar a presença de anomalias cromossômicas e toxicidade nas células dos organismos expostos às contaminações. Em razão disto, este estudo teve como objetivo realizar uma revisão narrativa da literatura sobre os bioindicadores da qualidade da água. A metodologia adotada consistiu em uma revisão narrativa da literatura de artigos científicos pesquisados, por meio do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), nas bases de dados da *PubMed* e *Scielo*, publicados no período de 2019 a 2023. Os descritores utilizados para a pesquisa foram: *bioindicators of water quality and genotoxics* na *PubMed* e *water quality and bioindicators* na *Scielo*. Do total de 182 publicações, foram selecionadas 39, descartados 29 trabalhos, sendo analisados 10 artigos científicos para leitura na íntegra e análise do conteúdo. A literatura analisada mostra que por meio dos bioindicadores, é possível obter informações que alertam sobre os efeitos dos poluentes na saúde dos organismos aquáticos, através da genotoxicidade, que comprometem a qualidade da água. Portanto, esta revisão possibilitou conhecer, dentre as espécies vegetais e animais, os organismos abordados com maior frequência nos estudos, destacando os peixes como as espécies mais investigadas como bioindicadoras da qualidade da água.

Palavras-chave: Biomonitoramento da água. Organismos. Anomalias celulares. Genotóxicos.

Introdução

As ações antrópicas, por meio das diversas atividades humanas agrícolas, urbanas e industriais têm degradado os recursos hídricos, impactando a qualidade da água com poluentes de diversas origens como pesticidas, esgotos, dentre outros, tornando-se uma preocupação global (AMARAL *et al.*, 2019; BONY *et al.*, 2023; FRANCISCO *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2021). Em razão disso, vários estudos têm utilizado uma variedade de espécies de plantas e animais como bioindicadores para avaliar os riscos ambientais, funcionamento dos ecossistemas e níveis antrópicos, que por sua vez, podem fornecer informações sobre os efeitos genotóxicos nos organismos e estressores ambientais (BONY *et al.*, 2023; RUBIO-VARGAS, *et al.*, 2021; SIEKLICKI, *et al.*, 2019).

A água contaminada pode acarretar prejuízos à saúde humana e animais aquáticos (AMARAL *et al.*, 2019), principalmente, dos seres humanos que

consomem água e peixe (FRANCISCO *et al.*, 2019). Assim, os bioindicadores da qualidade da água são utilizados para monitorar e identificar mudanças na qualidade ambiental dos ecossistemas. Desta forma, é possível investigar as alterações no metabolismo celular do organismo, por meio do monitoramento com avaliações físico-químicas, microbiológicas, complementadas com bioensaios como ensaios cometa, teste de micronúcleos e outros, que permitem avaliar diferenças em estruturas genéticas, detectar a presença de substâncias químicas e os graus de toxicidade acumuladas nos organismos (KOSTIC-VUKOVIC *et al.*, 2023; SIEKLICKI, *et al.*, 2019).

Neste sentido, os organismos biomarcadores são úteis para monitorar a qualidade ambiental da água e podem representar uma alternativa para restaurar e conservar os ecossistemas aquáticos (BONY *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2021). Razão pela qual, este estudo teve como objetivo realizar uma revisão narrativa da literatura sobre os bioindicadores da qualidade da água.

Material e Métodos

Este estudo trata-se de uma revisão narrativa da literatura com as seguintes etapas de pesquisa: escolha do tema, elaboração da questão norteadora para saber como tem sido evidenciado a temática sobre os bioindicadores da qualidade da água, amostragem, pré-seleção e seleção final dos artigos científicos e extração das principais informações sobre os bioindicadores da qualidade da água.

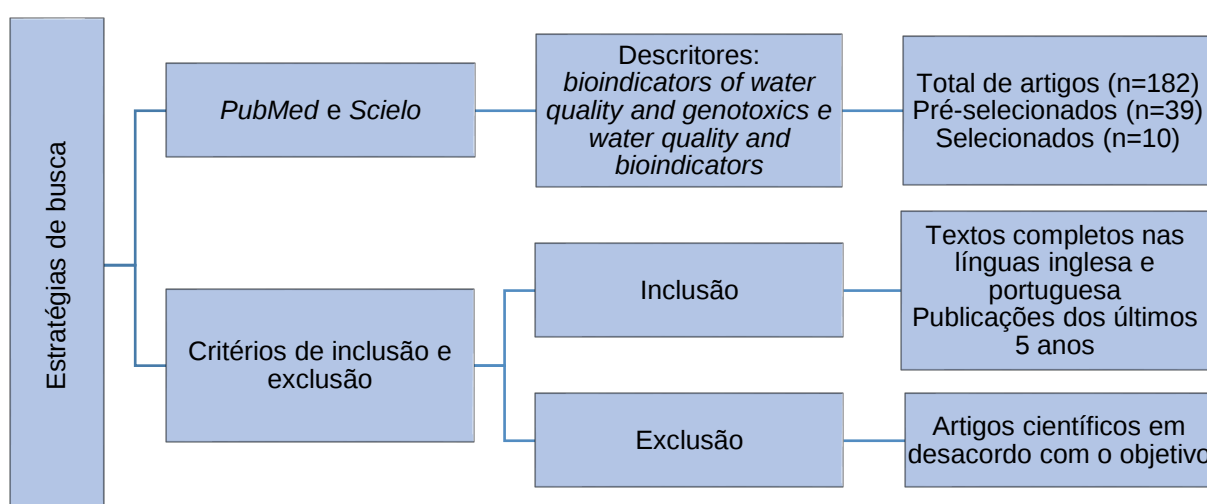
O levantamento dos artigos científicos para a pesquisa foi realizado nas bases de dados da *PubMed* e *Scielo*, utilizando os descritores: *bioindicators of water quality and genotoxics* e *water quality and bioindicators*, no período de janeiro de 2019 a novembro de 2023 nas línguas inglesa e portuguesa dos últimos cinco anos.

Após a leitura dos títulos e resumos, foi realizada a seleção dos artigos baseada nos critérios de inclusão e exclusão. Os critérios de inclusão foram publicações relacionadas à temática da pesquisa e textos completos; e os critérios de exclusão foram artigos científicos que não estavam de acordo com o objetivo proposto.

Resultados e Discussão

Em relação às etapas de seleção dos artigos científicos, obteve-se um total de 182 publicações, das quais 39 foram pré-selecionadas. A partir da leitura dos resumos, foram excluídos 29 trabalhos que direcionavam o tema para águas subterrâneas, sedimentos, áreas marítimas, costeiras e outros. E por fim, 10 trabalhos foram selecionados e utilizados para leitura na íntegra e análise do conteúdo, conforme descritos na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma com as etapas de seleção dos artigos científicos na bases de dados no período de 2019 a 2023.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Nas análises dos dez artigos científicos, observou-se que para avaliar o potencial toxicológico de contaminantes aquáticos, têm sido utilizados uma diversidade de plantas e animais como organismos modelos e bioindicadores de genotoxicidade e mutagenicidade. Dentre os animais encontrados nos estudos destacam-se uma variedade como, o *Sicydiuim* spp., um tipo de peixe (BONY *et al.*, 2023), *Oreochromis niloticus*, também outro tipo de peixe (RUBIO-VARGAS *et al.*, 2021), o *Limnoperna fortunei*, o mexilhão dourado (AMARAL *et al.*, 2019), *Rhinella arenarum*, um anfíbio (PELUSO *et al.*, 2021), dentre outros animais. Além das plantas como *Phytoplankton* (YUSUF, 2020) e a *Allium cepa*, (SIEKLIICKI, *et al.*, 2019), conforme descritos na Tabela 1, a qual informa sobre os estudos selecionados, o detalhamento dos periódicos, as bases de dados onde foram levantados os artigos científicos, autor e ano, títulos dos artigos, organismo modelo utilizado nos experimentos e o país em que o trabalho foi publicado.

Tabela 1 - Relação dos estudos que descrevem os bioindicadores da qualidade da água, no período de 2019 a 2023.

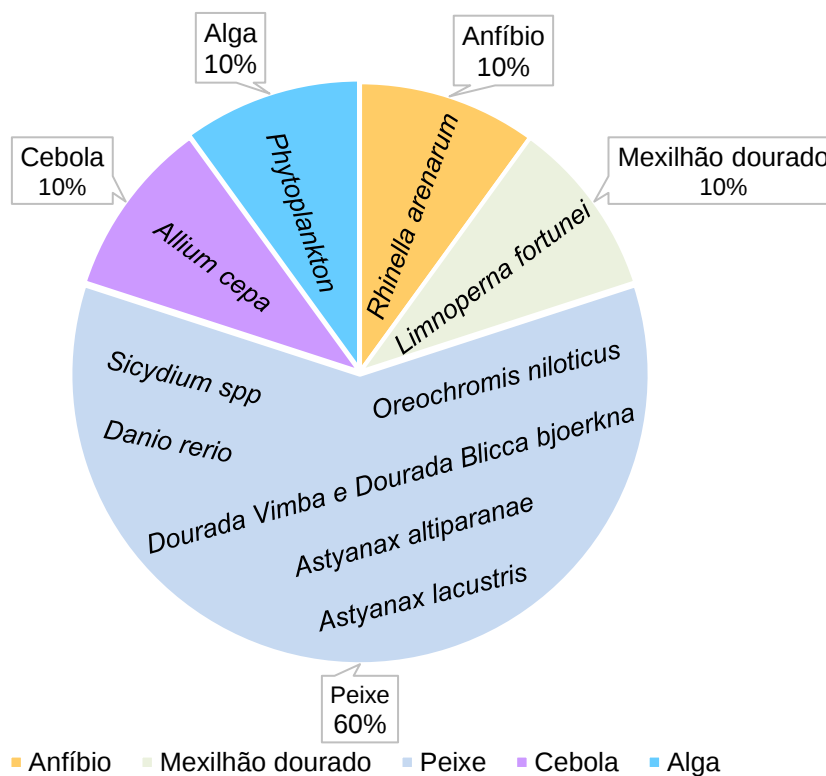
Periódico	Base de dado	Autor e Ano	Título do Artigo	Modelo de Organismo	País
<i>Aquatic Toxicology</i>	PubMed	BONY et al. (2023)	<i>The goby fish Sicydium spp. as valuable sentinel species towards the chemical stress in freshwater bodies of West Indies</i>	<i>Sicydium spp</i> (peixe)	França
<i>Science of the Total Environment</i>	PubMed	AMARAL et al. (2019)	<i>Golden mussel (Limnoperna fortunei) as a bioindicator in aquatic genotoxic aspects</i>	<i>Limnoperna fortunei</i> (mexilhão dourado)	Brasil
<i>Science of the Total Environment</i>	PubMed	PELUSO et al. (2021)	<i>Comprehensive assessment of water quality through different approaches: Physicochemical and ecotoxicological parameters</i>	<i>Rhinella arenarum</i> (Anfíbio-sapo)	Argentina
<i>Chemosphere</i>	PubMed	RODRIGUES et al. (2020)	<i>Histopathological, genotoxic, and behavioral damages induced by manganese in adult zebrafish</i>	<i>Danio rerio</i> (peixe-zebra)	Brasil
<i>Environmental Toxicology and Pharmacology</i>	PubMed	RUBIO-VARGAS et al. (2021)	<i>Exposure to pollutants present in Iguaçu River Southern Brazil affect the health of Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758): Assessment histological, genotoxic and biochemical</i>	<i>Oreochromis niloticus</i> (peixe tilápia)	Brasil
<i>Revista Ambiente & Água</i>	Scielo	SIEKLICKI et al. (2019)	<i>Relationships between land use and water quality obtained for the evaluation of genotoxic effects in plant bioindicators</i>	<i>Allium cepa</i>	Brasil
<i>Acta Limnológica Brasiliensis</i>	Scielo	YUSUF (2020)	<i>Phytoplankton as bioindicators of water quality in Nasarawa reservoir, Katsina State Nigeria</i>	<i>Phytoplankton</i>	Nigéria
<i>The Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A</i>	PubMed	FRANCISCO et al. (2019)	<i>Genotoxicity assessment of polluted urban streams using a native fish Astyanax altiparanae</i>	<i>Astyanax altiparanae</i> (peixe)	Brasil
<i>Ecotoxicology</i>	PubMed	KOSTIC-VUKOVIC et al. (2023)	<i>Combined use of biomarkers to assess the impact of untreated wastewater from the Danube River, Serbia</i>	<i>Dourada Vimba</i> <i>Dourada Blicca bjoerkna</i> (peixe)	Sérvia
<i>Science of the Total Environment</i>	PubMed	SILVA et al. (2021)	<i>A multibiomarker approach in the caged neotropical fish to assess the environment health in a river of central Brazilian Cerrado</i>	<i>Astyanax lacustris</i> (peixe)	Brasil

Fonte: Elaborada pelas autoras (2023).

Dentre os organismos utilizados em bioensaios e encontrados na literatura como bioindicadores da qualidade de ambientes aquáticos, as espécies de peixes tiveram destaque em seis artigos científicos, representando 60% das espécies mais

estudadas, seguidas de 10% de anfíbio, alga, mexilhão dourado e *Allium cepa*, conforme descritos na Figura 2.

Figura 2 – Quantidade de espécie bioindicadora da qualidade da água para cada artigo.



Fonte: Elaborada pelas autoras (2023).

A contaminação de peixes está atribuída a exposição de uma grande variedade de poluentes, indicando a atividade enzimática em órgãos desses animais, com Mercúrio, Cromo, dentre outros metais, em níveis elevados (BONY *et al.*, 2023), que por sua vez, podem resultar em mutações e defeitos na formação celular (RODRIGUES *et al.*, 2020). Dessa forma, a genotoxicidade em animais como os peixes, está relacionada com os efeitos negativos devido à altas concentrações de elementos químicos na água, providas de fontes antrópicas ou naturais, que podem causar algum grau de alterações celulares ou danos no DNA de peixes como o experimento de Bony *et al.* (2023), que analisaram peixes da espécie de *Sicydiuim spp.*, em dois rios o *Grand Riviere* e o *Vieux-Habitants* na Ilha Guadalupe por meio da indução da atividade hepática enzimática, verificaram níveis de genotoxicidade com resultados suficientes para recomendar o uso dessa espécie para avaliação

ambiental.

Nesta direção, os anfíbios têm sido escolhidos, para monitorar qualidade da água por diferentes tipos de poluição. O *Rhinella arenarum*, por exemplo, é um tipo de anfíbio nativo da Argentina e por ser uma espécie sensível a mudanças no ambiente, é amplamente utilizada em experimentos para detectar toxicidades ambientais (PELUSO *et al.*, 2021). Anuros podem ser afetados quando expostos a poluição como metais pesados, provindas de áreas industriais, urbanas e agrícolas, que podem ser letais para o desenvolvimento desses organismos, prejudicando o crescimento, reprodução e sobrevivência, não só dos anfíbios, mas impactando toda a fauna aquática (PELUSO *et al.*, 2021).

Nesse viés, os elementos químicos como o Chumbo, Cobre, Cromo e outros metais, também foram observados em experimentos de Peluso *et al.* (2021) que avaliaram larvas de sapos da espécie *Rhinella arenarum*, com efeitos de genotoxicidade constatando a frequência de micronúcleos nas amostras. Os micronúcleos são fragmentos cromossômicos que refletem em alterações durante a divisão celular (FRANCISCO *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2020).

Outro experimento em Uruguaiana no Rio Grande do Sul, Amaral *et al.* (2019) avaliaram o *Limnoperna fortunei*, o mexilhão dourado, como bioindicador de citotoxicidade e genotoxicidade em ambientes aquáticos contaminados com Cloreto de Mercúrio. A exposição desses organismos aos metais pesados apresentou retenção residual de Mercúrio com danos celulares como necroses, concluindo que o *Limnoperna fortunei* pode ser um bioindicador da qualidade de ambientes aquáticos (AMARAL *et al.*, 2019).

Os fitoplânctons também foram encontrados na literatura como bioindicadores da qualidade de ambientes aquáticos. As comunidades de fitoplânctons, fornecem evidências sobre alterações na qualidade da água, como a concentração de nutrientes ou clorofila-a na água. O monitoramento do fitoplâncton está baseado em análises físicas e químicas, que na maioria das vezes mostram-se insuficientes. Uma superpopulação de algas em recursos d'água, significa descargas de nutrientes nos ecossistemas aquáticos, como relatou Yusuf (2020) em sua pesquisa sobre a deterioração das condições de qualidade da água, avaliando um grupo de fitoplâncton, no reservatório de Nasarawa Jibia, estado de Katsina, que estava relacionada diretamente a mudanças sazonais e as atividades antrópicas no seu entorno.

Além das espécies de peixes, anfíbios e outros animais, as plantas são utilizadas como bioindicadores da qualidade da água para indicar genotoxicidade, como, a *Allium cepa*, que teve destaque em um estudo, o qual mostra-se eficiência nos testes laboratoriais para avaliação de genotoxicidade e mutagênese (SIEKLICKI, *et al.*, 2019). Acerca disso, em estudo de Sieklicki *et al.* (2019), sobre o potencial genotóxico, por meio da análise de células de raízes de *Allium cepa* (cebolas) expostas a amostras de água no Rio das Antas na cidade de Irati, Paraná, Brasil, descobriram que por conta da ocupação do solo e das ações antrópicas, como o descarte de esgoto clandestino lançado na área de cruzamento urbano do Rio das Antas, as raízes de *Allium cepa* apresentaram algum tipo de anomalias, evidenciando efeitos genotóxicos na qualidade da água. Com base nas análises, os pesquisadores verificaram que as genotoxicidades ocorreram, pelo fato de terem sido encontradas células anormais durante os processos de divisão celular, sugerindo efeitos genotóxicos (SIEKLICKI, *et al.*, 2019).

Organismos vegetacionais como a *Allium cepa*, podem ser usados como alternativa para biomonitoramento da qualidade da água, permitindo a detecção de anormalidades nos cromossomos das células desses organismos, causadas por poluentes, como os metais pesados no ambiente aquático (SIEKLICKI, *et al.*, 2019).

Embora, esta revisão tenha evidenciado as abordagens dos bioindicadores e genotoxicidades biodisponíveis em animais e plantas, com base em estudos anteriores como, Yusuf (2020), Amaral *et al.* (2019), Sieklicki *et al.* (2019), dentre outros, que relataram os bioindicadores como instrumentos eficazes para monitorar a qualidade da água em corpos hídricos. Ainda assim, percebeu-se a necessidade de mais estudos que abordam os efeitos genotóxicos em organismos vegetais, uma vez que, tendem para a fauna aquática.

Considerações Finais

A literatura analisada mostra que por meio dos bioindicadores, é possível obter informações que servem de alerta sobre os efeitos dos poluentes na saúde dos organismos, comprometendo a qualidade da água, evidenciando o potencial genotóxico característico de poluição ambiental. Portanto, esta revisão possibilitou conhecer, dentre as espécies vegetais e animais, os organismos abordados com

maior frequência nos estudos, destacando os peixes como as espécies mais investigadas como bioindicadoras da qualidade da água.

Agradecimentos

Agradecemos pelo apoio financeiro à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela Bolsa de Pesquisa concedida à primeira autora. À Vigilância Sanitária de Quirinópolis, Goiás pelos dados da pesquisa e ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade.

Referências

AMARAL, Q. D. F.; ROSA, E.; WRONSKI, J. G.; ZURAVSKI, L.; QUEROL, M. V. M.; ANJOS, B.; ANDRADE, C. F. F.; MACHADO, M. M.; OLIVEIRA, L. F. S. Golden mussel (*Limnoperna fortunei*) as a bioindicator in aquatic environments contaminated with mercury: Cytotoxic and genotoxic aspects. **Science of the Total Environment**, v. 20, n. 675, p. 343-353, Jul. 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.108. Disponível em: <https://pubmed-ncbi-nlm-nih.ez163.periodicos.capes.gov.br/31030141/>. Acesso em: 08 nov. 2023.

BONY, S.; LABELLE, M.; LEFRANCOIS, E.; NOURY, P.; OLIVER, J. M.; SANTOS, R.; TEICHERT, N.; BESNARD, A.; DEVAUX, A. The goby fish *Sicydium spp.* as valuable sentinel species towards the chemical stress in freshwater bodies of West Indies. **Aquatic Toxicology**, v. 261, Aug. 2023. DOI: 10.1016/j.aquatox.2023.106623. Disponível em: <https://pubmed-ncbi-nlm-nih.ez163.periodicos.capes.gov.br/37429095/>. Acesso em: 03 nov. 2023.

FRANCISCO, C. M.; BERTOLINO, S. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. J.; MORELLI, S.; PEREIRA, B. B. Genotoxicity assessment of polluted urban streams using a native fish *Astyanax altiparanae*. **Journal of Toxicology and Environmental Health Part A**, v. 82, n. 8, p. 514-523, 2019. DOI: 10.1080/15287394.2019.1624235. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31140379/>. Acesso em: 07 nov. 2023.

KOSTIC-VULKOVIC, J.; KOLAREVIC, S.; SUNJOG, K.; SUBOTIC, S.; VISNJIC-JEFTIC, Z.; RASKOVIC, B.; POLEKSIC, V.; VUKOVIC-GACIC, B.; LENHARDT, M. Combined use of biomarkers to assess the impact of untreated wastewater from the Danube River, Serbia. **Ecotoxicology**, v. 32, n. 5, p. 583-597, Jul. 2023. DOI: 10.1007/s10646-023-02663-6. Disponível em: <https://pubmed-ncbi-nlm-nih.ez163.periodicos.capes.gov.br/37193873/>. Acesso em: 07 nov. 2023.

PELUSO, J.; COLL, C. S. P.; CRISTOS, D.; ROJAS, D. E.; ARONZON, C. M. Comprehensive assessment of water quality through different approaches: Physicochemical and ecotoxicological parameters. **Science of the Total Environment**, v. 800, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149510>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/>

pii/S0048969721045848?via%3Dihub. Acesso em: 03 nov. 2023.

RODRIGUES, G. Z. P.; STAUDT, L. B. M.; MORIERA, M. G.; SANTOS, T.G.; SOUZA, M. S.; LÚCIO JUNIOR, C.; PANIZZON J.; KAYSER, J. M.; SIMÕES, L. A. R.; ZIULKOSKI, A. L.; BONAN, C. D.; OLIVEIRA, D. L.; GEHLEN, G. Histopathological, genotoxic, and behavioral damages induced by manganese (II) in adult zebrafish. **Chemosphere**, v. 244, Apr. 2020. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.125550. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32050344/>. Acesso em: 04 nov. 2023.

RUBIO-VARGAS, D. A.; RIBEIRO, C. A. O.; NETO, F. F.; CORDEIRO, A. L.; CESTARI, M. M.; SOUZA, A. C.; MARTINS, C. C.; SILVA, C. P.; CAMPOS, S. X.; GARCIA, J. R. E.; PRODOCIMO, M. M. Exposure to pollutants present in Iguaçu River Southern Brazil affect the health of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758): Assessment histological, genotoxic and biochemical. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 87, 2021. DOI: 10.1016/j.etap.2021.103682. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34102321/>. Acesso em: 08 nov. 2021.

SIEKLICKI, J.; BIONE, N. C. P.; OLIVEIRA-FILHO, P. C.; SOUZA, V. F.; MARTINS, K. G. Relationships between land use and water quality obtained for the evaluation of genotoxic effects in plant bioindicators. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, n. 2, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/mrsTMnHcSjLBQxnCWcLYDLj/?lang=en#>. Acesso em: 04 nov. 2023.

SILVA, D. D. S.; GONÇALVES, B.; RODRIGUES, C. C.; DIAS, F.C.; TRIGUEIRO, N. S. S.; MOREIRA, I.S.; SILVA, D. M.; SABÓIA-MORAIS, S. M. T.; GOMES, T.; ROCHA, T. L. A multibiomarker approach in the caged neotropical fish to assess the environment health in a river of central Brazilian Cerrado. **Science of the Total Environment**, v. 10, n. 751, Jan. 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141632. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez163.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0048969720351615?via%3Dihub>. Acesso em: 08 nov. 2023

YUSUF, Z. H. Phytoplankton as bioindicators of water quality in Nasarawa reservoir, Katsina State Nigeria. **Acta Limnológica Brasiliensia**, v. 32, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/alb/a/mqrRGcDxLrvLjDJ5cjkPwGd/?lang=en#>. Acesso em: 03 nov. 2023.