

RESILIÊNCIA DA COMUNIDADE DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS APÓS RECUPERAÇÃO DE NASCENTE ATRAVÉS DE SISTEMA SINTRÓPICO

Maria Clara Cornélio Luz, Vitória Assunção Miranda, Jessica Soares de Souza, David Lincoln Goulart Souza, Patrícia Pereira Gomes, Ivan Costa Ilheu Fontan, Grazielle Wolff de Almeida Carvalho

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Avenida Primeiro de Junho, 1043, Centro - 39705-000 - São João Evangelista-MG, Brasil, mariaclara.cluz@gmail.com, vitoriassuncao155@gmail.com, jessicasss345@gmail.com, lincoln071.com@gmail.com, patricia.pereira@ifmg.edu.br, ivan.fontan@ifmg.edu.br; graziele.wolff@ifmg.edu.br.

Resumo

O esgotamento de nascentes em áreas de preservação permanente demanda restauração. Este trabalho avaliou o reaparecimento da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em uma nascente, antes seca, após um ano da implementação de um Sistema Agroflorestal sintrópico e o retorno do fluxo de água. O objetivo foi diagnosticar a comunidade bentônica presente, dando assim início a um biomonitoramento da área utilizando esses organismos como bioindicadores da integridade ambiental. Amostras foram coletadas e os macroinvertebrados e parâmetros físico-químicos da água analisados. Os resultados indicam uma comunidade de baixa riqueza, dominada por Chironomidae, e índices biológicos que mostram baixa qualidade ecológica. O baixo oxigênio dissolvido e a presença de matéria orgânica sugerem um ambiente aquático sob estresse. Apesar disso, a presença da comunidade bentônica sugere que a restauração iniciada no entorno já surte efeitos positivos. Conclui-se que o monitoramento contínuo será fundamental para acompanhar a evolução da nascente e comprovar a eficácia do Sistema como ferramenta de recuperação.

Palavras-chave: Bioindicadores. Qualidade da água. Restauração ecológica. Sistema agroflorestal.

Área do Conhecimento: Ciências Biológicas - Ecologia

Introdução

Nascentes são pontos onde há um afloramento do lençol freático, originando cursos d'água na superfície. Diante disso, para que possa desenvolver seus serviços ecossistêmicos, deve fornecer água abundante e de boa qualidade, mantendo recursos hídricos que possuem importância tanto ecológica, quanto socioeconômica (Leal *et al.*, 2017). Uma nascente pode ter reduzido potencial hídrico devido a alterações antrópicas, principalmente quando localizadas em áreas de recarga do lençol freático. A degradação das matas ciliares também é um fator que gera impactos negativos em cursos d'água, pois possibilita o assoreamento do leito (Castro; Castro; Souza, 2013). Grande parte dessas alterações são causadas por atividades agrícolas e pela expansão urbana, o que tem afetado o caráter ecológico dos recursos hídricos e o abastecimento público (Marmontel ; Rodrigues, 2015).

Como forma de preservação dos recursos hídricos, a Lei federal nº 12.651/12 (Código Florestal), prevê a criação de Áreas de Preservação Permanente (APPs), locais protegidos que possuem grande importância ambiental, uma vez que são caracterizadas como pontos relevantes para a manutenção dos ecossistemas, como por exemplo o entorno de cursos d'água. Nesses locais, é permitido o uso de sistemas agroflorestais (SAFs) a partir do plantio intercalado de espécies nativas e exóticas ou frutíferas, desde que o plantio de exóticas não exceda 50% da área total a ser recuperada, permitindo o manejo sustentável em APP (Brasil, 2012).

Os SAFs são definidos como sistemas de plantio de espécies lenhosas perenes associadas a plantas herbáceas, forrageiras, agrícolas, dentre outras, em uma mesma área, tendo como foco a alta diversidade e interação entre seus componentes (Brasil, 2011). Nesse contexto, os SAFs sintrópicos, inicialmente propostos por Ernst Götsch, buscam reproduzir as condições que ocorrem naturalmente na natureza, permitindo o fluxo de energia e matéria de energia e matéria, e promovendo interações ecológicas que contribuem para o desenvolvimento ecossistêmico baseando-se nos princípios da sucessão ecológica (Silva *et al.*, 2023). Os SAFs sintrópicos sucessionais biodiversos são fundamentados em complexas interações ecológicas, podendo ser o caminho para o sucesso da

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

restauração em APPs A eficiência desses sistemas é diretamente proporcional à sua diversidade, o que promove maior estabilidade ao ambiente (Quoos, 2009). Assim, além de servirem como fonte de renda, os SAFs sintrópicos também representam uma alternativa sustentável de manejo agrícola, pois realizam uma série de funções ecossistêmicas, como ciclagem de nutrientes, manutenção da biodiversidade, proteção e descompactação do solo e recuperação de nascentes (Silva *et al.*, 2023).

Quando há sucesso na restauração de APPs com o melhoramento do ambiente em torno dos leitos de rios e de nascentes, e consequentemente, da qualidade da água, é possível identificar maior variedade de mesohabitats, os quais são utilizados por quantidade considerável de macroinvertebrados bentônicos, influenciando na estrutura da comunidade (Uieda; Alves; Silva, 2016). A presença desses animais é um indicativo eficaz para avaliar a saúde do ambiente aquático, pois podem ser classificados conforme sua tolerância à distúrbios ambientais, funcionando como bioindicadores (Moretti; Callisto, 2005).

O presente estudo teve como objetivo avaliar o processo de colonização da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em uma nascente onde, em sua área de entorno, foi implantado um SAF sintrópico visando a restauração da APP. Esse é o primeiro levantamento da comunidade após o retorno do fluxo da nascente, dando assim, início ao biomonitoramento da área utilizando esses organismos como bioindicadores da qualidade ambiental e integridade ecológica.

Metodologia

Área de estudo

A coleta de dados foi realizada em uma nascente pontual localizada em área de recuperação onde foi implantado um Sistema Agroflorestal sintrópico no *campus* São João Evangelista do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG). O SAF foi implantado no mês setembro de 2024, e antes disso, a nascente era intermitente, apresentando períodos de seca muito longos, cercada por uma área perturbada de pastagem abandonada.

Amostragem

Os procedimentos de amostragem foram executados em uma única coleta ao final de maio de 2025, fim do período chuvoso, período esse que, em anos anteriores, não se verificava mais fluxo na nascente.

A amostragem foi distribuída na nascente e os macroinvertebrados foram coletados em triplicatas dentro de um ponto no olho d'água. Foi utilizada uma rede com amostrador do tipo rede em "D". O substrato coletado foi fixado em sacos plásticos com etanol 70% e levado para laboratório para as análises. Foi realizado processo de lavagem utilizando peneiras granulométricas. O material restante foi transferido para frascos plásticos identificados com etiquetas e conservados em etanol 70%. Posteriormente, foi executada a triagem do material com o auxílio de microscópio estereoscópico. Os espécimes presentes foram separados manualmente com pinças histológicas e armazenados e conservados novamente em frascos com identificação.

Os organismos coletados foram identificados no menor nível taxonômico possível (classe, ordem e, principalmente, família). A identificação ocorreu com auxílio de chaves taxonômicas (Pinho, 2008; Mugnai *et al.*, 2010; Hamada; Nessimian; Querino, 2014), e o material identificado foi depositado no acervo do Laboratório de Ecologia do *campus*.

Ainda durante a coleta, foram registrados, utilizando uma sonda multiparâmetros de análise de água: a temperatura (°C), o oxigênio dissolvido (OD), o pH e a condutividade elétrica (CE). Em campo, também foi aplicado o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), caracterizado como um sistema utilizado no biomonitoramento para classificar as condições ambientais de determinado local, considerando 22 parâmetros ambientais (Callisto *et al.*, 2002).

A água para análise de fósforo total (PT) foi coletada em frascos de vidro âmbar esterilizados. Após a coleta, as amostras foram armazenadas e transportadas ao laboratório para análise. Ademais, o sedimento foi coletado, com o auxílio de um *Becker*, para análise de matéria orgânica por meio do método da mufla.

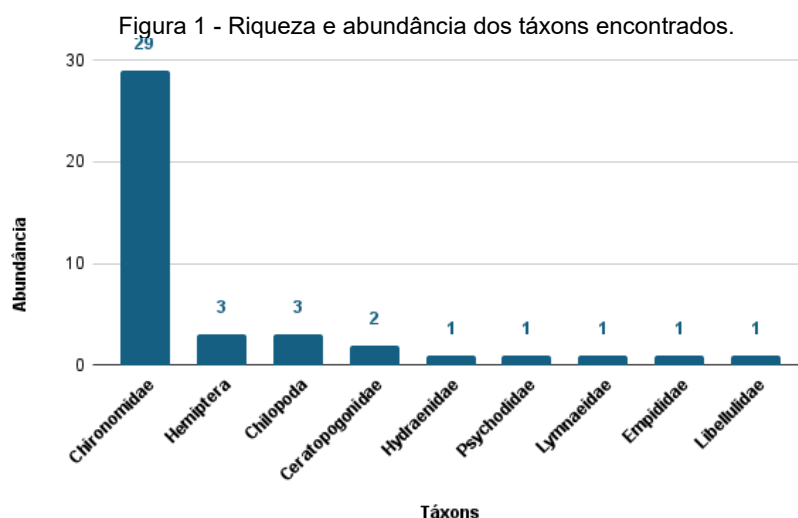
A estrutura da comunidade biológica foi mensurada por meio dos índices de Shannon (H'), Simpson (D) e Pielou (J), que avaliam a diversidade, dominância e equitabilidade respectivamente. O BMWP (*Biological Monitoring Working Party Score System*) e o BMWP/ASPT (*Biological Monitoring*

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Working Party and Average Score per Taxon) adaptados para a Bacia do Rio Doce, também foram utilizados com o mesmo objetivo.

Resultados

O número total de indivíduos encontrados no ponto de coleta foi de 42 organismos, distribuídos em nove táxons. Dentre os mais abundantes, a família Chironomidae se destacou, representando quase 70% de toda a amostra (Figura 1).



Fonte: Os autores (2025).

Os índices ecológicos apresentaram valores de acordo com o esperado para uma nascente em estágio inicial de recuperação: sem um valor alto de diversidade (1,11) e equitabilidade (0,73), e com alta dominância (0,45) devido à população de quironomídeos. As respostas obtidas pelos índices BMWP (34 - Ruim), BMWP_ASPT (4,25 - Regular) e PAR (40 - Impactado) também foram insatisfatórias, com pontuações baixas que se distanciam de um ambiente idealmente preservado.

Por último, os parâmetros físico-químicos obtidos estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros Físico-Químicos		
Parâmetros Químicos	Físico-	Resultado
Temperatura (°C)		20,8
CE (µS)		240,0
OD (mg/l)		2,0
pH		5,95
MO (g)		0,641
PT (mg/l)		0,192

Fonte: elaborado pelos próprios autores.

Discussão

De acordo com Ribas, Consolin e Arantes (2025), o processo de recuperação de nascentes dura em torno de três anos ou mais, dependendo do nível de degradação. Esse tempo é necessário para que exista uma resposta satisfatória do fluxo e qualidade da água, assim como da integridade ecológica de determinado sistema. Nota-se que a restauração da APP da nascente por meio do Sistema Agroflorestal (SAF) sintrópico, embora ainda não tenha permitido o estabelecimento de uma comunidade bentônica diversificada, nem alcançado parâmetros ótimos de qualidade da água,

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

demonstrou eficácia ao restabelecer o fluxo hídrico, o que representa um marco essencial no processo de regeneração ecológica. Antes da intervenção, a nascente se encontrava inativa, sem fluxo de água — o que inviabiliza qualquer colonização por organismos aquáticos. O retorno do fluxo demonstra que o SAF sintrópico atuou efetivamente na reconexão hidrológica, condição necessária para a recuperação ecológica do ambiente. Além disso, no primeiro ano de instalação do SAF, o elevado número de plantios e manejos com revolvimento de solo e podas, pode ser resultado em uma melhoria do local, mas também promovido aumento na concentração de matéria orgânica na nascente.

A família Chironomidae se destacou dentre os demais táxons encontrados, representando uma abundância de quase 70%. Esses dípteros são comumente encontrados em ambientes impactados devido à sua alta tolerância a condições adversas, como baixos níveis de oxigênio dissolvido e elevados teores de matéria orgânica, sendo um dos primeiros grupos a colonizar ambientes em estágios iniciais de sucessão ecológica (Thomazi *et al.*, 2008). Devido à maior abundância deste táxon, o índice de dominância Simpson (D) apresentou valor elevado, refletindo uma baixa equitabilidade e diversidade da comunidade. Como a riqueza foi baixa, os índices BMWP e BMWP_ASPT também obtiveram baixos valores por considerarem apenas a presença ou ausência das famílias.

Apesar da dominância dos organismos tolerantes, foram encontrados táxons com um escore relativamente alto nesses índices, como Libellulidae (7 pontos) e Hydraenidae (6 pontos) (Junqueira *et al.*, 2018). A presença dessas famílias sugere um potencial alto de resiliência da comunidade, mostrando que, com a melhora das condições ambientais, resultará em aumento da diversidade.

É natural que, em sistemas em recuperação, táxons mais tolerantes sejam os primeiros colonizadores. À medida que o ambiente se estabiliza, com a melhora nos níveis de oxigênio, redução de carga orgânica e condicionamento do substrato, espera-se a chegada gradual de grupos mais sensíveis, como Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT), refletindo uma comunidade mais estruturada e biodiversa (Júnior *et al.*, 2018).

De acordo com o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), a nascente ainda se encontra impactada. Analisando os parâmetros estabelecidos por Callisto *et al.* (2002), isso se deve principalmente pela ausência de fluxo bem desenvolvido, impedindo uma oxigenação ideal. Além disso, a falta da mata ciliar totalmente preservada e de seixos no substrato causam diminuição de mesohabitats, os quais são necessários para muitas espécies sensíveis (Giehl *et al.*, 2018).

Apesar dos indicadores ainda estarem aquém do ideal, o SAF sintrópico exerce papel fundamental como processo estruturante na área de APP. Contribui de forma benéfica, uma vez que fornece sombra, biomassa, retenção de sedimentos e melhoria na infiltração da água de chuva no solo, acrescendo para a resiliência do sistema aquático. Sendo assim, mesmo com uma comunidade bentônica ainda pobre e baixa qualidade da água, é possível verificar que o SAF sintrópico instalado na área de nascente do IFMG-SJE está promovendo a reativação do sistema ecológico. A condição atual não representa fracasso, mas sim um estágio inicial promissor, que abre caminho para sucessão e melhora progressiva da integridade ecológica da área. dessa forma, faz-se necessário o contínuo biomonitoramento do local e, assim, utilizar esses dados na proposição de mais um indicador de sucesso de restauração de APPs em áreas de nascente, indicador esse que responde no ambiente aquático ao uso e ocupação do solo (Andrade; Freitas; Eleutério, 2020).

Conclusão

Visto que, após a implementação do SAF, a nascente aumentou sua vazão, pode-se verificar a importância desse sistema para a recuperação de nascentes a partir da recomposição da mata ciliar. Apesar da comunidade de macroinvertebrados ainda não estar bem estabelecida, o que é comum em estágios iniciais de recuperação, a presença de famílias tolerantes representa um indicativo do potencial de resiliência da comunidade e de recuperação da área.

Diante do exposto, este estudo, indica a importância de um monitoramento contínuo na nascente para acompanhar a evolução da comunidade bentônica e da restauração do equilíbrio ecológico como um todo.

Referências

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

ANDRADE, M. H. da S.; FREITAS, S. C. de; ELEUTÉRIO, A. dos S. Qualidade Ecológica da Água: Monitoramento com bioindicadores e análise do uso e ocupação da terra em uma Bacia Hidrográfica Urbana / Ecological Water Quality: Monitoring with bioindicators and analysis of land use and occupation in an Urban Watershed. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 11, p. 88187–88200, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n11-296. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/19882>. Acesso em: 21 ago. 2025.

BRASIL. Lei federal nº. 12.651, de 25 de maio de 2012, dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 28 maio 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 19 ago. 2025.

BRASIL. Instrução Normativa MMA nº4, de 8 de setembro de 2009. Dispõe sobre procedimentos técnicos para a utilização da vegetação da Reserva Legal sob regime de manejo florestal sustentável, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 9 set. 2009. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=78151>. Acesso em: 21 ago. 2025.

CALLISTO, M.; FERREIRA, W. R.; MORENO, P.; GOULART, M.; PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG RJ). **Acta Limnológica Brasiliensis**, v. 14, n. 1, p. 91-98, 2002. Disponível em: <http://jbb.ibict.br/handle/1/708>. Acesso em: 19 ago. 2025.

CASTRO, M. N.; CASTRO, R. M.; SOUZA, C. de. A IMPORTÂNCIA DA MATA CILIAR NO CONTEXTO DA CONSERVAÇÃO DO SOLO. **Revista Uniaraguaia**, v. 4, n. 4, p. 230–241, 1 ago. 2013. Disponível em: <https://sipe.uniaraguaia.edu.br/index.php/REVISTAUNIARAGUAIA/article/view/172>. Acesso em: 19 set. 2025.

GIEHL, N. F. S.; RESENDE, B. O.; ROGES, P. F. S. S.; DIAS-SILVA, K.; NOGUEIRA, D. S.; CABETTE, H. S. R. Diversidade de presas e predadores (Insecta) em mesohabitats de córregos de Cerrado. **Iheringia Serie Zoologia**, v. 108, n. 0, 6 dez. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/isz/a/MBGnxLRDGYGYj6wH8HHKM5x/?lang=en>. Acesso em: 19 set. 2025.

HAMADA, N., NESSIMIAN, J. L., QUERINO, R. B. (Editores). Insetos aquáticos na Amazônia Brasileira: taxonomia, biologia e ecologia. Manaus: **Editora INPA**, 2014. 724 p. ISBN: 978-85 211-0123-9. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/36169?mode=full>. Acesso em: 19 ago. 2025.

JÚNIOR, A. P.; CONCEIÇÃO, C. S. da; LOBO, R. R.; SANTOS, C. O. R. dos; SARDINHA, A. S. Associação entre ephemeroptera, plecoptera e trichoptera e os parâmetros limnimétricos do índice de qualidade da água. **Brazilian Applied Science Review**, v. 3, n. 2, p. 839–863, 2018. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BASR/article/view/905>. Acesso em: 21 ago. 2025.

JUNQUEIRA, M. V.; ALVES, K. C.; PAPROCKI, H.; CAMPOS, M. de S.; CARVALHO, M. de; MOTA, H. R.; ROLLA, M. E.. Biotic index for assessment of water quality of tropical rivers – knowledge summary and case study: Doce High River Basin. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 49, p. 15-33, 2018. DOI: 10.5327/Z2176-947820180307. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBICIAMB/article/view/. Acesso em: 19 ago. 2025.

LEAL, M. S.; TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; MINGOTI, R. Caracterização hidroambiental de nascentes. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 1, p. 146, 1 jan. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/SdCmZSRf6NjVktjxN8cVLft/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 19 ago. 2025.

A Ciência do **NANO** e seu impacto transformador no **MACRO**

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 171–181, 12 maio 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/FLjzsqWFfts4TQ46hshcSCJ/?lang=pt>. Acesso em: 19 ago. 2025.

MORETTI; CALLISTO, M. Biomonitoring of benthic macroinvertebrates in the middle Doce River watershed. **Acta Limnol. Bras.**, v. 17, n. 3, p. 267–281, 2005. Disponível em: https://labs.icb.ufmg.br/benthos/index_arquivos/pdfs_pagina/Moretti&Callisto2005.pdf. Acesso em: 20 out. 2025.

MUGNAI, Riccardo; NESSIMIAN, Jorge Luiz; BAPTISTA, Darcilio Fernandes. Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do estado do rio de janeiro. Editora: **Technical Books Editora**, 1a ed, Rio de Janeiro, 2010. MUGNAI, R., NESSIMIAN, J. L., & BAPTISTA, D. F. Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Livros Técnicos, 2010. 174 p.

QUOOS, R. D. Sistemas agroflorestais: ferramentas da biodiversidade para uma agricultura sustentável. In: SOGLIO, F. D.; KUBO, R. R. **Agricultura e Sustentabilidade**. 1. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2009. cap. 6, p. 97-115. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/52807>. Acesso em: 19 set. 2025.

RIBAS, W. V de C.; CONSOLIN, M. F. B.; ARANTES, E. J. PROJETO TÉCNICO DE RECUPERAÇÃO DE NASCENTE DEGRADADA. [s.l: s.n.], **UTFPR**, 22 abr. 2025. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/37606/2/recuperacaonascenteparticipacaocomunidade_produto.pdf. Acesso em: 20 ago. 2025.

SILVA, G. B. G.; FONTAN, I; PEREIRA, E. R.; PEREIRA, A. C. R. Implantação de um sistema agroflorestal em São João Evangelista-MG: uma experiência com agricultura sintrópica. **Nexus Revista de Extensão do IFAM**. v. 9, n. 13, p. 82-89, 29 dez. 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/378097202_IMPLANTACAO_DE_UM_SISTEMA_AGROFLORAL_EM_SAO_JOAO_EVANGELISTA-MG_UMA_EXPERIENCIA_COM_AGRICULTURA_SINTROPICA. Acesso em: 21 ago. 2025.

THOMAZI, R. D.; KIIFER, W. P.; JUNIOR, P. D. F; SÁ, F. S. A sucessão ecológica sazonal de macroinvertebrados bentônicos em diferentes tipos de atratores artificiais no rio Bubu, Cariacica, ES. **Natureza Online**, v. 6, n. 1, p. 1–8, 2008. Disponível em: <https://naturezaonline.com.br/revista/article/view/410>. Acesso em: 20 ago. 2025.

UIEDA, V. S.; ALVES, M. I. B.; SILVA, E. I da. Invertebrados bentônicos: relação entre estrutura da fauna e características do mesohabitat. Ambiente e Água. **An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 3, p. 676, 23 jun. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/sn7ZQKhD8fGHvKyYKHS444S/?lang=pt>. Acesso em: 20 ago. 2025.

Agradecimentos

Agradecemos ao IFMG, ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto/Guanhães, ao CNPq pela concessão de fomento para a realização deste trabalho, e ao Grupo de Pesquisa em Ecologia de Ambientes Aquáticos do IFMG-SJE por todo o apoio durante as pesquisas.