



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE UNB PLANALTINA
BACHARELADO EM GESTÃO AMBIENTAL

SAMILA NERES FARIAS DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA E AÇÕES DE EDUCAÇÃO
AMBIENTAL NA APA DAS NASCENTES DO RIO VERMELHO, GOIÁS**

2025
SAMILA NERES FARIAS DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA E AÇÕES DE EDUCAÇÃO
AMBIENTAL NA APA DAS NASCENTES DO RIO VERMELHO, GOIÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso em
Gestão Ambiental da Universidade de
Brasília, como requisito parcial para a
obtenção do título de Bacharel em Gestão
Ambiental.

Orientador: Dr. Carlos José Sousa Passos
Coorientadora: Dra. Daphne Heloisa de
Freitas Muniz

2025
SAMILA NERES FARIAS DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA E AÇÕES DE EDUCAÇÃO
AMBIENTAL NA APA DAS NASCENTES DO RIO VERMELHO, GOIÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a
obtenção do grau de Bacharel em Gestão Ambiental pela Universidade de Brasília.

Orientador: Prof. Dr. Carlos José Sousa Passos
Universidade de Brasília

Avaliador: Me. Darlan Quinta de Brito
Universidade de Brasília

Avaliadora: Dra. Nayara Luiz Pires
Instituto Federal de Goiás

2025

DEDICATÓRIA

*Dedico esse trabalho à minha avó, Ercília Maria, que através de seu carinho e amor
sempre me cobriu de paz.*

AGRADECIMENTOS

Ao fim dessa extensa e rica jornada agradeço a todos, que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho se tornasse real. Agradeço a Deus pelo dom da vida, pela saúde, força e perseverança concedida, mesmo com tantas adversidades no caminho.

A minha família amada: mãe Diná, por todo cuidado e amor imenso ofertado a mim diariamente, tia Dodoga, por cada conversa e conselho, que aterriza meus pés no chão, Lozinha por toda parceria e irmandade genuína e agradeço ao meu pai, que sempre me supriu com apoio e incentivo. Sou grata ao meu primo querido Gabriel, por todo estímulo científico ao longo dos anos, se não fosse você nem estaria aqui. A Társis, minha prima, irmã por todas as conversas e risadas que tornaram a caminhada mais leve. Ao Rodolfo, pelo suporte, escuta ativa e amor. Vocês são uma base sólida, um alicerce que me inspira.

A todos meus amigos queridos que percorreram ao meu lado, durante tantos ciclos, seriam dez páginas de nomes especiais no qual cada um, de maneira majestosa, contribuiu com embates calorosos e momentos incríveis, vocês sabem a importância na minha trajetória.

Sou imensamente grata ao meu orientador Prof. Carlos Passos, pela paciência e dedicação na orientação que foram necessárias para a realização deste trabalho, e por ter reunido o melhor grupo de pesquisa do mundo, onde tive a incrível oportunidade de fazer amizades incríveis que contribuíram ativamente no meu processo de pesquisa. Ananda, João Pedro, Aline, Rodrigão, Thiago, Paulinha e minha coorientadora Dra. Daphne Muniz, que apareceu como um anjo, partilhando e nos ensinando com parcimônia.

A gratidão se estende ao ICMBio e seu NGI de Mambai que na época de execução deste trabalho estava na gestão dos analistas Érica Martins e Sandro Borges, pelo comprometimento ambiental e convite para realização dessa majestosa pesquisa, aos brigadistas que fizeram de tudo para viabilizar todas as coletas, mesmo no período da seca, que a APA passou por momentos de combate.

A receptividade de todos os moradores da região da APANRV, em especial a Senhora Willa e Senhor Juarez pelo incrível acolhimento e Senhor Joaquim, meu “casca de bala”.

A Profa. Vanessa Cruvinel, por toda solicitude em empréstimo de equipamentos. Dr. Eduardo Cyrino, da Embrapa, pela parceria e apoio técnico na realização das análises laboratoriais. A Profa. Lucijane Monteiro por aulas incríveis de Planejamento de Recursos Hídricos, assim como o Prof. Antônio Nobre, Pr Rômulo Ribeiro, Prof. Alexandre Almeida, Profa. Dulce Maria, Profa. Flávia Nogueira e muitos outros professores da FUP, que contribuíram positivamente para a minha formação profissional, acadêmica e pessoal.

O caminho da pesquisa muitas vezes é desafiador, e sem as Instituições provedoras de financiamento e apoio à pesquisa, esse trabalho não iria exercer seu papel de contribuir com a conservação ambiental. Com isso agradeço ao Fundo de Compensação Espeleológica do TCCE ICMBio/Vale, pelo apoio financeiro concedido através do Edital de Chamada Pública nº 02/2023, conforme Item XX da Cláusula Segunda do TCCE nº. 1/2022/ICMBio. Agradeço também ao Edital do Programa de Extensão da Educação Superior na Pós-Graduação nº 0001/2024 desta Universidade de Brasília.

E por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, me impulsionaram a seguir em frente e chegar até aqui. Cada gesto de apoio, cada palavra de incentivo e cada demonstração de afeto fizeram diferença no meu percurso. A todos vocês, meu mais profundo e sincero agradecimento, vida, esperança e luar.

SUMÁRIO

RESUMO	X
ABSTRACT	X
1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	15
2.1. Geral	15
2.1. Específicos	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1. Unidades de Conservação (UCs)	16
3.2. Gestão de Recursos Hídricos, qualidade da água e legislação	18
3.3. Cavernas e Aquíferos Cársticos na Região Nordeste de Goiás	21
3.4. Espeleoturismo e Balneabilidade em Mambaí - GO	23
3.5. Dados socioeconômicos e Saneamento Ambiental da APANRV	25
3.6. O Papel da Educação Ambiental na Preservação dos Recursos Naturais e no Fortalecimento da Cidadania Ecológica	26
4. METODOLOGIA	28
4.1. Área de Estudo	28
4.1.1 <i>Localização</i>	28
4.1.2 <i>Pontos de coleta</i>	29
4.1.3 <i>Uso e ocupação do solo</i>	31
4.2. Coleta e análise das amostras	36
4.3. Ações de Educação Ambiental	39
5. RESULTADOS	40
5.1. Parâmetros de qualidade das águas superficiais	40
5.2. Ações de Educação Ambiental	49
6. DISCUSSÃO	51
6.1. Parâmetros de qualidade das águas superficiais	51
6.2. Ações de Educação Ambiental	53
7. CONCLUSÕES	55
APOIO FINANCEIRO	57
REFERÊNCIAS	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APANRV - Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho

BNCC - Base Nacional Comum Curricular

Ca²⁺ - Cálcio

CE - Condutividade elétrica

CECAV - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

Cl⁻ - Cloreto

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

EA - Educação Ambiental

E. Coli - *Escherichia coli*

F⁻ - Fluoreto

Fe - Ferro total

GM/MS - Gabinete do Ministro do Ministério da Saúde

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

K⁺ - Potássio

LD - Limite de Detecção

Mg²⁺ - Magnésio

mg/L - Miligramas por litro

Mn - Manganês total

Na⁺ - Sódio

NGI - Núcleo de Gestão Integrada

NH₄⁺ - Amônio

NMP - Número Mais Provável

NO₂⁻ - Nitrito

NO₃⁻ - Nitrato

OD - Oxigênio Dissolvido

OMS - Organização Mundial da Saúde

PCU - *Platinum-Cobalt Units* (Unidades Platina-Cobalto)

pH - Potencial hidrogeniônico

PNEA - Política Nacional de Educação Ambiental

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

PO₄³⁻ - Fosfato

PPP - Projeto Político Pedagógico

PT - Fósforo Total

SEMAD-GO - Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Goiás

SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação

SO₄²⁻ - Sulfato

STD - Sólidos Totais Dissolvidos

UFG - Universidade Federal de Goiás

UC - Unidade de Conservação

UnB - Universidade de Brasília

UNT - Unidade Nefelométrica de Turbidez

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 3.1 Holótipo da espécie *Ituglanis boticario*: vista lateral, dorsal, ventral e cefálica.

Figura 4.1 - (A) Mapa de localização da APANRV e abrangência dos municípios. (B) Sub-Bacias hidrográficas da APANRV ottocodificadas em nível 6.

Figura 4.2 - Localização dos pontos de coleta na APANRV

Figura 4.3. Uso e ocupação do solo na APANRV

Figura 4.4. Uso e ocupação do solo e pontos de amostragem nas sub-bacias da APANRV: (A) Rio Vermelho; (B) Córrego Ventura; (C) Córrego Risada; (D) Córrego Piracanjuba; (E) Córrego da Pedra; (F) Córrego da Onça e (G) Rio Buritis

Figura 4.5.- Coleta de amostras durante a primeira campanha de campo em maio de 2024

Figura 4.6. - Equipamentos utilizados nas análises em laboratório

Figura 5.1 - Ação de EA na Sede do ICMBio em Mambaí-GO. 2024

Figura 5.2- Slides produzido para ação de EA.

Tabela 3.1 - Limites dos parâmetros químicos, físicos e microbiológicos estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357/2005 para água doce e pela Portaria do Ministério da Saúde GM/MS 888/2021

Tabela 4.1 - Descrição e coordenadas dos pontos de coleta

Tabela 4.2 - Área e percentual do uso e ocupação do solo da APANRV

Tabela 4.3 – Área e percentual do uso e ocupação do solo das sub-bacias da APANRV

Tabela 4.3 - Variáveis físicas, químicas e microbiológicas de qualidade da água

Tabela 5.1 – Valores de Turbidez, cor e pH nos pontos de coleta nas sub-bacias da APANRV

Tabela 5.2 – Valores de Dureza total nos pontos de coleta nas sub-bacias da APANRV

Tabela 5.3 – Valores de oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD) e flúor nos pontos de coleta nas sub-bacias da APANRV

Tabela 5.4 – Valores de Nitrito (NO_2^-), Nitrato (NO_3^-), Sulfato (SO_4^{2-}) e Fosfato (PO_4^{3-}) nos pontos de coleta nas sub-bacias da APANRV

Tabela 5.5 – Valores de Fósforo Total (PT), Nitrogênio amoniacal (NH_4^+), Potássio (K) e Magnésio (Mg) nos pontos de coleta nas sub-bacias da APANRV

Tabela 5.6 – Valores de Ferro (Fe), Cálcio (Ca^{2+}) e Cloreto (Cl^-) nos pontos de coleta nas sub-bacias da APANRV

Tabela 5.7 – Valores Coliformes Totais e *Escherichia coli* nos pontos de coleta nas sub-bacias da APANR

RESUMO

Este estudo avaliou a qualidade das águas superficiais na Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho (APANRV). Inserida no bioma Cerrado, a área apresenta elevada vulnerabilidade hídrica, especialmente por abrigar nascentes e áreas de recarga, além da presença de sistemas cársticos. Foram analisados parâmetros físico-químicos, microbiológicos e metálicos em 16 pontos, em dois períodos hidrológicos (seca - maio/2024 e chuva - outubro/2024), distribuídos nas sub-bacias da APA, considerando os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, pela Portaria GM/MS nº 888/2021 e pela Resolução CONAMA nº 274/2000. Os resultados indicaram valores fora dos padrões legais em diversos pontos, especialmente quanto à turbidez, ao pH, à ocorrência de coliformes fecais e de *Escherichia coli*, com destaque para as cavernas Tarimba e Lapa do Penhasco. Também foram observados indícios de pressão antrópica relacionada ao uso agrícola e à ausência de saneamento básico. As ações de educação ambiental contribuíram para a sensibilização da comunidade escolar quanto à importância da conservação dos recursos hídricos e da proteção das nascentes. Conclui-se que a integração entre pesquisa e educação ambiental como ferramenta de extensão universitária constitui uma estratégia importante para fomentar a gestão participativa e a sustentabilidade dos recursos naturais.

Palavras-chave: Cerrado; Patrimônio espeleológico; Gestão de recursos hídricos; Unidade de Conservação; Extensão Universitária

ABSTRACT

The present study evaluated the quality of surface waters in the Environmental Protection Area of the Nascentes do Rio Vermelho (APANRV). Located within the Cerrado biome, the area presents high water vulnerability, especially due to the presence of springs and recharge zones, in addition to the presence of karst systems. Physicochemical, microbiological, and metallic parameters were analyzed at 16 sampling points during two hydrological periods (dry season - May/2024 and rainy season - October/2024), distributed throughout the APA sub-basins. The analysis considered the limits established by CONAMA Resolution nº. 357/2005, Ministry of Health Ordinance GM/MS nº. 888/2021, and CONAMA Resolution nº. 274/2000. The results showed values exceeding legal standards at several points, particularly in terms of turbidity, pH, the presence of fecal coliforms, and *Escherichia coli*, particularly in the karst environment of Tarimba and Lapa do Penhasco caves. Evidence of anthropogenic pressure related to agricultural use and lack of basic sanitation was also observed. Environmental education activities contributed to promote awareness among the school community about the importance of conserving water resources and protecting springs. The conclusion is that integrating research and environmental education as a university extension tool constitutes an important strategy to foster participatory management and the sustainability of natural resources.

Keywords: Cerrado; Speleological Heritage; Water Resources Management; Conservation Unit; University Outreach

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é um bioma reconhecido por ser um dos principais *hotspots* de biodiversidade, com a flora mais rica entre todas as savanas do mundo. O bioma ocupa aproximadamente 23% do território brasileiro e fornece água para as principais regiões hidrográficas do Brasil (MYERS *et al.*, 2000; ALTHOFF *et al.*, 2021). Além disso, o Cerrado abriga diversas áreas cársticas, com várias cavernas formadas por rochas carbonáticas e siliciclásticas (BRASIL, 2022).

Os ambientes cársticos do Brasil representam um verdadeiro patrimônio natural, exercendo papel vital na conservação da biodiversidade e na garantia dos serviços ecossistêmicos. Apesar de ocuparem apenas 5% a 7% do território nacional, essas regiões funcionam como importantes reservatórios de água subterrânea (TRAVASSOS e VARELA, 2022). No contexto global, os aquíferos cársticos são responsáveis por aproximadamente 10% da água potável e abastecem até um quarto da população mundial. Essa expressiva produtividade hídrica, no entanto, vem acompanhada de uma vulnerabilidade acentuada à contaminação (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2008).

Além da relevância hidrológica, os sistemas cársticos sustentam uma biodiversidade notável: estima-se que um terço da flora brasileira esteja associada a essas áreas, que também são habitat exclusivo de faunas altamente especializadas, adaptadas aos ambientes subterrâneos (TAYER e VELÁSQUES, 2017). Contudo, a fragilidade natural desses sistemas os torna especialmente sensíveis às pressões antrópicas. A mineração de calcário é apontada como uma das principais ameaças, promovendo a destruição de formações geológicas essenciais (RUCHKYS, TRAVASSOS e TIMO, 2023). Outras atividades humanas, como a expansão urbana desordenada, o uso intensivo de agroquímicos e o descarte inadequado de resíduos, também geram impactos significativos, favorecendo a infiltração rápida de poluentes através das fraturas típicas desses terrenos (SANTOS, SILVA e VITAL, 2021).

Em Goiás, os terrenos cársticos se distribuem pelas bacias dos rios São Francisco e Tocantins, apresentando exocarste bem desenvolvido, com sumidouros, ressurgências e extensas cavernas (PÔSSAS e CHEREM, 2016). Um exemplo de expressiva relevância ambiental e espeleológica é a Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho (APANRV), uma Unidade de Conservação (UC)

localizada nos municípios de Mambai, Buritinópolis, Damianópolis e Posse. Com cerca de 176 mil hectares, a APANRV abriga uma rica biodiversidade, mais de 180 cavernas catalogadas e um conjunto de ecossistemas subterrâneos que desempenham funções críticas como a regulação do ciclo hidrológico e o armazenamento natural da água (ICMBio, 2024; NOGUEIRA *et al.*, 2023; SBE, 2024; ZANATTO, 2018).

Entretanto, a pressão exercida por monoculturas nas áreas do entorno, com o uso frequente de agrotóxicos e fertilizantes, tem representado um risco crescente para esses ecossistemas. Os produtos químicos aplicados nas lavouras não só comprometem a qualidade do solo e da água, mas também podem atingir diretamente as formações cársticas, que são pouco eficientes na retenção de contaminantes (SOARES *et al.*, 2022). Por isso, a preservação da integridade da APANRV depende diretamente do controle rigoroso dessas práticas agrícolas (GELAIN, 2020). Em complemento, a APANRV apresenta um baixo nível de implementação de instrumentos de gestão, como Plano de Manejo¹ implementado, ou qualquer tipo de zoneamento territorial. O Plano de Manejo contém a função e os objetivos pelos quais uma UC é criada e que deve ser elaborado em até cinco anos após sua criação. No entanto, a APANRV foi criada por meio do Decreto nº 9335 de 27 de setembro de 2001 e até hoje ainda carece de estudos e dados primários de monitoramento que possam subsidiar a elaboração do zoneamento ecológico-econômico da UC, bem como seu plano de manejo (MIRANDA, 2016; BORGES, 2025).

Rodrigues e Faria (2019) destacam que, apesar de sua função legal, a APANRV não tem conseguido exercer seu papel regulador, permitindo que mais de 85% da vegetação savânica original fosse convertida em pastagens e usos antrópicos, comprometendo sua função ecológica.

Assim, compreender a dinâmica dos impactos humanos nesses ambientes requer investigações sistemáticas, capazes de indicar os níveis de contaminação e propor alternativas sustentáveis para a atividade rural. O caso da APANRV exemplifica de forma clara a tensão existente entre a conservação ambiental e o uso antrópico do território, evidenciando a necessidade de medidas permanentes de monitoramento e gestão ambiental (ZHAO *et al.*, 2024). Dentro dessa perspectiva,

¹Dados Abertos ICMBio – Plano de Manejo de Unidades de Conservações Federais: <https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/planos-de-manejo-de-unidades-de-conservacao-federais>

as ações de educação ambiental ganham relevância estratégica. Elas promovem o engajamento da população, fortalecem a cultura do cuidado com a água e contribuem para a formação de uma consciência crítica sobre os impactos das atividades humanas, conforme preveem as Políticas Nacionais de Recursos Hídricos e de Educação Ambiental (Leis nº 9433/1997 e nº 9795/1999). Integrar ciência, educação e território é fundamental para fomentar a participação social e o cuidado com os bens naturais (SILVA *et al.*, 2024b).

Diante da escassez de dados sobre a qualidade da água e as condições de balneabilidade na região, este estudo propõe levantar informações primárias sobre as águas superficiais da APANRV e desenvolver oficinas educativas com escolas públicas em Mambai-GO. O objetivo é aproximar o conhecimento científico produzido da realidade das comunidades locais, sobretudo no que diz respeito à qualidade da água e aos ecossistemas subterrâneos. Espera-se, com isso, criar uma base de referência para a gestão participativa dos recursos hídricos e oferecer subsídios técnicos às políticas de conservação, em especial às ações conduzidas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), parceiro institucional deste trabalho e responsável pela fiscalização das atividades econômicas e controle ambiental da APANRV.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Avaliar a qualidade das águas superficiais na Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho (APANRV), e realizar ações de educação ambiental voltadas à sensibilização de comunidades escolares para a conservação das águas e cavernas da região.

2.2. Específicos

- Analisar parâmetros físico-químicos, microbiológicos e a ocorrência de metais nas amostras de água superficial na APANRV;
- Verificar se os parâmetros analisados atendem aos limites estabelecidos na Portaria GM/MS nº 888/2021 bem como nas resoluções CONAMA nº 357/2005 e CONAMA nº 274/2000.
- Avaliar os riscos ambientais ao patrimônio espeleológico da APANRV, com ênfase na vulnerabilidade dos sistemas cársticos à contaminação superficial;
- Conduzir oficinas de educação ambiental em duas escolas públicas urbanas da região, com enfoque na preservação dos recursos hídricos e na proteção do patrimônio espeleológico, de acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e com a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Unidades de Conservação (UCs)

A conservação ambiental constitui um dos pilares essenciais para a sustentabilidade ecológica, promovendo o equilíbrio entre o desenvolvimento humano e a proteção dos recursos naturais. A sustentabilidade está intrinsecamente ligada à justiça ambiental e social, sendo imprescindível reconhecer que a degradação ambiental afeta diretamente as condições de vida das pessoas (CARVALHO, 2023; NUCCI e FÁVERO, 2003). Nesse contexto, conservar a natureza configura-se como um imperativo ético e político, destinado a assegurar tanto a integridade dos ecossistemas quanto os direitos das gerações atuais e futuras (SARDÃO e SILVA, 2022).

No Brasil, país reconhecido por sua vasta biodiversidade e por possuir uma das maiores áreas de floresta tropical do mundo, a gestão e proteção dos recursos ambientais tornam-se ainda mais essenciais. Nesse contexto, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), instituído pela Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, define as Unidades de Conservação (UCs) como “espaços territoriais e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituídos pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção” (SNUC, 2000).

Atualmente, o Brasil conta com 3.185 UCs, que abrangem uma área total de 1.632.558,87 km², sendo a maioria instituída pelos governos estaduais (CNUC, 2025). Segundo Silva *et al.* (2024a), embora o país possua, proporcionalmente, uma extensão de áreas protegidas superior à de nações como França e Itália, a efetividade dessas unidades ainda é limitada, o que compromete sua capacidade de proteger a biodiversidade de forma eficaz. No estado de Goiás, existem 14 Unidades de Conservação de proteção integral, sendo 13 parques e 1 estação ecológica além de 10 UCs de uso sustentável, sendo 9 áreas de proteção ambiental e 1 floresta estadual (SEMAD-GO, 2024).

As UCs desempenham um papel fundamental na preservação da diversidade biológica e no desenvolvimento sustentável, a partir dos recursos naturais e na salvaguarda das comunidades tradicionais, seus saberes e culturas (ANA, 2019).

Dentro do SNUC, as UCs são categorizadas em dois segmentos principais: Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável.

As Áreas de Proteção Ambiental (APAs) se diferenciam das demais categorias de UCs principalmente por sua natureza de uso sustentável, conforme estabelecido pelo SNUC. As APAs integram o grupo de Unidades de Conservação de uso sustentável, conforme o SNUC (Lei nº 9.985/2000), permitindo a presença humana e atividades econômicas, desde que compatíveis com a conservação ambiental. Diferenciam-se das Unidades de Proteção Integral por não exigirem desapropriação de terras privadas e por adotarem instrumentos de gestão participativa, como o Plano de Manejo e o Conselho Gestor. No caso da APA das Nascentes do Rio Vermelho (APANRV), em Mambai (GO), a Ausência de um Plano de Manejo estruturado e as limitações na atuação do conselho consultivo, conforme apontado por Borges (2025) — comprometem a efetividade da gestão. Apesar da criação do NGI-ICMBio em Mambai em 2020, persistem desafios quanto à consolidação da gestão participativa e à proteção dos ecossistemas frente às pressões antrópicas locais.

Os objetivos principais da APANRV, conforme estabelecido em seu Decreto de criação, incluem ordenar a ocupação das áreas de influência do patrimônio espeleológico local, fomentar a educação ambiental, promover a pesquisa científica, proteger os atributos naturais, a diversidade biológica, os recursos hídricos e o patrimônio espeleológico, além de assegurar o caráter sustentável das atividades humanas, com ênfase nas condições de sobrevivência e qualidade de vida das comunidades locais e do entorno. O decreto também determina proibições específicas, como o exercício de atividades capazes de provocar a erosão do solo, o assoreamento de corpos hídricos ou que coloquem em risco os aquíferos, bem como atividades que envolvam a matança, captura ou molestamento de espécies da biota regional. Nesse contexto, a depender do regime de uso do fogo, por exemplo, há um claro potencial de violação dos objetivos de proteção dos recursos hídricos, conforme previsto no próprio texto legal.

Miranda (2016) aponta a existência de um conflito socioambiental em Mambai-GO, evidenciado pela ocupação desordenada do solo e pela fragilidade do controle estatal, fatores que intensificam a degradação ambiental e ameaçam a

qualidade da água e os modos de vida locais. Essa percepção também é refletida nas falas da comunidade, como a do Sr. K, morador do Paran: “a APA  boa para manter a água e preservar, mas os rios estão assoreando por conta das monoculturas tudo ao redor” [...] “os pivos atrapalham muito, são que com os ricos ninguém mexe” (NÓBREGA, 2022).

O depoimento revela uma crítica direta  injustiça ambiental e  ausência de ações de fiscalização, ressaltando a desigualdade entre grandes produtores e populações locais vulneráveis.

Como estrategias para reverter esse cenário, Rodrigues e Faria (2019) sugerem a criação de zonas de uso restrito em áreas sensíveis da APA, a fim de controlar impactos negativos e fortalecer a conservação dos recursos naturais. Iniciativas de extensão da Universidade Federal de Goiás (UFG) também propõem o fortalecimento do protagonismo das mulheres rurais, promovendo práticas agroecológicas que aliam produção e conservação, com base no manejo participativo e nos saberes tradicionais.

3.2. Gestão de Recursos Hídricos, qualidade da água e legislação

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei n 9.433/1997, estabelece princípios fundamentais como a descentralização da gestão, o uso múltiplo das águas e a bacia hidrográfica como unidade de planejamento (BRASIL, 1997). No entanto, a falta de plano de manejo na APANRV (ICMBIO, 2025) e a inexistência de articulações institucionais e sociais resultam na inexistência de comits de bacia hidrográfica ou de planos de recursos hídricos formalizados, o que dificulta a aplicação efetiva dos instrumentos de gestão preconizados pela PNRH. Essa lacuna abre espaço para conflitos de uso, degradação da qualidade da água e ausência de controle social, comprometendo o princípio do uso múltiplo e sustentável das águas, especialmente em áreas com ecossistemas frágeis e sobrepostos a aquíferos cársticos (BRINKMANN e PARISE, 2012).

A qualidade da água é definida a partir da análise integrada de parâmetros físicos, químicos e biológicos, os quais permitem avaliar a aptidão da água para diversos usos e a saúde dos ecossistemas aquáticos (SERRAGLIO *et al.*, 2021). A

análise biológica é especialmente relevante em contextos nos quais os indicadores físico-químicos não são suficientes para detectar ou quantificar contaminantes emergentes (ANA, 2006). No Brasil, os critérios para avaliação e classificação da qualidade das águas são estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que define os padrões para enquadramento das águas doces, salobras e salinas em classes, conforme os diferentes usos previstos. Já a Resolução CONAMA nº 274/2000 trata especificamente da balneabilidade, definindo os limites para coliformes termotolerantes em águas destinadas à recreação. Para o consumo humano, a Portaria GM/MS nº 888/2021 define os padrões de potabilidade da água. Além disso, a Lei nº 9.433/1997, que institui a PNRH, estabelece a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, reforçando os princípios de gestão integrada e descentralizada dos recursos hídricos (BRASIL, 1997; BRASIL, 2000; BRASIL, 2005; BRASIL, 2021). Na Tabela 3.1 são apresentados os limites estabelecidos para as classes dos corpos d'água doces disponíveis na resolução CONAMA nº 357/2005 e padrão de potabilidade da água para consumo humano estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde GM/MS 888/2021.

Tabela 3.1 - Limites dos parâmetros químicos, físicos e microbiológicos estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357/2005 para água doce e pela Portaria do Ministério da Saúde GM/MS 888/2021

Variável	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Potabilidade (GM/MS 888/2021)
Alumínio total	mg/L	0,1	0,1	0,2	≤ 0,2
Cádmio total	mg/L	0,001	0,001	0,01	0,003
Cobalto total	mg/L	0,05	0,05	0,20	-
Chumbo total	mg/L	0,01	0,01	0,033	0,01
Cloreto total	mg/L	250	250	250	≤ 250
Cobre total	mg/L	0,009	0,009	0,013	2,0
Cor aparente	PCU	75	75	75	≤ 15
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	200	1000	2500	Ausência em 100mL
Ferro total	mg/L	0,3	0,3	5,0	≤ 0,3
Fluoreto	mg/L	1,4	1,4	1,4	1,5
Fósforo total	mg/L	0,10 (lótico)	0,10 (lótico)	0,15 (lótico)	-

Manganês total	mg/L	0,1	0,1	0,5	≤ 0,1
Níquel total	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,07
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	10	10	10	10
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/L	1,0	1,0	1,0	1,0
Nitrogênio amoniacal total	mg/L	3,7 para pH ≤ 7,5 2,0, para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0, para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 para pH > 8,5	13,3, para pH ≤ 7,5 5,6, para 7,5 < pH ≤ 8,0 2,2, para 8,0 < pH ≤ 8,5 1,0, para pH > 8,5		≤ 1,2
Oxigênio dissolvido	mg/L	≥6	≥5	≥4	-
pH	-	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6,0 a 9,5
Sódio	mg/L	-	-	-	≤ 200
Sólidos totais dissolvidos	mg/L	500	500	500	≤ 500
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	250	250	250	≤ 250
Turbidez	UNT	40	100	100	≤ 5
Zinco total	mg/L	0,18	0,18	5,0	≤ 5,0

Nota: Alguns parâmetros não possuem limites definidos diretamente na Resolução CONAMA 357/2005 ou na Portaria GM/MS nº 888/2021. Para parâmetros microbiológicos, os valores de potabilidade referem-se à "Ausência" conforme estabelecido na legislação.

A qualidade da água pode ser afetada tanto por fatores naturais quanto antrópicos. Durante o período chuvoso, o intemperismo das rochas pode mobilizar nutrientes como fósforo e compostos nitrogenados, enquanto em áreas rurais, a aplicação excessiva de agrotóxicos e fertilizantes, aliada à ausência de infraestrutura de saneamento, favorece a lixiviação de contaminantes para os corpos hídricos (MARTINS, 2009). Processos de eutrofização podem ocorrer como consequência dos fatores supracitados, esses processos comprometem a oxigenação e a biodiversidade aquática, trazendo à tona uma discussão de como a diminuição de O₂ nos ecossistemas aquáticos é impulsionada por fatores antrópicos, mudanças climáticas e alterações no uso do solo (ROSE *et al.*, 2024).

Nesse contexto, uma das práticas que agravam tais impactos é o uso do fogo em áreas de Cerrado, que, segundo Brito (2014), pode provocar alterações significativas nas propriedades físico-químicas do solo, influenciando diretamente a

qualidade da água superficial, sobretudo no período chuvoso subsequente aos incêndios. Já que a intensificação do uso do fogo no período seco, associada à expansão das atividades agropecuárias na região, favorece o acúmulo de cinzas e material particulado sobre o solo exposto, o que pode resultar no carreamento de substâncias dissolvidas para os corpos hídricos durante os primeiros eventos chuvosos. De acordo com Brito (2014), as cinzas provenientes das queimadas no Cerrado provocam alterações expressivas na qualidade da água, elevando a condutividade elétrica, a concentração de sólidos totais dissolvidos e o pH, além de reduzirem o oxigênio dissolvido.

3.3. Cavernas e Aquíferos Cársticos na Região Nordeste de Goiás

As cavernas da região Nordeste de Goiás, especialmente na APANRV, representam um dos mais importantes patrimônios espeleológicos do bioma Cerrado. Inseridas em formações carbonáticas da Formação Bambuí, essas cavidades subterrâneas não apenas desempenham papel essencial na regulação hídrica regional, como também abrigam espécies únicas, endêmicas e sensíveis às alterações ambientais (GALVÃO, 2022; SIMÕES, SOUZA-SILVA e FERREIRA, 2014). A infiltração de água nas rochas calcárias, associada aos processos de dissolução química, origina condutos que formam os aquíferos cársticos, reconhecidos por sua elevada vulnerabilidade à contaminação (HIRATA *et al.*, 2019).

A dinâmica hidrológica dos sistemas cársticos é marcada por uma resposta rápida às variações climáticas e ao uso do solo, uma vez que a ausência de solo filtrante em áreas de recarga facilita o transporte de poluentes diretamente para o lençol freático (JANSEN *et al.*, 2014). Essa característica torna urgente o controle do uso de insumos e da ocupação nas proximidades das cavernas, uma vez que a contaminação química ou microbiológica pode comprometer toda a biota subterrânea.

Um dos exemplos mais emblemáticos da fragilidade ecológica dessas cavidades é a ocorrência do “peixe Boticário” (*Ituglanis boticario*), uma espécie de peixe troglóbia endêmica da região de Mambaí, registrada em cavernas do sistema da Lapa do Bode (RIZZATO e BICHUETTE, 2014). Descoberto em 2016 e descrito cientificamente em 2019, o *Ituglanis boticario* apresenta adaptação completa ao

ambiente cavernícola, como ausência de olhos e pigmentação, e é extremamente sensível a alterações na qualidade da água. Sua ocorrência restrita a algumas cavernas da APA reforça a importância de estratégias de conservação integrada, voltadas à manutenção da integridade hídrica e espeleológica local (RIZZATO *et al.*, 2019).

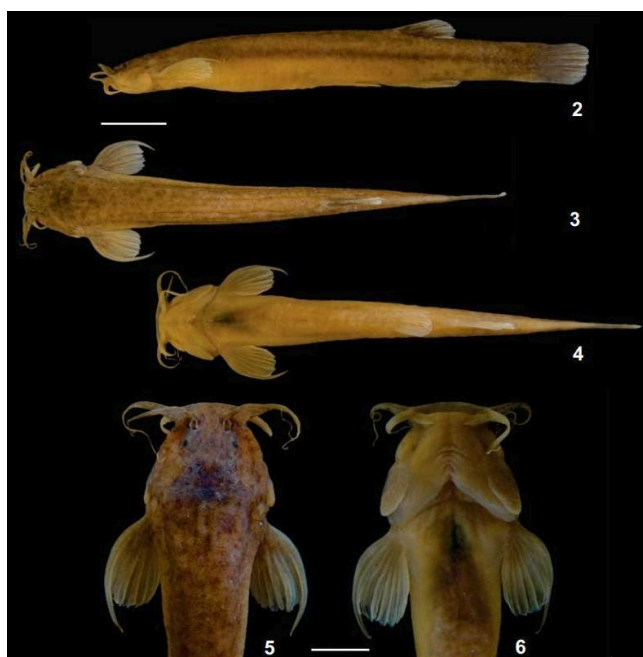


Figura 3.1. Holótipo da espécie *Ituglanis boticario*: vista lateral, dorsal, ventral e cefálica.
Fonte: RIZZATO; BICHUETTE (2019).

Essa vulnerabilidade se deve principalmente às características dos carstes, com entradas de água de superfície em condutos localizados (sumidouros) sem camada filtrante, como o solo, resultando em um escoamento turbulento da água que pode transportar poluentes por grandes distâncias (JANSEN *et al.*, 2014).

Os ambientes cársticos são considerados de extrema vulnerabilidade por serem mais sensíveis às mudanças de uso e ocupação dos solos aliadas às atividades antrópicas, esses impactos refletindo-se em mudanças rápidas na dinâmica hídrica.

A dinâmica complexa de fluxo d'água nas estruturas cársticas foi confirmada recentemente por estudo realizado na região de Mambaí, especificamente no sistema cárstico da Gruta da Tarimba, dentro da APANRV, onde se empregaram traçadores fluorescentes para mapear o fluxo subterrâneo em condutos cársticos, identificando-se nove conexões hidrológicas entre as cavernas Tarimba, Matadeiro,

Saruê, Extrema e outras adjacentes (VIEIRA, 2023). Os resultados desse estudo evidenciaram um padrão de fluxo convergente em direção à caverna Extrema, que atua como nível de base local influenciado pelo córrego homônimo.

Dada a presença de espécies *troglobias* recentemente descobertas, como o *Ituglanis boticario*, e a complexidade dos sistemas subterrâneos, é plausível supor que a região contenha outras espécies ainda não identificadas, o que reforça a importância do monitoramento e da preservação dos ambientes hídricos e cavernícolas.

De forma geral, as áreas cársticas são fundamentais não apenas por abrigar diversas espécies, algumas das quais encontradas exclusivamente nesses ambientes, mas também pela importância que têm na regulação hídrica do Cerrado (TIBURCIO e CARNEIRO, 2025). Justamente pela fragilidade característica desses locais, qualquer tipo de contaminação das águas superficiais pode gerar impactos graves sobre a fauna e a flora cavernícolas, colocando em risco o patrimônio natural e a qualidade ambiental da APA. Reconhecendo-se essa vulnerabilidade, a legislação brasileira, por meio do Decreto nº 10.935/2022, voltado especificamente à proteção das cavidades subterrâneas naturais, e da Lei nº 9.985/2000, que institui o SNUC, reforça a importância de se proteger esses ecossistemas subterrâneos devido ao seu valor ecológico, científico e cultural. Nesse cenário, a APANRV representa uma região estratégica para assegurar a conservação da biodiversidade subterrânea e manter o equilíbrio dos recursos hídricos essenciais à bacia hidrográfica do Rio Tocantins-Araguaia.

3.4. Espeleoturismo e Balneabilidade em Mambaí - GO

O turismo tem se expandido de forma significativa no Brasil, apresentando grande potencial para o desenvolvimento em diversas regiões. O turismo sustentável e o ecoturismo, por sua vez, surgem como uma alternativa viável para conciliar as demandas dos visitantes com as necessidades das comunidades locais, promovendo a preservação ambiental e o desenvolvimento socioeconômico (BRASIL, 2023).

Um dos segmentos do turismo sustentável e ecoturismo que mais cresce é o uso recreativo dos recursos hídricos (como rios, cachoeiras e lagos) impulsionado pela busca por atividades fora dos centros urbanos, pelas condições climáticas

favoráveis e pela abundância de água no território nacional (MUNIZ *et al.*, 2020). As águas utilizadas para recreação nem sempre possuem balneabilidade, ou seja, aptidão de corpos d'água para o banho e atividades com contato direto. Essa avaliação é realizada por meio da análise da qualidade da água, especialmente pela quantificação de bactérias do grupo *coliforme*, como *Escherichia coli* e *enterococos*, indicadores de contaminação fecal (BERG *et al.*, 2013).

Outro segmento em ascensão é o espeleoturismo (turismo em cavernas), que tem se desenvolvido ao longo dos anos no Brasil, despertando interesse tanto científico quanto recreativo (FREITAS *et al.*, 2019). O município de Mambai (integrante da APANRV) representa um exemplo promissor nesse cenário. Reconhecido pelo seu potencial espeleoturístico, está inserido em uma área cárstica, que abriga mais de 180 cavidades catalogadas (VIEIRA; VIEIRA, 2009). Esse contexto geológico favorece a prática do turismo em rios, cachoeiras, cavernas, trilhas ecológicas e esportes de aventura, como rapel e escalada, integrando conservação e desenvolvimento (LINHARES, 2020).

Apesar do grande potencial, o turismo em Mambai ainda é pouco explorado. Iniciativas como o inventário turístico apoiado por Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) buscam aprimorar o planejamento e a gestão da atividade, garantindo segurança aos visitantes e mitigando impactos ambientais (VIEIRA; VIEIRA, 2009). Além das cavernas, o município conta com outros atrativos naturais, como a Cachoeira Paraíso do Cerrado e a Lapa do Funil, onde a qualidade da água é essencial para a manutenção da atratividade turística. Entretanto, a ausência de saneamento básico adequado e a vulnerabilidade do aquífero cárstico local tornam imprescindível o monitoramento da balneabilidade (SILVA *et al.*, 2024a).

O turismo em ambientes cavernícolas, por sua vez, exige cuidados específicos. O ecossistema das cavernas é sensível e facilmente impactado pela visita desordenada. Assim, a elaboração e implementação de um Plano de Manejo Espeleológico torna-se essencial, considerando a capacidade de suporte, o envolvimento comunitário e a adoção de práticas sustentáveis (MARRA, 2001). Integrar o monitoramento da qualidade da água ao planejamento turístico é uma estratégia essencial para o fortalecimento do ecoturismo responsável em Mambai, promovendo a conservação ambiental, a valorização cultural e o desenvolvimento local de forma equilibrada e duradoura.

3.5. Dados Socioeconômicos e Saneamento Ambiental da APANRV

A região da APANRV está inserida na microrregião do Vão do Paranã e é caracterizada por baixos indicadores socioeconômicos, com desafios em áreas como educação, saúde e infraestrutura; condições essas que impactam diretamente na gestão e conservação dos recursos naturais, exigindo políticas públicas integradas que considerem as especificidades locais (PNUD, 2013).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022), o município de Mambai, com população de 8.124 habitantes, tem cerca de 78,9% de sistema de esgotamento sanitário sem coleta e sem tratamento, e apenas 16,4% com coleta e sem tratamento além de 4,8% da população, a qual lança mão de soluções individuais de esgotamento. Apesar das limitações econômicas, a cidade tem se destacado pelo potencial ecoturístico, com forte atratividade ligada às cavernas, cachoeiras e trilhas da região, que contribuem para a diversificação da economia local.

Buritópolis possui 3.364 habitantes (IBGE, 2022) e está entre os municípios mais pobres do estado. No município se estima que 98% do esgoto não é ligado à rede e não é tratado e apenas 0,67% da população afasta seus esgotos por meio de rede geral (INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO, 2022). A economia baseia-se principalmente na agricultura familiar e na pecuária extensiva, com baixa cobertura de saneamento básico e infraestrutura urbana limitada. Essas condições aumentam a pressão sobre os recursos naturais da APA e dificultam a implementação de políticas públicas ambientais (IBGE, 2022).

Damianópolis, com população de 3.688 habitantes (IBGE, 2022), apresenta perfil semelhante, com forte dependência da agropecuária e frágil presença do setor de serviços. No município existe uma parcela de 91,3% de esgotamento sanitário sem coleta e sem tratamento, 4,8% de soluções individuais e 3,9% com coleta e sem tratamento. Já o município de Posse, o mais populoso da região, conta com 36.155 habitantes (IBGE, 2022) e funciona como polo regional, concentrando serviços de saúde, comércio e educação. Cerca de setenta e três por cento (73,85%) do esgoto é coletado e 100,00% do esgoto coletado é tratado (INFOSANBAS, 2020).

Apesar do papel estratégico da cidade de Posse, o crescimento urbano desordenado, a pressão sobre os mananciais e a expansão da agropecuária mecanizada nos seus arredores também impõem desafios à conservação da APA (SOUZA, FERREIRA e FORMIGA, 2016), evidenciando a importância de políticas públicas integradas que combinem desenvolvimento social, infraestrutura básica e conservação ambiental, especialmente em regiões cársticas com alta vulnerabilidade hídrica, como a APANRV.

3.6. O Papel da Educação Ambiental no Fortalecimento da Cidadania Ecológica

A cidadania ecológica se refere à formação de sujeitos capazes de compreender suas responsabilidades socioambientais, adotando posturas reflexivas, críticas e proativas diante dos desafios naturais e comunitários. Conforme Costa e Aguiar (2020), articulando Educação Ambiental e escola, esse conceito busca promover mudanças de atitudes e valores rumo à mitigação dos impactos socioambientais e à defesa coletiva do ambiente.

Dentro da vertente transformadora da Educação Ambiental, a construção da cidadania ecológica extrapola a mera transmissão de informações, indo em direção à responsabilização dos atores sociais pela gestão dos recursos naturais, conforme proposto por Loureiro (2008) e preconizado por Freire (1979) como educação libertadora. Projetos de extensão universitária desempenham papel fundamental nesse contexto ao conectar os estudos ambientais com a vivência territorial e escolar.

A Educação Ambiental (EA) surge como um instrumento fundamental na construção de sociedades sustentáveis, especialmente em territórios frágeis do ponto de vista ecológico, como as áreas de proteção ambiental e os sistemas hídricos cársticos (LOUREIRO e CUNHA, 2008). A EA permite a reflexão crítica sobre as relações entre sociedade e natureza, incentivando a mudança de práticas que levam à degradação dos recursos naturais.

No contexto brasileiro, a Lei nº 9.795/1999, que institui a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), estabelece que a educação ambiental deve estar presente em todos os níveis e modalidades de ensino, além de se desenvolver de forma articulada com políticas públicas, gestão ambiental e participação social. Essa

perspectiva reforça que os processos educativos vão além dos espaços escolares, abrangendo também práticas não formais, como oficinas comunitárias, projetos territoriais e ações de sensibilização ambiental. Conforme Jacobi (2003) a educação ambiental não deve ser meramente informativa, mas sim formativa, promovendo a construção de uma cidadania ecológica capaz de fomentar mudanças nos modos de produção, consumo e ocupação do território.

Segundo Costa e Pereira (2024) e Henriques (2024), a EA precisa romper com abordagens superficiais que responsabilizam exclusivamente os indivíduos, deslocando o foco para a crítica aos modelos econômicos, às estruturas de poder e às formas de exploração que geram degradação ambiental. Além disso, Ferreira *et al.* (2025) reforçam que a EA deve ser contextualizada, considerando os saberes locais, a realidade dos territórios e os desafios específicos enfrentados pelas comunidades. Conforme destacam Dias (2004), Loureiro (2008) e Costa e Aguiar (2020), a EA deve ser compreendida como um processo contínuo, crítico e transformador, capaz de empoderar indivíduos e comunidades na busca por soluções sustentáveis e na construção de uma sociedade mais justa e ambientalmente responsável.

Nesse contexto, regiões como a APANRV, com a vulnerabilidade característica dos aquíferos cársticos, exige não apenas ações de monitoramento técnico, mas também a mobilização da comunidade em torno da gestão compartilhada dos recursos hídricos. Nesse sentido, a EA não se limita à transmissão de conhecimentos, mas atua também como um processo de mediação entre ciência, sociedade e natureza, promovendo a reflexão sobre os impactos das atividades humanas, a construção de soluções locais e o fortalecimento da participação social na defesa dos bens comuns.

4. METODOLOGIA

4.1. Área de Estudo

4.1.1. Localização

Localizada integralmente no Bioma Cerrado, a APANRV abriga uma vegetação bastante heterogênea, incluindo formações típicas como Veredas

Contínuas, Matas Secas, Matas de Galeria, Cerrado *Sensu Stricto*, Cerradões, Campos Limpos e Campos Sujos (MIRANDA *et al.*, 2016).

A rede hidrográfica da unidade é formada por diversos corpos d'água, dentre os quais se destacam o Córrego Piracanjuba, o Rio dos Buritis, o Córrego da Onça, o Rio Vermelho, o Córrego Ventura, o Córrego da Pedra, o Córrego Risada e o Ribeirão São Vidal (ANA, 2017). O Rio Vermelho, cuja nascente está situada dentro da APA, desempenha um papel fundamental não apenas na hidrologia local, mas também em escala regional, integrando as Regiões Hidrográficas do São Francisco e Tocantins-Araguaia (MIRANDA, 2016; MMA, 2024). Quanto ao clima, a região apresenta características do tipo Tropical do Brasil Central, com temperaturas médias superiores a 18 °C durante todo o ano, com um período seco que se estende por aproximadamente quatro a cinco meses (de maio a setembro, com pico da seca entre junho e agosto) e um período chuvoso (de outubro a abril, com chuvas intensas entre novembro e fevereiro) (MMA, 2024).

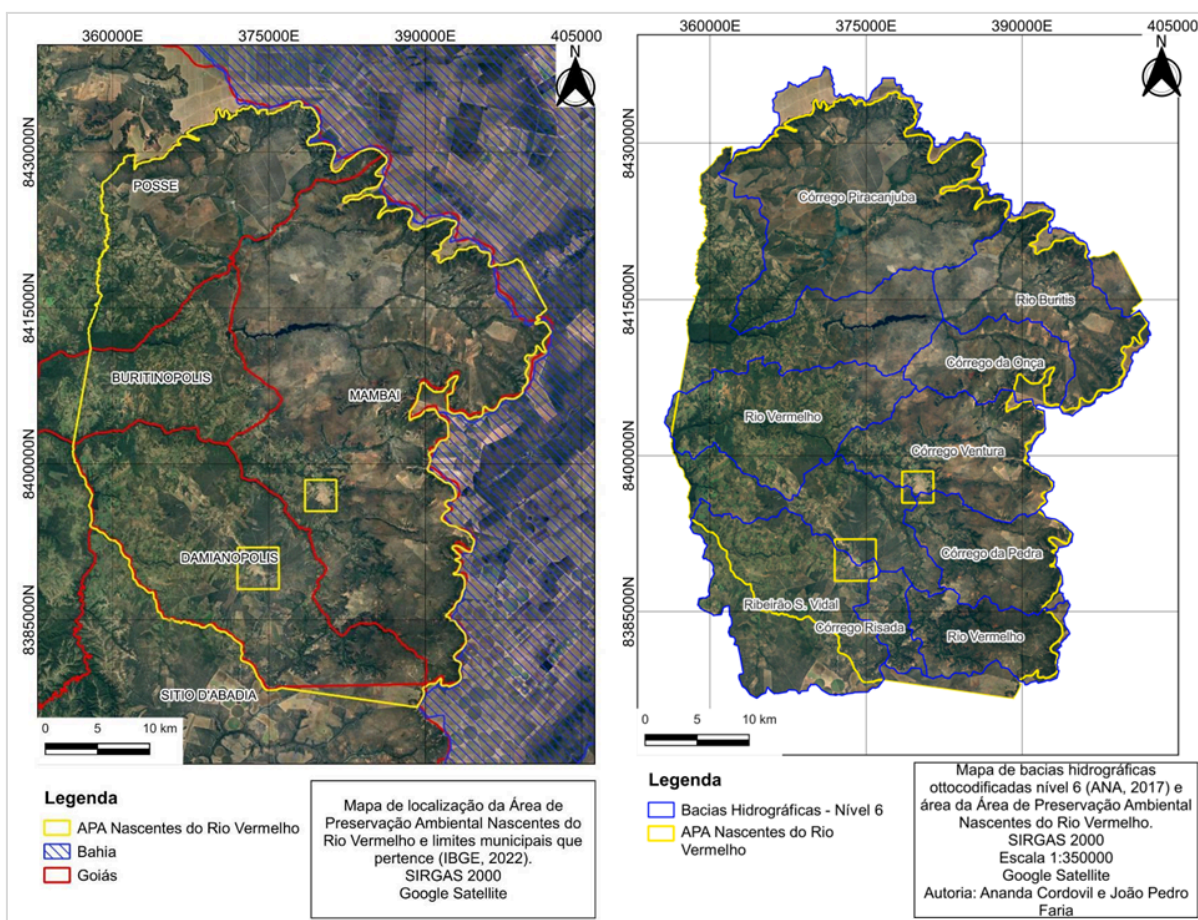


Figura 4.1. (A) Mapa de localização da APANRV e abrangência dos municípios. (B) Sub-Bacias hidrográficas da APANRV ottocodificadas em nível 6. Elaboração: Ananda Cordovil e João Pedro Faria.

4.1.2. Pontos de coleta

Os pontos de coleta foram definidos levando-se em consideração o acesso aos pontos de amostragem, influência do uso e ocupação da área próxima aos corpos hídricos, entre outros (Figura 4.2). A Tabela 4.1 apresenta os corpos hídricos, identificação e respectivas coordenadas dos pontos amostrais.

Tabela 4.1 - Descrição e coordenadas dos pontos de coleta

Código	Bacia Hidrográfica	Corpo Hídrico	Identificação	Coordenada (SIRGAS 2000)
P1	Ribeirão São Vidal	Ribeirão São Vidal	Nascente São Vidal	14°39'53.0"S 46°09'58.6"W
P2	Rio Vermelho	Rio Vermelho	Nascente Rio Vermelho	14°38'22.4"S 46°07'56.3"W
P3	Rio Vermelho	Rio Vermelho	Fazenda Luiz	14°37'20.1"S 46°00'58.6"W

Código	Bacia Hidrográfica	Corpo Hídrico	Identificação	Coordenada (SIRGAS 2000)
P4	Córrego da Pedra	Córrego da Pedra	Lago do Léo	14°34'00.2"S 46°03'35.3"W
P5	Córrego da Pedra	Córrego Ribeirão	Vereda Mergulhão	14°32'05.0"S 46°02'16.5"W
P6	Córrego Ventura	Córrego Riachão	Nascente Riachão	14°29'46.6"S 46°02'02.2"W
P7	Córrego Ventura	Córrego Riachão	Captação Saneago	14°29'28.3"S 46°04'23.1"W
P8	Córrego da Onça	Córrego da Onça	Lodo	14°22'34.9"S 46°00'06.5"W
P9	Rio Buritis	Rio Buritis	Ponte Buritis	14°20'04.9"S 45°59'40.2"W
P10	Rio Buritis	Nascente Buritis	Zé Lopes	14°16'35.5"S 46°01'27.0"W
P11	Córrego Piracanjuba	Córrego Maria Ferreira	Nascente Maria Ferreira	14°10'28.1"S 46°10'25.7"W
P12	Córrego Piracanjuba	Córrego Piracanjuba	Caverna Americal	14°12'56.4"S 46°11'39.7"W
P13	Córrego da Pedra	Córrego da Pedra	Caverna Borá II	14°31'39.5"S 46°06'48.9"W
P14	Córrego Ventura	Córrego Ventura	Caverna Funil	14°28'31.3"S 46°09'04.4"W
P15	Rio Vermelho	Córrego Extrema	Caverna Tarimba	14°25'54.9"S 46°09'51.6"W
P16	Rio Vermelho	Rio Vermelho	Caverna Lapa do Penhasco	14°25'51.7"S 46°13'16.4"W

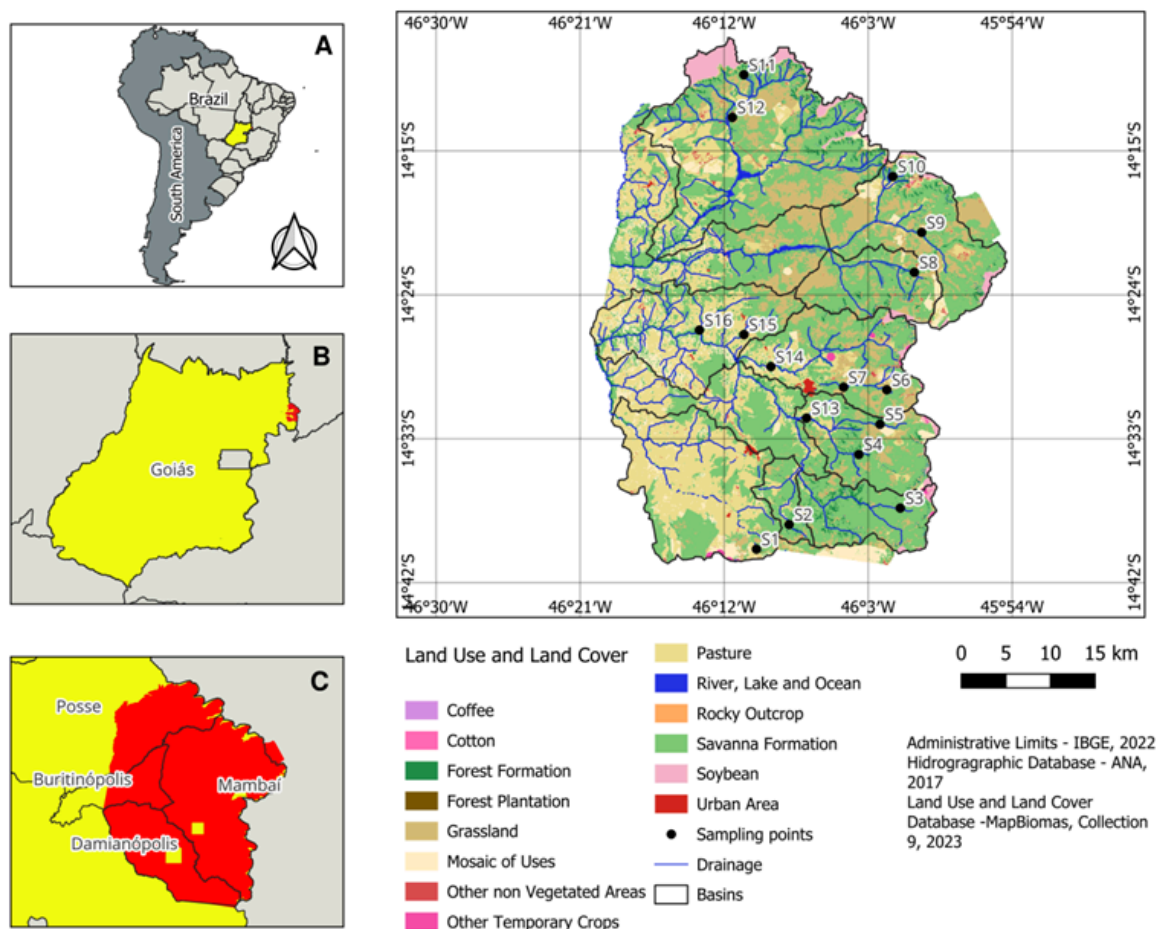


Figura 4.2 - Localização dos pontos de coleta (S1 a S16 representam P1 a P16) utilizados para as análises de qualidade da água na APANRV. Cada ponto está representado por letras conforme sua identificação no texto. Elaboração: João Pedro Faria.

4.1.3. Uso e ocupação do solo

Conforme a Figura 4.3, Figura 4.4, e a Tabela 4.3, as sub-bacias que compõem a APANRV apresenta sua cobertura primariamente composta por Formações Savânicas (40,29 %) e Campestre (24,88 %), seguidas de Pastagens (18 %) e Mosaico de Usos (8,11 %), sendo este último a mistura de diferentes tipos de uso e cobertura do solo, onde não é possível distinguir claramente um uso predominante específico devido à escala utilizada nas imagens de satélite analisadas (MAPBIOMAS, 2022).

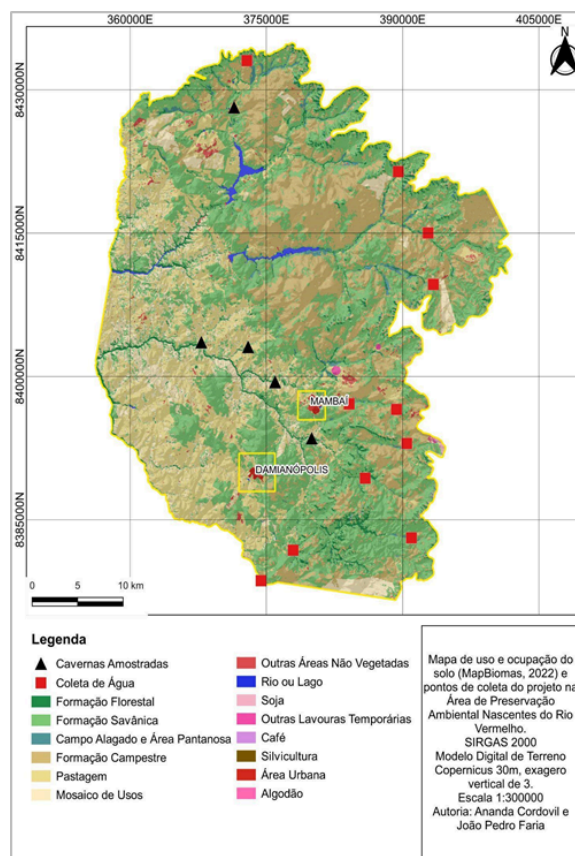
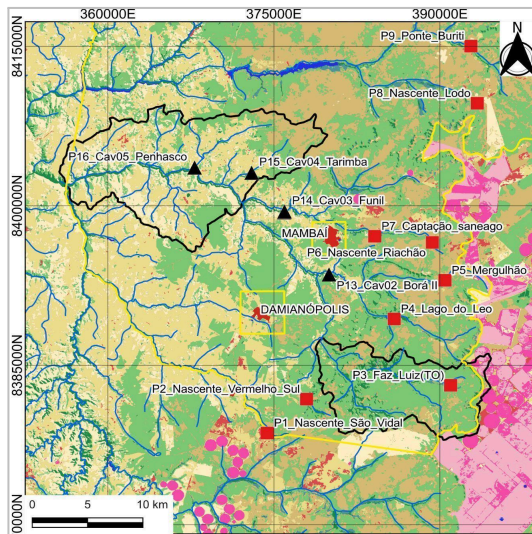


Figura 4.3. Uso e ocupação do solo na APANRV. Elaboração: Ananda Cordovil e João Pedro Faria.

Tabela 4.2 - Área e percentual do uso e ocupação do solo da APANRV

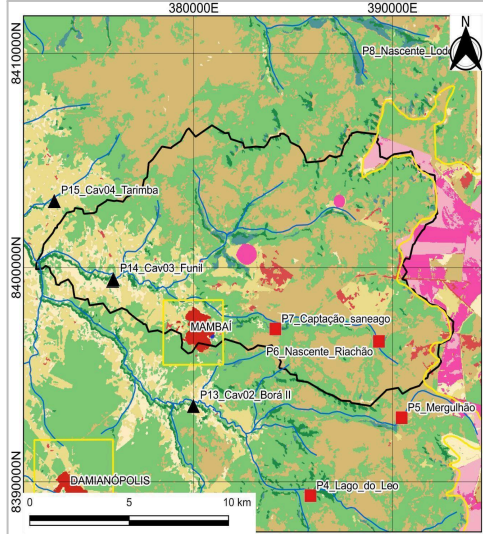
Usos	Área (ha)	Percentual (%)
Formação Savânica	61673,06	40,289
Formação Campestre	38085,49	24,880
Pastagem	27553,34	18,000
Mosaico de Usos	12421,54	8,115
Formação Florestal	4694,19	3,067
Soja	3928,67	2,566
Campo Alagado e Área Pantanosa	1888,58	1,234
Outras Áreas não vegetadas	1370,87	0,896
Outras Lavouras Temporárias	686,81	0,449
Rio	465,07	0,304
Área Urbanizada	277,55	0,181
Algodão	30,90	0,020
Café	0,87	0,001

Fonte: Autoria; MAPBIOMAS, 2022.



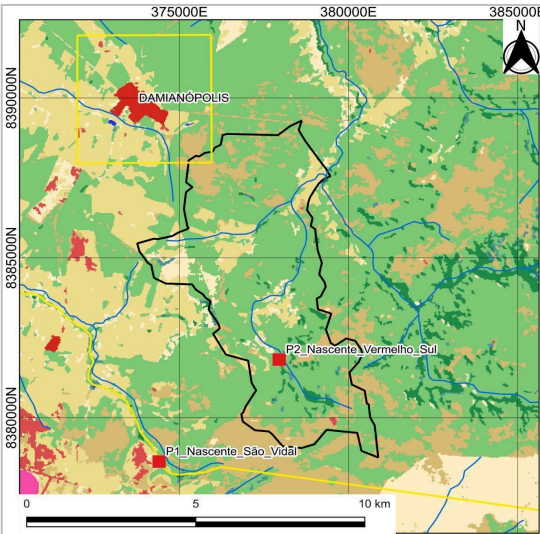
- Legenda**
- ▲ Cavernas Amostradas
 - Coleta de Água
 - ▭ Rio Vermelho
 - Hidrografia
 - ▭ APA Nascentes do Rio Vermelho
 - Formação Florestal
 - Formação Savânica
 - Campo Alagado e Área Pantanosa
 - Formação Campestre
 - Pastagem
 - Mosaico de Usos Não Vegetadas
 - Rio ou Lago
 - Soja
 - Outras Lavouras Temporárias
 - Café
 - Área Urbana
 - Algodão

Mapa de uso e ocupação do solo (MapBiomas, 2022) nas Bacias do Rio Vermelho (ANA, 2017) e pontos de coleta. Escala 1:300000. Autoria: Ananda Cordovil e João Pedro Faria



- Legenda**
- ▲ Cavernas Amostradas
 - Coleta de Água
 - ▭ Córrego Ventura
 - Hidrografia
 - ▭ APA Nascentes do Rio Vermelho
 - Formação Florestal
 - Formação Savânica
 - Campo Alagado e Área Pantanosa
 - Formação Campestre
 - Pastagem
 - Mosaico de Usos Não Vegetadas
 - Rio ou Lago
 - Soja
 - Outras Lavouras Temporárias
 - Café
 - Área Urbana

Mapa de uso e ocupação do solo (MapBiomas, 2022) na Bacia do Córrego Ventura (ANA, 2017) e pontos de coleta. Escala 1:150000. Autoria: Ananda Cordovil e João Pedro Faria



- Legenda**
- Coleta de Água
 - ▭ Córrego Risada
 - Hidrografia
 - ▭ APA Nascentes do Rio Vermelho
 - Formação Florestal
 - Formação Savânica
 - Campo Alagado e Área Pantanosa
 - Formação Campestre
 - Pastagem
 - Mosaico de Usos Não Vegetadas
 - Rio ou Lago
 - Outras Lavouras Temporárias
 - Área Urbana

Mapa de uso e ocupação do solo (MapBiomas, 2022) na Bacia do Córrego da Risada (ANA, 2017) e pontos de coleta. Escala 1:100000. Autoria: Ananda Cordovil e João Pedro Faria

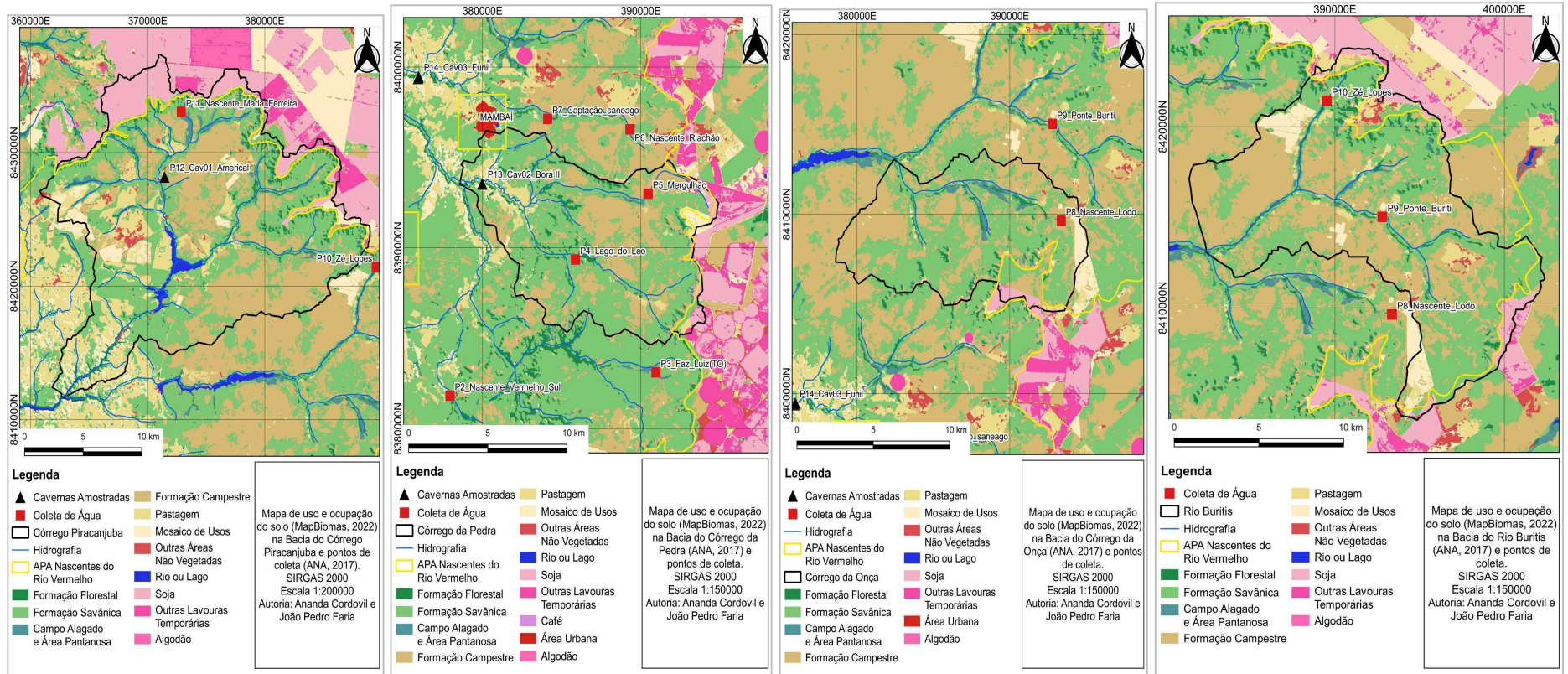


Figura 4.4. Uso e ocupação do solo e pontos de amostragem nas sub-bacias da APNRV: (A) Rio Vermelho; (B) Córrego Ventura; (C) Córrego Risada; (D) Córrego Piracanjuba; (E) Córrego da Pedra; (F) Córrego da Onça e (G) Rio Buritis.

Elaboração: Ananda Cordovil e João Pedro Faria.

Tabela 4.3 – Área e percentual do uso e ocupação do solo das sub-bacias da APNRV

Usos	Buritis		Onça		Pedra		Piracanjuba		Risada		Ventura		Vermelho 1		Vermelho 2		Vidal	
	Área (há)	(%)	Área (há)	(%)	Área (há)	(%)	Área (há)	(%)	Área (há)	(%)	Área (há)	(%)	Área (há)	(%)	Área (há)	(%)	Área (há)	(%)
Algodão	11,35	0,061	0,00	0,000	0,00	0,000	0,56	0,001	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	18,99	0,191	0,00	0,000
Área Urbanizada	0,00	0,000	0,00	0,000	19,87	0,165	0,00	0,000	0,00	0,000	176,52	1,041	0,00	0,000	0,00	0,000	81,17	0,346
Café	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,87	0,005	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000
Campo Alagado e Área Pantanosa	245,60	1,323	300,34	2,959	134,43	1,116	757,91	1,891	23,27	0,006	231,75	1,367	12,37	0,068	152,29	1,532	30,63	0,130
Formação Campestre	7773,28	41,885	4272	42,077	3745,5	31,103	11985	29,910	540,42	0,150	5724,4	33,769	1292,6	7,072	1637	16,470	1115,98	4,752
Formação Florestal	539,78	2,908	242,68	2,391	420,80	3,494	1671,7	4,172	97,77	0,027	372,81	2,199	478,49	2,618	712,89	7,173	157,26	0,670
Formação Savânica	7569,71	40,788	4811,7	47,402	6418	53,294	15343	38,289	2383,4	0,662	6835	40,321	4559	24,94	6937,1	69,797	6816,77	29,025
Mosaico de Usos	884,55	4,766	260,17	2,563	423,76	3,519	2326	5,805	185,22	0,051	827,24	4,880	4667,1	25,54	52,56	0,529	2794,94	11,900
Outras Áreas não Vegetadas	192,63	1,038	22,34	0,220	18,21	0,151	380,66	0,950	4,85	0,001	288,98	1,705	102,43	0,560	8,48	0,085	352,30	1,500
Outras Lavouras Temporárias	37,85	0,204	9,88	0,097	65,85	0,547	162,24	0,405	0,00	0,000	169,90	1,002	0,00	0,000	116,64	1,174	124,46	0,530
Pastagem	781,87	4,213	87,08	0,858	568,61	4,722	4342,7	10,838	365,98	0,102	2103,3	12,408	7164,3	39,199	131,61	1,324	12007,78	51,127
Rio	1,56	0,008	0,00	0,000	0,52	0,004	454,43	1,134	0,00	0,000	3,03	0,018	0,87	0,005	0,00	0,000	4,67	0,020
Soja	520,61	2,805	145,42	1,433	226,87	1,884	2646,6	6,605	0,00	0,000	217,74	1,284	0,00	0,000	171,41	1,725	0,00	0,000
Total	18558,7	100	10151	100	12042	100	40071	100	3600,8	100	16952	100	18277	100	9939	100	23485,95	100

Fonte: Autora; MAPBIOMAS, 2022.

4.2. Coleta e análise das amostras

As coletas ocorreram nos meses de maio (final do período chuvoso) e setembro (durante período seco) de 2024, compreendendo os períodos hidrológicos de chuva e seca, respectivamente. Foram realizadas análises de 32 variáveis físicas, químicas e biológicas nas amostras de água dos 16 pontos de amostragem. As coletas ocorreram manualmente, mergulhando os frascos entre 10 e 15 cm de profundidade (Figura 4.5).

As amostras destinadas às análises físico-químicas foram acondicionadas em frascos de polietileno de 300mL previamente preparados. Para análise de metais, as amostras foram coletadas em frascos de polietileno e preservadas em HNO₃ 1:1. Já para a análise de coliformes totais e *Escherichia coli*, as amostras foram coletadas em frascos estéreis apropriados. Todas as amostras foram identificadas, acondicionadas em caixa térmica, sob refrigeração adequada, ao abrigo da luz e preservadas (acidificação/resfriamento/congelamento), de acordo com as variáveis a serem analisadas, até o momento das análises.



Figura 4.5. (A e B) Coleta de amostras durante a primeira campanha (maio/24). (C) Amostragem em caverna. (D) Caixa térmica com amostras armazenadas.

Fonte: Ananda Cordovil, Samila Neres e Daphne Muniz.

As variáveis temperatura, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos foram determinadas em campo, com o auxílio de medidor

multiparâmetros portátil modelo Hq40d (Hach, EUA). A turbidez foi medida no dia da coleta, com a utilização de um turbidímetro portátil modelo 2100P (Hach, EUA) e cor aparente obtida através de medidor de cor *CheckerHC* (Hanna, EUA). Análises de coliformes totais e *Escherichia coli* foram realizadas em campo utilizando-se o método dos substratos enzimáticos Colilert® (Idexx, EUA).

A análise de fósforo total foi realizada pelo método ácido ascórbico/colorimétrico com leitura em espectrofotômetro UV-Visível modelo UV-1800, Shimadzu (Kyoto, Japão) e os íons cloreto, fluoreto, nitrato, nitrito, fosfato, sulfato, sódio, potássio, amônio, cálcio e magnésio, analisados por cromatografia iônica por meio de Cromatógrafo de Íons, modelo 761 *Compact IC*, marca Metrohm (Herisau, Suíça).

Para a determinação dos teores metálicos totais de alumínio, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel e zinco, empregou-se espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio indutivamente acoplado ICP-OES, modelo iCAP 6000 (Thermo Scientific, EUA).



Figura 4.6. Equipamentos utilizados nas análises em laboratório. Fonte: Autora e Daphne Muniz.

Os procedimentos de coleta, preservação e análises seguiram recomendações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água,

sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos da CETESB/ANA, da *International Organization for Standardization* (ISO) e do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMEWW) (ISO, 1998; APHA, 2017; CETESB, 2023). As análises químicas e de metais foram realizadas no Laboratório de Química Analítica de Água da Embrapa Cerrados (LQAA), em Planaltina-DF. Na Tabela 4.3 são apresentadas as variáveis, unidades, métodos e metodologias empregadas nas análises das amostras

Tabela 4.3 - Variáveis físicas, químicas e microbiológicas de qualidade da água

Variável	Unidade	Método	Metodologia
Alumínio total	mg/L	Espectrometria de emissão	SMEWW, 2017, 3120 B
Amônio	mg/L	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Cádmio total	mg/L	Espectrometria de emissão	SMEWW, 2017, 3120 B
Cobalto total	mg/L	Espectrometria de emissão	SMEWW, 2017, 3120 B
Chumbo total	mg/L	Espectrometria de emissão	SMEWW, 2017, 3120 B
Cloreto total	mg/L	Cromatografia iônica	SMEWW, 2017, 4110 B
Cobre total	mg/L	Espectrometria de emissão	SMEWW, 2017, 3120 B
Coliformes totais	NMP/100mL	Substrato enzimático	SMEWW, 2017, 9223 B
Condutividade elétrica	µS/cm	Eletrométrico	SMEWW, 2017, 2510 B
Cor aparente	PCU	Espectrofotométrico	SMEWW, 2017, 2120 C
Dureza total	mg/L CaCO ₃	Titulométrico	SMEWW, 2017, 2340 C
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	Substrato enzimático	SMEWW, 2017, 9223 B
Ferro total	mg/L	Espectrometria de emissão	SMEWW, 2017, 3120 B
Fluoreto	mg/L	Cromatografia iônica	SMEWW, 2017, 4110 B
Fosfato	mg/L	Cromatografia iônica	SMEWW, 2017, 4110 B
Fósforo total	mg/L	Ácido Ascórbico	SMEWW, 2017, 4500P E
Magnésio	mg/L	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Manganês total	mg/L	Espectrometria de emissão	SMEWW, 2017, 3120 B
Níquel total	mg/L	Espectrometria de emissão	SMEWW, 2017, 3120 B
Nitrato	mg/L	Cromatografia iônica	SMEWW, 2017, 4110 B
Nitrito	mg/L	Cromatografia iônica	SMEWW, 2017, 4110 B
Oxigênio dissolvido	mg/L	Eletrométrico	SMEWW, 2017, 3120 B
pH	-	Eletrométrico	SMEWW, 2017, 4500H ⁺ B
Sódio	mg/L	Cromatografia iônica	ISO 14911:1998
Sólidos totais dissolvidos	mg/L	Eletrométrico	SMEWW, 2017, 2510 A
Sulfato	mg/L	Cromatografia iônica	SMEWW, 2017, 4110 B
Turbidez	UNT	Turbidimétrico	SMEWW, 2017, 2130 B
Zinco total	mg/L	Espectrometria de emissão	SMEWW, 2017, 3120 B

NMP = número mais provável / PCU = unidades de cobalto de platina / UNT = unidade nefelométrica de turbidez / SMEWW = *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* / ISO = *International Organization for Standardization* / ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas.

4.3. Ações de Educação Ambiental

A partir dos primeiros resultados das análises e em consonância com a proposta de extensão universitária do projeto de pesquisa, foram desenvolvidas ações educativas com estudantes, entre os dias 25 e 28 de agosto de 2024, as turmas contempladas seguiram apenas o critério de disponibilidade das professoras do Ensino Fundamental II e Ensino Médio. Abordando sobre a importância da conservação dos recursos hídricos e da proteção do patrimônio espeleológico local.

As atividades integram conteúdos sobre o ciclo hidrológico, a legislação das UCs e as práticas de monitoramento da qualidade da água, em uma abordagem lúdica e interdisciplinar. A metodologia, alinhada à Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e ao Projeto Político Pedagógico (PPP) das escolas, envolveu 281 estudantes de duas instituições públicas locais.

Com base na análise dos dados físico-químicos e microbiológicos da água, foi elaborado um material educativo para apresentação em duas escolas da região, abordando temas como legislação ambiental, ciclo hidrológico, qualidade da água, uso de agrotóxicos, saneamento rural e contaminação por *Escherichia coli*. As análises permitiram relacionar os dados com fatores antrópicos locais, reforçando os princípios da Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). A partir disso, foram desenvolvidas Ações como Oficinas de Educação Ambiental com estudantes, fundamentadas na abordagem de sensibilização ecológica (JACOBI, 2003). As atividades buscaram integrar o conhecimento científico ao contexto territorial, incentivando a reflexão crítica sobre as responsabilidades individuais e coletivas na gestão da água, em consonância com a Política Nacional de Educação Ambiental (BRASIL, 1999).

5. RESULTADOS

5.1. Parâmetros de qualidade das águas superficiais

Os resultados das análises dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH das águas superficiais dos córregos das sub-bacias da APANRV revelou que diversos pontos apresentaram valores acima dos limites estabelecidos para as classes 1, 2 e 3 da Resolução CONAMA 357/2005, além dos padrões de potabilidade definidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (Tabela 4.4, Tabela 5.1). Para turbidez, os pontos Caverna Tarimba (P15) e Caverna Lapa do Penhasco (P16) apresentaram valores superiores ao limite de 40 UNT previsto para todas as classes da CONAMA, e acima do limite de 5 UNT estabelecido para água potável pela Portaria, principalmente durante o período seco, quando os níveis de turbidez se elevaram de maneira expressiva. Em relação à cor aparente, tanto Caverna Tarimba (P15) quanto Caverna Lapa do Penhasco (P16) apresentaram, especialmente no período seco, valores que excederam 75 PCU, ultrapassando, assim, os limites definidos para as três classes da CONAMA 357/2005, além do valor máximo de 15 PCU estabelecido para potabilidade.

A maioria dos pontos amostrados apresentaram valores abaixo da faixa estabelecida para o pH (6,0 a 9,5), sobretudo no período seco. Conforme a Tabela 5.1, dentre os pontos com registros fora do intervalo permitido de 6,0 a 9,0 para as classes 1, 2 e 3 da resolução CONAMA e de 6,0 a 9,5 para potabilidade, destacam-se Nascente São Vidal (P1), Nascente Rio Vermelho (P2), Fazenda Luiz (P3), Vereda Mergulhão (P5), Nascente Riachão (P6), Captação Saneago (P7), Lodo (P8), Ponte Buritis (P9), Zé Lopes (P10) e Nascente Maria Ferreira (P11). Esses resultados evidenciam a não conformidade dos córregos para diferentes classes de enquadramento de águas doces superficiais.

Tabela 5.1 – Valores de Turbidez, cor e pH nos pontos de coleta nas sub-bacias da APANRV

Ponto	Turbidez		Cor		pH	
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca
P1	3,00	3,19	*** 95	** 30	6,92	*** 5,60
P2	1,45	2,4	** 45	** 40	*** 5,75	*** 5,36
P3	0,52	0,7	0	0	*** 4,58	*** 3,98
P4	0,70	0,53	0	10	6,02	6,48
P5	0,93	** 20,4	15	** 60	6,08	*** 5,11

P6	1,30	0,30	5	** 30	*** 5,41	*** 4,01
P7	2,07	0,70	5	5	*** 5,32	6,28
P8	2,29	0,84	** 20	10	6,01	*** 4,68
P9	0,76	1,0	5	** 45	7,54	*** 4,94
P10	1,35	4,7	15	** 25	7,48	*** 5,68
P11	1,12	1,37	0	** 20	*** 5,21	*** 4,89
P12	0,45	0,61	0	10	7,57	6,74
P13	2,93	3,2	** 20	5	6,45	7,09
P14	** 7,15	4,2	** 30	10	6,61	7,47
P15	** 6,24	*** 170,0	** 30	*** 235	6,75	7,28
P16	** 6,18	*** 740	** 25	*** 680	6,86	7,12

* Valor fora dos limites estabelecidos para uma ou mais classes da CONAMA nº 357/2005 (Classe 1, 2 ou 3).

** Valor em desacordo com os limites estabelecidos apenas pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

*** Valor fora dos limites de ambas as normas (CONAMA nº 357/2005 e Portaria nº 888/2021).

A Tabela 5.2 nos mostra que todos os pontos amostrados estão dentro dos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 para o parâmetro dureza (≤ 500 mg/L CaCO_3). As sub-bacias da APANRV apresentam águas classificadas como muito brandas conforme os resultados obtidos para dureza total, expressos em mg/L de CaCO_3 . Todos os pontos, com exceção de Lago do Léo (P4), Caverna Americal (P12), Caverna Tarimba (P15) e Caverna Lapa do Penhasco (P16), apresentaram valores de dureza total abaixo de 15 mg/L em pelo menos um dos períodos analisados, classificando-se a água como muito branda. Nos pontos Lago do Léo (P4), Caverna Americal (P12) e Caverna Tarimba (P15), os valores de dureza registrados no período chuvoso permitiram sua classificação como água branda, enquanto no período seco, todos voltaram à classificação de água muito branda. Destaca-se a Caverna Lapa do Penhasco (P16), que no período chuvoso apresentou dureza total de 154,78 mg/L, sendo classificada como água moderadamente dura, e no período seco retornou à classificação de água muito branda. Esses resultados indicam baixa concentração de sais de cálcio e magnésio na maior parte dos pontos avaliados, caracterizando águas de baixa dureza ao longo das sub-bacias estudadas.

Tabela 5.2 – Valores de Dureza total nos pontos de coleta nas sub-bacias da APANRV

Ponto	Dureza total (mg/L CaCO_3)		* Classificação conforme Portaria nº 888/2021
	Chuva	Seca	
P1	2,12	2,84	Ambos os períodos - água muito branda
P2	4,83	2,69	

P3	4,22	1,31	
P4	74,23	15,25	Chuva – água branda; Seca - água muito branda
P5	14,90	3,17	
P6	6,44	1,41	
P7	10,70	3,89	
P8	9,95	2,05	Ambos os períodos - água muito branda
P9	6,77	2,06	
P10	1,18	1,64	
P11	2,43	1,04	
P12	67,94	23,56	Chuva – água branda; Seca - água muito branda
P13	35,27	8,15	
P14	20,90	5,13	Ambos os períodos - água muito branda
P15	123,15	29,49	Chuva – água branda; Seca - água muito branda
P16	154,78	31,70	Chuva – água moderadamente dura; Seca - água muito branda

* Classificação conforme Portaria nº 888/2021: 0-50 mg/L – Água muito branda; 51-150 mg/L – Água branda; 151-300 mg/L – Água moderadamente dura / >300 mg/L – Água dura.

Conforme a Tabela 5.3, o parâmetro oxigênio dissolvido apresentou diferentes graus de desconformidade de acordo com a classe de enquadramento. O ponto Fazenda Luiz (P3) apresentou valores de OD inferiores aos limites mínimos das Classes 1, 2 e 3 da Resolução CONAMA nº 357/2005, tanto no período chuvoso (2,07 mg/L) quanto no seco (2,22 mg/L), indicando situação crítica independente da classe. Em Nascente Riachão (P6), o valor obtido no período chuvoso (2,86 mg/L) ficou abaixo dos limites estabelecidos para as Classes 1 e 2, mas ainda está de acordo com o limite da Classe 3. O mesmo ocorre para o ponto Vereda Mergulhão (P5) no período seco (2,03 mg/L), cujo valor está em desacordo apenas com as Classes 1 e 2. Já em Captação Saneago (P7), os valores observados de oxigênio dissolvido (4,72 mg/L na chuva e 4,57 mg/L na seca) ficaram abaixo do limite para Classe 1, mas atendem aos requisitos das Classes 2 e 3. Por outro lado, os pontos Lodo (P8) e Nascente Rio Vermelho (P2) apresentaram valores de oxigênio dissolvido no período chuvoso (1,61 mg/L e 1,02 mg/L, respectivamente) que ficaram abaixo dos limites para todas as classes, evidenciando um quadro de maior comprometimento da qualidade da água.

Em relação à condutividade elétrica, as desconformidades observadas em Lago do Léio (P4), Caverna Americal (P12), Caverna Tarimba (P15) e Caverna Lapa do Penhasco (P16) ocorreram em razão do limite não estabelecido pela Portaria nº

GM/MS nº 888/2021, mas previsto em 100 µS/cm pela CETESB (2023) para ambientes impactados. A Resolução CONAMA nº 357/2005 não estipula valor máximo para esse parâmetro (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 – Valores de oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD) e flúor nos pontos de coleta nas sub-bacias da APANRV

Ponto	OD (mg/L O ₂)		CE (µS/cm)		STD (mg/L)		Fluoreto (mg/L)	
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca
P1	*5,74	*5,22	12,33	22,10	5,75	10,16	0,041	0,020
P2	*1,02	6,43	11,90	6,83	5,58	3,05	0,019	0,013
P3	*2,07	*2,22	5,34	5,40	2,52	5,61	0,010	0,009
P4	*5,62	7,02	**137,0	**128,7	65,3	60,1	0,130	0,235
P5	*4,19	*2,03	18,53	27,20	8,89	11,88	0,057	0,068
P6	*2,86	*4,93	12,27	6,50	5,81	2,81	0,034	0,020
P7	*4,72	*4,57	8,15	9,59	3,93	4,27	0,022	0,015
P8	*1,61	*4,88	7,78	7,53	3,57	3,56	0,030	0,011
P9	6,77	6,72	9,67	11,42	5,06	5,49	<L.D.	<L.D.
P10	6,45	6,71	5,25	5,18	2,42	2,40	0,024	0,005
P11	*5,20	6,01	3,32	5,24	1,46	2,61	<L.D.	0,281
P12	*4,30	6,51	**154,9	**153,6	76,0	75,5	0,023	0,127
P13	8,40	6,40	41,30	33,20	20,13	17,51	<L.D.	0,008
P14	7,10	6,82	19,55	16,01	9,51	8,02	<L.D.	0,095
P15	*5,20	7,10	**272,0	**210,2	130,5	109,4	0,264	0,304
P16	7,91	6,90	**364,0	**192,8	180,9	103,7	0,181	0,229

* Valor fora dos limites estabelecidos para uma ou mais classes da CONAMA 357/2005 (Classe 1, 2 ou 3).

** Valor em desacordo com os limites estabelecidos apenas pela Portaria GM/MS 888/2021, ou CETESB (2023).
<L.D. = abaixo do limite de detecção (Fluoreto 0,003 mg/L).

De acordo com a Tabela 5.4, os parâmetros nitrito, nitrato e sulfato apresentaram em sua maioria valores em conformidade com os limites estabelecidos pelas normas ambientais. Não foram observados valores acima do limite estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/2025 e Portaria GM/MS nº 888/2021 para nitrito (limite de 1,0 mg/L) ou para sulfato (limite de 250 mg/L) em nenhum dos pontos avaliados. Em relação ao nitrato, o ponto Lago do Léo (P4) apresentou valor de 13,589 mg/L no período chuvoso, ultrapassando o limite máximo de 10 mg/L estabelecido tanto pela Portaria nº GM/MS 888/2021 para potabilidade quanto para as Classes 1, 2 e 3 da resolução CONAMA nº 357/2005. Os demais pontos e períodos analisados mantiveram-se dentro dos padrões normativos. Para o parâmetro fosfato não há limites estabelecidos em ambas normativas aqui estudadas.

Tabela 5.4 – Valores de Nitrito (NO_2^-), Nitrato (NO_3^-), Sulfato (SO_4^{2-}) e Fosfato (PO_4^{3-}) nos pontos de coleta nas sub-bacias da APANRV

Ponto	Nitrito (mg/ L NO_2^-)		Nitrato (mg/L NO_3^-)		Sulfato (mg/L SO_4^{2-})		Fosfato (mg/L PO_4^{3-})	
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca
P1	<L.D.	<L.D.	0,534	0,799	0,046	0,484	0,806	0,019
P2	<L.D.	<L.D.	0,277	0,638	0,073	0,094	0,005	0,026
P3	<L.D.	<L.D.	0,287	0,597	0,060	0,023	0,001	0,003
P4	<L.D.	<L.D.	*13,589	0,810	0,047	0,175	0,034	0,070
P5	<L.D.	<L.D.	0,294	0,703	0,059	0,114	0,003	0,011
P6	<L.D.	<L.D.	0,336	0,636	0,061	0,017	0,003	0,003
P7	<L.D.	<L.D.	0,327	0,554	0,062	0,016	0,002	<L.D.
P8	<L.D.	<L.D.	0,380	0,680	0,071	0,025	0,001	0,004
P9	<L.D.	0,034	1,620	1,778	0,069	0,032	0,004	0,015
P10	<L.D.	<L.D.	0,790	0,556	0,043	0,018	0,039	0,025
P11	<L.D.	<L.D.	0,293	0,548	0,062	0,022	0,003	0,009
P12	<L.D.	<L.D.	0,351	0,823	0,030	0,144	0,007	0,043
P13	<L.D.	<L.D.	0,474	0,759	0,056	0,027	0,005	0,051
P14	<L.D.	<L.D.	0,601	0,645	0,047	0,106	0,002	0,086
P15	<L.D.	0,070	1,106	1,037	5,410	4,737	0,009	0,020
P16	<L.D.	<L.D.	1,118	1,060	4,723	5,874	0,043	0,017

* Valor fora dos limites de ambas as normas (CONAMA 357/2005 e Portaria 888/2021).

<L.D. = abaixo do limite de detecção do método analítico (Nitrito 0,020 mg/L / Fosfato 0,001 mg/L).

Conforme Tabela 5.5, os parâmetros de fósforo total (PT), nitrogênio amoniacal (NH_4^+) e sódio apresentaram valores predominantemente em conformidade com os limites estabelecidos pelas normas ambientais de referência. Para o fósforo total, de acordo com o limite de 0,10 mg/L para ambientes lóticos, conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005, apenas a Nascente São Vidal (P1) no período chuvoso apresentou valor acima do permitido, com registro de 1,235 mg/L. Para o nitrogênio amoniacal e sódio, todos os pontos avaliados apresentaram concentrações abaixo do limite de 200 mg/L, conforme estabelecido para potabilidade na Portaria GM/MS nº 888/2021. Ressalta-se que potássio e magnésio, embora analisados, não possuem padrão de qualidade definido nas normativas aqui utilizadas.

Tabela 5.5 – Valores de Fósforo Total (PT), Nitrogênio amoniacal (NH_4^+), Potássio (K^+) e Magnésio (Mg^{2+}) nos pontos de coleta nas sub-bacias da APANRV

Ponto	Fósforo Total (mg/L)		Sódio (mg/L)		Nitrogênio amoniacal (NH_4^+) (mg/L)		Potássio (K^+) (mg/L)		Magnésio (Mg^{2+}) (mg/L)	
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca
P1	*1,235	0,002	1,415	0,720	0,167	0,092	1,851	0,686	0,215	0,190
P2	0,022	0,003	0,548	0,264	0,115	0,111	0,303	0,073	0,181	0,230
P3	0,009	0,003	0,184	0,138	0,161	0,097	0,185	<L.D.	0,224	0,075
P4	0,066	0,006	0,369	0,235	0,093	0,057	1,652	0,483	0,491	0,294
P5	0,013	0,003	0,357	0,691	0,110	0,132	3,269	0,408	0,076	0,107
P6	0,005	0,004	0,402	0,221	0,150	0,088	1,248	0,107	0,093	0,056
P7	0,012	0,002	0,266	0,273	0,165	0,086	0,300	0,087	0,968	0,479
P8	0,011	0,001	0,291	0,149	0,177	0,091	0,146	0,093	0,377	0,199
P9	0,021	0,003	0,167	0,217	0,189	0,206	0,909	0,065	0,153	0,235
P10	0,063	0,001	0,453	0,400	0,082	0,167	0,896	0,085	0,161	0,127
P11	0,006	0,003	0,261	0,283	0,113	0,265	0,010	0,160	0,212	0,084
P12	0,024	0,001	0,394	0,308	0,043	0,115	0,541	0,225	2,552	1,764
P13	0,006	<L.D.	0,310	0,302	0,082	0,178	0,833	0,284	0,558	0,428
P14	0,008	0,003	0,424	0,392	0,106	0,228	0,579	0,214	0,459	0,481
P15	0,047	0,006	2,623	1,592	0,195	0,117	0,734	0,790	4,790	2,658
P16	0,132	0,079	4,151	1,955	0,243	0,112	10,618	1,255	5,331	2,457

* Valor fora dos limites estabelecidos para uma ou mais classes da CONAMA 357/2005 (Classe 1, 2 ou 3).

<L.D. = abaixo do limite de detecção do método analítico (Fósforo total 0,001 mg/L / Potássio 0,008 mg/L).

Os inorgânicos metálicos Alumínio, Manganês, Cádmiu, Cobre e Zinco totais se apresentaram fora do limite de detecção do método analítico. De acordo com a Tabela 5.6 o ferro total e o cloreto encontram-se em sua maioria em conformidade com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e para a Portaria GM/MS nº 888/2021. Para ferro total, o limite de 0,3 mg/L, conforme definido para as Classes 1 e 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005 e para a Portaria GM/MS nº 888/2021, foi ultrapassado nos pontos Nascente Rio Vermelho (P2), com valor de 1,01 mg/L, Lodo (P8) com 2,753 mg/L, Zé Lopes (P10) com 0,832 mg/L, Caverna Borá II (P13) com 0,589 mg/L, Caverna Funil (P14) com 1,001 mg/L e Caverna Lapa do Penhasco (P16) com 0,904 mg/L, todos durante o período chuvoso. Para o parâmetro cloreto, todos os valores observados em todos os pontos e períodos analisados permaneceram abaixo do limite de 250 mg/L, estabelecido tanto para as Classes 1, 2 e 3 da Resolução CONAMA nº 357/2005 quanto para potabilidade pela

Portaria GM/MS nº 888/2021. O Cálcio, embora analisado, não possui padrão de qualidade definido nas normativas aqui utilizadas.

Tabela 5.6 – Valores de Ferro (Fe), Cálcio (Ca²⁺) e Cloreto (Cl⁻) nos pontos de coleta nas sub-bacias da APANRV

Ponto	Ferro (mg/L)		Cálcio (mg/L)		Cloreto (mg/L)	
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca
P1	<L.D.	<L.D.	0,420	0,826	1,269	1,923
P2	1,010	<L.D.	1,389	0,697	0,301	0,405
P3	0,207	<L.D.	1,122	0,402	0,165	0,174
P4	<L.D.	<L.D.	24,503	5,624	0,269	0,318
P5	<L.D.	<L.D.	4,950	1,092	2,739	2,669
P6	<L.D.	<L.D.	2,057	0,472	1,032	0,417
P7	0,156	<L.D.	2,281	0,766	0,188	0,511
P8	2,753	<L.D.	2,850	0,494	0,183	0,811
P9	<L.D.	<L.D.	2,084	0,439	1,610	0,234
P10	0,832	<L.D.	0,176	0,447	0,452	0,396
P11	<L.D.	<L.D.	0,531	0,277	0,127	0,661
P12	<L.D.	<L.D.	19,488	6,528	0,181	0,305
P13	0,589	<L.D.	11,189	2,560	0,484	0,679
P14	1,001	<L.D.	6,451	1,263	0,543	1,371
P15	0,109	<L.D.	35,096	7,427	0,839	3,549
P16	0,904	<L.D.	45,075	8,642	9,696	4,899

<L.D. = abaixo do limite de detecção do método analítico (Ferro 0,02 mg/L).

Conforme a Tabela 5.7, os parâmetros microbiológicos coliformes totais e *Escherichia coli* demonstraram elevados níveis de contaminação fecal em diversos pontos da APANRV conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005, Portaria GM/MS nº 888/2021 e Resolução CONAMA nº 274/2000.

Ao cruzar os dados microbiológicos com o mapa de uso do solo, é possível observar que alguns pontos com maiores níveis de coliformes coincidem com áreas extensas de pastagem ou mosaico de uso agropecuário, onde o solo está mais exposto e o escoamento superficial pode carrear fezes de animais diretamente para os corpos d'água.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece limites para *Escherichia coli* de 200 NMP/100mL para Classe 1, 1.000 NMP/100mL para Classe 2 e 2.500 NMP/100mL para Classe 3, foi observado que, no período chuvoso, os pontos Caverna Americal (P12), Caverna Borá II (P13), Caverna Funil (P14), Caverna Tarimba (P15) e Caverna Lapa do Penhasco (P16) apresentaram valores acima do permitido para Classe 1, sendo P15 (770,1 NMP/100mL) e P16

(307,6 NMP/100mL) também próximos dos limites para Classe 2. No período seco, esses mesmos pontos mantiveram valores elevados, com destaque para P12 (1.732,9 NMP/100mL), P15 e P16 (>2.419,6 NMP/100mL em ambos os casos), ultrapassando não só o limite para Classe 1, mas também para Classe 2 e, em alguns casos, aproximando-se do limite para Classe 3 (Tabela 4.4, Tabela 5.7).

Diversos pontos de coleta com maiores índices de contaminação estão situados em áreas cavernícolas, as quais servem de abrigo para uma variedade de animais silvestres, como morcegos, aves, roedores e mamíferos terrestres. A presença desses animais, especialmente em ambientes úmidos e de pouca circulação de ar, contribui naturalmente para o incremento da carga microbiológica da água por meio de seus dejetos. Além disso, essas áreas estão sujeitas a fontes de contaminação difusa, que potencializam os impactos sobre a qualidade hídrica local. A Figura 4.3 indica que grande parte das sub-bacias apresenta extensas áreas de pastagem, nessas regiões, a presença de gado e a ausência de práticas adequadas de manejo sanitário podem contribuir para a contaminação dos corpos hídricos por escoamento superficial. Nas áreas de cavernas amostradas, é provável que a fauna silvestre, incluindo morcegos e pequenos mamíferos, esteja contribuindo naturalmente para a carga microbiológica da água.

Considerando a Portaria GM/MS nº 888/2021, que exige ausência de *Escherichia coli* em 100mL para água destinada à potabilidade, todos os pontos e períodos analisados estiveram em desconformidade, já que foram detectados valores acima de zero em todas as amostras.

Tabela 5.7 – Valores Coliformes Totais e *Escherichia coli* nos pontos de coleta nas sub-bacias da APANRV

Ponto	Coliformes Totais (NMP/100mL)		* <i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	
	Chuva	Seca	Chuva	Seca
P1	1413,6	1553,1	13,4	90,9
P2	290,9	> 2419,6	1,0	*214,2
P3	209,8	125,9	38,3	7,3
P4	1046,2	> 2419,6	13,2	4,1
P5	2419,6	866,4	11,0	21,6
P6	1046,2	307,6	11,0	87,7
P7	1119,9	1413,6	12,1	37,9
P8	125,9	816,4	2,0	18,5

Ponto	Coliformes Totais (NMP/100mL)		* <i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	
	Chuva	Seca	Chuva	Seca
P9	727,0	> 2419.6	44,3	88,4
P10	2419,6	> 2419.6	2,1	17,1
P11	59,5	> 2419.6	3,1	2,0
P12	1986,3	> 2419.6	**435,2	**1732,9
P13	2419,6	> 2419.6	**307,6	**547,5
P14	2419,6	> 2419.6	**290,9	**727,0
P15	2419,6	> 2419.6	**770,1	** > 2419.6
P16	2419,6	> 2419.6	**307,6	** > 2419.6

*Todos os pontos estão em desacordo com os limites estabelecidos pela Portaria GM/MS 888/2021.

**Valor fora dos limites estabelecidos para uma ou mais classes da CONAMA 357/2005 (Classe 1, 2 ou 3).

No que se refere à balneabilidade, conforme a Resolução CONAMA nº 274/2000, a classificação das águas pode variar entre excelente (≤ 200 NMP/100mL), muito boa (≤ 400 NMP/100mL), satisfatória (≤ 800 NMP/100mL) ou imprópria (última amostra > 2.000 NMP/100mL). No período chuvoso, a maioria dos pontos apresentou resultados classificados entre excelente e muito boa, enquanto Caverna Americal (P12), Caverna Borá II (P13), Caverna Funil (P14), Caverna Tarimba (P15) e Caverna Lapa do Penhasco (P16) se enquadraram como satisfatória, sendo Caverna Tarimba (P15) próxima ao limite superior. No período seco, Caverna Americal (P12), Caverna Tarimba (P15) e Caverna Lapa do Penhasco (P16) apresentaram resultados considerados impróprios para banho e recreação, enquanto Caverna Borá II (P13) e Caverna Funil (P14) ficaram na categoria satisfatória. Os demais pontos permanecem enquadrados nas categorias excelente ou muito boa. Ressalta-se que, para a avaliação definitiva da balneabilidade, seria necessária a média geométrica de cinco semanas, mas esta classificação preliminar reflete o panorama dos dados disponíveis.

Em relação aos valores de coliformes totais, embora não sejam utilizados como padrão de qualidade da água, englobam um grupo mais amplo de bactérias, incluindo aquelas presentes no solo, vegetação e em fezes (WHO, 2017). Segundo a Portaria GM/MS nº 888/2021, sua presença sugere na água condições sanitárias inadequadas, apesar de não necessariamente contaminação fecal direta. A maioria dos pontos amostrados apresentaram valores elevados (>2000 NMP/100mL) desses grupos de microrganismos (Tabela 5.7).

5.2. Ações de Educação Ambiental

As ações de educação ambiental que foram realizadas entre os dias 25 e 28 de agosto de 2024, no município de Mambáí, envolveram diretamente 281 estudantes das Escolas Públicas urbanas Colégio Sebastião Moreira da Silva (Figura 5.1) (178 alunos em cinco turmas) e Escola Valter Moreira dos Santos (Figura 5.2) (103 alunos em três turmas). As atividades foram conduzidas de forma articulada com os conteúdos do Plano Político Pedagógico (PPP), em parceria com professoras das escolas e com apoio do ICMBio, UnB, CECAV, IABS, Vale e OMS.

Os temas abordados incluíram o ciclo hidrológico, a importância da avaliação da qualidade da água, a legislação ambiental, o funcionamento do SNUC e os métodos científicos aplicados nas coletas realizadas em 16 pontos. A metodologia adotada priorizou oficinas educativas com caráter lúdico, adaptadas ao nível de ensino de cada grupo, e contou com visitas ao laboratório improvisado, montado na sede do ICMBio, onde os estudantes observaram alguns materiais e equipamentos utilizados em campo. A participação estudantil variou conforme a faixa etária: alunos do ensino fundamental responderam com entusiasmo às atividades práticas e interativas, enquanto os estudantes do ensino médio demonstraram maior interesse por debates críticos, especialmente aqueles voltados à legislação ambiental e aos impactos da poluição hídrica. Ainda que não tenham sido aplicados instrumentos formais de avaliação durante as oficinas, a equipe relatou alta adesão dos alunos e envolvimento espontâneo. As oficinas aconteceram nas escolas e também na sede do ICMBio, explorando os recursos locais e fortalecendo o vínculo entre ciência, escola e comunidade. A proposta pedagógica ultrapassou a dimensão informativa e buscou promover uma formação crítica, contribuindo para a sensibilização ambiental contínua e para a valorização do território pelas juventudes locais. Reforça-se, ainda, a importância de ampliar tais iniciativas por meio da capacitação permanente de professores da rede pública sobre as problemáticas ambientais da região, assegurando a continuidade do processo educativo em articulação com o ICMBio e demais instituições parceiras.



Figura 5.1 - Ação de EA na Sede do ICMBio em Mambaí- GO, 2024.

Fonte: Sandro Borges e Raoni Japiassu.



Figura 5.2 Apresentação produzida para ação de EA.

Fonte: Autora.

6. DISCUSSÃO

6.1. Parâmetros de qualidade das águas superficiais

A análise espacial do uso e ocupação da terra, evidenciada no Mapa da Figura 4.3 e detalhada nas Tabelas 4.2 e 4.3, revela a predominância de áreas destinadas à pastagem em várias sub-bacias da APANRV, com destaque para as porções oeste da unidade. Essa presença intensa de pastagem, em especial nas sub-bacias: Córrego Piracanjuba, Ribeirão São Vidal que contrasta com os objetivos de conservação de uma unidade de proteção ambiental. Embora as APAs permitam o uso sustentável do território, a falta de um plano de manejo, aliada aos indicadores de degradação da qualidade da água, sugere que essas práticas não estão sendo acompanhadas por mecanismos eficazes de controle ambiental. Isso reforça a urgência de regulamentação do uso do solo na APANRV, bem como da implementação de medidas educativas, legais e técnicas que promovam de fato a sustentabilidade rural.

A elevada turbidez e cor aparente nos pontos P15 (Caverna Tarimba) e P16 (Caverna Lapa do Penhasco), sobretudo no período seco, podem estar associadas à intensificação da concentração de material particulado em corpos d'água durante períodos de menor volume hídrico e maior exposição do solo (SOUZA e OLIVEIRA, 2014). Em áreas de Cerrado sujeitas a processos erosivos e uso agropecuário intenso, o transporte de sedimentos e matéria orgânica para os cursos d'água é intensificado, elevando o risco de assoreamento e de degradação dos habitats aquáticos (MOMOLI *et al.*, 2024). Ademais, ambas as cavernas estão localizadas na bacia do Rio Vermelho, onde a predominância de pastagens (39,20% em Vermelho 1), pode favorecer os processos erosivos e transporte de sedimentos (MAEDA; FORMAGGIO, e SHIMABUKURO, 2008).

Os valores de pH inferiores a 6,0 em diversos pontos, como na nascente rio Vermelho (P2), Fazenda Luiz (P3), nascente Riachão (P6), e Nascente Maria Ferreira (P11) em ambos os períodos analisados, podem estar associados às características de águas “muito brandas” em regiões de recarga cárstica, onde a baixa concentração de íons tamponantes favorece maior variação do pH (MARTINEZ e SOBRINHO; 2018). Esse cenário pode aumentar a solubilidade de metais, impactando a biota e a qualidade da água subterrânea, fundamental para o

equilíbrio dos ecossistemas cavernícolas presentes na APANRV (TARGA, MOREIRA e CAMARERO, 2018). Na Fazenda Luiz (P3), na sub-bacia do rio Vermelho, o pH chegou a 3,98 no período seco, acidificação que pode ser atribuída à combinação entre solos naturalmente ácidos do Cerrado e o aporte de resíduos orgânicos e fertilizantes, comum em áreas com mosaico de usos e pastagens agrícolas (RABELO *et al.*, 2009).

Com relação aos valores elevados de nitrato no ponto Lago do Léo (P4 = 13,589 mg/L de NO_3), localizado na sub-bacia do Córrego da Pedra e excedente de fósforo total no ponto Nascentes São Vidal (P1 = 1,235 mg/L de PT), sub-bacia do Córrego Vidal, destaca-se que em águas superficiais esses nutrientes estão comumente relacionados com o uso de fertilizante associado à deficiência de infraestrutura de saneamento nas sub-bacias de drenagem (RESENDE, 2002). Conforme os dados do Mapbiomas (2022), a sub-bacia do Córrego Vidal é predominantemente coberta por pastagens (51,13 % de área), o que pode potencializar o carreamento de resíduos agrícolas pelo escoamento superficial durante as chuvas.

Quanto à baixa concentração de oxigênio dissolvido em pontos como Fazenda Luiz (P3), Nascente Riachão (P6) e Vereda Mergulhão (P5), cujos valores ficaram entre 2,07 e 4,93 mg/L, tem-se que valores reduzidos de OD estão associados a áreas com maior influência antrópica e relacionados diretamente aos processos de degradação orgânica, podendo comprometer comunidades aquáticas sensíveis, conforme mostraram Segantin e Garcia (2024) ao analisarem a qualidade da água do Rio Corumbataí em São Paulo. Os autores constataram que valores de $\text{OD} < 5,0$ mg/L estão associados a áreas onde as atividades antrópicas são mais intensas.

Os teores de metais em geral foram baixos ou abaixo do limite de detecção, evidenciando ausência de fontes pontuais de contaminação, com exceção observada para o ferro total, cujo excedente em pontos durante o período chuvoso pode ser atribuído à geologia rica em ferro e à mobilização desse elemento em condições de pH ácido e baixa oxigenação (MOURÃO, 2007).

Do ponto de vista microbiológico, os resultados evidenciaram elevada ocorrência de coliformes totais e *Escherichia coli* acima dos padrões para

potabilidade e para balneabilidade, em especial nos pontos de caverna (Caverna Borá II; Caverna Funil, Caverna Tarimba e Caverna Lapa do Penhasco), que embora tenham sido classificadas pela Resolução CONAMA nº 274/2000 como Satisfatória para balneabilidade (≤ 800 NMP/100mL) acendem um alerta quanto às implicações para a saúde pública e a necessidade de monitoramento contínuo dessas áreas, especialmente considerando seu uso recreativo. A deficiência de infraestrutura de saneamento e a influência de atividades agropecuárias e urbanas próximas aos corpos hídricos são determinantes para a contaminação fecal em áreas de Cerrado (CAMARGO *et al.*, 2019; HADDAD, 2007).

De forma geral, os resultados indicam que a APANRV, apesar de ser uma área de proteção ambiental, apresenta sinais de pressão antrópica significativa sobre seus recursos hídricos, com implicações diretas para a conservação dos sistemas cársticos e dos ambientes subterrâneos associados. O monitoramento permanente e a adoção de estratégias integradas de manejo do território são essenciais para minimizar os riscos e promover a manutenção da qualidade ambiental e do patrimônio espeleológico local.

6.2. Educação Ambiental como Extensão Universitária

Os resultados evidenciaram grande engajamento e participação discente, fortalecendo o papel da educação ambiental como elo entre a ciência produzida na universidade e a realidade vivida nas comunidades. Essa experiência reforça a importância de aliar pesquisa científica, diagnóstico ambiental e atividades de extensão, promovendo conhecimento e sensibilização para a gestão participativa e sustentável dos recursos hídricos na região (SILVA *et al.*, 2024a). O uso dessas estratégias resultou em alto nível de participação dos estudantes, que se mostraram curiosos, questionadores e interessados na construção coletiva do conhecimento.

A EA destacou um papel central na primeira campanha do Projeto de Extensão Universitária realizado na APANRV, articulando os dados da campanha inicial de coleta e análise da água com oficinas formativas em escolas públicas da zona urbana. A proposta não se limitou à transmissão de informações, mas promoveu uma formação crítica e situada, aproximando os estudantes do contexto hidrológico e espeleológico do território. Entre as estratégias aplicadas, destacam-se: a atividade lúdica que utilizou a folha de uma árvore do Cerrado para

representar a estrutura de uma bacia hidrográfica, facilitando a compreensão do ciclo das águas e valorizando elementos da flora local e a forma que os resultados obtidos foram apresentados e discutidos de forma acessível aos estudantes durante as oficinas, com o apoio de gráficos simplificados, comparações visuais e atividades de interpretação coletiva. Os dados microbiológicos, por exemplo, foram discutidos a partir do contraste entre a aparência “limpa” da água e a presença de coliformes, o que provocou surpresa e reflexão crítica por parte dos alunos. Essa abordagem contribuiu para o desenvolvimento da cidadania ecológica, incentivando o questionamento, o engajamento e a compreensão do papel da ciência na gestão territorial e ambiental.

A metodologia combinou ciência, ludicidade e diálogo com as realidades dos estudantes, conforme defendido por Freire (1979), favorecendo o engajamento com temas como poluição, legislação ambiental e conservação dos recursos hídricos. As oficinas revelaram o Cerrado como um bioma estratégico e ameaçado, e a APANRV como espaço educativo e ecológico singular. A proximidade com o ICMBio e o diálogo com os PPPs ampliaram o impacto da ação, mesmo sem instrumentos formais de avaliação.

Os dados obtidos já na primeira campanha de coleta de água evidenciaram a vulnerabilidade ambiental da APANRV, com registros de turbidez elevada, presença de *Escherichia coli* e coliformes fecais em pontos localizados próximos a áreas de uso agropecuário e ausência de saneamento básico. Esses resultados reforçam os riscos à biodiversidade local, especialmente em ambientes cársticos onde a infiltração rápida da água pode transportar contaminantes diretamente aos aquíferos. Nesse contexto, a EA assume um papel estratégico ao traduzir essas evidências científicas em linguagem acessível, promovendo a conscientização sobre a importância da proteção das nascentes, do uso sustentável do solo e da preservação da vegetação nativa. A articulação entre a prática extensionista, o conhecimento técnico e as realidades locais, auxiliam a formação de sujeitos ecológicos e críticos, conscientes dos desafios socioambientais e preparados para atuar em defesa do território, cuja fragilidade exige governança ambiental integrada e participação comunitária contínua.

7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo indicam a existência de um cenário preocupante em relação à qualidade das águas superficiais da Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho, no nordeste de Goiás. Os dados mostram parâmetros físico-químicos e microbiológicos fora dos limites estabelecidos pela legislação vigente, com destaque para turbidez elevada, pH ácido e índices preocupantes de *Escherichia coli* e coliformes totais em diversos pontos, especialmente nos que envolvem ambientes cavernosos. Tais achados indicam riscos significativos à saúde pública e à integridade ecológica da região, particularmente considerando a fragilidade dos sistemas cársticos e o uso múltiplo da água, que inclui fins recreativos. Em áreas de visitação como a Caverna Tarimba e a Lapa do Penhasco, os resultados sugerem que a balneabilidade está comprometida, sendo necessário adotar medidas preventivas para mitigar riscos à saúde humana como: a instalação de sinalização informativa e restrição de contato direto com a água e monitoramento contínuo.

As análises revelaram, por exemplo, valores de turbidez e presença de coliformes fecais acima dos limites legais nos pontos P15 e P16, localizados em cavernas com espécies endêmicas, o que evidencia risco real à biodiversidade subterrânea. Ainda que de caráter pontual e não contínuo, esta análise oferece um diagnóstico inicial da situação ambiental da APA, ressaltando a urgência de se estabelecer um programa de monitoramento regular e sistemático da qualidade da água. Essa medida é essencial para acompanhar a evolução dos indicadores, identificar fontes potenciais de contaminação e subsidiar o planejamento e a gestão territorial, em especial para o zoneamento e a elaboração do plano de manejo da UC. Além disso, a identificação de nutrientes como fósforo e nitrato em concentrações elevadas reforça a influência de práticas agrícolas e da ausência de infraestrutura de saneamento básico como vetores de degradação.

Por fim, as ações de educação ambiental conduzidas em escolas públicas locais mostraram-se eficazes ao aproximar o conhecimento científico das comunidades diretamente envolvidas com a realidade da APA. A proposta contribuiu para a formação de uma consciência crítica sobre os impactos das atividades humanas e fortaleceu a cultura do cuidado com os recursos hídricos e da proteção do patrimônio espeleológico. Portanto, a continuidade das ações educativas se

mostra essencial, integrando ciência, gestão ambiental e participação social como pilares para a preservação da APANRV. Essa trajetória deve ser fortalecida por meio dos agentes multiplicadores sensibilizados durante o processo, capazes de fomentar práticas sustentáveis e ampliar o engajamento comunitário na defesa do território.

APOIO FINANCEIRO

Esta pesquisa foi financiada pelos recursos advindos do Termo de Compromisso de Compensação Espeleológica Nº 01/2018/ICMBio, bem como a bolsa de pesquisa e os materiais utilizados cuja aquisição contou com o apoio financeiro do Edital PROEXT-PG 2024 do DPG-DEX/UnB. A aluna ainda recebeu apoio financeiro do Programa Especial para Pesquisa e Treinamento em Doenças Tropicais (TDR), copatrocinado pelo Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), Banco Mundial e Organização Mundial da Saúde (OMS). O TDR consegue realizar seu trabalho graças ao compromisso e apoio de diversos financiadores. Esses incluem contribuições básicas de longo prazo de governos nacionais e instituições internacionais, bem como financiamentos designados para projetos específicos. Para a lista completa de doadores do TDR, acesse <https://tdr.who.int/about-us/our-donors>.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Catálogo de Metadados da ANA - Unidades de Conservação. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/9407d38f-84d2-48ea-97dd-ee152c493043>. Acesso em: 21 ago. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040: Diagnóstico e diretrizes para a gestão dos recursos hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-de-recursos-hidricos/plano-nacional-de-recursos-hidricos>. Acesso em 25 maio de 2025.

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N; SILVA, D. D. **Avaliação da vulnerabilidade à disponibilidade hídrica no Cerrado**. Applied Water Science, v. 11 , 176, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01521-2>

APHA (American Public Health Association). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd edition**. Washington, D.C.: APHA, 2017.

AULER, A. S.; PILÓ, L. B.; SAADI, A. Ambientes cársticos. Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: **Holos**, p. 321-343, 2005.

BORGES, S. R. **Elaboração de Manejo Integrado do Fogo para a Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho** (Dissertação de Mestrado em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado) – Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, Urutaí-GO, 2025, 75p.

BRASIL. Decreto s/n, de 27 de setembro de 2001. **Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho, no Estado de Goiás, e dá outras providências**. Brasília: Diário Oficial da União, 2001.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997.

BRASIL. **Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm. Acesso em: 22 ago. 2024.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.795, de 27 de abril de 1999**. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 137, n. 80, p. 1, 28 abr. 1999. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm. Acesso em: 26 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 maio de 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-888-de-4-de-maio-de-2021-316593878>. Acesso em: 18 maio 2025.

BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (**CECAV**). Relatório anual 2022. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/cavernas/publicacoes/relatorio-anual-2022_site.pdf. Acesso em: 1 de agosto 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano** Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005**. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional.

BRASIL. Ministério do Turismo. **Política Nacional de Turismo de Base Comunitária: subsídios e orientações técnicas** / coordenado por Leilianne

BRINKMANN, R.; PARISE, M. Karst environments: problems, management, human impacts, and sustainability. An introduction to the special issue. **Journal Of Caves and Karst Studies**, v. 74, n. 2, p. 135-136, 2012.

BRITO, D. Q. de. Avaliação ecotoxicológica das cinzas de queimadas do Cerrado em ambientes aquáticos. 2014. 120 f., il. **Dissertação** (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural). Universidade de Brasília, 2014.

CAMARGO, I. C.; LIMA, V. S. C.; MARTINS, A. L. P e CAMPOS, F. I. (2019). Saneamento básico: políticas públicas e qualidade de vida. **Revista Jurídica**, v. 19, n. 1, p. 154-176, 2019.

CARVALHO JÚNIOR, O. A. de. et al. Ambientes cársticos. In: FLORENZANO, Tereza Galloti. (org). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: **Oficina de textos**, 2008. p. 185-205.

CARVALHO, E. D. A importância da sustentabilidade, conservação e preservação ambiental. **Ambiente**, v. 4, n. 3. 2023. Disponível em <https://ime.events/coneamb2023/pdf/23201>.

CETESB. (2023) Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos, 2Ed. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - **CETESB**, 456p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2024/04/Guia-Nacional-de-Coleta-e-Preservacao-de-Amostras-edicao-2-portugues.pdf>

CNUC - Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Ministério do Meio Ambiente. Painel de Unidades de Conservação Brasileiras (CNUC). Brasília: **MMA**, 2025. Disponível em: <https://cnuc.mma.gov.br/powerbi>. Acesso em: 11 jul. 2025.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2000. **Resolução nº 274, 29 de novembro de 2000**. Ministério do Meio Ambiente.

COSTA, C. M.; PEREIRA, A. A. Formação inicial de licenciandos: a urgência de uma Educação Ambiental Crítica e Emancipatória. **Revista Ensin@ UFMS**, v. 5, n. 9, p. 295-310, 2024.

COSTA, F. W. D.; AGUIAR, P. R. A formação da cidadania ecológica articulada à Educação Ambiental na escola. **Revista Cerrados**, v. 18, n. 2, p. 245–274, 2020. DOI: 10.46551/rc24482692202017.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. 2ª ed. Rio de Janeiro: **Interciência**, 1998.

FERREIRA, J. M.; DE OLIVEIRA, A. C.; DAMASCENO, L. C.; DA SILVA, A. S.; NOVAES, S. E.; DE FREITAS, F. C. C.; SANTOS, D. de S.; LIMA, D. dos S. Conhecimento local e educação ambiental: caminhos para a conservação sustentável do Rio São Francisco. **ARACÊ**, v. 2, pág. 6333–6355, 2025.

FREITAS, S.T.O; DIAS, P.A.; MOMOLI, R.S. Potencial do turismo espeleológico na região de Vila Propício (GO). In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. Anais. Campinas: **SBE**, 2019. p.485-491. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_485-491.pdf. Acesso em: 25 jul. 2025.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1979. Disponível em: <https://pibid.unespar.edu.br/noticias/paulo-freire-1970-pedagogia-do-oprimido.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2025.

GALVÃO, M. F. **Interação entre os Sistemas Aquíferos Urucuaia e Bambuí na região de Mambai, GO: integração de dados geológicos, potenciométricos, hidroquímicos e isotópicos**. 2022. 76 f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas e Geodinâmica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

GELAIN, I. O. **A regulação do agrotóxico e seu impacto na produção vitivinícola no Rio Grande do Sul**. 2020.

HADDAD, E. A. **Influência antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Miguel, carste do alto São Francisco, Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

HENRIQUES, A. B. Educação Ambiental Crítica e o território da Zona da Mata mineira: um diálogo necessário. **Educação em Foco**, v. 27, n. 53, p. 1-25, 2024.

HIRATA, Ricardo et al. As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil. São Paulo: **IGc/USP**. Disponível em: https://igc.usp.br/igc_downloads/Hirata%20et%20al%202019%20Agua%20subterranea%20e%20sua%20importancia.pdf. Acesso em: 23 maio 2025.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade **Educação Ambiental** - **SNUC**. Disponível em <https://www.icmbio.gov.br/educacaoambiental/politicas/snuc.html>. Acesso em agosto de 2024.

ICMBIO, Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade. Ministério do Meio Ambiente. Planos de Manejo de Unidades de Conservação Federais. Brasília: **MMA**, 2025. Disponível em: <https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/planos-de-manejo-de-unidades-de-conservacao-federais>. Acesso em: 11 jul. 2025.

INFOSANBAS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico. POSSE (GO). Índices de coleta e tratamento de esgoto. **Infosanbas**, 2020. Disponível em: <https://infosanbas.org.br/municipio/posse-go/>. Acesso em: 11 jul. 2025.

INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO. Indicadores de esgotamento sanitário. BURITINÓPOLIS (GO). **Água & Saneamento** – Municípios e Saneamento, 2022. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/go/buritinopolis>. Acesso em: 11 jul. 2025.

ISO (1998). Water quality - Determination of dissolved Li⁺, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mn²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Sr²⁺ and Ba²⁺ using ion chromatography - **Method for water and waste water** (ISO Standard No. 14911:1998). <https://www.iso.org/standard/25591.html>.

JACOBI, P. R. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, n. 118, p. 189–205, mar. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cp/a/kJbkFbyJtmCrfTmfHxktgnt/?lang=pt>. Acesso em: 18 maio 2025.

JANSEN, D. C.; GOMES, M.; SANTOS, D. J.; CAVALCANTI, L. F. Mapa de vulnerabilidade natural do patrimônio espeleológico da região de abrangência do PAN Cavernas do São Francisco. **Revista Brasileira de Espeleologia – RBEsp**, v. 1, n. 4, p. 63-77, 2014.

KHUSHBU; SHARMA, P.; YADAV, K. K.; SINGH, J.; PANGAL, A. Ecological impact of heavy metals on the aquatic environment with reference to fishes and human health. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 14, n. 4, p. 1471-1484, 2022. DOI: <https://doi.org/10.31018/jans.v14i4.3900>.

LINHARES, J. Mapas espeleotopográficos tridimensionais de cinco cavernas no projeto Mambaí-GO. Brasília: **ICMBio** – CECAV, 2020. Disponível em: <https://repositorio.icmbio.gov.br/handle/cecav/458>. Acesso em: 16 maio 2025.

LOUREIRO, C. F. B.; CUNHA, C. C. Educação ambiental e gestão participativa de unidades de conservação: elementos para se pensar a sustentabilidade democrática. **Ambiente & Sociedade**, v. 11, p. 237-253, 2008.

LUOMA, S. N.; RAINBOW, P. S. Metal Contamination in Aquatic Environments: Science and Lateral Management. **Cambridge: Cambridge University Press**, 2008.

MAEDA, E. E., FORMAGGIO, A. R., e SHIMABUKURO, Y. E. Impacts of land use and land cover changes on sediment yield in a Brazilian Amazon drainage basin. **GIScience & Remote Sensing**, v. 45, n. 4, p. 443-453, 2008.

MARRA, Ricardo José Calembó. **Planejamento e a Prática do Turismo em Cavernas**. In: 13th International Congress of Speleology. 4th Speleological Congress of Latin América and Caribbean. 26th Brazilian Congress of Speleology, 2001, Brasília-DF: SBE, 2001. p. 663–666. Disponível em: https://www.cavernas.org.br/wp-content/uploads/2021/02/26CBE_663-666.pdf. Acesso em: 25 jul. 2025.

MARTINEZ, J. H. I. A., SOBRINHO, T. R. G. Parâmetros para caracterização da Água Cárstica no Brasil e em Minas Gerais: Estado da arte e perspectivas futuras. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 19, n. 68, p. 61-80, 2018.

MARTINS, A. S. **Avaliação das águas superficiais sob uso e ocupação na sub-bacia do rio Candeias/RO-Amazônia ocidental**. Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. Porto Velho-RO, 2009, 124p.

Michelle Trindade da Silva Barreto e Ricardo Lanzarini. Natal: SEDIS-UFRN; Brasília: Ministério do Turismo, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/turismo/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas-projetos-acoes-obras-e-atividades/turismo-responsavel/PoliticaNacionalTurismo_Barreto_2023.pdf.pdf. Acesso em: 25 de julho de 2025.

MMA. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho – **Informações Gerais e Características**. Brasília, DF: MMA, 10p. Disponível em: <https://cnuc-backend.mma.gov.br/api/v1/report/uc/15194>. 2024.

MIRANDA, S. A. M. **Uso e ocupação do solo na APA das nascentes do Rio Vermelho: Conflito Socioambiental em Mambaí – GO**. Orientação: Ruth Elias de Paula Laranja, Brasília. Monografia (Bacharelado em Geografia), Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Humanas, Departamento de Geografia, 2016.

MOMOLI, R. S., LADEIRA, F. S. B., CORRECHEL, V., & COOPER, M. Dinâmica da sedimentação e erosão em uma zona ripária do Cerrado no estado de Goiás, Brasil. **Geografia**, v. 49, n. 1, p. 628-653, 2024.

MOURAO, M. A. A. **Caracterização hidrogeológica do aquífero Cauê, quadrilátero ferrífero, MG: Subsídios para a gestão dos recursos hídricos no quadrilátero ferrífero**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2007.

MUNIZ, Daphne Heloisa de Freitas et al. Avaliação da qualidade da água e condições de balneabilidade no Médio Rio Araguaia. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v.9, n.2, 2020, p. 308-327. <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2020v9i2.p308-327>. Acesso em: 25 jul. 2025.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. Nature 403, 853–858, 2000. <https://doi.org/10.1038/>

NÓBREGA, S. C. O trabalho das mulheres rurais e a conservação do Cerrado na APA do Rio Vermelho, Goiás. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, jul. 2018. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/download/6613/4905/28598>. Acesso em: 27 jul. 2025.

NOGUEIRA, A.M.; CALDEIRA, D.; UAGODA, R.; MENDES, L.C.; PUPIM, F.N. Sedimentary records in dry karstic valleys: The case of Mambaí, central Brazil. **Journal of South America Earth Science**, v 128, 104338, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104338>

NUCCI, J. C.; FÁVERO, O. A. Desenvolvimento sustentável e conservação da natureza em Unidades de Conservação: o caso da Floresta Nacional de Ipanema (Iperó/SP). **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 7, 2003.

PNUD, PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**: perfil do município de Mambaí (GO). 2013. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/perfil/municipio/521270>. Acesso em: 11 jul. 2025.

PÔSSAS, I. B.; CHEREM, L. F. S. Diferenças morfológicas do exocarste da borda noroeste do Grupo Bambuí. **Sinageo**, 2016. Disponível em: <https://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/4/4-580-397.html>. Acesso em julho de 2025.

RABELO, C. G.; FERREIRA, M. E.; ARAÚJO, J. V. G.; STONE, L. F., SILVA, S. C., e GOMES, M. P. (2009). Influência do uso do solo na qualidade da água no bioma Cerrado: um estudo comparativo entre bacias hidrográficas no Estado de Goiás,

Brasil. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 4(2), 172-187.

RESENDE, A. V. Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato. **Embrapa Cerrados**. Documentos, v. 57, 2002.

RIZZATO, P. P.; BICHUETTE, M. E. Estudos anatômicos e taxonômicos em *Ituglanis* spp. (Siluriformes: Trichomycteridae) da região cárstica do centro do Brasil. **Zoologia**, 2019.

RIZZATO, P. P.; BICHUETTE, M. E. *Ituglanis boticario*, a new troglomorphic catfish (Teleostei: Siluriformes: Trichomycteridae) from Mambaí karst area, central Brazil. **Zoologia (Curitiba)**, v. 31, p. 577-598, 2014.

RODRIGUES, D. L.; FARIA, K. M. S. Unidades de conservação de uso sustentável regulam o uso do solo? O caso da APA das Nascentes do Rio Vermelho (GO). 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – **Instituto de Estudos Socioambientais**, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019. ISBN: 978-85-7282-778-2.

ROSE, K. C.; FERRER, E. M.; CARPENTER, S. R.; CROWE, S. A.; DONELAN, S. C.; GARÇON, V. C. e BREITBURG, D. Aquatic deoxygenation as a planetary boundary and key regulator of Earth system stability. **Nature Ecology & Evolution**, v. 8, n. 8, p. 1400-1406, 2024.

RUCHKYS, Ú. A.; TRAVASSOS, L. E. P.; TIMO, M. B. Ameaças ao geopatrimônio do Carste e a perda da memória da Terra. **Ateliê Geográfico**, v. 17, n. 3, p. 179–195-179–195, 2023.

SAMBUICHI, R. H. R.; SILVA, A. P. M.; CONSTANTINO, M. A.; SAVIAN, M.. Políticas agroambientais e sustentabilidade: desafios, oportunidades e lições aprendidas. Brasília: **Ipea**, 2014. 273 p. ISBN 978-85-7811-196-0.

SANTOS, C. L.; SILVA, O. G.; VITAL, S. R. O. Mapeamento de Áreas de Risco Associadas ao Carste em Área Urbana no Município de João Pessoa-PB. **Sociedade & Natureza**, v. 34, p. e63641, 2023.

SARDÃO, M.; SILVA, P. G. Justiça Ambiental e Ecologia Política: Entre sinergias e Benefícios Mútuos na Direção de Futuros Sociais Desejáveis. *Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 11, n. 2, p. 214-232, 2022.

SBE, Sociedade Brasileira de Espeleologia. Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil. **Cavernas do Estado de Goiás**. 2024. Disponível em: <https://sbecnc.org.br/Regions.aspx#GO>

SEGANTIN, L. S., e GARCÍA, M. L. Spatio-temporal assessment of surface water quality of Corumbataí River in Rio Claro-SP. **Geosciences**, v. 43, n. 1, p. 73-87, 2024.

SEMAD – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Governo Do Estado De Goiás. **Unidades de Conservação em Goiás**. 20 jun. 2024. Disponível em: <https://goias.gov.br/meioambiente/unidade-de-conservacao-em-goias/>. Acesso em: 11 jul. 2025.

SERRAGLIO, R. D.; MORURA, M. A., COSTA, S. M. ARANA, A. R. A., ULIANA, M. R. Parâmetros de Qualidade da Água no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física** v. 14, n 7, 2021. 3814-3830.

SILVA, S. N. F.; CORDOVIL, A. A.; FARIA, J. P. P.; MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA, É. M.; MERISSE, R. J.; BORGES, S. R.; PASSOS, C. J. S. Educação ambiental como extensão universitária para a proteção do patrimônio espeleológico da APA Nascentes do Rio Vermelho, Mambáí (GO). Brasília: **Universidade de Brasília**, 2024a. 15 p.

SILVA, T. H. C.; ROCHA, R. F.; JORDÃO, L. R.; e TÁRREGA, M. C. V. B. Para além do papel: estudo das unidades de conservação brasileiras. **Interações**, Campo Grande, v. 25, p. e2523777, 2024b.

SIMÕES, L. B. **Biodiversidade da fauna subterrânea na área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás: relevância versus visibilidade de táxons**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013, 197 p.

SIMÕES, M. H.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. Cave invertebrates in northwestern Minas Gerais state, Brazil: endemism, threats and conservation priorities. **Acta carsologica**, v. 43, n. 1, 2014.

SIQUEIRA, M. A. J. **A poluição das águas em mineração de calcário**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica, Universidad de São Paulo, São Paulo, 2002. doi:10.11606/D.3.2002.tde-02082024-092641. Acesso em: 2024-09-27.

SMITH, V.H.; TILMAN, G.D.; NEKOLA, J. C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. **Environmental Pollution**, 1999.

SOARES, S. S.; COSTA, G. G.; BRITO, L. B.; de OLIVEIRA, G. A. R. e SCALIZE, P. S. (2022). Assessment of surface water quality of the bois river (Goiás, Brazil) using an integrated physicochemical, microbiological and ecotoxicological approach. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, 57(3), 242–249. Doi: <https://doi.org/10.1080/10934529.2022.2060026>

SOUZA, A. V. V.; OLIVEIRA, S. M. Análise da qualidade da água do rio Vermelho em Mato Grosso: no período de cheia no ano de 2014. **Biodiversidade**, v. 13, n. 2, 2014.

SOUZA, S. B. S.; FERREIRA, N. C.; FORMIGA, K. T. M. Estatística espacial para avaliar a relação entre saneamento básico, IDH e remanescente de cobertura vegetal no estado de Goiás, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, p. 625-636, 2016

TARGA, D. A.; MOREIRA, C. A. e CAMARERO, P. L. Diagnóstico hidrogeológico da Mina Osamu Utsumi (Poços de Caldas-MG) por meio de análise estrutural e ensaio geofísico. **Águas Subterrâneas**, 2018.

TAYER, T. C.; VELÁSQUES, L. N. M. Assessment of intrinsic vulnerability to the contamination of karst aquifer using the COP method in the Carste Lagoa Santa Environmental Protection Unit, Brazil. **Environmental earth sciences**, v. 76, p. 1-13, 2017.

TIBURCIO, L. N.; CARNEIRO, V. A. A Produção Acadêmica Sobre O Aquífero Urucuaia No Cerrado Goiano-Uma Análise Cienciométrica. **Revista Mirante (ISSN 1981-4089)**, v. 18, n. 1, p. 283-300, 2025.

TRAVASSOS, L. E. P.; VARELA, I. D (org). Vivendo no Carste: Compreendendo os processos naturais desta paisagem. Brasília: **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)**, ISBN 978-65-5693-045-9, 42 p. 2022.

VIEIRA, L. L.; VIEIRA, L. M. S. Sugestão de inventário e SIG turísticos para o município de Mambaí GO. **Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas, Campinas**, v. 2, n. 2, p. 101–110, dez. 2009. Disponível em: https://digitalcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5717&context=kip_articles#page=8. Acesso em: 11 jul. 2025.

VIEIRA, M. S. **Estudo das conexões hidrológicas no sistema cárstico Gruta da Tarimba, Mambaí, Goiás**. 2023. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

WETZEL, R.G. Limnology: lake and river ecosystems. 3rd ed. San Diego: **Academic Press**, 2001.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Guidelines for Drinking-water Quality. 4. ed. Geneva: **WHO**, 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Guidelines for safe recreational water environments – coastal and fresh waters. Genebra: **WHO**, 2003.

ZAMPAULO, R. A. (Orgs.) Anais do 36° Congresso Brasileiro de Espeleologia, 36. Campinas: **SBE**, p.443-450, 2022. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais36cbe/36cbe_443-450.pdf

ZANATTO, Vinícius Galvão. **Avaliação da efetividade de gestão de três unidades de conservação do nordeste goiano**. 2018. 149 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/34414>. Acesso em 25 de maio de 2025.

ZHAO, M.; ZHOU, Q.; LUO, Y.; LI, Y.; WANG, Y.; YUAN, E. Threshold effects between ecosystem services and natural and social drivers in karst landscapes. **Land**, v. 13, n. 5, p. 691, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/land13050691>. Disponível em <https://www.mdpi.com/2789604>. Acesso em 25 de maio de 2025.