

MONITORAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Camila Aida Campos Couto | Dra. em Ecologia/UnB

Ludgero Cardoso Galli Vieira | Dr. em Ciências Ambientais/UFG

José Francisco Gonçalves Júnior | Dr. em Ecologia/UFMG

Doriedson Ferreira Gomes | Dr. em Geologia Ambiental/UFF

Alan Mosele Tonin | Dr. em Ecologia/UnB

Guilherme Pereira da Silva de Sena | Dr. em Ecologia/UnB

Flávio Roque Bernardes Camelo | MSc. em Ecologia e Conservação dos Recursos Naturais/UFU

Ana Caroline Alcântara Missias | Doutoranda em Ciências Ambientais/UnB

Leonardo Bezerra da Silva | MSc. em Educação Profissional e Tecnológica/IFCE

Leonardo Antunes Pessoa | Dr. em Ecologia de Ambientes Aquáticos e Continentais/UEM

Angélica Yohana Cardozo Vargas | Dra. em Ecologia e Biomonitoramento/UFBA

Pietro Martins Barbosa Noga | Dr. em Ecologia/UFBA

Loreane Dias Alves | MSc. em Ecologia e Biomonitoramento/UFBA

A Bacia do Médio Araguaia enfrenta intensas pressões ambientais causadas pela urbanização, desmatamento, mineração, agricultura e falta de saneamento, que substituem a vegetação nativa por pastagens e cultivos. Esses impactos comprometem os ecossistemas aquáticos, essenciais para a biodiversidade e o bem-estar humano. Este estudo propõe um programa de monitoramento ambiental que analisa parâmetros físicos, químicos e biológicos, destacando a vulnerabilidade dos riachos e o papel de comunidades aquáticas como fitoplâncton, zooplâncton e macroinvertebrados. Modelos paleolimnológicos também são usados para reconstruir condições históricas dos lagos, identificando padrões de degradação ou recuperação. Essas ações são cruciais para proteger os recursos hídricos, orientar a gestão ambiental e garantir a sustentabilidade da bacia.

INTRODUÇÃO

A integridade dos ecossistemas de água doce está cada vez mais ameaçada pelas atividades humanas, especialmente em regiões tropicais como o Brasil. Com a urbanização, deficiência de saneamento, atividades de mineração, desmatamento e expansão agrícola, torna-se essencial implementar programas de monitoramento ambiental para avaliar e mitigar os impactos dessas atividades. Este estudo foca na Bacia do Médio Araguaia, uma região vital tanto ecológica quanto socioeconomicamente, que sofre pressões significativas devido à substituição da vegetação nativa por pastagens e cultivos. Este capítulo investiga as comunidades biológicas relevantes para o funcionamento de lagos e riachos, como fitoplâncton, zooplâncton e macroinvertebrados aquáticos,

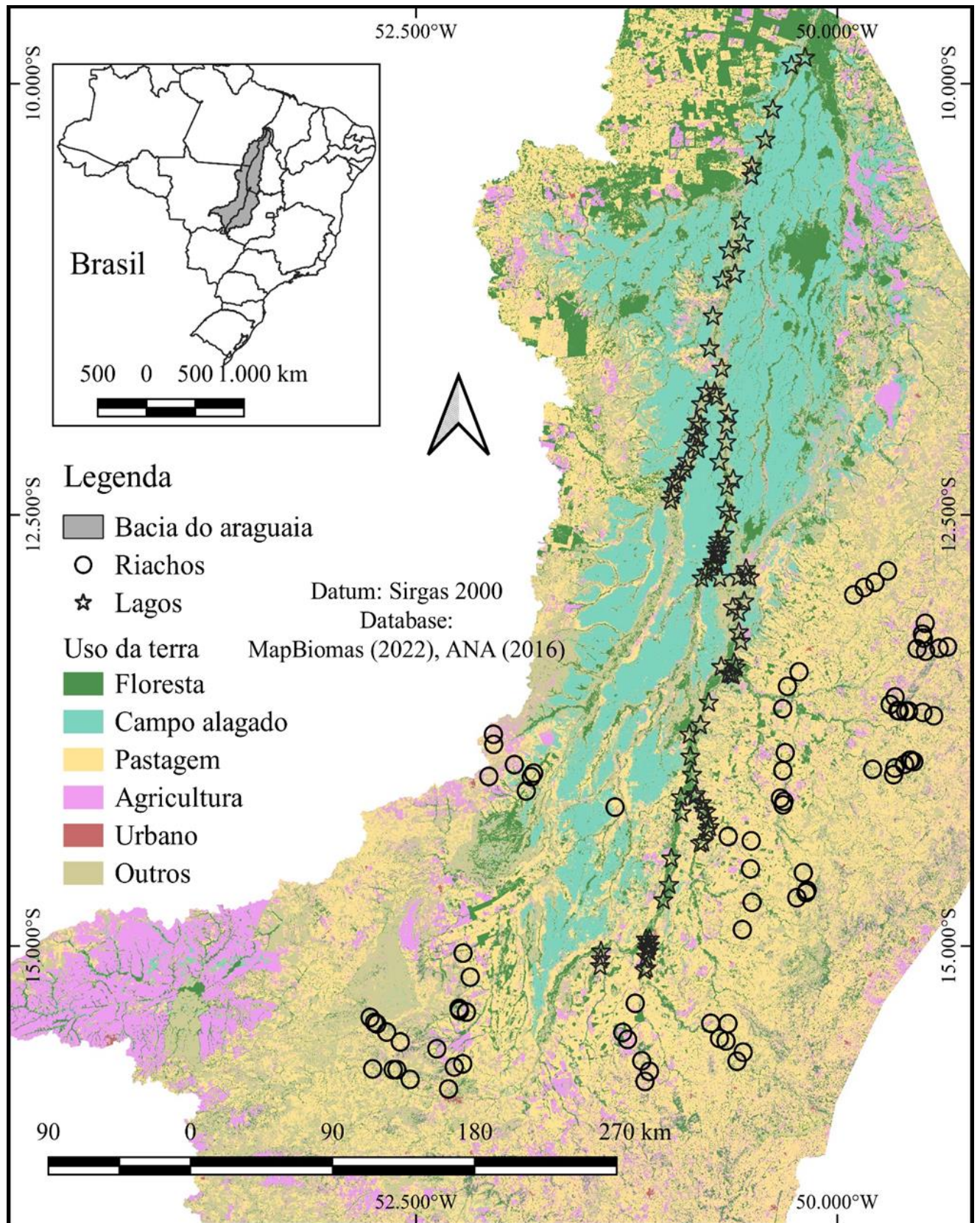
propondo um programa de monitoramento para a bacia do Médio Araguaia.

METODOLOGIA E RESULTADOS PRINCIPAIS

Foram realizadas a avaliação e o monitoramento dos lagos marginais conectados à calha principal do rio Araguaia e seus principais afluentes, bem como os riachos que drenam para os rios principais, em campanhas realizadas em janeiro e maio de 2022.

CAMPANHAS DE AMOSTRAGEM

Objetivo: Coletar dados sobre as comunidades biológicas e variáveis ambientais nos lagos e riachos da bacia do Médio Araguaia, além da avaliação do uso do solo nas regiões de *buffers*.



Bacia hidrográfica do rio Araguaia com destaque ao uso do solo e localização dos pontos de amostragem nos lagos (símbolo de estrela) e riachos (símbolo de círculo).

METODOLOGIA

Foram realizadas duas campanhas de amostragem:

A primeira campanha ocorreu em janeiro de 2022, onde foram avaliados 100 lagos, onde foi realizada a amostragem de fitoplâncton, zooplâncton, macroinvertebrados associados à macrófitas e macroinvertebrados bentônicos. Também foram realizadas medições de variáveis físicas e químicas da água;

A segunda campanha ocorreu em maio de 2022, onde foram avaliados 81 riachos, onde foram realizadas as medições de variáveis físicas e químicas da água, granulometria de sedimentos e vazão. Também foi realizada a amostragem das comunidades de algas perifíticas, fauna perifítica e macroinvertebrados bentônicos;

Adicionalmente, foram coletadas amostras de água e realizadas as avaliações das concentrações de mercúrio na água e no sedimento.

RESULTADOS

Os dados ambientais e biológicos coletados forneceram uma base robusta para a análise das condições dos ecossistemas aquáticos. Foram medidas 42 variáveis ambientais nos lagos e 41 nos riachos, incluindo pH, oxigênio dissolvido, temperatura e outros parâmetros relevantes.

Descrição de variáveis ambientais e biológicas

De forma geral, as águas dos lagos foram levemente ácidas (pH médio de 6,29) e com baixas concentrações de oxigênio dissolvido; A PCA mostrou uma conexão de lagos ligados aos rios Cristalino, das Mortes e Araguaia, caracterizados por águas mais transparentes, maiores áreas de campos alagados e maiores potenciais de oxidação-redução. Também foi possível verificar lagos conectados aos rios Vermelho, do Peixe, Crixás e demais lagos conectados ao Rio Araguaia, caracterizados por maiores valores de condutividade elétrica, pH, sólidos dissolvidos, sódio, mercúrio e maiores áreas de agricultura e pastagem.

A acidez das águas dos riachos foi neutra (pH médio de 7,03), apesar de alguns locais apresentarem valores ácidos (pH atingindo 4,81) e básicos (pH atingindo 8,47), e com elevadas concentrações de oxigênio dissolvido (média de 8,2 mg/L). A PCA mostrou riachos ordenados que tendem a apresentar maiores áreas de pastagem e maiores valores de sólidos em suspensão, condutividade elétrica e pH. Por outro lado, também mostrou riachos que tendem a apresentar maiores áreas com vegetação natural e maiores potenciais de oxidação-redução.

Sobre os grupos biológicos avaliados nos lagos: o fitoplâncton apresentou um total de 253 espécies e 34.427 indivíduos, com média de 40 espécies e 354 indivíduos por lago. O zooplâncton apresentou um total de 261 espécies e 1.434.392 indivíduos, com média de 84 espécies e 14.344 indivíduos por lago. Os macroinvertebrados bentônicos apresentaram um total de 33 taxa e 2.541 indivíduos, com média de 2,6 taxa e 30 indivíduos por lago. Por fim, em relação aos macroinvertebrados, foi registrado um total de 45 taxa e 7.096 indivíduos, com média de 9,6 taxa e 124 indivíduos por lago.

Sobre os grupos biológicos avaliados nos riachos: as algas perifíticas apresentaram um total de 127 espécies e 10.156 ind./cm², com média de 13,4 espécies e 137 ind./cm² por riacho. A fauna perifítica apresentou um total de 365 espécies e 11,84 ind./cm² indivíduos, com média de 25 espécies e 0,15 ind./cm² por riacho. Os macroinvertebrados bentônicos apresentaram um total de 46 taxa e 11.313 indivíduos, com média de 7,6 taxa e 140 indivíduos por riacho.

Análise de concordância

Foram identificados padrões de comunidades concordantes entre os lagos para os seguintes grupos biológicos: fitoplâncton e zooplâncton ($r= 0,47$; $P= 0,0001$), fitoplâncton e macroinvertebrados associados à macrófitas ($r= 0,36$; $P= 0,0009$), fitoplâncton e diatomáceas ($r= 0,53$; $P< 0,0001$), zooplâncton e macroinvertebrados associados à macrófitas ($r= 0,29$; $P= 0,0162$), macroinvertebrados bentônicos e diatomáceas ($r= 0,32$; $P< 0,0002$) e diatomáceas e macroinvertebrados associados à macrófitas ($r= 0,36$; $P= 0,0043$).

Os resultados concordantes entre dois ou mais grupos sugerem que os grupos biológicos podem responder de maneira similar a gradientes ambientais, permitindo a otimização de programas de monitoramento ao considerar um menor número de grupos. Nos riachos, não foram encontrados padrões de ordenação concordantes. Assim, os resultados da análise indicam que não é viável utilizar grupos substitutos na bacia do rio Araguaia.

Contribuição Local para a Diversidade Beta (LCBD)

Conforme os resultados da análise LCBD, os lagos LO3 (zooplâncton), L66 (fitoplâncton e macroinvertebrados bentônicos) e L73 (macroinvertebrados bentônicos) contribuíram significativamente para a diversidade beta regional. Em relação aos riachos, apenas o R62 (fauna perifítica) contribuiu significativamente com a diversidade beta regional. A proposta de monitoramento ambiental na bacia do rio

Araguaia incluiu todas essas localidades, por apresentarem um impacto significativo na manutenção da diversidade beta da região.

Limites ambientais identificados pela análise de táxons indicadores (TITAN)

Lagos: Os macroinvertebrados associados a macrófitas, considerados *taxa* sensíveis (Z-), mostraram uma resposta mais significativa a pequenas alterações no índice de uso da terra (LUI) em um *buffer* de 5 km do que os *taxa* sensíveis dos demais grupos bióticos. Em contraste, os *taxa* tolerantes (Z+) de outros grupos bióticos, especialmente zooplâncton e macroinvertebrados bentônicos, necessitaram de mudanças mais substanciais no uso da terra para aumentar sua densidade. Além disso, os *taxa* sensíveis de macroinvertebrados também reagiram melhor a pequenas alterações no LUI em um *buffer* de 20 km do que os *taxa* sensíveis dos outros grupos. Os *taxa* tolerantes de outros grupos bióticos também exigiram mudanças mais significativas no uso da terra antes de aumentar a densidade, com destaque para os macroinvertebrados bentônicos e zooplâncton.

Riachos: Os macroinvertebrados bentônicos sensíveis (Z-) responderam mais rapidamente a pequenas alterações no índice de uso da terra (LUI) no corredor ripário do que os outros grupos sensíveis. Já os *taxa* tolerantes (Z+) de zooplâncton precisaram de mudanças maiores no uso da terra em comparação com os demais grupos biológicos.

Além disso, a fauna perifítica sensível reagiu melhor a pequenas alterações no LUI da bacia de drenagem do que os outros grupos sensíveis. Por outro lado, os *taxa* tolerantes (Z+) de fitoplâncton demandaram mudanças mais significativas no uso da terra do que os outros grupos.

Modelos de árvores de regressão (BRT)

Lagos: Os locais com maior oxigenação das águas apresentaram maior diversidade e equitabilidade da comunidade de zooplâncton em geral, especialmente de grupos específicos como Copépodes e Rotíferos. Além disso, os indicadores de rotíferos foram relacionados ao mercúrio presente nos sedimentos. O fitoplâncton foi um grupo cujos indicadores apresentaram influência do uso do solo, principalmente por agricultura e pastagem. Os indicadores para os macroinvertebrados bentônicos (diversidade e o índice BMWP) foram relacionados à turbidez e a concentração de mercúrio da água, indicando uma redução nesses índices. Por fim, os indicadores de maior relevância para os macroinvertebrados foram o mercúrio na água e no sedimento; este poluente foi

relacionado negativamente à diversidade e à riqueza dos macroinvertebrados bentônicos.

Riachos: Os indicadores de algas perifíticas (diversidade de Shannon e equitabilidade) foram influenciados negativamente pela turbidez da água. Semelhantemente, a abundância dos macroinvertebrados bentônicos foi influenciada negativamente pela turbidez da água e pela porcentagem de agricultura na bacia de drenagem. Os indicadores relacionados à fauna perifítica (riqueza de espécies e índice de Shannon) e a grupos específicos de fauna perifítica (tecamebas) foram explicados pelo pH da água, mas também por variações no uso do solo e pelo nitrato dissolvido na água.

Em um programa de monitoramento, poderiam ser utilizadas a abundância de macroinvertebrados bentônicos como indicador das alterações de uso do solo pela agricultura, a riqueza de cladóceros (grupo da fauna perifítica) para alterações gerais de uso do solo na bacia e no corredor ripário, e a diversidade (Shannon) do grupo das tecamebas (grupo da fauna perifítica) como indicador de presença de esgotos domésticos ou outros efluentes com concentração de nitrogênio.

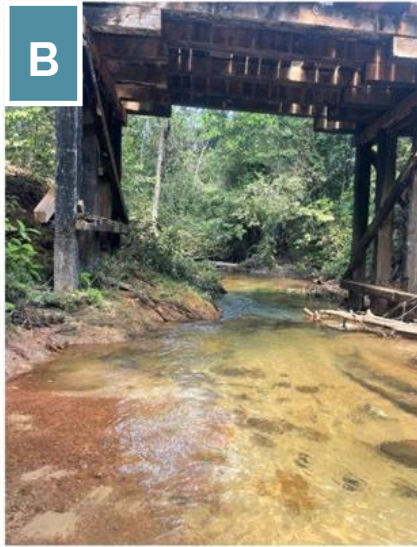
Índice de Saúde das Águas Tropicais (ISAT)

Trata-se de uma abordagem de integridade ecológica, que considera aspectos das pressões humanas sobre os ecossistemas.

Metodologia: modelo baseado em três tipos de indicadores: pressão, condição e resposta (P-C-R). Os indicadores de pressão (P) tratam das ameaças humanas ao meio ambiente, como remoção de vegetação, lançamento de poluentes e alteração física dos cursos d'água. Os indicadores de "condição" (C) ou "estado" tratam do desempenho do meio ambiente. Os indicadores de "resposta" (R) são baseados nas reações da sociedade às tendências de qualquer um dos demais indicadores, para melhorar ou corrigir problemas, e podem incluir a elaboração de políticas públicas, engajamento social e ações de gestão.

O ISAT foi dividido em duas camadas: pressão e condição. Como a região do Médio Araguaia não possui enquadramento dos corpos hídricos em classes de uso e indicadores claros de resposta, não foram incluídos os indicadores de resposta.

Resultados: O ISAT revelou que 60% dos lagos estão em condições boas ou muito boas, enquanto 75% dos riachos estão em condições moderadas ou ruins. Os riachos são mais suscetíveis a alterações diante das pressões antrópicas do que rios de maiores dimensões como o Araguaia, isso porque, por se tratar de cursos d'água estreitos e rasos, a conexão com o ambiente



Coleta de amostras e dados nos riachos (A a I), com destaque para a coleta de macroinvertebrados (D e E), perifiton (F) e variáveis físicas e químicas da água (G e H).

externo é muito mais intensa. Além disso, quando há a perda da vegetação adjacente ao corpo hídrico, essas interferências são ainda maiores, uma vez que se perde a proteção da vegetação, facilitando a entrada de sedimentos e demais poluentes. Os esforços justificam-se ainda mais quando consideramos que um rio de maior volume, como o Araguaia, sustenta-se a partir da contribuição justamente dos riachos de menor porte, tanto em termos de volume d'água quanto em condições ecológicas.

Nos lagos, observou-se um gradiente de melhora na qualidade ambiental dos locais mais a montante (parte mais ao sul) para jusante (parte mais ao norte) do rio Araguaia e seus grandes afluentes. Isso pode ser atribuído ao uso do solo, que é bem mais fragmentado na porção sul da bacia. A metodologia destacou a necessidade de esforços maiores para a preservação dos riachos, os quais são mais suscetíveis a alterações devido às pressões antrópicas.

Análises paleoecológicas nos lagos

Com o intuito de identificar as variáveis ambientais que influenciam a estruturação das comunidades de diatomáceas nos lagos da bacia do rio Araguaia, foi utilizada uma Análise de Correspondência Canônica (CCA). Entre as dez variáveis analisadas, seis foram selecionadas como significativas: pH, profundidade, condutividade, oxigênio dissolvido, nitrato e transparência. Estas variáveis explicam 58% da variância na distribuição das diatomáceas.

Resultados:

Eixos da CCA: o primeiro eixo (que corresponde a 34% da variação) correlaciona-se com profundidade, oxigênio dissolvido, condutividade e pH. O segundo eixo (que corresponde a 24% da variação) correlaciona-se com nitrato e transparência.

Gêneros de diatomáceas: *Discostella*: associada a lagos mais profundos. *Nupela*, *Fragilaria* e *Navicula*: associadas a lagos com maior oxigênio dissolvido e transparência. *Hantzschia*, *Stauroneis* e *Caloneis*: associadas a pH e condutividade.

A partir dos dados das comunidades de diatomáceas e das variáveis limnológicas dos lagos, foi possível separar o trecho médio do rio Araguaia em duas metades: primeira seção – lagos mais ácidos e com alta condutividade; segunda seção – lagos mais profundos, transparentes e com alto oxigênio dissolvido. As diatomáceas foram encontradas em 91% das amostras,

com a variação da concentração possivelmente ligada à dissolução das valvas ou condições de coleta, já que a campanha de coletas foi realizada no período de águas altas a região.

Desenvolvimento de modelos de funções de transferência

Foram desenvolvidos modelos para entender a relação entre as comunidades de diatomáceas e as variáveis pH, profundidade, condutividade, oxigênio dissolvido, nitrato e transparência utilizando o método de Média Ponderada - Mínimos Quadrados Parciais (WA-PLS). Os modelos mostraram variações nos coeficientes de determinação (r^2) e nos erros de previsão, indicando potencial para melhorar a reconstituição das condições históricas dos lagos.

Reconstituição de variáveis limnológicas

A aplicação dos modelos a dados de diatomáceas em testemunhos de sedimentos mostrou que os melhores resultados foram apresentados para a variável condutividade, seguida por pH e profundidade.

Limitações e futuras direções

Os modelos utilizados demonstram grande potencial, mas ainda há espaço para aprimoramentos que os tornem mais robustos. Atualmente, os resultados indicam uma tendência de superestimar valores baixos e subestimar valores altos das variáveis, comprometendo a precisão. Um dos aspectos mais desafiadores está relacionado à profundidade dos lagos, uma variável altamente complexa, influenciada por fatores como a presença de macrófitas, a morfometria do sistema e de sua bacia, os fluxos de entrada e saída de água, o sombreamento sobre o espelho d'água, além da direção e intensidade dos ventos. Essa multiplicidade de influências reforça a necessidade de maior refinamento nos modelos para poderem refletir com mais precisão as condições ambientais reais.

Outro ponto crítico é a coleta de dados, que precisa ser realizada em diferentes períodos para minimizar interferências nas reconstituições e assegurar representatividade. No estudo do rio Araguaia, o grupo de treinamento foi construído com dados de apenas uma campanha, realizada no período de águas altas, o que pode gerar ruídos nos resultados. Além disso, é imprescindível ampliar o gradiente de variáveis ambientais amostradas, permitindo melhorar a precisão dos modelos.

CONCLUSÕES

Este estudo destaca a importância de um monitoramento completo dos ecossistemas aquáticos da Bacia do Médio Araguaia, que enfrentam crescente pressão das atividades humanas, como a agricultura e a remoção de vegetação nativa. A análise das variáveis ambientais e biológicas em lagos e riachos mostrou que os riachos são especialmente vulneráveis, reforçando a necessidade urgente de ações de preservação e recuperação. Um programa contínuo de monitoramento, que inclua tanto parâmetros físicos e químicos quanto indicadores biológicos, é fundamental para entender as dinâmicas ecológicas e reduzir os impactos das mudanças no uso do solo.

O uso de modelos paleolimnológicos também se mostrou promissor para reconstruir as condições históricas dos lagos, permitindo uma visão mais detalhada das mudanças ambientais ao longo do tempo e ajudando a identificar tendências de degradação ou recuperação. Com essa abordagem, o monitoramento passa a ser uma ferramenta crucial para a conservação dos recursos hídricos, fornecendo dados confiáveis que podem guiar decisões de gestão ambientais mais eficazes e sustentáveis para os sistemas aquáticos da bacia do Araguaia.



Relatório completo disponível em:

https://mega.nz/folder/VEoivYqB#MEBq_9_t4iHgPNKCXqMiDQ/file/QdgAWRCK

COMO CITAR:

Couto CAC, Vieira LCG, Gonçalves Júnior JF, *et al.* (2024). Monitoramento dos recursos hídricos. *Revista TWRA*, v. 1, n. 2, p. 17-23. DOI: 10.21826/9786587422367twra-v1n2-17-23