

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

ANGÉLICA CHRYSTINA CRUZ MATIAS

HIDROQUÍMICA E QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NA PORÇÃO  
SUL DO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE FIGUEIREDO, BORDA NORTE DA  
BACIA DO AMAZONAS

Manaus/AM

2024

ANGÉLICA CHRYSTINA CRUZ MATIAS

HIDROQUÍMICA E QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NA  
PORÇÃO SUL DO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE FIGUEIREDO, BORDA  
NORTE DA BACIA DO AMAZONAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Geociências  
da Universidade Federal do Amazonas como  
requisito necessário para obtenção do título de  
Mestre em Geociências.

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup>. KEILA CRISTINA PEREIRA ANICETO  
Prof. Dr. EMILIO ALBERTO AMARAL SOARES

Manaus/AM

2024

### Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Matias, Angélica Chrystina Cruz  
M433h Hidroquímica e Qualidade das águas superficiais na  
porção Sul do município de Presidente Figueiredo, Borda  
Norte da Bacia do Amazonas / Angélica Chrystina Cruz  
Matias . 2024  
95 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Keila Cristina Pereira Aniceto  
Coorientador: Emilio Alberto Amaral Soares  
Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade  
Federal do Amazonas.

1. Qualidade de água superficial. 2. Lagoas azuis. 3.  
Balneabilidade. 4. Presidente Figueiredo. I. Aniceto, Keila  
Cristina Pereira. II. Universidade Federal do Amazonas III.  
Título

ANGÉLICA CHRYSTINA CRUZ MATIAS

HIDROQUÍMICA E QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NA PORÇÃO  
SUL DO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE FIGUEIREDO, BORDA NORTE DA  
BACIA DO AMAZONAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geociências, área de concentração em Geociências.

Aprovada em: 04 de julho de 2024.

BANCA EXAMINADORA



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Keila Cristina Pereira Aniceto, Presidente.  
Universidade Federal do Amazonas, PPGGEO



Dr. Adriano Nobre Arcos, Membro.  
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, LRH



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alderlene Pimentel de Brito, Membro.  
Universidade Federal do Amazonas, PPGGEO

## RESUMO

As ações antropogênicas vêm causando inúmeros prejuízos ao ecossistema. Indústria, agricultura, aterros sanitários, mineração e produção de resíduos químicos e biológicos em ambientes aquáticos são estudadas para identificar o impacto causado e como isso afeta o meio ambiente e a saúde humana. Para identificar a geoquímica das águas superficiais foi necessário analisar como os lagos são afetados pelas atividades humanas e pelos processos naturais. As características hidroquímicas que podem ser usadas para avaliar a relação entre intemperismo das rochas e fontes artificiais. As lagoas azuis e cachoeiras da região de estudo foram utilizadas como objeto de pesquisa, para explorar as características físico-químicas e bacteriológicas, para avaliar a qualidade dessas águas dentro dos parâmetros da balneabilidade, conforme legislação do CONAMA 357/2005 e 274/2000. Os procedimentos de amostragem e análise seguiram o manual ISSN 1980-3958/2011 (PARRON *et al.*, 2011) e APHA (2017). As amostragens foram realizadas respeitando o ciclo hidrológico do município de Presidente Figueiredo-AM, divididos em 4 campanhas entre 2021 e 2023. As análises realizadas foram: *E. coli.*, pH, condutividade, oxigênio dissolvido, turbidez, STS, alcalinidade, cátions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{NH}_4^+$ ) e ânions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{PO}_4^{3-}$ ) e metais potencialmente tóxicos (Fe, Al, Mn, Zn, Ba, Ag, Pb, Cd, Cr, Ni e Cu). Os resultados identificaram que as águas analisadas estão em conformidade com as legislações do CONAMA 357 e 274 para balneabilidade. As medições estão em conformidade com as normas estabelecidas pelo CONAMA 357/2005 e 274/2000, que regulam a qualidade da água superficial para uso recreativo de contato primário. Dos pontos amostrais, a Lagoa LG apresentou menor influência antrópica, com valores de pH e CE alinhados com as características da região. Na e K foram os principais constituintes da fase dissolvida, preservando características naturais. Por outro lado, a Cachoeira CL mostrou maior presença de íons, CF e pH próximo à neutralidade, evidenciando maior impacto humano. Os metais Fe, Al, Mn, Zn e Ba apresentaram concentrações baixas, refletindo as condições de intemperismo das regiões tropicais úmidas. No entanto, a continuidade dos estudos e o monitoramento constante dos ecossistemas aquáticos são fundamentais para garantir a manutenção dessa conformidade ao longo do tempo.

**Palavras-chave:** Qualidade de água superficial, influência antrópica, lagoas azuis, balneabilidade.

## ABSTRACT

Anthropogenic activities have been causing numerous damages to ecosystems. Industries, agriculture, landfills, mining, and the production of chemical and biological waste in aquatic environments are studied to identify the impact and how it affects the environment and human health. To identify the geochemistry of surface waters, it was necessary to analyze how lakes are affected by human activities and natural processes. The hydrochemical characteristics can be used to evaluate the relationship between rock weathering and artificial sources. The blue lagoons and waterfalls in the study region were used as research subjects to explore the physicochemical and bacteriological characteristics and assess the quality of these waters within the bathing standards, according to the legislation of CONAMA 357/2005 and 274/2000. The sampling and analysis procedures followed the manual ISSN 1980-3958/2011 (PARRON *et al.*, 2011) and APHA (2017). The samplings were conducted respecting the hydrological cycle of the municipality of Presidente Figueiredo-AM, divided into four campaigns between 2021 and 2023. The analyses performed included: *E. coli*, pH, conductivity, dissolved oxygen, turbidity, TSS, alkalinity, cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{NH}_4^+$ ), anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{PO}_4^{3-}$ ), and potentially toxic metals (Fe, Al, Mn, Zn, Ba, Ag, Pb, Cd, Cr, Ni, and Cu). The results indicated that the analyzed waters follow the CONAMA 357 and 274 regulations for bathing. The measurements align with the standards established by CONAMA 357/2005 and 274/2000, which regulate the quality of surface water for primary contact recreational use. Among the sampling points, Lagoa LG exhibited less anthropogenic influence, with pH and EC values consistent with regional characteristics. Na and K were the main constituents of the dissolved phase, preserving natural characteristics. Conversely, Cachoeira CL showed a higher presence of ions, CF, and pH close to neutrality, indicating greater human impact. The metals Fe, Al, Mn, Zn, and Ba showed low concentrations, reflecting the weathering conditions of humid tropical regions. However, the continuity of studies and constant monitoring of aquatic ecosystems are essential to ensure the maintenance of this compliance over time.

**Key-words:** Surface water quality, human influence, blue lakes, balneability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas, com ênfase para as unidades litoestratigráficas do Grupo Trombetas (Fonte: Cunha <i>et al.</i> , 2007).....	<b>33</b>
<b>Figura 2.</b> Volume de precipitação anual dos últimos dez anos (2011-2021) em Presidente Figueiredo. Fonte: ANA 2022. ....	<b>36</b>
<b>Figura 3.</b> Mapa geológico da porção sul do município de Presidente Figueiredo, segundo a individualização litoestratigráfica proposta por SOUZA & NOGUEIRA (2009). O detalhe mostra a rede de drenagem, estradas e a localização dos pontos estudados (numerados de 1 a 9), com destaque para as plantações da região (círculo verde).....	<b>38</b>
<b>Figura 4.</b> a) Cachoeira do Sr Ceará (C.C). b) Cachoeira do Lixão (C.L). Ambas localizadas na região de estudo, sendo a CC dentro do Ramal Boa Esperança e a CL na AM03 próximo ao lixão da comunidade.....	<b>49</b>
<b>Figura 5.</b> a) corresponde ao Arenito ferruginoso da Formação Nhamundá. b) Lagoa Gênese desenvolvida em sedimentos argilosos de coloração esbranquiçada .....	<b>50</b>
<b>Figura 6.</b> Plantações localizadas no Ramal Boa Esperança, km 120 de Presidente Figueiredo, em verde no mapa da figura 3 próxima a região de estudo onde foram coletadas as amostras de água para análise .....	<b>50</b>
<b>Figura 7.</b> Análises realizadas em campo, utilizando sonda multiparâmetros para coleta de dados iniciais .....	<b>52</b>
<b>Figura 8.</b> Análises bacteriológicas. a) A cor amarela representa presença de coliformes totais. b) é a fluorescência que considera presença de E. coli como representação de coliformes fecais. ....	<b>53</b>

## LISTAS DE TABELA

<b>Tabela 1-</b> Identificação e localização georreferenciada dos pontos de amostragem desta pesquisa .....	<b>39</b>
<b>Tabela 2-</b> Parâmetros analisados em campo e em laboratório incluindo o resumo da metodologia e de que forma foi aplicado .....	<b>45</b>
<b>Tabela 3-</b> Parâmetros analisados para identificar se as amostras estão de acordo com a legislação do CONAMA 274/2000 e 357/2005 para balneabilidade .....	<b>46</b>

## LISTA DE SIGLAS

AM	AMAZONAS
SAAE	SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO
CE	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA
CF	COLIFORMES FECAIS
UFAM	UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE
CPRM	SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
HCO <sub>3</sub> -	BICARBONATO
Cl	CLORETO
Fe	FERRO
ICP-OES	INDUCTIVELY COUPLED PLASMA OPTICAL EMISSION SPECTROMETRYE
Mg	MAGNÉSIO
CI	CROMATÓGRAFO DE ÍONS
INPA	INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
ANA	AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
PCA	PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS
HCA	HIERARQUICAL CLUSTER ANALYSIS
NMP	NÚMERO MAIS PROVÁVEL
Ca	CÁLCIO
SO <sub>4</sub>	SULFATO
IQA	ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS
SiO <sub>2</sub>	SILICATO
K	POTÁSSIO
STS	SÓLIDOS TOTAIS EM SUSPENSÃO
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	ÁCIDO CARBÔNICO
ORP	POTENCIAL OXIRREDUÇÃO
pH	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO

Cu	COBRE
Co	COBALTO
Pb	CHUMBO
E. coli	ESCHERICHIA COLI
CC	CACHOEIRA DO CEARÁ
NLA	NASCENTE DO LAGO AZUL
LA	LAGO AZUL
FERV	FERVEDOURO DO MARANHÃO
NLAM	NASCENTE DO LAGO AZUL DO MARANHÃO
LAM	LAGO AZUL DO MARANHÃO
LG	LAGO GÊNESIS
NL	NASCENTE DO LIXÃO
CL	CACHOEIRA DO LIXÃO
NW-SE	NORTHWEST – SOUTHEAST
NE	NORDESTE
H3SiO4	SILICATO DE TRIHIDROGÊNIO
FAEA	FEDERAÇÃO DE AGRICULTURA E PECUÁRIA
ARQGIS	SOLUÇÃO DE ANÁLISE E MAPEAMENTO BASEADA EM NUVEM
GPS	GLOBAL POSITIONING SYSTEM
OD	OXIGÊNIO DISSOLVIDO
EMBRAPA	EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA COLILERT
SUBSTRATO ENZIMÁTICO DEFINIDO	
IDEXX	BRASIL LABORATÓRIOS LTDA
ONPG	O – NITROPHENYL
MUG	4 - METHYL – UNBELIFERYL
UV	ULTRAVIOLETA
FIA	ANÁLISE POR INJEÇÃO DE FLUXO
NO3	NITRATO
Zn	ZINCO
Ni	NÍQUEL

Ag	PRATA
Al	ALUMÍNIO
Cr	CROMO
PO4	FOSFATO

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
1.3 Objetivos .....	14
1.3.1 Objetivo Geral .....	14
1.3.2 Objetivos Específicos.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	15
2.1 Água Superficial.....	15
2.2 Geoquímica de Águas Superficiais na Amazônia .....	16
2.3 Intemperismo: Reações de Absorção e Adsorção.....	17
2.4 Mecanismos de Troca Iônica: Processos e Impactos Ambientais .....	18
2.5 Impacto das Chuvas no Efeito de Diluição em Corpos d'Água Superficiais.....	19
2.6 Processos de Oxirredução em Ambientes Aquáticos Superficiais.....	20
2.7 Influência Antrópica em Águas Superficiais .....	20
2.7.1 Metais Potencialmente Tóxicos em Águas Superficiais: Impactos da Atividade Humana .....	20
2.7.2 Resíduos Químicos em Águas Superficiais: Consequências da Intervenção Humana .....	21
2.7.3 Uso de Fertilizantes na Adubação do Solo: Efeitos sobre as Águas Superficiais.....	22
2.7.4 Impactos dos Lixões Não Regulamentados nas Águas Superficiais .....	23
2.7.5 Resíduos Biológicos em Águas Superficiais: Impactos e Gestão Ambiental .....	24
2.8 Legislação Ambiental e Balneabilidade: Protegendo a Qualidade das Águas Superficiais .....	25
3. ÁREA DE ESTUDO .....	25
3.2 Contexto Geológico Regional .....	28
3.3 Formação de Cachoeiras e Lagos .....	31
3.4 Aspectos das Águas Superficiais e Subterrâneas: Características das águas da Área de Estudo	31
3.5 Clima da Região de Presidente Figueiredo.....	33
3.6 Características dos Pontos de Estudo .....	48
4. METODOLOGIA: AMOSTRAGEM E ANÁLISES.....	51
4.1 Posicionamento Georreferenciados dos Locais Estudados.....	51
4.2 Análises de Campo .....	51
4.3 Análise Laboratorial.....	52
4.3.1 Bacteriológico.....	52
4.3.2 Análises Físico-químicas .....	53
4.4 Caracterização das Águas da Região de Estudo .....	54
4.5 Análise de Dados .....	55
5. RESULTADOS.....	55
6. CONCLUSÃO .....	90
7. REFERÊNCIAS.....	91

*Eu considero os princípios da ciência não como revelações ou milagres, mas como deduções da manifestação divina.*

Isaac Newton

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a vida, vital tanto para a sustentabilidade dos ecossistemas quanto para o desenvolvimento social e econômico (GARCIA, 2019). A qualidade da água é determinada por uma série de processos físicos e químicos, influenciados pelas substâncias químicas dissolvidas presentes nos corpos hídricos naturais. A presença de certos íons, frequentemente associada às rochas próximas à superfície, e as reações químicas resultantes dos processos biológicos e químicos no ambiente desempenham um papel fundamental na definição das características da água (BULIA, 2017; LIMA *et al.*, 2020). Portanto, compreender a relação entre as rochas e as águas superficiais é crucial para identificar a concentração de íons específicos que conferem propriedades distintas às águas (WEYNELL *et al.*, 2016). Neste contexto, a água adquire também valor econômico, ambiental e social, especialmente em regiões como a Amazônia, onde ela é um recurso vital para o turismo e a economia local (PENTEADO, 2021; SOARES, 2021).

Na região amazônica a qualidade da água é monitorada através de diversas abordagens, abrangendo aspectos de potabilidade e questões sanitárias (ARCOS & CUNHA, 2021; ARCOS *et al.*, 2022), balneabilidade (ARCOS *et al.*, 2020; QUEIROZ; RUBIM, 2016), manutenção da vida aquática (FALCÃO *et al.*, 2021) e percepção ambiental (FALCÃO *et al.*, 2022). Esses estudos são fundamentais para avaliar os impactos ambientais na região amazônica, que influenciam diretamente a saúde ambiental e pública. Arcos *et al.*, (2022) enfatizam a necessidade de estabelecer um sistema de monitoramento ambiental robusto para averiguação, controle e implementação de soluções eficazes em áreas sujeitas à crescente pressão da urbanização.

A preservação da qualidade da água é um desafio global, crucial para a sustentabilidade dos ecossistemas e o bem-estar humano (GARCIA, 2019). A água, como recurso essencial, é influenciada por uma complexa interação de processos físicos, químicos e biológicos (LIMA *et al.*, 2020). No contexto socioeconômico da Amazônia, a água é um recurso vital para a promoção do turismo, sendo o município de Presidente Figueiredo um exemplo proeminente. Conhecida como a "terra das cachoeiras", essa cidade, fundada em 1981, tem experimentado um crescimento populacional significativo, atualmente abrigando cerca de 37.193 habitantes (IBGE, 2020). Esse crescimento é amplamente atribuído ao turismo local, impulsionado pelas exuberantes paisagens e diversos atrativos naturais que a região oferece. A proximidade com a capital e o fácil acesso por rodovia fazem de Presidente Figueiredo um dos principais destinos

turísticos do Amazonas, atraindo visitantes regionais e estrangeiros para suas cachoeiras, corredeiras, grutas e lagos. Para conservar esses ambientes, foi proposta a criação do GEOPARQUE Cachoeiras do Amazonas (AM). Esta iniciativa visa preservar a floresta local e as áreas de recarga do aquífero regional, além de promover atividades de desenvolvimento sustentável, como turismo, educação e pesquisa.

Nos últimos anos, as atividades humanas têm causado inúmeros prejuízos aos ecossistemas aquáticos. Atividades industriais (CALVO, 2018), agrícolas (SILVA *et al.*, 2022), aterros sanitários (OBREGÓN *et al.*, 2019), mineração (PEREIRA, 2019) e a produção de resíduos químicos e biológicos (GRASSI *et al.*, 2019) são amplamente estudadas para identificar seus impactos ambientais e seus efeitos na saúde humana. O crescimento demográfico e a urbanização desenfreada levantam preocupações sobre o impacto desses fatores nos recursos hídricos. As águas superficiais são particularmente suscetíveis à contaminação devido à facilidade de exploração. Os lagos são especialmente afetados pelas ações antrópicas, que incluem a descarga de águas residuais industriais, esgoto doméstico e o escoamento de fertilizantes e pesticidas (NIRMALA *et al.*, 2022).

Além da pesquisa científica, a esfera governamental desempenha um papel crucial na manutenção do equilíbrio ecológico, implementando a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981). Esta legislação protege o meio ambiente como patrimônio público e assegura seu uso coletivo. Complementarmente, a legislação brasileira, através da Resolução CONAMA 357/2005 e 274/2000, estabelece parâmetros para a qualidade das águas superficiais, considerando o risco à saúde humana e animal, bem como seu uso para práticas esportivas e recreativas.

Para compreender os impactos causados pelas alterações no ecossistema da região, as análises focam em determinar a qualidade da água superficial para recreação aquática (McDOUGALL *et al.*, 2020). Além disso, definir os ciclos geoquímicos dentro de bacias hidrográficas requer uma compreensão detalhada dos processos que influenciam a química das águas, como intemperismo, precipitação e cobertura vegetal. Essas análises são fundamentais para avaliar como os diferentes fatores ambientais e antrópicos afetam a qualidade da água e, conseqüentemente, a saúde dos ecossistemas e das populações humanas que dependem desses recursos.

Os desafios enfrentados pela qualidade da água na Amazônia são multifacetados, envolvendo não apenas a contaminação por atividades humanas, como a industrialização e a urbanização desenfreada, mas também os efeitos das mudanças ambientais globais. A falta de

informações detalhadas sobre a qualidade das águas superficiais em áreas específicas, como as lagoas azuladas no Ramal da Comunidade Boa Esperança, ressalta a necessidade de estudos aprofundados nesse sentido (PENTEADO, 2021).

Neste contexto, destacam-se as lagoas de águas azuladas, localizadas no Ramal da Comunidade Boa Esperança (Km 120 da BR-174, Presidente Figueiredo). Nos últimos anos, essas lagoas têm se mostrado um potencial econômico significativo para a população local, servindo como balneários que geram renda através do turismo, como exemplificado pelo Fervedouro do Maranhão e a Lagoa Azul. Apesar da importância dessas águas para a vida local, ainda se sabe pouco sobre sua qualidade e fontes de solutos. Para identificar a qualidade das águas superficiais nesta área, é essencial analisar como os lagos são afetados pelas atividades humanas e pelos processos naturais. Desta forma as características hidroquímicas podem ser usadas para avaliar a relação entre o intemperismo das rochas, caracterizar estas águas e identificar as possíveis influências antropogênicas que possam impactar a qualidade destas águas. Este estudo utiliza as águas superficiais – lagos azuis e cachoeiras – da região como objeto de pesquisa, explorando características físico-químicas e bacteriológicas, avaliando a qualidade dessas águas dentro dos parâmetros de balneabilidade conforme a legislação do CONAMA 357/2005 e 274/2000.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

Avaliar as possíveis interferências antrópicas que podem influenciar a hidroquímica das águas superficiais nas principais redes de drenagem da porção sul do município de Presidente Figueiredo, no Estado do Amazonas, classificando essas águas quanto à sua balneabilidade.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar a qualidade de águas superficiais dos nove pontos de coleta localizados na Comunidade Boa Esperança e Boa Aliança, em Presidente Figueiredo;
- Verificar se os valores obtidos estão dentro dos limites estabelecidos para balneabilidade segundo a resolução vigente do CONAMA 357/2005 e 274/2000;

- Avaliar como a concentração de substâncias se comportam nos períodos sazonais (transição para estiagem, estiagem, transição para chuvoso, chuvoso);
- Analisar a presença de metais potencialmente tóxicos e agentes que condicionem suas concentrações nas águas da região de estudo;

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Água Superficial

A água, em seu estado líquido, pode ser encontrada em duas condições principais: como água superficial, presente em lagos, rios e reservatórios, e como água subterrânea (RUIDAS *et al.*, 2022). A água superficial é particularmente importante, pois sustenta a biodiversidade de uma região (BATHERIA e JAIN, 2016). Para caracterizar as propriedades de um lago, é fundamental analisar suas características físicas, químicas e biológicas. No entanto, as atividades antropogênicas introduzem fatores que aumentam a vulnerabilidade dos recursos hídricos, tais como estresse hídrico, variabilidade climática e demanda populacional (ANANDHI e KANNAN, 2018).

As condições microbiológicas também desempenham um papel crucial na determinação da salubridade da água. Bactérias termotolerantes, por exemplo, são indicadores de poluição fecal de origem humana ou animal (ANDRADE e BARROS, 2019). Os coliformes fecais, que fermentam lactose entre 35°C e 40°C, incluem bactérias como a *Escherichia coli*, a principal representante do grupo Coliforme (PONGELUPPE *et al.*, 2009). A presença dessas bactérias está frequentemente associada à disponibilidade de matéria orgânica (OMS, 2017), sendo indicativo de alteração antrópica.

A hidroquímica da água é influenciada por diversos fatores, incluindo características geológicas e hidrogeológicas, intensidade do intemperismo das rochas, clima regional, qualidade da recarga de água e interferência antropogênica, que variam conforme o ambiente e as interações locais (TOWFIQUL ISLAM *et al.*, 2017). Os compostos dissolvidos nesses processos são determinantes da qualidade da água, e elementos presentes em concentrações acima dos limites estabelecidos pela legislação são indicadores de influência antrópica (CREÃO, 2023).

Para compreender as características dos corpos hídricos superficiais, é importante considerar o ciclo hidrológico, onde as águas superficiais, as águas subterrâneas e a precipitação estão interligadas, pois essa dinâmica pode ser influenciada pela percolação, cujo tipo de aquífero e fluxo de descarga impactam em suas propriedades (LAGES *et al.*, 2023).

## 2.2 Geoquímica de Águas Superficiais na Amazônia

Na região Amazônica, as águas apresentam características físico-químicas singularmente distintas em comparação a outras regiões do Brasil, decorrentes de uma combinação de fatores geológicos, biológicos e climáticos. O contexto geológico da Amazônia é particularmente determinante na composição química dos diversos rios da região, influenciando diretamente os parâmetros físico-químicos das águas (LARAQUE, *et al.*, 2013).

O clima local, caracterizado por um ciclo hidrológico marcado por períodos de estiagem e de chuvas intensas, também exerce uma influência significativa sobre as características físico-químicas das águas. Neste contexto, a condutividade elétrica (CE) dos ambientes aquáticos tropicais da Amazônia é mais intimamente relacionada à composição geoquímica e às variações do ciclo hidrológico do que à produtividade biológica. Tal correlação é evidenciada pela associação entre a CE e a presença de íons como  $\text{Cl}^-$ , alcalinidade,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (CREÃO, 2012).

O estudo realizado por Lages *et al.*, (2023) na Bacia Hidrográfica do Educando, em Manaus, avaliou a geoquímica das águas analisando as razões iônicas ( $\text{Mg}/\text{Na} - \text{Ca}/\text{Na}$ ,  $\text{HCO}_3/\text{Na} - \text{Ca}/\text{Na}$ , e  $\text{Na}/\text{Cl} \times$  condutividade elétrica) para estabelecer similaridades geoquímicas, a fim de avaliar suas condições naturais, ou identificar influências antropogênicas. Concluiu-se que há uma forte interação entre as águas superficiais, representadas pelos igarapés, e as águas subterrâneas dos aquíferos. Essa interação é evidenciada pela similaridade geoquímica encontrada em dois terços das amostras de água subterrânea, sugerindo uma possível infiltração das águas dos igarapés para os aquíferos.

Um estudo conduzido por Horbe e Oliveira (2008) analisaram as características das águas de drenagens de pequeno porte nos municípios de Manaus e Presidente Figueiredo, localizados no nordeste do Estado do Amazonas. A pesquisa abrangeu porções das bacias dos rios Uatumã, Urubu e do igarapé Canoas, cujas drenagens percorrem rochas ígneas do Grupo Iricoumé e rochas sedimentares das formações Prosperança, Nhamundá, Manacapuru e Pitinga

(Grupo Trombetas). Os resultados indicaram que as águas são diluídas e apresentam baixas concentrações de elementos-traço, refletindo a dinâmica de intemperismo acelerado, influenciada pelas condições geológicas das rochas do grupo Iricoumé e as Formações Prosperança, Nhamundá, Manacapuru, Pitinga, associados também as condições climáticas locais.

Segundo Sahoo *et al.*, (2019), um mapeamento geoquímico sistemático de alta resolução em escala regional deve considerar a linha de base geoquímica de oligoelementos, essencial para a avaliação precisa do risco ambiental. Em seu estudo, foram analisadas 1.429 amostras de microbacias da bacia do Rio Itacaiúnas, localizada no sudeste da Amazônia, durante os períodos de estiagem e chuvoso. Os resultados mostraram que as águas são levemente alcalinas e foram classificadas como do tipo misto Ca-Na-HCO<sub>3</sub>. Essa classificação indica a predominante influência do intemperismo das rochas silicatadas na composição das águas.

A classificação de Sioli (1984) sobre os tipos de águas amazônicas é amplamente utilizada na limnologia e identifica três categorias principais: águas brancas, águas pretas e águas claras, cada uma com características químicas distintas. As águas brancas, provenientes de rios como o Amazonas e o Madeira, são ricas em sedimentos e nutrientes, apresentando alta turbidez e pH quase neutro ou ligeiramente alcalino, com uma coloração opaca e barrenta. As águas pretas, oriundas de áreas de terras baixas como as florestas de igapó, possuem alta concentração de ácidos húmicos e fúlvicos, resultando em uma coloração escura e pH ácido, exemplificado pelo Rio Negro. Por fim, as águas claras, encontradas em rios como o Tapajós e o Xingu, correm sobre substratos arenosos ou rochosos, apresentando baixa turbidez e concentração de sedimentos e nutrientes, com pH variando de neutro a ligeiramente ácido e coloração transparente, permitindo alta visibilidade. Esta classificação é essencial para entender a diversidade ecológica e biogeoquímica da bacia amazônica, pois cada tipo de água sustenta diferentes comunidades biológicas e processos ecológicos.

### **2.3 Intemperismo: Reações de Absorção e Adsorção**

O intemperismo resulta da ação dos elementos atmosféricos: água, dióxido de carbono e temperatura (DE SOUZA SARDINHA *et al.*, 2019). Esses fatores alteram os minerais das rochas, convertendo-os em minerais secundários e solos residuais derivados da rocha mãe, como produtos da lixiviação. Sardinha (2019) descreve o intemperismo químico como a perda

geoquímica de elementos ionizados que foram alterados pela percolação e escoam pela superfície em direção à bacia hidrográfica.

A constituição dos íons dissolvidos em águas superficiais pode fornecer indicações dos processos físico-químicos da interação água/rocha aos quais a rocha mãe está sujeita em determinadas bacias hidrográficas. Estudos como os de Wang *et al.*, (2016) e Zhang *et al.*, (2016) utilizam as concentrações de elementos maiores (Na, K, Ca e Mg) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) para identificar os níveis de intemperismo químico, considerando as condições de pluviosidade e dissolução das rochas.

Adicionalmente, pesquisas conduzidas por Laraque *et al.*, (2012) e Gurumurthy *et al.*, (2012) afirmam que os climas tropicais, como os do Brasil, apresentam uma forte correlação com o intemperismo químico de rochas em águas superficiais. Isso se deve à intensa atividade biogeoquímica nesses ambientes, que acelera os processos de intemperismo e contribui para a composição química das águas, refletindo as interações complexas entre os componentes naturais e as influências climáticas.

## **2.4 Mecanismos de Troca Iônica: Processos e Impactos Ambientais**

A troca iônica, um fenômeno químico reversível, emerge como uma abordagem eficaz na purificação de águas residuais contaminadas por íons dissolvidos, tais como  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , As, conforme discutido por Bashir (2019). Essa técnica, reconhecida por sua capacidade na remoção de metais pesados, envolve a substituição dos íons presentes na solução por outros de carga semelhante (ZEWAIL e YOUSEF, 2015). O processo de troca iônica não só se manifesta como uma reação química, mas também como uma hidrólise, na qual os íons provenientes dos minerais reagem com  $\text{H}^+$  ou  $\text{OH}^-$  presentes na água, resultando na formação de minerais distintos.

Conforme destacado por Zewail e Yousef (2015), durante esse processo, os íons em solução migram para uma matriz sólida, liberando simultaneamente íons com cargas semelhantes. A composição e a textura da rocha desempenham papéis cruciais nesse contexto. Determinados minerais, como o quartzo, apresentam estabilidade notável e resistem ao intemperismo químico por longos períodos. A textura da rocha, por sua vez, influencia diretamente a porosidade e a permeabilidade do sistema durante a percolação da água. O arenito, caracterizado pela presença predominante de grãos de quartzo, com inclusões variáveis de

fragmentos líticos, feldspatos e argilas, exemplifica essa relação entre composição e textura. A resistência do quartzo ao intemperismo químico é atribuída à sua estrutura molecular e à consequente limitação do ataque químico ao cimento da rocha, demonstrando a interconexão entre a composição mineralógica e a estabilidade físico-química das rochas.

## **2.5 Impacto das Chuvas no Efeito de Diluição em Corpos d'Água Superficiais**

O clima desempenha um papel significativo nos processos de intemperismo químico, como observado por Costa (2017), uma vez que a interação do dióxido de carbono com a água da chuva resulta na formação de ácido carbônico ( $H_2CO_3$ ). Essa reação química, por sua vez, está intimamente ligada à variação de temperatura e à distribuição de precipitação, conforme ressaltado por Costa (2019). O controle desses parâmetros climáticos não apenas influencia a quantidade total de precipitação anual, mas também a sua distribuição temporal, afetando os processos de escoamento e evaporação. Portanto, a inter-relação entre clima e intemperismo é fundamental na compreensão dos padrões de intemperismo observados nas rochas, embora estas sigam uma tendência geral de intemperismo.

Costa (2019) discorre sobre a importância de considerar não apenas as características intrínsecas das rochas, mas também as condições climáticas locais, na compreensão dos processos intempéricos, ressaltando a complexidade das interações entre os processos climáticos e geológicos, bem como a necessidade de considerar as condições locais ao interpretar os resultados geoquímicos.

Em um estudo relevante para a região amazônica, Cáuper (2000) enfatiza a importância do alto índice pluviométrico médio de 2100 mm/ano, concentrando-se especialmente entre janeiro e maio durante o inverno regional, com uma diminuição significativa durante o verão amazônico de julho a outubro. As chuvas esparsas podem impactar o teor de oxigênio dissolvido e a quantidade de material em suspensão, alterando os processos de adsorção e coprecipitação de elementos-traço (QUEIROZ *et al.*, 2009). As águas podem se tornar mais concentradas durante o período de estiagem e na transição para o período chuvoso, evidenciando a clara influência do regime hidrológico local (LAGES *et al.*, 2013). Esses estudos oferecem uma perspectiva fundamental sobre os efeitos dinâmicos das variações sazonais nas propriedades e na qualidade das águas na Amazônia.

## 2.6 Processos de Oxirredução em Ambientes Aquáticos Superficiais

O potencial de oxirredução (ORP) desempenha um papel crucial na determinação da capacidade de autolimpeza da água. Conforme elucidado por Ferreira (2012), valores elevados de ORP indicam uma maior presença de oxigênio no meio hídrico, favorecendo a eficiente decomposição da matéria orgânica por bactérias. Vasconcelos (2015) complementa que as reações de oxirredução envolvem a transferência de elétrons entre duas substâncias químicas, ressaltando que esse fenômeno não está restrito à presença de oxigênio, mas sim à ocorrência da transferência de elétrons.

O ORP é um parâmetro importante em estudos geoquímicos, limnológicos e hidroquímicos, pois as medições de oxirredução em diversas matrizes ambientais - incluindo a água - sublinha a complexidade da dinâmica em ambientes aquáticos e a necessidade de considerara as variações e mudanças nas condições do ambiente natural na interpretação dos resultados. Além disso, essas condições de equilíbrio podem sofrer variações significativas em ambientes naturais aquáticos (JARDIM, 2014).

## 2.7 Influência Antrópica em Águas Superficiais

### 2.7.1 Metais Potencialmente Tóxicos em Águas Superficiais: Impactos da Atividade Humana

Os Metais Potencialmente Tóxicos (MPT), caracterizados por sua densidade entre 3,5 a 7 g/cm<sup>3</sup>, ou acima de 6 g/cm<sup>3</sup>, compõem um grupo de elementos que inclui o cádmio (Cd), mercúrio (Hg), chumbo (Pb), zinco (Zn), níquel (Ni), cobre (Cu), arsênico (As), tálio (Tl) e cromo (Cr), presentes na litosfera e suscetíveis à biodegradação (COSTA, 2015). A contaminação por esses metais, resultante da descarga de resíduos químicos industriais, representa uma das principais ameaças à saúde humana e ao ecossistema aquático (KUMAR *et al.*, 2020). Apesar de desempenharem papéis essenciais nos ecossistemas, altas concentrações desses metais podem resultar em danos à saúde, especialmente devido à bioacumulação (BASHIR, 2019).

Os impactos da presença de MTP no ecossistema aquático são multifacetados, influenciando desde a resistência e absorção de compostos em organismos vivos até a magnificação trófica na cadeia alimentar, podendo afetar os seres humanos, mesmo em

concentrações mínimas (SILVA, 2014). Esses efeitos são exacerbados pela ineficiência do planejamento urbano, rural e industrial, que muitas vezes não considera adequadamente os riscos associados à poluição por metais pesados (SILVA e UENO, 2008).

Pesquisas realizadas por Santana e Barroncas (2007) na Bacia do Tarumã-Açu, em Manaus, revelaram valores acima dos limites estabelecidos pela legislação para MTP como zinco, cobalto, níquel, cobre, ferro e chumbo. A análise dos dados indicou que o ecossistema aquático apresenta capacidade de mitigar os impactos, embora em certos pontos a presença de um aterro sanitário próximo possa influenciar na concentração desses elementos.

Silva (2010) conduziu uma análise das águas da bacia do Educandos em Manaus, investigando os impactos decorrentes do lançamento inadequado de resíduos líquidos e sólidos de esgotos domésticos e despejos industriais. Os resultados indicam que durante a estação seca, os problemas de poluição das águas se tornam mais evidentes, especialmente nos pontos próximos aos locais de despejo de efluentes industriais e esgotos domésticos. Nessas áreas, foram observados valores que excedem os limites estabelecidos pelo CONAMA 357/2005 para elementos como Cu, Cd, Cr, Co, Hg, Zn, Pb e Ni, além de pH, condutividade elétrica e coliformes fecais.

### 2.7.2 Resíduos Químicos em Águas Superficiais: Consequências da Intervenção Humana

As fontes de poluição de águas superficiais estão associadas às ações antrópicas. Sodré (2012) afirma que fontes de poluição químicas geralmente são difusas que são de difícil identificação, uma vez que as operações consecutivas ocorrem em extensas áreas impedindo identificar os pontos de origem. As principais fontes de contaminação de resíduo químico são congruentes a infiltração de agrotóxicos no solo, o escoamento de chorume em aterros sanitários, o lançamento residual de esgoto doméstico e o resíduo industrial que é despejado em rios e córregos (SILVA, 2019).

Lages *et al.* (2022) destacam o impacto severo da urbanização na Amazônia, refletido na intensa pressão poluidora sobre numerosos corpos de água. A presença elevada de metais pesados em águas superficiais geralmente indica contaminação por atividades humanas, raramente por fontes naturais. Os autores propõem que metais potencialmente tóxicos podem servir como indicadores ambientais para avaliar a preservação das características naturais dos corpos hídricos. Diante dos estudos realizados foi observado que Mn, Cu, Ni e Fe podem

desempenhar esse papel na região de Manaus, evidenciando sua utilidade como marcadores de naturalidade ambiental.

Em regiões próximas, Melo *et al.* (2005) realizou análises nos igarapés da bacia do Tarumã, do Quarenta e Mindú, localizados em Manaus, investigando várias variáveis que impactam essas águas. Os resultados revelaram um aumento no pH, altas condutividades, baixos teores de oxigênio dissolvido, e elevadas concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e alcalinidade. Esses achados sugerem uma possível introdução desses elementos por meio de águas pluviais contaminadas provenientes de despejos domésticos e industriais.

### 2.7.3 Uso de Fertilizantes na Adubação do Solo: Efeitos sobre as Águas Superficiais

A influência dos fertilizantes (nitrogênio, fósforo e potássio) nas águas superficiais de lagoa tem sido objeto de crescente preocupação devido aos potenciais impactos ambientais associados ao seu uso excessivo e inadequado (COSTA, 2015).

A lixiviação de nutrientes dos fertilizantes para as águas superficiais das lagoas pode desencadear uma série de problemas ambientais. O  $\text{NO}_3^-$  e o fósforo (P), em particular, são nutrientes essenciais para o crescimento das plantas aquáticas, como algas, e seu aumento nas águas das lagoas pode levar a um fenômeno conhecido como eutrofização (FURTULA *et al.*, 2012). Esse processo resulta no crescimento excessivo de algas, que consomem o oxigênio dissolvido na água e representa uma ameaça a saúde humana e dos ecossistemas (MATIAS *et al.*, 2023).

A contaminação por  $\text{NO}_3^-$  é muito comum em áreas rurais, e é predominantemente atribuída às atividades agrícolas, como fossas sépticas e negras. Além disso no ciclo do nitrogênio – substância presente em fertilizantes – ocorre o processo de nitrificação, onde o  $\text{NH}_4^+$  é rapidamente convertido em  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$ , tornando o  $\text{NO}_3^-$  a forma predominante do nitrogênio no ambiente aquático (VARNIER, 2019).

Para exemplificação, Cabral (2023) realizou um estudo com o objetivo principal de investigar a situação ambiental atual da região do rio Amana na Flona do Pau-Rosa, com ênfase nas práticas recomendadas para o cultivo do guaraná. Observou-se que os íons  $\text{NO}_3^-$ , seguidos por  $\text{K}^+$  e  $\text{PO}_4^{3-}$ , são mais suscetíveis à lixiviação. Nesse contexto, o fertilizante fosfato monopotássico foi identificado como tendo maior tempo de permanência no solo.

#### 2.7.4 Impactos dos Lixões Não Regulamentados nas Águas Superficiais

A contaminação das águas superficiais por lixões é uma preocupação crescente devido aos potenciais impactos ambientais associados à disposição inadequados de resíduos sólidos (PESSOA, 2019). Os lixões são áreas onde os resíduos sólidos são dispostos de forma irregular e sem tratamento adequado, podendo incluir uma variedade de materiais perigosos e não biodegradáveis.

A decomposição desses resíduos pode liberar uma série de substâncias químicas tóxicas tanto no solo quanto nas águas subterrâneas, que eventualmente podem contaminar as águas superficiais através do processo de percolação. Metais pesados, produtos químicos orgânicos, efluentes industriais e resíduos perigosos presentes nos lixões representam sérios riscos para a qualidade da água. Isso pode resultar na degradação da qualidade da água e na contaminação de habitats aquáticos, afetando a vida selvagem e a saúde humana (ABRELPE, 2017).

Segundo Alves *et al.*, (2020), a região Norte do Brasil apresenta os piores indicadores de qualidade de saneamento, incluindo a disposição e gerenciamento de resíduos sólidos. Marthos (2023) destaca que a disposição inadequada de lixões resulta em impactos ambientais significativos, pois a infiltração do chorume no solo pode contaminar o lençol freático. No Amazonas, a Lei nº 4.457/2017 estabelece a Política Estadual de Resíduos Sólidos do Amazonas (PERS-AM, 2015), em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Entretanto, apenas a capital possui um aterro controlado, enquanto os demais municípios do estado utilizam lixões para a disposição final de seus resíduos sólidos (ALEAM, 2018).

Para mitigar os impactos negativos da contaminação por lixões nas águas subterrâneas e superficiais, são necessárias medidas de gestão adequadas. Isso inclui a implementação de práticas de manejo de resíduos sólidos mais eficientes, como a coleta seletiva e a destinação adequada dos resíduos para aterros sanitários adequados (MARTINS, 2017).

Rocha e Horbe (2006) identificaram elevados teores de  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ , As, Cd, Pb, Sb, Se, além de compostos nitrogenados e contaminações pontuais de Mn e Zn na água subterrânea do bairro de Novo Israel, devido à decomposição e infiltração do chorume proveniente do lixo acumulado, impactando ao longo do canal do igarapé do referido bairro.

Santana e Barroncas (2007) conduziram um estudo abrangendo os igarapés Matrinxã, Acará, Bolívia, na bacia do Tarumã-Açu, e dentro do aterro sanitário em Manaus. As análises de água e sedimento revelaram concentrações de metais pesados consistentemente acima dos limites estabelecidos pela resolução 357/2005 do CONAMA em praticamente todas as localidades amostradas. Estes resultados ressaltam o papel significativo do aterro sanitário como um dos principais contribuintes para o impacto ambiental severo observado nos corpos hídricos estudados.

#### 2.7.5 Resíduos Biológicos em Águas Superficiais: Impactos e Gestão Ambiental

A contaminação por matéria orgânica, conforme apontado pelo Ministério da Saúde (2006), tem sua principal fonte nos esgotos de origem doméstica, bem como nos resíduos industriais de alimentos, laticínios, frigoríficos e cervejarias, onde ocorre o processamento de matéria orgânica. Essa matéria orgânica pode ser transportada para corpos superficiais, como lagos, por ação antropogênica, denominada de alóctone, como destacado por Rodrigues *et al.*, (2021). Além disso, outras moléculas orgânicas podem ter origem em fezes humanas, de animais ou material vegetal, conforme observado por Tucci *et al.*, (2001).

O parâmetro biológico é crucial para o controle da qualidade da água, determinando seu uso, uma vez que os microrganismos desempenham um papel fundamental nos ciclos biogeoquímicos, como enfatizado por Bonifácio (2021). Bactérias, algas e fungos utilizam a matéria orgânica dissolvida na água para seu metabolismo. Essa capacidade dos microrganismos de reagir às alterações antrópicas se deve à sua alta capacidade metabólica, sendo as bactérias indicadores sensíveis de poluição das águas superficiais (GUEMMAZ e CHENCHOUNI, 2020).

Alguns estudos realizados por Santos (2016), Arcos *et al.*, (2020) e Arcos e Da Cunha (2022) apresentam os altos impactos da contaminação em água superficial nas águas do rio Negro, cuja densidade de coliformes fecais ultrapassam o limite pré-estabelecido pelo CONAMA 274/2000 e 357/2005, chegando a valores de 2.100 NMP/100mL, 2300 NMP/100 mL e >1000 NMP/100L, respectivamente. Em Presidente Figueiredo, estudos realizados por Dourado *et al.*, (2015) detectou presença de coliformes fecais com densidade 240.000NMP/mL no igarapé Veados.

## **2.8 Legislação Ambiental e Balneabilidade: Protegendo a Qualidade das Águas Superficiais**

A balneabilidade é uma medida que classifica as águas superficiais com base em suas características químicas e bacteriológicas, visando determinar sua adequação para atividades de recreação e esportes. Conforme estabelecido no capítulo II da Classificação dos Corpos d'água, artigo 3º, as águas doces, salobras e salinas do território brasileiro são categorizadas de acordo com classes de qualidade, sendo a Classe 1, dentre as classes, aquela que permite diversos usos, como abastecimento para consumo humano, recreação de contato primário e proteção das comunidades aquáticas, conforme a Resolução CONAMA n° 357/2005. Para garantir a qualidade da água em termos de recreação de contato primário, são estabelecidos padrões de qualidade para coliformes termotolerantes, conforme previsto na Resolução CONAMA n° 274/2000. Esses padrões subdividem as águas consideradas próprias em categorias de excelência, muito boas e satisfatórias, com base na contagem desses microorganismos em amostras coletadas ao longo de um período determinado.

É essencial compreender as características naturais das águas superficiais ao abordar sua qualidade. Conforme diretrizes do CONAMA, as águas são classificadas de acordo com sua qualidade e finalidade de uso, permitindo que aquelas com melhor qualidade sejam utilizadas sem impactar negativamente suas propriedades (Resolução 357/2005). Essa abordagem visa garantir a segurança e o bem-estar da população que utiliza esses recursos hídricos para atividades recreativas.

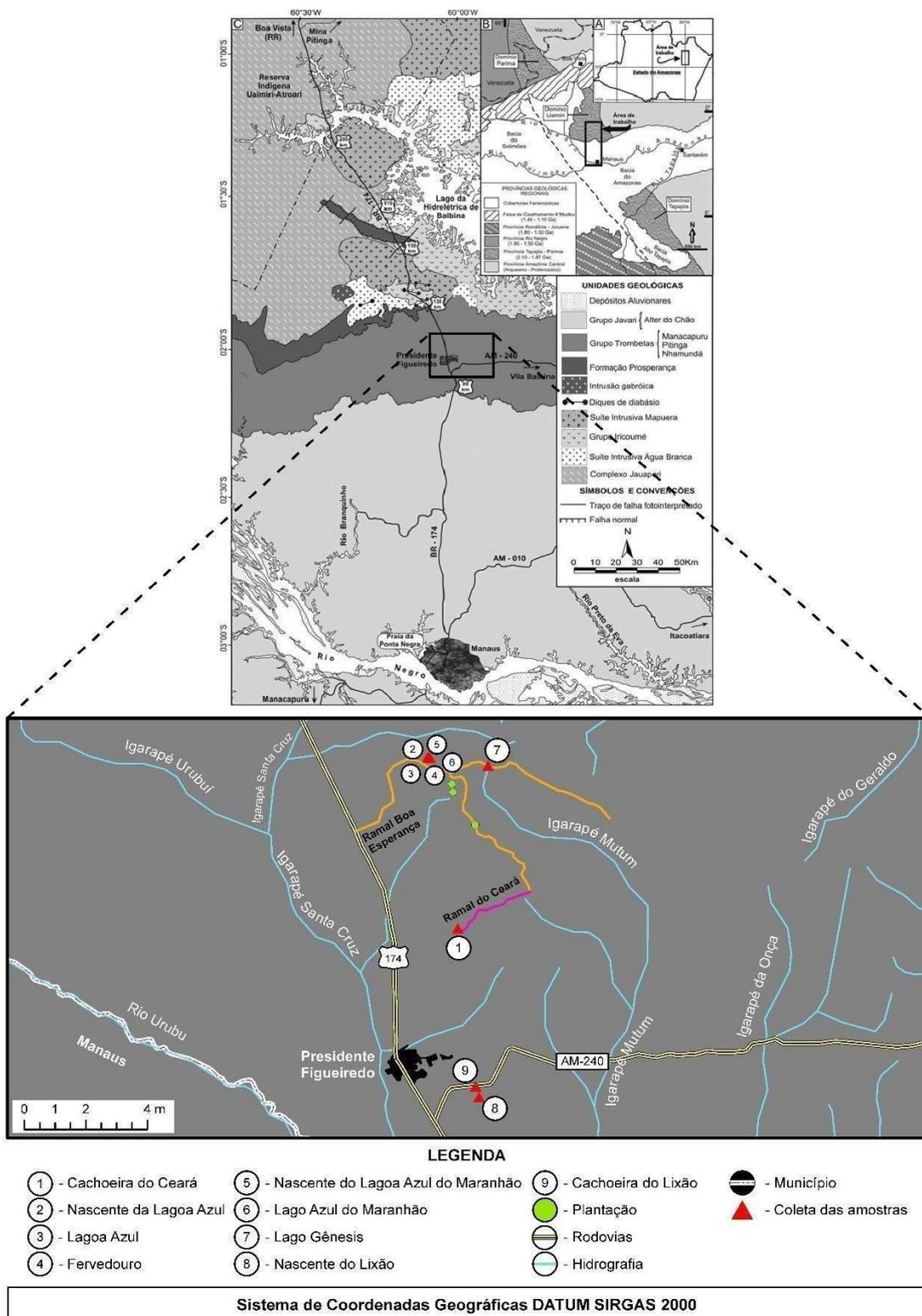
## **3. ÁREA DE ESTUDO**

### **3.1 Localização e Acesso a área de Estudo**

A localização privilegiada do município de Presidente Figueiredo, acessível pelas rodovias BR-174 e AM-03, o posiciona como um dos principais destinos turísticos do nordeste do estado do Amazonas. Sua fama é ancorada na abundância de belezas naturais, que incluem uma fauna e flora exuberantes, bem como formações geomorfológicas e geológicas distintas, como grutas, corredeiras e um conjunto notável de 57 cachoeiras. Apesar desse reconhecimento, as características geológicas e geomorfológicas que definem sua paisagem única ainda demandam uma investigação mais aprofundada (NOGUEIRA e SARGES, 2001). Os lagos,

fundamentais para a identidade da região, estão predominantemente localizados na porção norte e nordeste do município (Figura 1). Além de serem destinos turísticos devido à sua cor azulada distintiva, esses corpos d'água servem como pontos de acesso à natureza exuberante local.

**Figura 1-** Mapa geológico da porção sul do município de Presidente Figueiredo, segundo a individualização litoestratigráfica. O detalhe mostra a rede de drenagem, estradas e a localização dos pontos estudados (numerados de 1 a 9), com destaque para as plantações da região (círculo verde)



Fonte: SOUZA & NOGUEIRA (2009).

Os pontos de coleta foram nomeados de acordo com a inicial de cada local: Nascente do Lago Azul (NLA) e Lago Azul (LA), situados na Lagoa Azul, e os pontos Fervedouro (FERV), Nascente do Lago Azul do Maranhão (NLAM) e Lago Azul do Maranhão (LAM), localizados na Lagoa Azul do Maranhão. O ponto Lago Gênesis (LG), localizado em terreno particular, é utilizado exclusivamente para drenagem de água para consumo residencial. Os pontos de 1 a 7 estão localizados no ramal Boa Esperança, no km 120, conforme geolocalização descrita na Tabela 1. Adicionalmente, os pontos Nascente do Lixão (NL) e Cachoeira do Lixão (CL), situados no km 3 da AM 240, que liga o município de Presidente Figueiredo a Vila de Balbina.

**Tabela 1-** Identificação e localização georreferenciada dos pontos de amostragem desta pesquisa

PONTO	NOMENCLATURA	LOCALIZAÇÃO
CC	Cachoeira do Ceará	1,98820°S, 59,99661°O
NLA	Nascente da Lago Azul	1,90637°S, 60,00983°O
LA	Lago Azul	1,90637°S, 60,00983°O
FERV	Fervedouro	1,90626°S, 60,00979°O
NLAM	Nasc. da Lago Azul do Maranhão	1,90609°S, 60,01072°O
LAM	Lago Azul do Maranhão	1,90609°S, 60,01072°O
L.G	Lago Gênesis	1,91017°S, 59,98241°O
NL	Nascente do Lixão	2,06903°S, 59,98657°O
CL	Cachoeira do Lixão	2,06392°S, 59,98820°O

### 3.2 Contexto Geológico Regional

A Bacia do Amazonas (Figura 2), com seu preenchimento sedimentar vasto, compreende duas megassequências principais, a Paleozóica e a Mesozóica-Cenozóica, totalizando mais de 5.000 metros de espessura estratigráfica (CUNHA *et al.*, 2007). Focalizando-se na região de Presidente Figueiredo, esta seção abrange uma extensa faixa com orientação predominante leste-oeste, abarcando uma sequência de quatro ordens de ciclos transgressivo-regressivos.

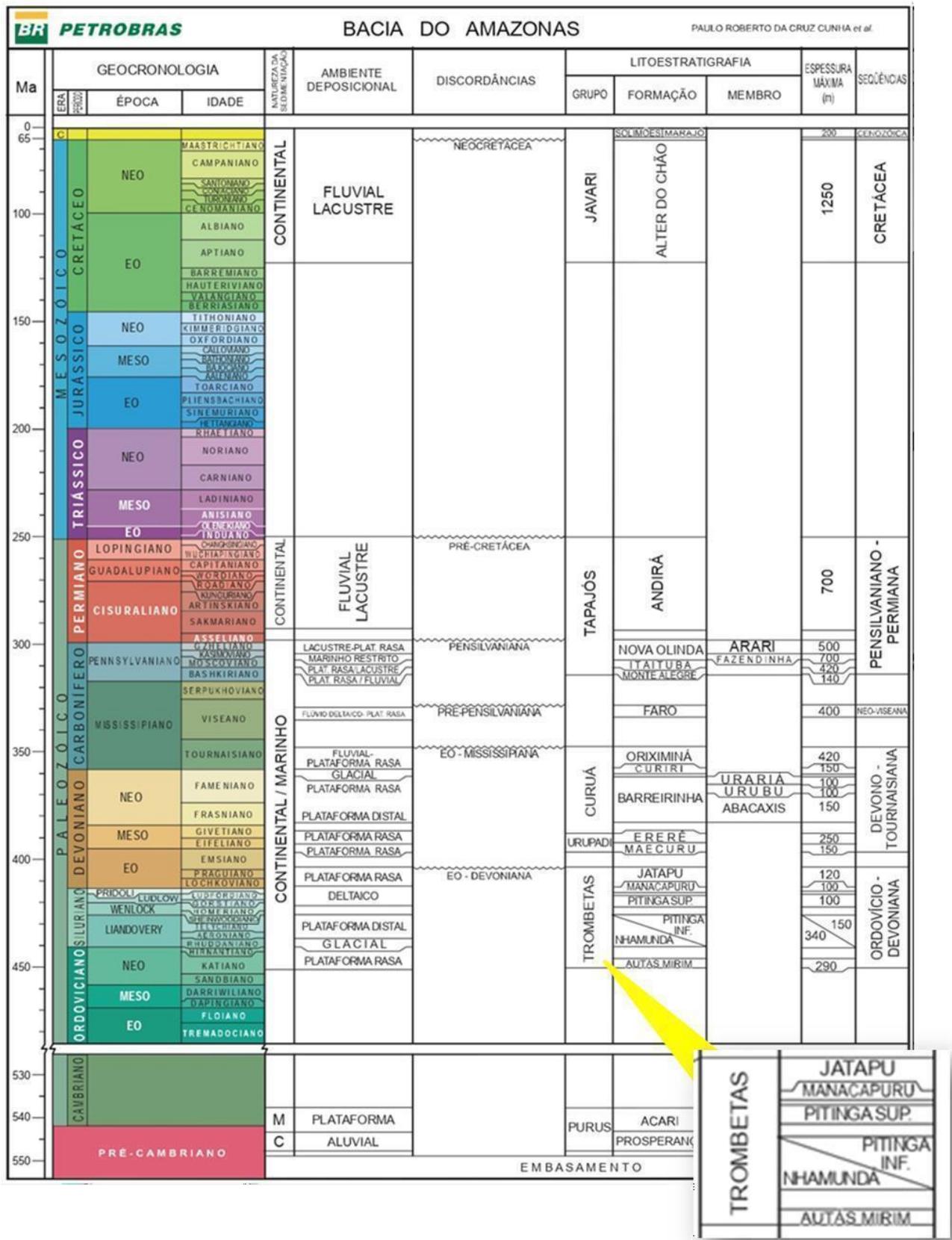
A sequência Ordovício-Devoniana, na qual se destaca o Grupo Trombetas, é caracterizada por sedimentos marinhos e glaciais, representados pelas formações Autaz Mirim, Nhamundá, Pitanga, Manacapuru e Jatapu (CUNHA *et al.*, 2007). Dentre essas formações, a Nhamundá é particularmente proeminente na porção sul do município de Presidente Figueiredo, aflorando em diversas localidades, como margens de rodovias, cachoeiras e cavernas (MOLINARI e CARVALHO, 2019; SOARES *et al.*, 2005).

A descrição litológica fornecida por Soares *et al.* (2005) revela a composição da Formação Nhamundá, caracterizada por quartzo-arenitos finos a grossos, apresentando estratificação cruzada e intercalações de folhelhos, siltitos e diamictitos. Essa formação também registra a presença de icnofósseis, como *Skolithos* sp. e *Arthropycus alleghaniensis* (NOGUEIRA *et al.*, 1999). Os quartzo-arenitos da Nhamundá são marcados por camadas com grãos de quartzo detríticos, fragmentos de rochas vulcânicas e sílex, além de sobrecrescimento sintaxial de sílica e caulinita vermicular, preenchendo porosidade intergranular (SOARES *et al.*, 2005).

A análise estrutural revela os efeitos da neotectônica, evidenciados por diferentes tipos de falhas e fraturas que deram origem a feições geomorfológicas como corredeiras, cachoeiras, grutas e cavernas (CUERVO, 2014; NOGUEIRA e SARGES, 2001). Exemplos dessas feições incluem corredeiras sobre pacotes de quartzo-arenitos da Nhamundá, bem como as rochas observadas em cachoeiras como a Santa Cláudia, Igarapés de Lages e a Caverna do Maroaga (CUERVO, 2014; SOARES *et al.*, 2005).

A região de estudo, predominantemente composta por rochas sedimentares do Grupo Trombetas, oferece um panorama detalhado da geologia local, conforme documentado por diversos pesquisadores (CUERVO, 2014; DA SILVA SOUZA e NOGUEIRA, 2009; NOGUEIRA, 2009; SOARES *et al.*, 2005). Os afloramentos da Formação Nhamundá, juntamente com outras unidades geológicas, contribuem para a compreensão da evolução geológica e geomorfológica da região nordeste do Estado do Amazonas (NOGUEIRA, 2009).

**Figura 2.** Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas, com ênfase para as unidades litoestratigráficas do Grupo Trombetas



Fonte: CUNHA et al., (2007).

### **3.3 Formação de Cachoeiras e Lagos**

No período Quaternário, de acordo com Silva (2007), a região de Presidente Figueiredo passou por transformações significativas devido a eventos tectônicos, resultando na reorganização dos sistemas fluviais. Durante esse período, os rios sofreram deslocamentos na direção NW-SE, dando origem a quedas d'água com dimensões que variam de decimétricas a métricas. A inclinação das camadas rochosas para dentro da Formação Nhamundá contribuiu para a formação das cachoeiras. Ao final do período Neógeno, os quartzarenitos da Formação Nhamundá foram sujeitos à dissolução química devido à presença da zona freática. A interação entre a água e o quartzo resultou na formação de ácido silícico, um processo catalisado pela presença de ácidos húmicos, associados à densidade da floresta tropical. Esse fenômeno contribuiu para o desenvolvimento de cavernas nos quartzarenitos da Formação Nhamundá.

Estudos morfológicos conduzidos por Sarges (2001) em Presidente Figueiredo indicam que as estruturas observadas nas cachoeiras foram formadas por eventos tectônicos recentes durante o Quaternário, resultando da transição das águas ao longo de falhas geológicas e planos de fraturas com orientação semelhante às quedas. Durante esse período, o falhamento na direção NE causou o deslocamento das camadas lateríticas, originando as cachoeiras. Esses eventos climáticos e tectônicos desempenharam um papel crucial na configuração da paisagem atual, evidenciado pelo recuo das áreas de falha e pelo desmatamento das cavernas.

A classificação proposta por Hutchinson e Loffler (1956) define lagos como formações com limites definidos, diferenciando-se com base em composição química, morfometria e produtividade. A formação dos lagos amazônicos está relacionada às atividades fluviais, incluindo erosão, transporte e deposição de sedimentos por afluentes (DE ASSIS ESTEVES, 1988). Esses lagos podem ser encontrados em várzeas e terras firmes, tendo origem tectônica, ocupando falhas e vales que foram posteriormente moldados por processos erosivos (SILVA JÚNIOR, 2012).

### **3.4 Aspectos das Águas Superficiais e Subterrâneas: Características das águas da Área de Estudo**

Em Presidente Figueiredo, um município dotado de uma vasta e diversificada hidrografia, tanto em suas águas superficiais quanto subterrâneas, emergem características singulares que merecem destaque. Rios, igarapés, lagos e cachoeiras compõem uma paisagem

deslumbrante, enquanto o abastecimento hídrico é garantido pelas reservas do Aquífero Trombetas, cuja presença na região é de grande importância (CUNHA *et al.*, 2007).

No que diz respeito às águas subterrâneas, o Aquífero Trombetas desempenha um papel crucial no abastecimento de Presidente Figueiredo, com águas provenientes da fonte Santa Cláudia exibindo características que inclui água ácida (pH 4,4), baixa condutividade elétrica (17,2 us/cm-1) e alcalinidade (<0,02), com pouca variação de substâncias químicas e classificação de sulfatada/cloretada sódica. A permeabilidade e porosidade deste aquífero variam conforme a composição das rochas, proporcionando armazenamento significativo de água e uma certa proteção contra a poluição.

O solo espesso da região desempenha um papel vital na purificação das águas subterrâneas, retendo e eliminando impurezas, o que contribui para a alta qualidade dessas águas (DA SILVA, 2018). Além de seu valor como fonte de água potável, o Aquífero Trombetas apresenta um potencial mineral significativo, atraindo empresas de água mineral para a região. O município também se destaca pelo seu potencial geoturístico, oferecendo aos visitantes uma experiência única com suas formações rochosas esculpidas em arenito, reforçando sua importância como um destino turístico na região amazônica.

Dentre as peculiaridades da região, os balneários do Ramal do Boa Esperança se destacam pela coloração azul ou azul-esverdeada de suas águas, um fenômeno incomum que tem despertado curiosidade (FERREIRA e FILHO, 2009). Tal coloração pode ser atribuída às propriedades espectrais da água, revelando elevada reflectância na faixa do azul, reduzindo progressivamente no verde e sendo praticamente nula no vermelho, podendo estar associada a elementos orgânicos e materiais em suspensão.

As águas superficiais, por sua vez, apresentam características que diferem um pouco das águas subterrâneas. Estudos anteriores revelaram características diversas, incluindo águas ácidas com pH abaixo de 5,69 e altos índices de coliformes fecais em pontos específicos, ressaltando a necessidade de monitoramento contínuo (DOURADO *et al.*, 2015). As águas superficiais de Presidente Figueiredo-AM, exibem uma ampla faixa de variação de pH, conforme observado em estudos recentes. Arcos e Cunha (2021) reportaram valores de pH variando entre 5,5 e 8,5, refletindo uma diversidade nas condições hidroquímicas desses corpos d'água. Em relação aos íons, observou-se uma ampla gama de concentrações, com alguns íons apresentando níveis elevados, enquanto outros permaneceram dentro de faixas consideradas

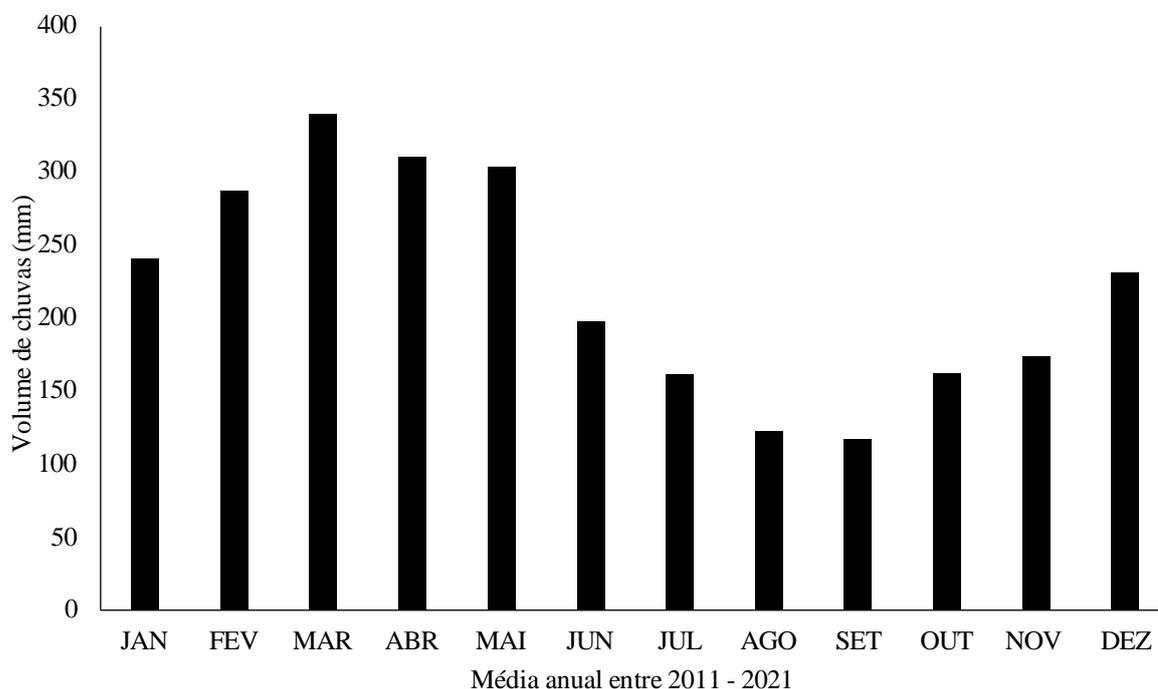
seguras para os ecossistemas aquáticos. Por exemplo, a concentração de nitrato foi relatada como alta, excedendo os limites recomendados para águas de boa qualidade (SILVA *et al.*, 2022). Além disso, a presença de metais pesados, como chumbo, mercúrio e cádmio, foi identificada em concentrações acima dos padrões estabelecidos pela legislação ambiental (GRASSI *et al.*, 2019). Quanto aos indicadores bacteriológicos, McDougall *et al.*, (2020) observaram a presença de coliformes fecais em algumas amostras de água, indicando contaminação por matéria orgânica de origem humana ou animal. Essas descobertas destacam a importância do monitoramento contínuo da qualidade das águas superficiais para proteger a saúde dos ecossistemas aquáticos e a segurança das comunidades locais.

A hidrografia da região de estudo (Figura 1) está concentrada em alguns cursos d'água identificados, como nos igarapés Mutum e Lages. As nascentes desses igarapés localizam-se em regiões elevadas, no Platô Arenítico que é sustentado pelo quartzo-arenito da Formação Nhamundá (LIMONGE e JÚNIOR, 2007).

### **3.5 Clima da Região de Presidente Figueiredo**

Dados da Agência Nacional de Águas (ANA) revelam padrões consistentes de precipitação na região de Presidente Figueiredo ao longo dos últimos 10 anos, compreendendo o período de 2011 a 2021. Os registros históricos indicam um período chuvoso predominante no primeiro semestre, entre março e maio, com uma diminuição significativa das chuvas no segundo semestre, sendo o mês de agosto com menor volume de chuvas (Figura 3). A análise temporal evidencia um ciclo sazonal bem definido, com um período de cheias que se estende de dezembro a junho, seguido por uma estação seca que abrange julho a novembro. Em média, a região recebe aproximadamente 3038 mm de precipitação anualmente (Climate-Data).

**Figura 3-** Volume de precipitação anual dos últimos dez anos (2011-2021) em Presidente Figueiredo. Sendo os meses em verde com maiores volumes de chuva e os de laranja, os menores índices de chuva.



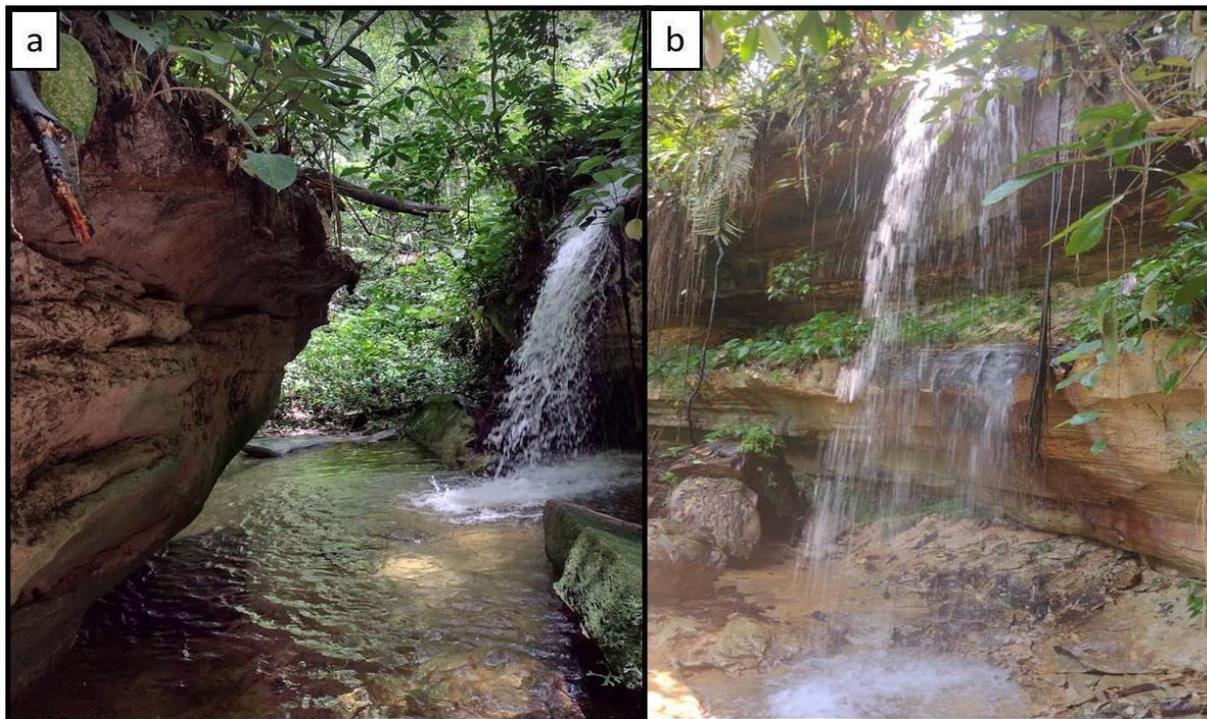
**Fonte:** ANA (2022).

O clima predominante na região de Presidente Figueiredo é classificado como tropical, caracterizado por uma distribuição de chuvas ao longo do ano, mesmo durante o período considerado seco. De acordo com a classificação de Köppen e Geiger, o clima é classificado como úmido a superúmido. Essa classificação reflete uma temperatura média anual de 25.5° C, indicando condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento de vegetação exuberante e ecossistemas diversificados.

### 3.6 Características dos Pontos de Estudo

As cachoeiras, por sua vez, são utilizadas pela comunidade, porém ainda não são atrativos comercializados. O ponto CC – Cachoeira do Sr Ceará (Figura 4a) está localizado no final do Ramal Boa Esperança, em região de declive, e recebe todo o escoamento das chuvas das partes mais elevadas da região. No mesmo terreno, o proprietário possui uma casa no qual é residente, possuindo animais de estimação, poço tubular e esgoto doméstico.

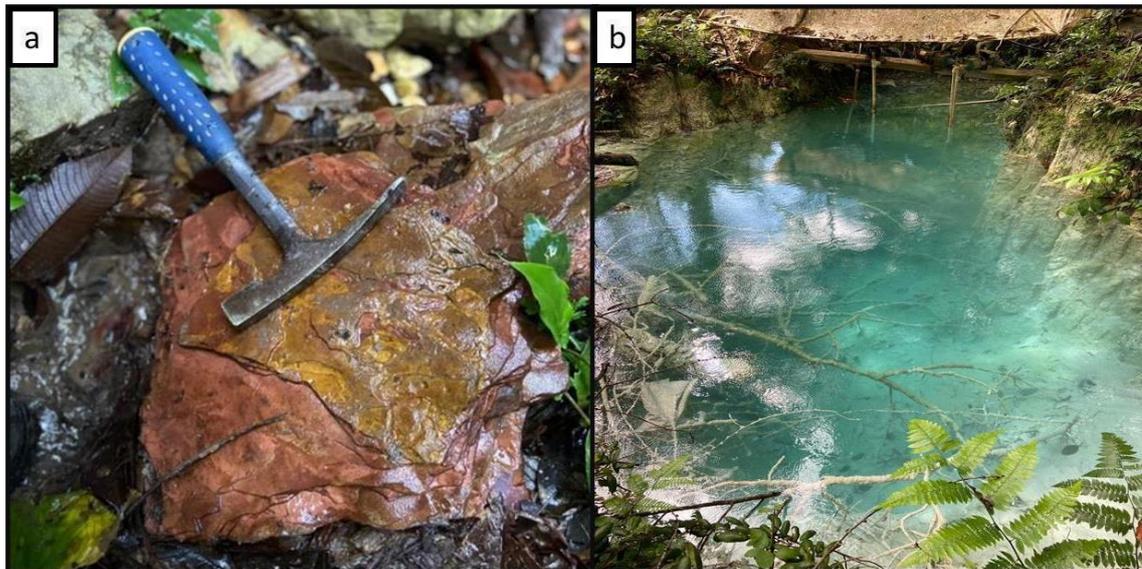
**Figura 4-** a) Cachoeira do Sr Ceará (C.C); b) Cachoeira do Lixão (C.L). Ambas localizadas na região de estudo, sendo a CC dentro do Ramal Boa Esperança e a CL na AM03 próximo ao lixão da comunidade



Já no ponto CL – Cachoeira do Lixão, tem esse nome por estar localizado, topograficamente, abaixo do aterro sanitário gerado pelo município de Presidente Figueiredo, recebendo a contaminação do material dissolvido dos resíduos domésticos, onde escoam material orgânico (Figura 4b).

Outras características apresentadas na Figura 5, são as propriedades do solo da região, que está localizada na Formação Nhamundá, onde a Figura 5a corresponde ao arenito com camada ferruginosa e a Figura 5b ao sedimento argiloso de coloração esbranquiçada que está presente em todos os pontos dos lagos localizados na região de estudo.

**Figura 5-** a) corresponde ao Arenito ferruginoso da Formação Nhamundá; b) Lagoa Gênese desenvolvida em sedimentos argilosos de coloração esbranquiçada



A região também possui atividades agrícolas, indicadas nos pontos em verde no mapa. Segundo a Federação de Agricultura e Pecuária - FAEA, a atividade agrícola se destaca no município de Presidente Figueiredo principalmente pela produção de fruticultura, hortaliças diversas, piscicultura e atividade madeireira (Figura 6).

**Figura 6-** Plantações localizadas no Ramal Boa Esperança, km 120 de Presidente Figueiredo, em verde no mapa da figura 3 próxima a região de estudo onde foram coletadas as amostras de água para análise



#### **4. METODOLOGIA: AMOSTRAGEM E ANÁLISES**

Para realização deste trabalho, foram selecionados nove (09) pontos de coletas localizados em Presidente Figueiredo, na região da Amazônia Central.

As análises consistem nos Procedimentos de Amostragem e Análise de Água conforme manual ISSN 1980-3958/2011 da EMBRAPA/PR, produzido por Parron *et al.*, (2011) e APHA (2017). As amostragens foram realizadas respeitando a sazonalidade do município de Presidente Figueiredo, divididos em 4 campanhas: a primeira na transição para cheia em novembro de 2021, a segunda na transição para seca em junho de 2022, a terceira no período de seca em agosto de 2022, e a última coleta realizada em maio de 2023.

##### **4.1 Posicionamento Georreferenciados dos Locais Estudados**

Com auxílio do GPS (Global Positioning System) foi possível obter as coordenadas de cada ponto, registro da localização geográfica dos sítios. Os dados foram georreferenciados através do software ArcGis versão 10.6.1 para o mapeamento das informações geradas.

##### **4.2 Análises de Campo**

Alguns parâmetros por sofrer interferência de luz e temperatura, podem sofrer falhas na coleta de dados; neste sentido foram medidos em campo como: pH, temperatura, CE e OD, com o medidor multiparâmetros (AK87) da marca AKSO (Figura 7).

Para as demais análises (químicas, físico-químicas e microbiológicas) foram coletadas amostras em frascos de polietileno de 1000 mL previamente higienizados. Estes recipientes evitam a degradação das amostras e a perda de compostos instáveis. As amostras foram enviadas imediatamente ao LQA/INPA para processamento e análise.

**Figura 7-** Análises realizadas em campo, utilizando sonda multiparâmetros para coleta de dados iniciais.

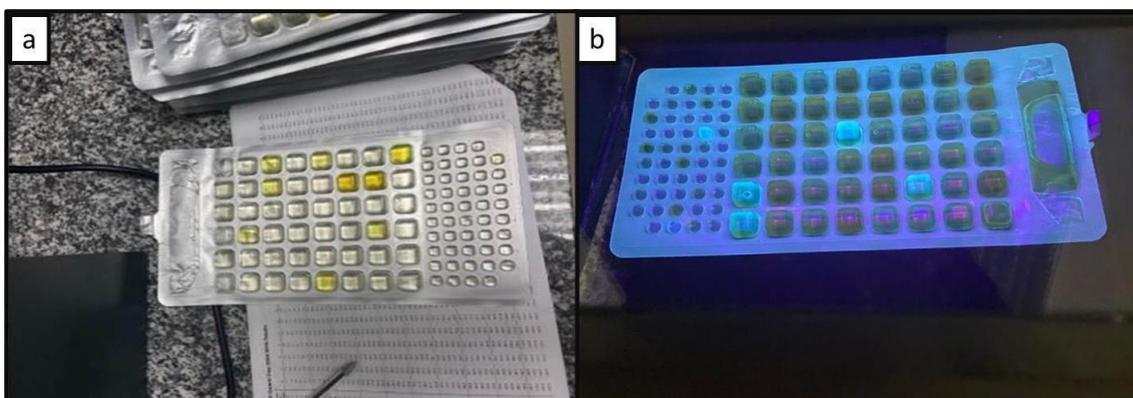


### 4.3 Análise Laboratorial

#### 4.3.1 Bacteriológico

Para identificar a presença de coliformes foram aplicadas a técnica de substratos cromogênico/definidos empregando o produto comercial COLILERT da empresa IDEXX seguindo as orientações do fabricante e Associação Americana de Saúde Pública. O teste consiste na aplicação de indicadores à base de carbono: nutrientes ONPG e MUG (são as principais fontes de carbono no Colilert e podem ser metabolizados pela enzima dos coliformes  $\beta$ -galactosidase, e pela enzima da *E. coli*  $\beta$ -glucuronidase, respectivamente) que proporcionam um ambiente com nutrientes que favorecem o desenvolvimento das bactérias, identificando simultaneamente coliformes totais e *E. coli*. Os coliformes utilizam  $\beta$ -galactosidase que metaboliza o ONPG apresentando a cor amarelada (Figura 8a), e para *E. coli* utiliza  $\beta$ glucuronidase para metabolizar MUG e apresenta a fluorescência em presença de iluminação UV (Figura 8b).

**Figura 8-** Cartela para leitura das análises bacteriológicas. a) A cartela de cor Amarela representa presença de coliformes totais; b) é a fluorescência que considera presença de *E. coli* como representação de coliformes fecais



#### 4.3.2 Análises Físico-químicas

As amostras foram filtradas em filtro de membrana 0,22  $\mu\text{m}$  e acondicionadas em tubos Falcon estéreis de 50 mL para análises químicas e físico-químicas. Uma alíquota foi preservada em solução de ácido nítrico bidestilado e destinada às análises no LQA/INPA, para análise dos metais.

A concentração de cátions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) e ânions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{PO}_4^{3-}$ ) foram analisadas em cromatógrafo de íons, e os resultados comparados aos padrões certificados: environmental matrix reference material SUPER-05 (lot 0916) e PERADE-17 (lot 0622) no Laboratório de Geoquímica da UFAM, e coliformes fecais através de substrato cromogênico colilert da IDEX, no LQA/INPA. A Tabela 2 apresenta os parâmetros e metodologias utilizadas para estas análises.

**Tabela 2-** Parâmetros analisados em campo e em laboratório incluindo o resumo da metodologia e de que forma foi aplicado

PARÂMETRO	METODOLOGIA	APLICAÇÃO
<i>E. coli.</i>	Substrato cromogênico	Reagente Colilert
pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido	Potenciometria	Sonda Multiparâmetro
Turbidez	Nefelométrico	Turbidímetro ALFAKIT
Sólidos Totais em Suspensão	Gravimétrica	Peso constante
Alcalinidade	Titulação potenciométrica	$\text{H}_2\text{SO}_4$ até pH 4,3
Amônio, Cloretos,	Espectrofotometria	FIA no espectrofotômetro

Silicato (SiO <sub>4</sub> )		Shimadzu
Dureza	Volumetria	Titulação
MPT	Espectrometria de Emissão Óptica	ICP-OES Thermo Scientific
Nitrato, Fosfato e Íons	Cromatografia	CI Dionex ICS-Aquion

#### 4.4 Caracterização das Águas da Região de Estudo.

Para assegurar a qualidade das águas em condições de balneabilidade e garantir os níveis adequados para a recreação de contato primário em Presidente Figueiredo, foram empregadas variáveis comumente utilizadas em avaliações de qualidade da água. Esse processo foi fundamentado na Resolução CONAMA n° 357, de 17 de maio de 2005, e na Resolução CONAMA n° 274, de 29 de novembro de 2000, que dispõe sobre a balneabilidade. Estas resoluções, derivadas das competências conferidas pela Lei n° 6.938 de 1981 e regulamentadas pelo Decreto n° 99.274 de 1990, visam assegurar a saúde e o bem-estar humano em relação às condições de balneabilidade.

Essas medidas possuem definições específicas que observam a qualidade, a capacidade e a aptidão natural dos cursos de água. A classificação da balneabilidade das águas foi realizada conforme o capítulo II da Classificação dos Corpos de Água, especificamente o Artigo 3°, que relaciona as águas doces, salobras e salinas do território brasileiro de acordo com a qualidade indicada para seu uso predominante. As águas da região estudada foram classificadas para recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, em conformidade com a Resolução CONAMA n° 274 de 2000.

A Tabela 3 fornece as referências para elementos químicos, coliformes e parâmetros de qualidade da água direcionada ao consumo humano, estabelecendo um padrão rigoroso para garantir a segurança e a saúde da população ao utilizar esses recursos hídricos.

**Tabela 3-** Parâmetros analisados e seus Valores Máximos Permitidos (VMP) para identificar se as amostras estão de acordo com a legislação do CONAMA 274/2000 e 357/2005 para balneabilidade

Parâmetros (CONAMA 274/2000 e 357/2005)	VPM
pH	6.0 a 9.0
Coliformes fecais	Até 1000 NMP
Turbidez	40 NTU
Cloretos totais	250 mg.L <sup>-1</sup>
Nitrato	10 mg.L <sup>-1</sup>
Sulfatos	250 mg.L <sup>-1</sup>

Cobre	0,009 mg.L <sup>-1</sup>
Zinco	0,18 mg.L <sup>-1</sup>
Níquel	0,025 mg.L <sup>-1</sup>
Manganês	0,1 mg.L <sup>-1</sup>
Cromo	0,05 mg.L <sup>-1</sup>
Alumínio	0,1 mg.L <sup>-1</sup>
Cádmio	0,001 mg.L <sup>-1</sup>
Chumbo	0,01 mg.L <sup>-1</sup>
Ferro	0,3 mg.L <sup>-1</sup>
Bário	0,7 mg.L <sup>-1</sup>
Prata	0,01 mg.L <sup>-1</sup>

#### 4.5 Análise de Dados

Os dados deste trabalho foram analisados utilizando planilhas, onde foram incluídas informações relevantes para esta pesquisa. Gráficos e análises estatísticas foram empregados para caracterizar a qualidade das águas superficiais em Presidente Figueiredo, avaliando se os valores obtidos estão dentro dos padrões estabelecidos pela legislação. Além disso, foram avaliadas as tendências de concentração das substâncias ao longo do período sazonal, com foco na balneabilidade.

A pesquisa também envolveu a análise e o agrupamento de dados, levando em consideração variáveis como sazonalidade, influência da precipitação, condições ambientais, influência antropogênica e características geológicas da região. Os dados foram mapeados para identificar possíveis correlações entre as substâncias, com o objetivo de identificar fatores que respondam aos objetivos deste estudo, que incluem a caracterização hidrogeoquímica das águas e a avaliação das condições adequadas para seu uso recreativo.

## 5. RESULTADOS

Os resultados deste trabalho serão apresentados na forma de artigo, submetido em periódico científico.

## CHEMICAL CHARACTERIZATION OF SURFACE WATER QUALITY IN THE PRESIDENTE FIGUEIREDO REGION, NORTHERN EDGE OF THE AMAZON BASIN

### ABSTRACT:

In the Amazon region, water plays a crucial role in promoting tourism, especially in Presidente Figueiredo, known as the "land of waterfalls". Due to the scarcity of information on the water quality of the blue lagoons located in the region, it is necessary to assess the health of these aquatic ecosystems. To determine the water quality of different water bodies, highlighting overall compliance with current regulatory standards and possible anthropogenic influences, physical-chemical parameters, analyses of cations and anions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{PO}_4^{3-}$ ), potentially toxic metals (Fe, Ba, Ag, Pb, Cd, Al, Cr, Mn, Ni, Zn and Cu), and fecal coliforms were conducted at 9 sampling points. The pH of the analyzed waters is predominantly acidic, with electrical conductivity (up to  $44.6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) and alkalinity ( $2.5 \text{ mg/L}^{-1}$ ). The concentrations of  $\text{NO}_3^-$  (up to  $5.98 \text{ mg/L}^{-1}$ ) at the springs (NLA and NLAM) may be associated with agricultural practices. The sampling point Cachoeira do Lixão reveals a pH of 7.67, higher concentrations of fecal coliforms ( $435.22 \text{ MPN}/100\text{mL}$ ),  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{Cl}^-$  compared to other points. These results may be associated with the direct influence of the nearby landfill. Although these waters comply with current legislation 357/2005 and 274/2000 of CONAMA, it is crucial to continue studies and monitoring to ensure compliance with environmental standards, especially in light of unplanned land use and occupation and the increasing demand for water resources.

**Keywords:** Blue lagoons; bathing; Trombetas Aquifer.

## CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E QUALIDADE DE ÁGUAS SUPERFICIAIS NA REGIÃO DE PRESIDENTE FIGUEIREDO, BORDA NORTE DA BACIA DO AMAZONAS

**RESUMO:** Na região amazônica, a água tem um papel crucial na promoção turística, especialmente em Presidente Figueiredo, reconhecido como a "terra das cachoeiras". Devido à escassez de informações da qualidade das águas das lagoas azuis, localizadas na região, faz-se necessário a avaliação da saúde desses ecossistemas aquáticos. Com o objetivo de determinar a qualidade da água de diferentes corpos hídricos, destacando a conformidade geral com regulamentações e possíveis influências antrópicas, foram determinados os parâmetros físico-químicos, análises de cátions e ânions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{PO}_4^{3-}$ ), metais potencialmente tóxicos (Fe, Ba, Ag, Pb, Cd, Al, Cr, Mn, Ni, Zn and Cu) e coliformes fecais em 9 pontos amostrais. O pH das águas analisadas tem caráter predominantemente ácido, condutividade elétrica (até  $44,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) e alcalinidade ( $2,5 \text{ mg/L}^{-1}$ ). As concentrações de  $\text{NO}_3^-$  (até  $5,98 \text{ mg/L}^{-1}$ ) nas nascentes (NLA e NLAM) pode estar associada à prática agrícola. O ponto de amostragem Cachoeira do Lixão revela pH (7,67), concentrações mais elevadas de coliformes fecais ( $435.22 \text{ NMP}/100\text{mL}$ ),  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{Cl}^-$  comparadas aos demais pontos. Estes resultados, podem ser associados à influência direta do lixão localizado nas proximidades. Apesar de estas águas estarem em conformidade com a legislação vigente 357/2005 e 274/2000 do CONAMA, é crucial continuar os estudos e monitoramentos para assegurar a conformidade aos padrões ambientais, especialmente frente ao uso e ocupação do solo sem planejamento adequado e a crescente demanda por recursos hídricos.

**Palavras-chave:** Lagoas azuis; Balneabilidade; Aquífero Trombetas;

### INTRODUCTION

No contexto ambiental da região amazônica, a água desempenha um papel crucial nos processos e interações que ocorrem na superfície dos corpos d'água, como rios, lagos e lagoas. Apesar da relevância do estado do Amazonas como destino turístico regional devido à riqueza hídrica da nossa região (Veras et al. 2022), a avaliação das características da qualidade da água

local é pouco exigente. No campo da hidrogeoquímica, a compreensão dos impactos ambientais requer uma análise detalhada da qualidade das águas superficiais, levando em consideração os ciclos geoquímicos presentes nas bacias hidrográficas amazônicas (McDougall et al. 2020; Villamizar, 2024).

No extremo norte da bacia amazônica, destaca-se o município de Presidente Figueiredo. É conhecido por seus ricos recursos hídricos, principalmente associados ao Aquífero Trombetas. Isso fica evidente nas cachoeiras, corredeiras e lagoas que se desenvolveram sobre substratos de rochas sedimentares e ígneas. O aquífero destaca-se pela sua composição, com baixo teor de sais dissolvidos, pH variando de 4,5 a 5,5, é considerado poroso, contínuo e possui produtividade baixa a localmente moderada (De Brito et al. 2020). Nesta região, particularmente no Ramal da Comunidade Boa Esperança, merecem destaque os corpos d'água de coloração azulada, como os notáveis corpos d'água de tonalidade azulada incluem o Fervedouro do Maranhão e a Lagoa Azul. Essas águas, embora ainda pouco exploradas, apresentam significativo potencial como recursos naturais. Além de sua exuberância, essas águas valorizam o potencial geoturístico da região, oferecendo oportunidades para a exploração sustentável dos recursos hídricos, de modo que o acesso à água doce esteja alinhado ao desenvolvimento sustentável (Veras et al. 2021). Esses aspectos evidenciam a interdependência entre a qualidade da água e o desenvolvimento sustentável, enfatizando a necessidade urgente de estudos geoquímicos e monitoramento contínuo dos corpos hídricos.

Dada a escassez de informação sobre a qualidade e as fontes de solutos nas águas desta região, é essencial efetuar avaliações exaustivas das propriedades físicas, químicas e biológicas para se ter uma visão holística do estado e da saúde destes ecossistemas aquáticos. Assim, o objetivo deste estudo é determinar a qualidade das águas superficiais e avaliar as influências antropogênicas através de análises químicas, físico-químicas e bacteriológicas. Os objetivos específicos são: a) identificar os fatores que afetam as características hidroquímicas; b) detectar a presença de metais potencialmente tóxicos e os agentes que condicionam suas concentrações, e

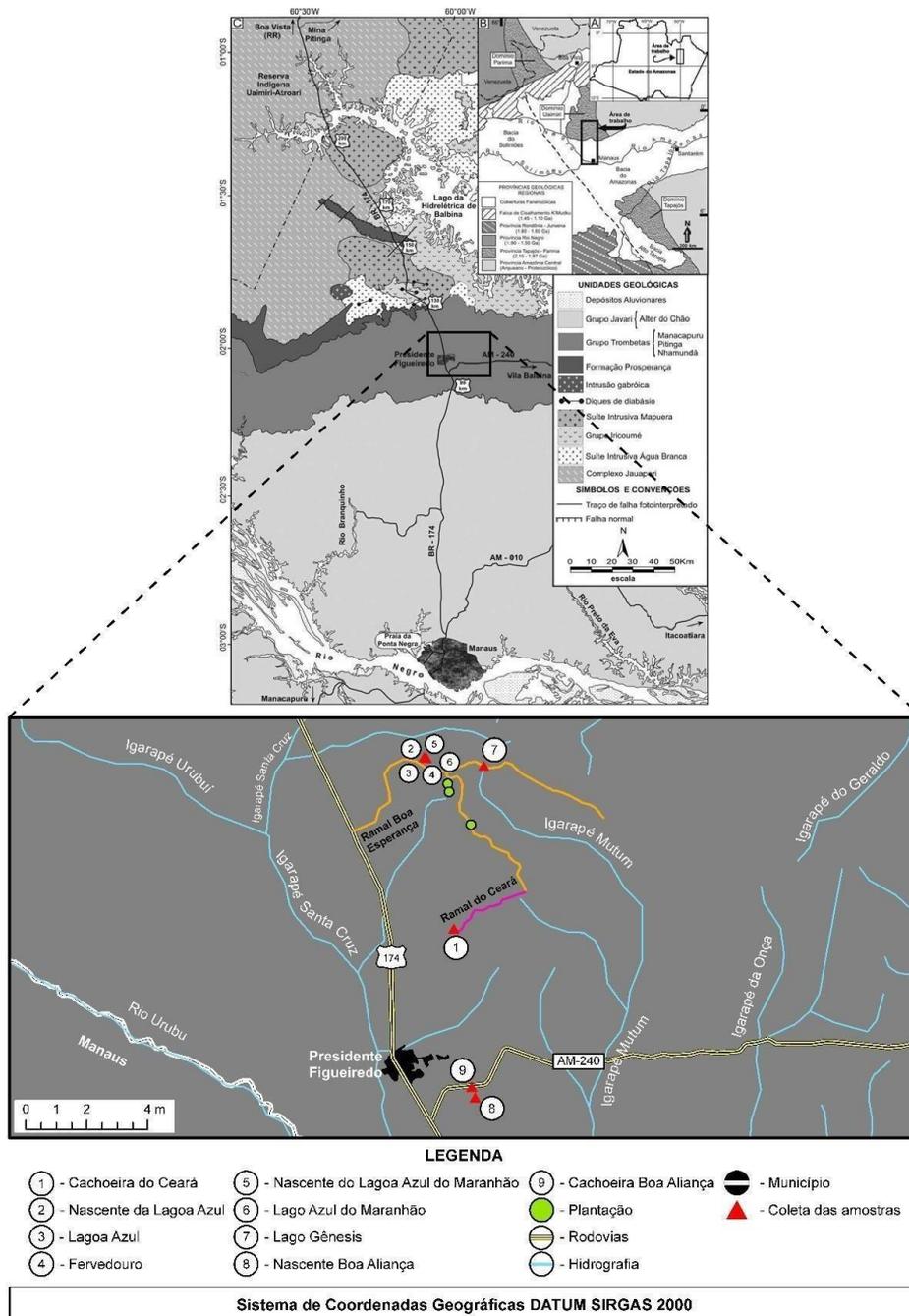
c) caracterizar os corpos d'água quanto à sua aptidão para uso recreativo, de acordo com as normas ambientais vigentes (357/2005 e 274/2000 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA). Essas investigações representam uma contribuição significativa para a compreensão da importância da água na região, alinhando-se aos esforços de preservação ambiental e desenvolvimento sustentável.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Aspectos geológicos, hidrológicos e climáticos da região**

Esta região abriga rochas do embasamento cristalino paleoproterozóico (rochas plutônicas e vulcânicas) da Bacia Amazônica (Tassinari & Macambira, 2004; Tassinari et al. 2000; Santos et al. 2000), além de rochas sedimentares proterozóicas (Formação Prosperança) e paleozóicas (Grupo Trombetas) (Soares et al. 2005; Souza & Nogueira 2009; Cuervo 2014). O Grupo Trombetas é constituído pelas formações Autaz Mirim, Nhamundá, Pitinga, Manacapuru e Jatapu (Cunha et al. 2007), sendo a Formação Nhamundá a unidade aflorante mais significativa da região, onde se concentram os corpos d'água estudados. Soares et al. (2005) definiram fácies sedimentares nesta formação que incluem diamictitos glaciais e arenitos com estratificação plano-paralela; arenitos com estratificação cruzada tabular, arenitos maciços bioturbados por Skolithos, arenitos com marcas onduladas e laminação cruzada cavalgada (com *Arthropycus alleghaniensis*), arenitos com estratificação cruzada hummocky, arenitos com laminação plano-paralela e pelito/arenito com laminação plano-paralela, característicos do ambiente marinho (foreshore e shoreface). Em geral, os arenitos são quartzosos (quartzo-arenosos), bem ordenados e arredondados, com elevada maturidade física e química. Localmente, essa formação é recoberta discordantemente por pelitos laminados das formações Pitinga e Manacapuru (Nogueira et al. 1999). As cachoeiras e corredeiras, principal atração turística da região, foram formadas por atividade neotectônica (Nogueira e Sarges, 2001).

**Figura 1.** A) Mapa geológico da parte sul do município de Presidente Figueiredo, baseado na individualização litoestratigráfica proposta por Souza & Nogueira (2009). B) O detalhe retrata a rede de drenagem, as estradas e a localização dos pontos estudados (numerados de 1 a 9), destacando também as plantações de hortaliças da região (representadas pelo círculo verde).

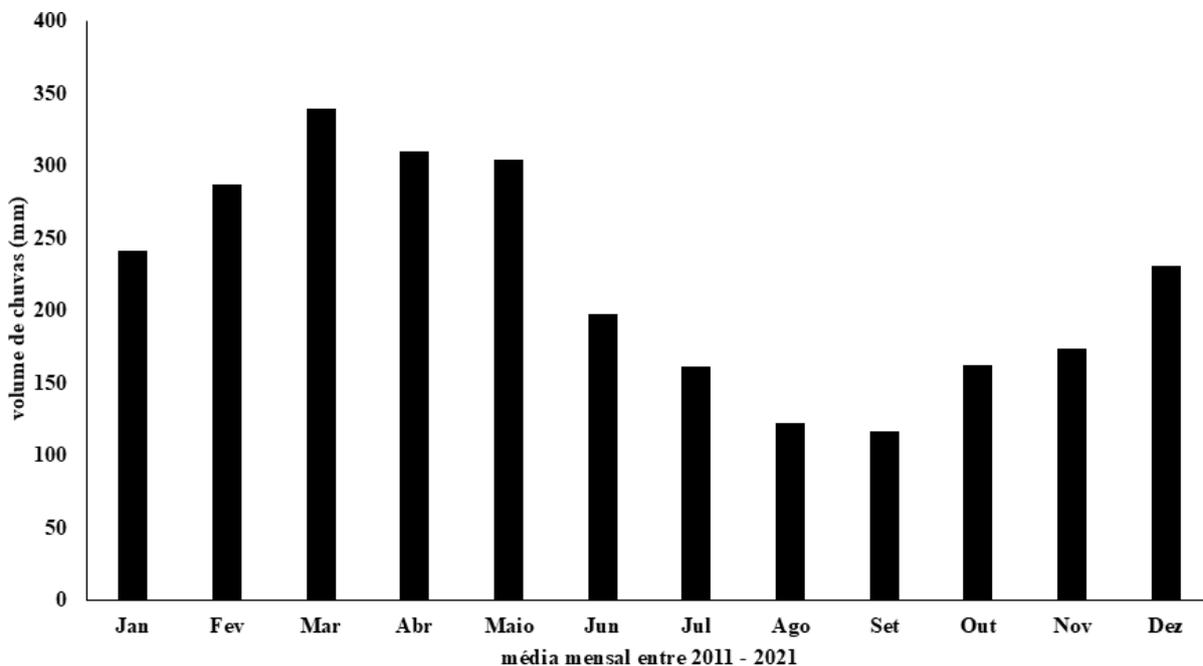


Fonte: Souza & Nogueira (2009)

A presente pesquisa teve como foco as águas superficiais da região amazônica, especificamente aquelas sobrejacentes ao aquífero Trombetas na área de estudo, que está localizado na Bacia Sedimentar do Amazonas, aflora na borda norte e é constituído principalmente por arenitos do Grupo Trombetas e da Formação Prosperança, encontrados a uma profundidade de aproximadamente 1500 m. É um aquífero regional poroso, contínuo, com produtividade baixa a localmente moderada (De Brito et al. 2020). Este aquífero desempenha um papel fundamental no abastecimento de água ao concelho (Campelo, 2011).

A nascente de Santa Cláudia, alimentada pelo aquífero Trombetas, abastece o município de Presidente Figueiredo com uma vazão de 300m<sup>3</sup>/h. A água da nascente possui características peculiares, entre elas o baixo pH de 4,4, condutividade elétrica de  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e alcalinidade inferior a 0,02, classificando-a como uma água clorada sulfatada/sódica (Teixeira, 2013; Teixeira et al. 2014). A porosidade e permeabilidade do aquífero variam de acordo com o teor de areia/argila. A presença de xistos e arenitos compactados cria uma barreira protetora contra a poluição, contribuindo para a vulnerabilidade baixa a moderada do aquífero. Além disso, a cobertura espessa do solo na região ajuda a purificar as impurezas, tornando este recurso potencialmente valioso para as empresas de água mineral. O clima de Presidente Figueiredo possui um clima tropical com uma precipitação média anual elevada de 2.646 mm e uma temperatura média de 27,1°C. Os registros históricos indicam um período predominantemente chuvoso entre dezembro e maio, com uma diminuição significativa das chuvas entre junho e novembro (Figura 2), sendo agosto o mês de menor pluviosidade e março o de maior pluviosidade. Esta variabilidade climática molda a paisagem e influencia a biodiversidade da região (Agência Nacional de Águas, 2022).

**Figura 2:** Precipitação anual nos últimos dez anos (2011-2021) em Presidente Figueiredo.



Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA) 2022.

### **Localização e Acesso**

A região de Presidente Figueiredo, revela uma admirável complexidade geológica e hidrogeológica, com acesso pela rodovia BR174, a cerca de 100 km ao norte da cidade de Manaus. Foram selecionados nove pontos de amostragem, levando em consideração o contexto geológico da região, e as coletas foram feitas levando em consideração a variabilidade pluviométrica da região, incluindo: transição para seca, seca, transição para chuvosa e chuvosa. A localização e os pontos estão descritos na Tabela 1. Os pontos 1 a 7 estão localizados no Km 120 na comunidade Boa Esperança, e os pontos 8 e 9 estão localizados próximos à comunidade Boa Aliança no Km 03 da rodovia AM-03 que liga Presidente Figueiredo a Balbina.

**Tabela 1.** Identificação e localização dos pontos de estudo da investigação.

Ponto Amostral	Sigla	Nomenclatura	Geolocalização
1	CC	Cachoeira do Ceará	1,98820°S, 59,99661°O
2	NLA	Nascente da Lagoa Azul	1,90637°S, 60,00983°O
3	LA	Lagoa Azul	1,90637°S, 60,00983°O
4	FE RV	Ferverdouro	1,90626°S, 60,00979°O
5	NLAM	Nascente da Lagoa Azul do Maranhão	1,90609°S, 60,01072°O
6	LAN	Lagoa Azul do Maranhão	1,90609°S, 60,01072°O
7	LG	Lagoa Gênesis	1,91017°S, 59,98241°O
8	NL	Nascente do Lixão	2,06903°S, 59,98657°O
9	CL	Cachoeira do Lixão	2,06392°S, 59,98820°O

### Amostragem e procedimentos analíticos

As amostras de água foram recolhidas em garrafas de polietileno de 1000 ml, conservadas e levadas para o laboratório. Para determinar a qualidade destas águas, foram analisados os iões  $\text{NH}_4^+$  e PT (fósforo total) e os metais (Fe, Ba, Ag, Pb, Cd, Al, Cr, Mn, Ni, Zn e Cu) no Laboratório de Química Analítica Ambiental do INPA. A concentração de cátions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) e ânions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{PO}_4^{3-}$ ) foi analisada em cromatógrafo de íons (CI), e os resultados comparados com padrões certificados: material de referência da matriz ambiental SUPER-05 (lote 0916) e PERADE-17 (lote 0622) no Laboratório de Geoquímica da UFAM, e coliformes fecais utilizando o substrato cromogênico colilert da IDEX no Laboratório de Bacteriologia do INPA. A Tabela 2 apresenta os parâmetros e metodologias utilizados para essas análises.

**Tabela 2.** Resumo da metodologia e dos equipamentos utilizados em cada análise.

PARÂMETRO	METODOLOGIA	EQUIPAMENTOS
<i>Análises de Campo</i>		
pH e condutividade	Potentiometry	Sonda multiparâmetro (AKSO)
Oxigênio Dissolvido		
<i>Análises de Laboratório</i>		
Total Suspended Solids (TSS)	Gravimetria	Balança Analítica
Alcalinidade	Titulação	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> até pH 4,3
	Potenciométrica	
SiO <sub>4</sub> , PT, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Espectrofotometria	Análise de injeção de fluxo (FIA) - Shimadzu
Potentially toxic metals	Optical Emission Spectrometry	ICP-OES Thermo Scientific
Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cromatografia de íons	Dionex ICS-Aquion
<i>E. coli.</i>	Substrato Cromogênico	Reagente Colilert

A análise estatística utilizou a Análise de Componentes Principais (ACP), um método não supervisionado implementado no software estatístico R (versão 4.3.1). A PCA transforma os dados em unidades padronizadas denominadas Z-scores. Estas pontuações Z são calculadas subtraindo a média ( $\bar{x}$ ) de cada ponto de dados ( $x$ ) e depois dividindo pelo desvio padrão ( $\sigma$ ). O método de Ward e a distância euclidiana ao quadrado foram utilizados como algoritmo de agrupamento e métrica de distância, respectivamente, durante a análise PCA.

## RESULTADOS

As análises foram realizadas em nove corpos d'água da região, divididos em três grupos: nascentes, lagoas e cachoeiras. A análise incluiu a avaliação da conformidade dessas águas com os padrões estabelecidos pelas normas ambientais, Resoluções 375/2005 e 274/2000 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Padrões de águas balneares estabelecidos pelas portarias CONAMA 274/2000 e 357/2005 comparados com trabalhos anteriores e com os pontos desta pesquisa.

CONAMA 274/2000 e 357/2005)	Valores máximos permitido	A	B	C	D	E	F	CC	NLA	LA	FERV	NLAM	LAM	LG	NL	CL
pH	6.0 -9.0	4,27-8,95	4,27-5,66	3,3-5,7	4,3-7,4		4,27-5,66	5,8-7,69	4,69-5,96	4,64-7,65	4,6-4,97	4,5-5,88	4,3-6,98	6,3-6,77	5,1-7,19	5,53-7,67
FC	Até 1000 NMP	9,38-81,80	3,09-16,45	5,5-26,6	6,4-19,8	18,2-20,8	16,45	5,2-25,5	0	0-1	0-71,8	0-21,8	0	0-1	0-22,8	0-35,2
Turb	40 NTU	0,00-17,94	0,78-5,265	-	0-7,28	-	-	0,26	0,26-6,78	0-2,34	0-5,2	0-0,78	0-2,86	0-1,04	0,78-35,62	0,26-2,08
Cl <sup>-</sup>	250 mg/L	0,46-3,15			0,23-2,194	<0,05-6,54		0,40-1,14	0,90-1,14	0,89-1,18	0,61-0,75	0,55-0,70	0,54-0,69	0,76-4,32	0,35-7,64	0,47-5,49
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10 mg/L	0,27-13,02	0,01-0,101		0,352			0,26-0,66	0,19-5,98	1,11-4,04	1,10-1,77	0,95-2,26	0,96-1,90	0,83-1,75	0,29-1,16	2,36-5,39
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250 mg/L	0,02-1,14			0,007-0,225			0,08-0,72	0,05-0,56	0,06-0,54	0,05-0,54	0,06-0,51	0,05-0,51	0,09-0,53	0,10-0,49	0,84-1,76
Zi	0,18 mg/L					<0,2-1,5		0,003-0,009	0,002-0,008	0,003-0,021	0,004-0,008	0,004-0,007	0-0,008	0,005-0,010	0,003-0,023	0,002-0,008
Fe	0,3 mg/L	0,13	0,11-0,54		<0,1-0,934	0,1-2,40		0,02-0,08	0,01-0,59	0,01-0,10	0-0,09	0-0,18	0-0,08	0-0,98	0-0,03	0-0,26

\*\*\***A**- Teixeira et al 2014; **B** - Freitas et al 2015; **C** - Lima et al 2022; **D** - Santos et al 2013; **E** - Horbe e Oliveira 2008; **F** - Dourado et al 2015;

### Descrição litológica dos pontos de amostragem

O estudo identificou que as cachoeiras são formadas sobre arenitos quartzosos da Formação Nhamundá, que apresentam perfis lateríticos ferruginosos no topo, além de solo argiloso esbranquiçado. Foram observados dois tipos de perfis: completo, com camadas sequenciais que vão do leito rochoso ao solo superficial, e truncado, composto por leito rochoso, saprolito, horizonte mosqueado, crosta laterítica e solo superficial, sendo o leito rochoso representado predominantemente por quartzo-arenito. Nas cachoeiras, destacam-se os arenitos, de finos a médios, dispostos em camadas planas com estratificação e laminação plano-paralela. Localmente apresentam coloração ferruginosa e avermelhada.

Nas proximidades das Lagoas Azuis, ocorre um solo esbranquiçado caracterizado por uma composição argilo-arenosa, resultado da alteração física e química dos minerais primários e secundários das rochas da região (Figura 3 b, c, d, e). O perfil da região é formado por um saprolito na base de uma estrutura laminada, sendo esta porção esbranquiçada indicativa de desferrificação (Peixoto, 2006).

**Figura 3.** Pontos estudados na pesquisa envolvendo cachoeiras (a e g), lagoas (b, c, d) e nascentes (b, c, d, e, f). As siglas são: CC – Cachoeira do Ceará, NLA – Nascente da Lagoa Azul, LA- Lagoa Azul, FERV – Nascente do Afloramento, NLAM – Nascente da Lagoa Azul do Maranhão, NLA- Lagoa Azul do Maranhão, LG – Lagoa da Gênese, NL – Nascente no Lixão, CL – Cachoeira próxima ao Lixão.



### Resultados das análises químicas, físico-químicas e microbiológicas

A Tabela 4 apresenta os parâmetros químicos, físico-químicos e biológicos, fornecendo uma base sólida para a discussão e interpretação dos dados obtidos.

**Tabela 4.** Resultados dos parâmetros químicos avaliados nos 9 pontos de recolha.

Referência	CC	NLA	LA	FERV	NLAM	LAM	LG	NL	CL
<b>TRANSIÇÃO PARA ESTIAGEM</b>									
pH	5.8	4.69	5.93	4.97	4.65	4.92	-	5.1	6.36
TEMP (°C)	25.6	26.9	29.8	25.5	27.6	29.8	-	25.9	25.2
CE (µS/cm)	5.5	24.5	10.7	15.1	17.6	12.7	-	11.5	35.4
Alc (mgHCO <sub>3</sub> /L)	0.10	1	0.10	0.30	0.10	0.20	-	0.35	0.45
Turbidez (NTU)	0.26	0.26	1.30	0.52	0.52	2.86	-	0.78	2.08
OD (mgO <sub>2</sub> /L)	0.7	0.1	8.4	0	0	0	-	0	0.4
STS (mg/L)	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	0	0
Coli F	9.7	0	0	78.0	1.0	0	-	0	6.1
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	0.29	0.21	0.73	0.35	0.24	0.18	-	0.30	0.60
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	0.09	0.05	0.31	0.16	0.05	0.06	-	0.07	0.04
NH <sup>4+</sup> (mg/L)	0.15	0.16	0.12	0.15	0.24	0.11	-	0.11	0.18
Na <sup>+</sup> (mg/L)	0.43	0.30	1.63	1.56	0.99	0.68	-	0.67	0.30
K <sup>+</sup> (mg/L)	0.31	0.03	1.03	0.37	0.13	0.26	-	0.26	0.11
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	0.40	0.94	1.18	0.75	0.61	0.54	-	0.35	4.97
NO <sub>3</sub> (mg/L)	0.43	5.98	1.11	1.39	2.18	1.87	-	1.16	3.53
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	-	0.01	0.01
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	0.53	0.56	0.54	0.54	0.51	0.51	-	0.49	0.84
<b>ESTIAGEM</b>									
pH	7.69	5.96	4.64	4.84	5.28	6.69	6.77	7.13	7.67
TEMP (°C)	25.3	26.4	26.3	25.9	26.3	26.3	25.8	25.4	25.3
CE (µS/cm)	4.3	19.8	16.1	16.4	15.8	13.3	14.7	13.1	40.4
Alc (mgHCO <sub>3</sub> /L)	0.15	0.20	0.25	0.20	0.20	0.20	0.25	0.15	0.30
Turbidez (NTU)	0.26	0	0	0	0	1.3	1.04	16.12	0.78
OD (mgO <sub>2</sub> /L)	7.4	2.8	9.2	3.7	3.3	4.2	7.7	2.5	7.5
STS (mg/L)	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
Coli F	5.2	0	1	0	0	0	0	1	0
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	0.28	0.32	0.44	0.23	0.20	0.30	0.23	1.40	0.26
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	0.03	0.15	0.13	0.05	0.07	0.07	0.02	0.27	0.04
NH <sup>4+</sup> (mg/L)	0.10	<LD	0.10	0.10	0.10	<LD	0.10	0.10	0.10
Na <sup>+</sup> (mg/L)	0.02	1.33	1.27	1.10	0.64	0.67	0.16	6.07	1.13
K <sup>+</sup> (mg/L)	0.02	0.42	0.37	0.15	0.26	0.27	0.01	1.79	0.17
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	1.14	1.14	0.89	0.69	0.63	0.69	4.32	5.49	0.77
NO <sub>3</sub> (mg/L)	0.58	0.19	1.38	1.10	0.95	0.96	0.83	0.62	2.36
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	0.16	0.05	0.10	0.05	0.07	0.05	0.09	0.15	1.19
<b>TRANSIÇÃO PARA CHUVOSO</b>									
pH	7.47	5.75	7.65	4.7	5.88	6.98	6.75	7.19	6.82

TEMP (°C)	25.5	26.3	28.6	25.3	26.3	26.9	26	25.9	25.7
CE (µS/cm)	6.7	24.6	13.7	14.6	16.8	11.4	14.9	19.2	35.9
Alc (mgHCO <sub>3</sub> /L)	0.05	0.15	0.25	0.15	0.15	0.20	0.15	0.1	0.30
Turbidez (NTU)	0.26	6.78	2.34	0.52	0.78	0	0	3.9	0.26
OD (mgO <sub>2</sub> /L)	6.1	3	5.8	1.7	3.5	5.3	3.5	3.8	3.5
STS (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0
Coli F	50	0	0	0	10	0	0	0	10
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	0.31	0.64	0.42	0.32	0.41	0.41	0.36	0.41	0.89
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	0.31	0.22	0.19	0.04	0.05	0.05	0.03	0.02	0.13
NH <sup>4+</sup> (mg/L)	0.02	0.06	0.11	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
Na <sup>+</sup> (mg/L)	0.27	1.07	1.05	0.83	0.69	0.70	1.03	0.30	4.38
K <sup>+</sup> (mg/L)	0.05	0.66	0.57	0.11	0.16	0.31	0.28	0.05	1.03
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	0.47	0.90	0.93	0.61	0.55	0.57	0.74	0.47	6.66
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0.66	5.04	2.61	1.14	1.89	1.48	1.49	0.56	2.66
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	0.009	0.012	0.017	0.012	0.012	0.012	0.009	0.019	0.019
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	0.72	0.46	0.30	0.51	0.47	0.35	0.53	0.15	1.76

#### CHUVOSO

pH	7.27	5.82	4.8	4.6	4.5	4.3	6.3	5.9	5.53
TEMP (°C)	25	26.4	27.3	25.9	26.6	26.9	25.8	25.2	25.2
CE (µS/cm)	4.5	22.3	17.2	15.6	15.7	14.9	14.9	9.9	44.6
Alc (mgHCO <sub>3</sub> /L)	1.5	2	2.5	2	2	2	1.5	3	2.5
Turbidez (NTU)	0.26	0.78	0.52	0.26	0.26	0.25	0	35.62	0.26
OD (mgO <sub>2</sub> /L)	8.65	5.80	7.82	10.26	4.12	4.30	0.0	3.10	4.38
STS (mg/L)	0.01	0.0	0.0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
Coli F	25.5	0	1	71.2	21.8	0	1	22.8	435.2
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	0.05	0.23	0.20	0.11	0.15	0.10	0.05	0.12	0.81
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	0.08	0.18	0.20	0.09	0.12	0.10	0.09	0.09	0.22
NH <sup>4+</sup> (mg/L)	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0.003	<LD
Na <sup>+</sup> (mg/L)	0.22	0.75	0.72	0.51	0.43	0.42	0.61	0.25	3.45
K <sup>+</sup> (mg/L)	0.01	0.45	0.38	0.08	0.21	0.20	0.13	0.04	1.26
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	0.50	1.00	0.96	0.69	0.70	0.61	0.76	0.61	7.64
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0.26	5.31	4.04	1.77	2.26	1.90	1.75	0.29	5.39
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	<LD	<LD	0.06	<LD	0.09	<LD	<LD	<LD	<LD
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	0.08	0.20	0.06	0.07	0.06	0.05	0.10	0.10	1.14

#### pH

Os resultados do pH revelaram variação nos valores entre 4,3 durante o período chuvoso na LAM e 7,69 durante o período seco na CL (Tabela 4). Nas nascentes (NLA, NLAM e NL), o

pH observado variou entre 4,5 e 7,19. Nas lagoas (NLA, LA e LG), o pH variou entre 4,3 e 7,65. Os trabalhos efetuados nas águas subterrâneas da região de estudo registraram valores de pH entre 4,27 e 8,95 (Teixeira et al. 2015); nas lagoas de Presidente Figueiredo uma variação de pH entre 4,3 e 7,4 (Santos et al. 2013). Os valores de pH para as águas das cachoeiras (CC e CL) ficaram entre 5,53 e 7,69. Esses valores são superiores aos encontrados por outros estudos realizados na região, onde os valores de pH variaram entre 4,27 e 6,21 (Lima et al. 2002; Horbe e Oliveira, 2008; Dourado et al. 2015; Freitas et al. 2015).

### **Condutividade Elétrica (CE)**

Os resultados de Condutividade Elétrica (CE) apresentaram variação considerável, variando de 4,3 a 44,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ao longo do período de estudo (Tabela 4). As águas das nascentes (NLA, NLAM e NL) apresentaram valores de CE variando de 9,9 a 24,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Teixeira et al. (2014) identificaram valores de CE em águas subterrâneas variando de 9,38 a 81,80  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . As cachoeiras (CC e CL) exibiram uma variação entre 4,3 e 44,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e nas lagoas (LA, LAM e LG) os valores oscilaram entre 10,7 e 17,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Outros estudos encontraram valores de CE variando de 16,45 a 26,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em águas de rios e córregos (Lima et al. 2002; Horbe e Oliveira, 2008; Santos et al. 2013; Dourado et al. 2015).

### **Alcalinidade**

Os resultados de alcalinidade das amostras analisadas apresentaram variações muito baixas, entre 0,1 e 2,5  $\text{mgHCO}_3^-/\text{L}$ , sendo os maiores valores observados no período chuvoso (Tabela 4). Estudos realizados em águas subterrâneas da região registraram variações de alcalinidade entre 0 e 23,18  $\text{mgHCO}_3^-/\text{L}$  (Teixeira et al. 2014). Análises realizadas em lagos na região de Presidente Figueiredo detectaram valores máximos de alcalinidade de 4,88  $\text{mgHCO}_3^-/\text{L}$  (Santos et al. 2013).

### **Turbidez**

Os valores de turbidez variaram de 0,1 a 35,62 NTU, sendo o maior valor detectado no ponto NL durante o período chuvoso. Teixeira et al. (2014) analisaram as águas subterrâneas e encontraram valores máximos de 17,94 NTU, associados à contaminação devido a falhas na estrutura do poço. Nas lagoas e nascentes (LA, LAM, NLA e LG) os valores máximos foram de 2,86 NTU, o que está dentro da faixa de detecção também encontrada nas águas superficiais analisadas por Santos et al. (2013) que associaram o valor de 7,28 NTU à baixa presença de materiais em suspensão. Nas cachoeiras (CC e CL) houve uma variação de 0,26 e 2,08 NTU, valores relativamente baixos se comparados aos estudos de Lima et al. (2002) e Freitas et al. (2015) que detectaram valores máximos de 14 e 4,16 NTU, respectivamente.

### **Sólidos Totais em Suspensão (STS)**

Os valores de STS variaram de 0 a 0,03 mg/L, com as maiores concentrações nos pontos NL (0,02 mg/L) e CL (0,03 mg/L), enquanto os demais pontos (CC, NLA, LA, FERV, NLAM, LAM e LG) não ultrapassaram 0,01 mg/L. Lima et al. (2002), estudando as águas superficiais da região, atribuíram os valores de STS às atividades que ocorrem na área acima da cachoeira, seguindo o curso do fluxo da água. Estudos realizados no Rio Negro por Arcos et al. (2020) detectaram valores de STS entre 0,01 mg/L no período de cheia e 0,16 mg/L no período de seca.

### **Oxigênio Dissolvido (OD)**

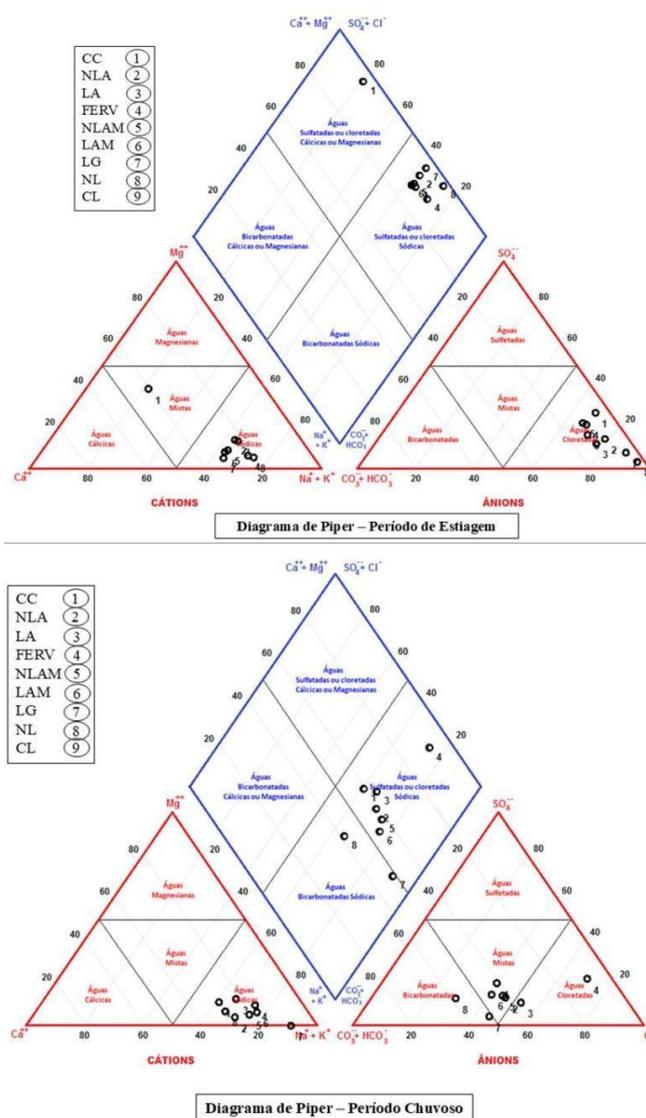
Os níveis máximos de oxigênio dissolvido (OD) foram registados em 5,8 mgO<sub>2</sub>/L no NLA durante a estação das chuvas. Nas lagoas (LA, LAM e LG), o valor máximo foi de 10,26 mgO<sub>2</sub>/L. Os valores observados em nosso estudo são superiores aos identificados por Freitas et al. (2015), que analisaram águas superficiais em Presidente Figueiredo e encontraram 5,44 mgO<sub>2</sub>/L, e atribuíram esses resultados ao fato de as águas serem correntes e absorverem oxigênio da atmosfera. Nas cachoeiras (CC e CL), os valores máximos de 8,65 mgO<sub>2</sub>/L são próximos ou inferiores aos relatados por Lima et al. (2002) e Santos et al. (2013), que relacionaram os níveis

de OD à velocidade da água corrente.

## Íons Maiores e Menores

A figura 4 mostra o diagrama de Piper r com a composição química destas águas, que pode ajudar a classificar e a interpretar a composição iónica das águas naturais.

**Figura 4.** Diagrama de Piper dos pontos de recolha estudados nesta investigação, abrangendo os principais períodos secos (A) e o período das chuvas (B).



### **Cátions ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ e $\text{NH}_4^+$ )**

As concentrações de cátions foram baixas e variaram com a precipitação anual. As concentrações máximas de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  foram de 6,07, 1,79 e 1,40 mg/L no NL durante a estação seca (Tabela 4). As maiores concentrações de  $\text{Mg}^{2+}$  foram no LA durante a transição para a seca e no CC durante a transição para a estação chuvosa, ambos 0,31 mg/L. Outros estudos realizados na região encontraram valores máximos de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  nas águas subterrâneas de 4,68, 1,23, 2,06 e 1,35 mg/L, respectivamente (Teixeira et al. 2014). Por outro lado, Santos et al. (2013) e Horbe e Oliveira (2008), ao analisarem águas superficiais da região, relataram valores máximos de 3,98 mg/L para  $\text{Na}^+$ , 4,47 mg/L para  $\text{K}^+$ , 2,07 mg/L para  $\text{Ca}^{2+}$  e 0,50 mg/L para  $\text{Mg}^{2+}$ . As concentrações de  $\text{NH}_4^+$  ficaram abaixo do limite de detecção (<LD 0,001 mg/L) durante a estação chuvosa, enquanto na transição para a seca a concentração foi de 0,24 mg/L no NLAM (Tabela 4). Outros estudos encontraram valores máximos de  $\text{NH}_4^+$  de 0,01 mg/L, 0,81 mg/L e 0,54 mg/L, respectivamente (Teixeira et al. 2014; Freitas et al. 2015).

### **Ânions ( $\text{Cl}^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ e $\text{PO}_4^{3-}$ )**

O  $\text{Cl}^-$  apresentou um valor máximo de 7,64 mg/L no ponto DW, durante a estação chuvosa (Tabela 4). A Cachoeira próxima ao ponto de despejo (CL) apresentou as maiores concentrações durante todo o período, com exceção da estação seca. Análises de águas subterrâneas realizadas na região encontraram valores máximos de 3,15 mg/L de  $\text{Cl}^-$  (Teixeira et al. 2014). Horbe & Oliveira 2008 e Santos et al. (2013) obtiveram valores máximos de 2,19 e 6,54 mg/L de  $\text{Cl}^-$  em águas superficiais de lagos e córregos na região de Presidente Figueiredo.

A maior concentração de  $\text{NO}_3^-$  foi de 5,98 mg/L na NLA durante a transição para o período chuvoso (Tabela 4). Teixeira et al. (2014) analisando águas subterrâneas da região encontraram valores máximos de 13,02 mg/L, enquanto Santos et al. (2013) analisando águas no entorno da área urbana de Presidente Figueiredo obtiveram valores máximos de 0,352 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ . O maior teor de  $\text{SO}_4^{2-}$  determinado neste estudo foi de 1,76 mg/L na AD, durante a

transição para o período chuvoso, valor superior ao determinado por Santos et al. (2013), que obtiveram valores máximos de 0,225 mg/L de  $\text{SO}_4^{2-}$  em águas superficiais.

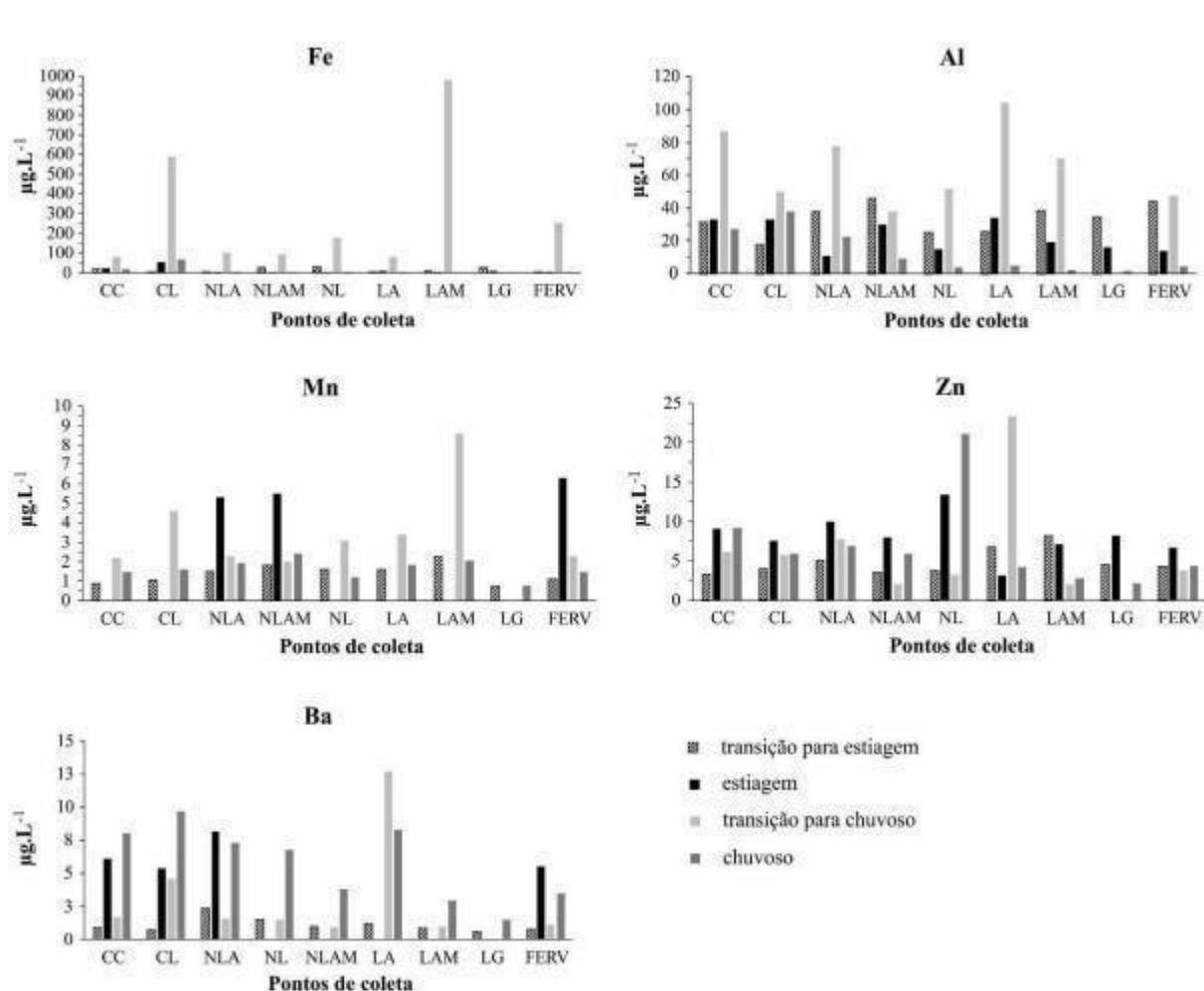
Os dados de  $\text{PO}_4^{3-}$  nos pontos de recolha apresentaram valores abaixo do limite de detecção (<0,5 mg/L), especialmente durante a estação das chuvas. As concentrações máximas foram de 0,02 mg/L (Tabela 4). Os valores de  $\text{PO}_4^{3-}$  determinados em outros estudos ficaram abaixo do limite de detecção (<LD 0,001) (Freitas et al. 2015) ou obtiveram valores máximos de 0,56 e 0,007 mg/L de  $\text{PO}_4^{3-}$  (Horbe e Oliveira, 2008; Santos et al. 2013).

### **Metais Potencialmente Tóxicos**

A análise dos metais potencialmente tóxicos é importante neste estudo, pois fornece informações essenciais sobre a qualidade da água e o cumprimento da legislação ambiental em vigor (Yan, 2022). A Figura 4 apresenta as concentrações dos metais detectados, expressas em  $\mu\text{g/L}$ , que se encontram todas abaixo dos limites estabelecidos pela legislação, que são definidos em mg/L, confirmando que as concentrações detectadas para Fe, Al, Mn, Zn e Ba são significativamente inferiores às normas regulamentares.

Os resultados indicam que o Fe apresentou concentrações máximas de 180,20  $\mu\text{g/L}$  nas nascentes (NLA, NLAM e NL), 976,90  $\mu\text{g/L}$  nas lagoas (LA, LAM e LG) e 589,50  $\mu\text{g/L}$  nas cachoeiras (CC e CL). Embora elevados em comparação com os outros pontos, estes valores ainda respeitam os limites ambientais. Estudos anteriores indicam que as concentrações de Fe em águas superficiais na região podem chegar a 2400  $\mu\text{g/L}$  (Horbe & Oliveira, 2008; Santos et al., 2013; Freitas et al., 2015), sugerindo que os níveis observados neste estudo são típicos e influenciados por fatores sazonais, como o aumento de sedimentos durante a estação chuvosa.

**Figura 5.** Resultados das análises de metais potencialmente tóxicos (Fe, Al, Mn, Zn e Ba) dos pontos de amostragem em Presidente Figueiredo.



As concentrações de Al também se mantiveram dentro dos padrões, com valores máximos de 78,10 µg/L nas nascentes, 104,60 µg/L nas lagoas e 86,80 µg/L nas cascatas. Durante a transição para a estação chuvosa, as concentrações de Al aumentaram ligeiramente, possivelmente devido ao escoamento superficial que introduziu partículas na água. No que respeita ao Zn, os valores máximos detectados foram de 21,17 µg/L nas nascentes, 23,40 µg/L nas lagoas e 9,29 µg/L nas cascatas, tendo a nascente NL apresentado concentrações consideráveis tanto na estação seca como na chuvosa (13,42 e 21,17 µg/L, respetivamente). Estes valores estão substancialmente abaixo dos picos de 1500 µg/L observados em estudos de referência para bacias próximas (Horbe e Oliveira, 2008).

As concentrações de Mn, por seu lado, foram geralmente baixas e não ultrapassaram 8,60 µg/L, com a maioria dos resultados abaixo do limite de deteção (<0,5 µg/L) durante a estação

seca, com exceção das lagoas, onde variaram entre 5,32 e 6,32 µg/L. O Ba apresentou concentrações máximas de 8,17 µg/L nas nascentes, 12,70 µg/L nas lagoas e 9,69 µg/L nas cascatas, com os pontos CC, CL e LA a apresentarem um ligeiro aumento durante a estação das chuvas.

### *Escherichia coli*

As análises de *Escherichia coli* (*E. coli*) efetuadas neste estudo forneceram informações importantes sobre a qualidade microbiológica da água e a presença de coliformes fecais. A Tabela 5 apresenta os resultados de coliformes fecais (CF) para os quatro períodos de variação da pluviosidade.

**Tabela 5.** Valores de coliformes fecais em NMP/100 mL das amostras estudadas.

Pontos de Amostragem	TE*	E*	TC*	C*	Categoria*
CC	5.2	50	9.7	25.5	Excelente
NLA	0	0	0	0	Excelente
LA	1	0	0	1	Excelente
FERV	0	0	78.0	71.2	Excelente
NLAM	0	10	1.0	21.8	Excelente
LAM	0	0	0	0	Excelente
LG	0	0	0	1	Excelente
NL	1	0	0	22.8	Excelente
CL	0	10	6.1	435.2	Ótima

\* TE= Transição para estiagem; E= Estiagem; TC= Transição para período chuvoso; C= Chuvoso

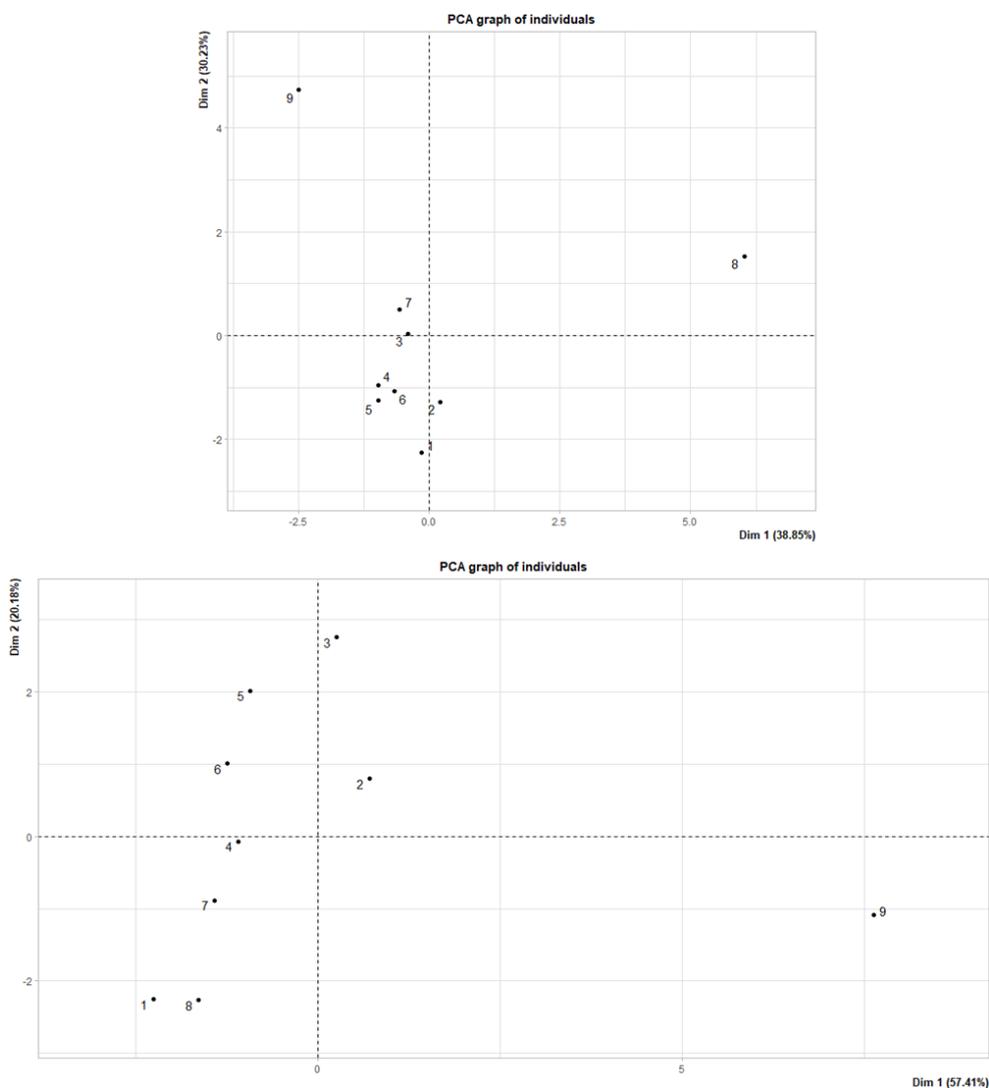
Os resultados apresentados indicam que as águas atendem à legislação vigente CONAMA 274/2000, que trata de águas para banho, estando abaixo de 1000 NMP/100 mL. Os valores detectados em todos os pontos apresentaram maiores concentrações no período chuvoso, podendo estar associados ao escoamento superficial de material fecal para as águas superficiais.

O ponto da cachoeira CL apresentou a maior concentração de FC (435,2 NMP/100 mL) durante o período chuvoso, embora seja classificado como ótimo pela legislação. Os pontos NLA, LA, LAM, LG e NL apresentaram valores próximos a 0 NMP/100 mL durante todo o período, classificando-os como águas excelentes. O ponto CC teve a presença de FC durante todo o período, porém, devido às suas baixas concentrações, as águas ainda foram classificadas como excelentes. Dourado et al. (2015), estudando as águas do riacho dos Veados, identificaram valores acima do limite permitido (240.000 NMP/100mL) durante o período seco e 23.000

### Análise Estatística

A Análise de Coordenadas Principais (PCA) foi aplicada aos resultados das águas superficiais de Presidente Figueiredo, durante os dois períodos (seco e chuvoso) na região de estudo (Figura 6).

**Figura 6.** Diagrama de ordenação da análise de componentes principais (PCA) entre os 9 pontos de coleta em Presidente Figueiredo e as relações entre as variáveis durante as estações seca (A) e chuvosa (B). Legenda: 1-CC; 2-NLA; 3-LA 4-FERV, 5-NLAM, 6-LAM, 7-LG, 8- NL e 9-CL.



As dimensões Dim.1 (38,85%), Dim.2 (30,23%) e Dim.3 (17,84%) explicam em conjunto 86,91% da variância total dos dados durante a estação seca. A dimensão 1 está associada à mineralização da água. Os pontos com valores positivos elevados nesta dimensão, como o Ponto NL (6,026;  $\cos^2 = 0,938$ ), destacam-se pelas suas características de elevada mineralização, sugerindo uma maior concentração de íons como o Ca e o Mg em comparação com outros pontos (CC, NLA, LA, FERV, NLAM, LAM, LG e CL), possivelmente associados aos sedimentos não consolidados presentes neste ponto. A Dim.2 permite-nos diferenciar os pontos de recolha com base na CE e  $\text{PO}_4^{3-}$ . Pontos com valores elevados nesta dimensão, como o Ponto CL (4,737;  $\cos^2 = 0,747$ ), indicam características distintas, com provável influência do fluxo de água resultando em maiores teores de CE e  $\text{PO}_4^{3-}$ . A proximidade do lixão sugere uma potencial contribuição de poluentes, o que influencia as características físico-químicas deste ponto, diferenciando-o dos demais. Este contexto reflete a influência de fontes antropogênicas na qualidade da água captada na região. A Dim.3 evidencia variações ligadas à FC e à temperatura da água, como no ponto US. Embora a Dim.3 não seja a principal responsável pela separação global dos pontos, fornece uma visão complementar sobre as condições ambientais específicas de alguns locais.

Na estação chuvosa, observou-se que as dimensões, Dim.1 (57,41%), Dim.2 (20,18%) e Dim.3 (12,27%), explicaram conjuntamente 89,86% da variância total dos dados. A Dim.1 reflecte o grau de mineralização da água, com destaque para as concentrações de Ca, Mg e Cl. As variáveis CE, Ca e Cl apresentam cargas elevadas (0,975, 0,992 e 0,970,) sugerindo que a CE é largamente influenciada pela presença destes minerais. O ponto CL destaca-se com um valor elevado em Dim.1 (7,635;  $\cos^2 = 0,977$ ), indicando que a água neste ponto é altamente mineralizada. A proximidade do Ponto CL com um aterro sanitário pode contribuir para um influxo de sais e minerais que influenciam significativamente as características da água, diferenciando-a dos demais locais de recolha. A Dim.2 está associada principalmente às variáveis temperatura e pH (0,955 e - 0,745), refletindo a temperatura e o pH durante o período chuvoso, o que pode ser influenciado pela diluição de substâncias nas águas do Ponto LA (2,753;  $\cos^2 = 0,809$ ), possivelmente influenciado pelo maior fluxo e mistura das águas durante o período

chuvoso.

A Dim.3 é dominada pelas variáveis Alc e  $\text{NH}_4^+$ , que apresentam cargas elevadas (0,923 e 0,835), indicando a presença de matéria orgânica e processos de decomposição que influenciam essas variáveis nos pontos de coleta. O ponto NL, que se destaca na Dim.3 (3,096;  $\cos^2 = 0,548$ ), reflete uma maior influência dessas variáveis. No entanto, é de salientar que, apesar de estar localizado próximo de uma nascente e num ambiente com solos não consolidados, a libertação de  $\text{NH}_4^+$  neste ponto foi significativamente baixa, indicando que os processos de decomposição não resultaram em concentrações preocupantes de amônia na água, o que é um aspeto positivo para a saúde do ecossistema aquático local.

## DISCUSSÃO

A área de estudo é predominantemente composta por arenito, uma rocha permeável devido à presença predominante de quartzo-arenito, que é rapidamente percolada pela água. Isso explica os baixos valores de CE, que refletem a pobreza de elementos dissolvidos nas águas estudadas (Horbe e Oliveira, 2008; Santos et al. 2013; Teixeira et al. 2014). Essas águas são classificadas como de cor preta e têmorigem em rochas sedimentares proterozóicas e paleozoicas (Soares et al. 2005, Souza & Nogueira 2009, Cuervo 2014). A cor escura e ácida destas águas deve-se à presença de matéria orgânica solúvel de cor castanha ou avermelhada (ácidos fúlvicos) (Sioli, 1965), cujo ambiente é ácido e facilita a dissolução de certos minerais pela água. Por outro lado, os processos de erosão são minimizados pela densa vegetação, resultando numa baixa carga de sedimentos.

No entanto, a diversidade destes ambientes aquáticos (nascentes, lagos e quedas de água) deve ser interpretada de acordo com as suas características físicas e químicas, tendo em conta a interação água-rocha e as variações resultantes do ciclo hidrológico e das influências antropogênicas que podem ter impacto na dinâmica destes ambientes. A análise destas características pode revelar informações importantes sobre a qualidade da água, a presença de poluentes e a saúde dos ecossistemas aquáticos.

Os valores de pH, CE e alcalinidade determinados para as nascentes e lagoas neste estudo estão de acordo com outros estudos realizados na região (Lima et al. 2002; Santos et al. 2013; Teixeira et al. 2014). A exceção foi o período seco e a transição para o período chuvoso, quando os valores de pH nos pontos de NL estiveram acima dos valores determinados na literatura para ambientes naturais. Análises de pH e CE em lagoas da região urbana de Manaus associam os altos níveis desses parâmetros ao despejo de resíduos domésticos, ao processo de fotossíntese e à eutrofização das águas (Ferreira, 2021; Barros e Andrade, 2018; Oliveira e Valle, 2018).

Durante o período hidrológico, a turbidez manteve-se em níveis baixos na maioria dos pontos de recolha. No entanto, no ponto SD, foi observada uma quantidade significativa de sólidos junto com a amostra de água durante o período de chuvas intensas. Isso sugere a presença de partículas em suspensão, como sedimentos e matéria orgânica, o que pode ter influenciado os valores de turbidez (Wasserman et al. 2019). Os valores de SST encontrados neste estudo são baixos em comparação com os relatados em outros estudos na região amazônica (Lima et al. 2002; Arcos e Cunha, 2021). Isso sugere um impacto antropogênico mínimo nas áreas analisadas, permitindo que as características naturais das águas sejam preservadas.

A ordem de abundância dos cátions foi  $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ . Os elementos  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  foram os mais abundantes nas lagoas em todos os períodos, enquanto as nascentes apresentaram maiores teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  nos períodos seco e chuvoso, e maiores teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  nos períodos de transição (Tabela 4). Apesar de possivelmente ser mais abundante devido ao feldspato potássico, quando o  $\text{K}^+$  é liberado pelo intemperismo, ele tende a se fixar por adsorção aos minerais de argila, enquanto o  $\text{Na}^+$  é mais abundante devido à alta solubilidade de seus compostos (Silva & Bonoto, 2000).

As concentrações de  $\text{NH}_4^+$  foram baixas durante todo o período hidrológico, refletindo o processo de nitrificação, onde o  $\text{NH}_4^+$  é rapidamente convertido em  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$ , tornando o  $\text{NO}_3^-$  a forma predominante de nitrogênio no ambiente (Varnier, 2019). Além disso, estudos anteriores mostraram baixas concentrações de  $\text{NO}_3^-$  nesta região (Santos et al. 2013; Texeira et al. 2014; Freitas et al. 2015).

Os resultados mostram níveis mais altos de  $\text{NO}_3^-$  nas nascentes NLA e NLAM (5,98 mg/L) do que nas lagoas LA, LAM e LG. As nascentes têm a característica comum de estarem próximas a plantações de hortaliças e banheiros com fossas sépticas, ambas fontes potenciais de  $\text{NO}_3^-$  (Santos et al. 2013; Vanier, 2021). Durante a estação chuvosa, há um aumento do afloramento de água devido ao maior volume de chuvas, fazendo com que as nascentes se recarreguem, com maior concentração de  $\text{NO}_3^-$  (Fajardo, 2022). Além disso, os dados estatísticos indicam que os valores de  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{NH}_4^+$  possivelmente estavam associados à mesma fonte desses elementos. Em muitos pontos de amostragem, como CC e FERV, observou-se que o aumento das concentrações de FC não foi acompanhado por um aumento dos níveis de  $\text{PO}_4^{3-}$ . Na estação seca, a FERV registou um pico de CF (78,0 NMP/100 mL) enquanto os níveis de  $\text{PO}_4^{3-}$  se mantiveram baixos, indicando que a contaminação por CF pode não estar relacionada com a presença de  $\text{PO}_4^{3-}$ .

A presença de coliformes fecais no ponto FERV durante a estação das chuvas pode ser atribuída ao escoamento superficial que transporta matéria orgânica e resíduos fecais das áreas adjacentes a este ponto. A densa vegetação da floresta circundante pode ser o habitat de animais selvagens, cujos dejetos são arrastados para as massas de água pela chuva. Além disso, a infiltração da água da chuva pode mobilizar os coliformes presentes no solo e levá-los à ebulição. Por outro lado, a diluição dos poluentes pode ter afetado tanto a concentração de CF como de  $\text{PO}_4^{3-}$  em todos os pontos, resultando em níveis baixos de ambos. Isto sugere que, apesar das variações, a chuva pode ter um papel purificador que afeta ambas as métricas de qualidade da água, mas sem uma correlação direta entre elas.

As águas das lagoas eram transparentes quando amostradas e não foram observados materiais em suspensão retidos nos filtros para justificar que a cor está relacionada à produção de algas e/ou eutrofização das lagoas. As lagoas azuis estão sobre um solo esbranquiçado, de natureza argilo-arenosa, resultante da alteração dos minerais primários e secundários das rochas presentes na região. A coloração aparente é devida a um fenómeno físico de absorção e dispersão da luz que ocorre na superfície de massas de água transparentes. Este efeito é potenciado pelo fundo de argila branca, comum em todas as lagoas que apresentam este fenómeno.

A nascente do NL tem um pH ácido ( $\approx 5$ ), que aumenta para 7,19 durante as transições entre os períodos seco e chuvoso. Além disso, a condutividade elétrica (CE) é baixa, com um valor de  $19,2 \mu\text{S}/\text{cm}$ . No período seco, predominam os íons  $\text{Cl}^-$  ( $5,49 \text{ mg/L}$ ),  $\text{Na}^+$  ( $6,07 \text{ mg/L}$ ),  $\text{K}^+$  ( $1,79 \text{ mg/L}$ ) e  $\text{Ca}^{2+}$  ( $1,40 \text{ mg/L}$ ), com valores de sólidos suspensos totais (SST) de  $0,03 \text{ mg/L}$ . Estas características refletem um ambiente de intensa meteorização, contribuindo para a libertação destes íons para a água. A composição mineralógica predominante no solo da região inclui quartzo, caulinita e feldspato, que, em condições de intemperismo e precipitação, libertam  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , podendo influenciar as concentrações destes íons (Horbe & Oliveira, 2008). A origem do  $\text{Cl}^-$  pode ser tanto a lixiviação dos minerais do solo como a ação antropogênica (Alvarenga et al. 2024).

As concentrações de Fe, Al, Mn, Zn e Ba foram muito baixas. Isso reflete as condições de intemperismo de regiões tropicais úmidas, com intensa e rápida percolação de água, o que influencia na distribuição e disponibilidade desses elementos (Horbe & Oliveira 2008). Os resultados indicam concentrações significativamente inferiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, com Fe ( $<0,3 \text{ mg/L}$ ), Al e Mn ( $<0,1 \text{ mg/L}$ ), Zn ( $<0,18 \text{ mg/L}$ ) e Ba ( $<0,7 \text{ mg/L}$ ), sendo os resultados da ordem de  $\mu\text{g/L}$ . Essa conformidade demonstra a qualidade dessas águas, indicando a ausência de riscos significativos de contaminação por metais tóxicos, e pode ser atribuída às características de intemperismo e à dinâmica de percolação, que favorecem a diluição e minimizam a toxicidade dos elementos analisados.

### **Hidroquímica de Cachoeiras**

Os valores de pH, condutividade elétrica (CE) e alcalinidade determinados para as cachoeiras neste estudo estão de acordo com os resultados de pesquisas anteriores realizadas na mesma região (Lima et al., 2002; Santos et al., 2013; Teixeira et al., 2014). No entanto, os valores mais elevados de pH ( $>7,0$ ) observados nos pontos CC e CL durante a estação seca sugerem a presença de algum tipo de interferência. Valores de pH semelhantes foram detectados em

Manaus, devido à forte influência antropogênica (Da Silva Ferreira, 2020; Da Silva Lages, 2022;), principalmente considerando que a região de estudo possui pH naturalmente ácido. O ponto CL se destaca por apresentar uma alta concentração de CE ao longo do período hidrológico. A região é caracterizada por um ambiente com baixas concentrações de eletrólitos (Horbe e Oliveira, 2008; Santos et al., 2013), e a diferença na concentração de CE ( $>40 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) reflete a possível influência de substâncias provenientes do lixão localizado a montante do ponto CL.

As águas negras, com alta concentração de Na e K e menores teores de Ca e Mg, são influenciadas pelas rochas das Formações Prosperança, Nhamundá, Pitinga e Manacapuru, que são compostas principalmente por quartzo e caulinita e, em menor quantidade, por feldspato, que é a principal fonte de K para os corpos d'água da região (Sioli, 1957; Gaillardet et al. 1997; Horbe et al. 2005; Horbe & Oliveira, 2008). O ponto CL, localizado nessa região, reflete essa composição mineralógica, caracterizado por um pH que varia de 7,67 na estação seca a 5,53 na estação chuvosa, bem como uma CE de até  $44,6 \mu\text{S}/\text{cm}$  e maiores teores de  $\text{K}^+$  (1,26 mg/L),  $\text{Na}^+$  (4,38 mg/L),  $\text{NO}_3^-$  (5,39 mg/L) e  $\text{Cl}^-$  (7,64 mg/L). Observou-se que a predominância nas cascatas CC e CL variou de acordo com a estação do ano, com concentrações de  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$  durante a estação seca e  $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$  durante a estação chuvosa. Essas concentrações podem ser atribuídas à precipitação e dissolução de minerais que liberam os íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Cl}^-$  (Horbe & Oliveira, 2008). Não podemos descartar a possibilidade de escoamento superficial de compostos provenientes de resíduos domésticos na região.

As quedas d'água apresentam valores elevados de oxigênio dissolvido (OD) durante a estação chuvosa, devido à influência da água corrente (Freitas et al. 2015). Esse aumento no fluxo de oxigênio ocorre porque as quedas d'água agitam a água, promovendo maior contato com o ar atmosférico, e a taxa de reintrodução de OD é proporcional à velocidade da corrente de água, sendo que a taxa de aeração superficial é maior em uma cachoeira do que em um rio (Piveli, 2018). É importante ressaltar que os valores estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação CONAMA 357/2005 ( $>5\text{m}/\text{L}$ ). Além disso, os dados indicam uma correlação inversa entre pH e OD, mostrando que a diminuição dos níveis de pH está frequentemente associada a uma redução na concentração de oxigênio. No ponto NLAM, as medições de OD revelaram valores baixos

(0,1 mg/L), acompanhados de um pH de 5,82. Isto reforça a ideia de que os ambientes ácidos podem ter um impacto na solubilidade e disponibilidade de oxigênio na água.

A presença de CF foi detectada continuamente no ponto de coleta da CC durante todo o ciclo hidrológico, com concentrações mais elevadas durante a estação seca, chegando a 50 NMP/100mL. Estudos realizados na região amazônica indicam que a estação seca, caracterizada por menor precipitação, altas temperaturas e redução do fluxo de água, leva a um aumento da densidade de CF nas águas, explicando a maior concentração observada durante esse período (Arcos e Cunha, 2020; Da Silva Falcão et al. 2021; Dos Santos et al. 2023). Entretanto, a cachoeira CL apresenta um comportamento diferente durante o período chuvoso, evidenciado por uma densidade de coliformes que chega a 435,2 NMP/100mL. Esse aumento significativo, correlacionado com o maior índice pluviométrico, sugere que o escoamento superficial está influenciando na dinâmica dos coliformes fecais, devido ao aporte de material contaminado proveniente do lixão localizado próximo ao ponto de amostragem.

## **CONCLUSÃO**

Embora as análises tenham revelado alterações influenciadas pela variabilidade da pluviosidade e influências antrópicas sobre os parâmetros físico-químicos e composição química da água, os valores permanecem dentro dos limites legais segundo as normas CONAMA 357/2005 e 274/2000 para a qualidade das águas superficiais destinadas à recreação de contato primário. A lagoa Gênesis (GL) apresenta menor influência antrópica, com valores de pH e CE condizentes com a literatura e Na e K como principais constituintes da fase dissolvida, preservando as características naturais. A Cachoeira próxima ao Lixão (CL) apresenta maior concentração de íons e densidade de coliformes fecais, além de pH próximo ao neutro, demonstrando maior impacto antrópico. Essa conformidade sugere que, apesar das pressões ambientais e antrópicas, a qualidade da água ainda atende aos padrões normativos para uso recreativo. No entanto, é fundamental continuar estudando e monitorando os ecossistemas aquáticos para manter essa conformidade, principalmente em função do uso e ocupação do solo na região. Levando em conta tanto a urbanização quanto os processos agrícolas. Essas atividades

levam à degradação do solo e da água, afetando a saúde humana e da fauna silvestre. Medidas de gestão e controle, aliadas à conscientização ambiental, são essenciais para garantir a sustentabilidade dos corpos hídricos e a proteção da saúde pública na região amazônica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à FAPEAM - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas, pelo projeto: “Mudanças paleoclimáticas e acúmulo de carbono no Baixo Rio Negro”, à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelos projetos: “Rio Negro TAR” e “CAPES-PRAPG, Edital no. 14/2023” pelo apoio financeiro fornecido para a realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, G. P. .; CUESTA, B. O. DE B. .; SOUZA, C. D. R. DE . Water Quality analysis of Lagoa do Japiim, Manaus - Amazonas. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 13, n. 3, p. e8713345352, 2024. DOI: 10.33448/rsd-v13i3.45352. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/45352>. Acesso em: 28 jun. 2024.
- ARCOS, A. N.; DA SILVA, J. S.; DA CUNHA, H. B. Grupo coliforme fecal como indicador de balneabilidade em praia de água doce no rio Negro, Amazonas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e238974015, 2020.
- ARCOS, A. N., & CUNHA, H. B. (2021). Avaliação dos impactos da poluição nas águas superficiais de um afluente do rio Solimões na Amazônia Central Brasileira. *Caminhos da Geografia*, 22(80), 01-14.
- BARROS, A. M. S. & ANDRADE, J. B. L (2018). Estudo do Ecossistema Aquático da Lagoa do Japiim na cidade de Manaus: análise da água. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, 9, 123-137
- CAMPELO, A. G. C. Mapeamento estrutural da zona de falha na região da Cachoeira Porteira, município de Presidente Figueiredo (AM), a partir de imagens de satélite e radar e dados de campo. Repositório Institucional da UFAM (RIU). 2011.
- CUERVO, H.D.R. et al. Fácies sedimentares das unidades Siluro-devonianas aflorantes na porção sudeste do município de Presidente Figueiredo, borda norte da Bacia do Amazonas-AM. 2014.
- CUNHA, P.R.C.; MELO, J.H.G. & SILVA, O.B. 2007. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 15 (2): 227-251.
- DA SILVA, M. L; BONOTTO, D. M.. Caracterização hidrogeoquímica na Formação Alter do Chão, município de Manaus (AM). **Águas Subterrâneas**, 2000.
- DA SILVA FALCÃO, M. M., ARCOS, A. N., & DA COSTA, F. S. (2021). Avaliação da qualidade ambiental dos recursos hídricos ao longo do rio Preto da Eva no Amazonas, Brasil. *Research, Society and Development*, 10(15), e107101522560-e107101522560.
- DA SILVA FERREIRA; M., FONTES, M. P. F., PACHECO, A. A., LIMA, H. N., & SANTOS, J. Z. L. (2020). Risk assessment of trace elements pollution of Manaus urban rivers. *Science of the Total Environment*, 709, 134471.

- DA SILVA LAGES, A. Et al. Dynamics of heavy metals in the waters of Igarape do Quarenta: The water body that crosses the industrial hub in the Brazilian Amazon. *Open Science Journal*, v. 7, n. 2, 2022.
- DE BRITO, A. P.; TOMASELLA, J.; WAHNFRIED, I. D.; CANDIDO, L. A.; MONTEIRO, M. T.; FILGUEIRAS, S. J. F. Relação entre precipitação e recarga de águas subterrâneas na Amazônia Central. *Águas Subterrâneas*, [S. l.], v. 34, n. 1, p. 39–49, 2020. DOI: 10.14295/ras.v34i1.29616. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29616>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- DOS SANTOS, MARQUES SOUZA, et al. Avaliação da Qualidade da Água da Praia da Lua no Rio Negro, Manaus-Amazonas. *Revista Geonorte*, v. 14, n. 44, 2023.
- DOURADO, M. O. V. Avaliação dos coliformes nas águas das cachoeiras e corredeiras de Presidente Figueiredo/AM. In: IV Congresso de Iniciação Científica do INPA-CONIC. 2015.
- FAJARDO, J. D. V. et al. Groundwater Quality Assessment in Rural Areas of Caapiranga City in Brazilian Amazon. *Journal of Agricultural Science and Technology B*, v. 16, 2022.
- FERREIRA, Sávio José Filgueiras et al. Impact of rapid urbanization on stream water quality in the Brazilian Amazon. *Environmental Earth Sciences*, v. 80, p. 1-16, 2021.
- FREITAS, Elaine Pires De. Avaliação dos efeitos de urbanização sobre as cachoeiras e corredeiras em Presidente Figueiredo/AM. In: IV Congresso de Iniciação Científica do INPA- CONIC. 2015.
- GAILLARDET, J., DUPRE, B., ALLEGRE, C. J., & NÉGREL, P. (1997). Chemical and physical denudation in the Amazon River Basin. *Chemical geology*, 142(3-4), 141-173.
- HORBE, A. M. C., GOMES, I. L. F., MIRANDA, S. F., & SILVA, M. D. S. R. D. (2005). Contribuição à hidroquímica de drenagens no Município de Manaus-AM. *Acta Amazonica*, 35, 119-124.
- HORBE, A. M. C., & OLIVEIRA, L. G. D. S. (2008). Química de igarapés de água preta do nordeste do Amazonas-Brasil. *Acta Amazonica*, 38, 753-759.
- LIMA, R. M. D. S. (2002). Estudos Hidroquímicos de Cachoeiras Públicas do Município de Presidente Figueiredo Amazônia Central. XI Jornada de Iniciação Científica do PIBIC/INPA. 2002.
- MCDUGALL, CRAIG W. ET AL. Freshwater blue space and population health: An emerging research agenda. *Science of the Total Environment*, v. 737, p. 140196, 2020.
- NOGUEIRA, Afonso César Rodrigues; TRUCKENBRODT, Werner; SOARES, Emílio Alberto Amaral. O icnogênero *Arthropycus* de depósitos sublitorâneos da Formação Nhamundá (Siluriano Inferior) da Bacia do Amazonas, região de Presidente Figueiredo. *Brazilian Journal of Geology*, v. 29, n. 2, p. 135-140, 1999.
- NOGUEIRA, Afonso CR; SARGES, Roseane R. Caracterização e gênese de cachoeiras da região de Presidente Figueiredo, nordeste do Estado do Amazonas, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 287-301, 2001.
- PARRON, Lucilia Maria; MUNIZ, H. DE F.; PEREIRA, Claudia Mara. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. 2011.
- PEIXOTO, Sancler Freire. Mineralogia e geoquímica de perfis lateríticos no nordeste do Estado do Amazonas. 2006. 139 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.
- PIVELI, R. P. Curso: “Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos”. Disponível: <[http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/disciplinas/Fernando/leb36/Fasciculo%2010%20Oxigenio%20Dissolvido%20e%20Materia\\_Organica.pdf](http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/disciplinas/Fernando/leb36/Fasciculo%2010%20Oxigenio%20Dissolvido%20e%20Materia_Organica.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2024.
- SANTOS, Kadja Santana Dos. Hidroquímica das Águas Superficiais da Área Urbana e Entorno da Cidade de Presidente Figueiredo–Am. In: II Congresso de Iniciação Científica PIBIC/CNPq-PAIC/FAPEAM. 2013.

- SANTOS, J.O.S.; HARTMANN, L.A.; GAUDETTE H.E.; GROVES D.I.; MCNAUGHTON, N.J.; FLETCHER I.R. A new understanding of the Amazon Craton Provinces based on integration of fieldmapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, 2000. v. 3, n. 4, p 453-488.
- SIOLI, Harald. Valores de pH de águas Amazônicas. Museu Paraense Emilio Goeldi, 1957.
- SIOLI, Harald. Comente a tipologia dos rios amazônicos. Volume 1, Fascículo 1, Ano 1965.
- SOARES, E. A. A. TRUCKENBRODT, W.; NOGUEIRA, A. C. R. Fácies litorâneas e subglaciais da Formação Nhamundá (Siluriano inferior), região de Presidente Figueiredo, Bacia do Amazonas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, v. 2, p. 105-132, 2005.
- SOUZA, V.S. & NOGUEIRA A.C.R. Seção Geológica Manaus-Presidente Figueiredo (AM), Borda Norte da Bacia do Amazonas: Um Guia para Excursão de Campo. *Revista Brasileira de Geociências*, 2009. v. 39, n. 1, p. 16-29.
- TAVARES, Janara Dos Santos. Caracterização dos processos geodinâmicos superficiais e impactos Ambientais na trilha de acesso ao Parque Natural Municipal Cachoeira das Orquídeas – Presidente Figueiredo-AM. 2021. 141 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2021.
- TEIXEIRA, V. M. (2013). Hidrogeoquímica das Águas Subterrâneas do Município de Presidente Figueiredo–Am. In II Congresso de Iniciação Científica PIBIC/CNPq-PAIC/FAPEAM.
- TEIXEIRA, V. M., SILVA, M. L. D., MENEGÁRIO, A. A., & DOMINGOS, R. N. (2014). Dinâmica hidrogeológica das águas subterrâneas do município de Presidente Figueiredo - AM. In III Congresso de Iniciação Científica do INPA-PIBIC/CNPq/PAIC/FAPEAM, Volume 1. Brasil.
- TASSINARI, C.C.G. & MACAMBIRA, M.J.B. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 1999. v. 22, n. 3, p. 174-182.
- TASSINARI, C.C.G. & MACAMBIRA, M.J.B. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A.; Dal Ré Carneiro C.; Brito-Neves B.B., (eds). *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Ed. Beca, 2004. p. 471-485.
- TASSINARI, C.C.G.; BETTENCOURT, J.S.; GERALDES M.C.; MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M. The Amazonian Craton. In: Cordani U.G.; Milani E.J.; Thomaz Filho A.; Campos D.A., (eds). *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, 32st Inter. Geol. Congr, FINEP/CTPetro, 2000. p. 41-95.
- VANIER, Claudia etl al. Nitrato nas águas subterrâneas: desafios frente ao panorama atual. São Paulo: SIMA/IG, v. 99, 2019.
- VERAS, A. S. S., VIDAL, D. G., BARROS, N. A., & PIMENTA DINIS, M. A. (2021). Sustainability Perception of Lotic and Lentic Ecosystems in the Amazon Basin Through the Lens of a Local Community. In *Sustainable Policies and Practices in Energy, Environment and Health Research: Addressing Cross-cutting Issues* (pp. 3-20). Cham: Springer International Publishing.
- VERAS, A.S.S., VIDAL, D.G., BARROS, N.A., PIMENTA DINIS, M.A. (2022). Sustainability Perception of Lotic and Lentic Ecosystems in the Amazon Basin Through the Lens of a Local Community. In: LEAL FILHO, W., VIDAL, D.G., DINIS, M.A.P., DIAS, R.C. (eds) *Sustainable Policies and Practices in Energy, Environment and Health Research*. World Sustainability Series. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-86304-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-86304-3_1)
- VILLAMIZAR, E. A. R.; ADENEY, J. M. .; PIEDADE, M. T. F. .; JUNK, W. J. . Hydrochemical Classification Of Amazonian Rivers: A Systematic Review And Meta-Analysis . *Caminhos de Geografia, Uberlândia*, v. 21, n. 78, p. 211–226, 2020. DOI: 10.14393/RCG217853272. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/53272>. Acesso em: 24 out. 2024.
- YAN, TAO; SHEN, SHUI-LONG; ZHOU, ANNAN. Indices and models of surface water quality assessment: Review and perspectives. *Environmental Pollution*, v. 308, p. 119611, 2022.
- WASSERMAN, J. C.; DAMACENO, V. M.; LIMA, G. B. A; WASSERMAN, M. A. Spatial distribution of water quality in the Amazonian region: implications for drinking water

treatment procedures. *Journal of Water and Health*, (2019) 17 (5): 749–761.  
<https://doi.org/10.2166/wh.2019.005>

## 6. CONCLUSÃO

Este estudo apresenta uma análise detalhada das águas superficiais de nove pontos de amostragem no município de Presidente Figueiredo, na borda norte da Bacia do Amazonas, contemplando o ciclo hidrológico da região. Os resultados indicam que as águas estão em conformidade com as normas estabelecidas pelo CONAMA 357/2005 e 274/2000, que regulam a qualidade da água superficial para balneabilidade com finalidade recreativa de contato primário. As propriedades hidroquímicas das águas analisadas são, em grande parte, consistentes com os dados encontrados na literatura para a região estudada. A Lagoa Gênese (LG) destacou-se por apresentar menor influência antrópica, com valores de pH e condutividade elétrica (CE) alinhados com referências científicas. Os íons sódio (Na) e potássio (K) foram os principais constituintes da fase dissolvida, mantendo características naturais. Por outro lado, a Cachoeira do Lixão (CL) evidenciou maior presença de íons, coliformes fecais e pH próximo à neutralidade, indicando impacto humano significativo. Metais como ferro (Fe), alumínio (Al), manganês (Mn), zinco (Zn) e bário (Ba) apresentaram concentrações extremamente baixas, refletindo as condições de intemperismo das regiões tropicais úmidas, como é o caso da área de estudo. A rápida percolação da água influencia a distribuição e disponibilidade desses elementos. A conformidade das águas com os padrões regulatórios demonstra que, apesar das complexidades ambientais e pressões antropogênicas na região, a qualidade da água para recreação de contato primário atende aos padrões estabelecidos. No entanto, é crucial continuar os estudos e o monitoramento constante dos ecossistemas aquáticos para assegurar a manutenção dessa conformidade ao longo do tempo. Isso se torna ainda mais relevante diante das mudanças ambientais e das crescentes demandas por recursos hídricos.

Recomenda-se a realização de estudos adicionais focados na análise de sedimentos, permitindo um entendimento mais profundo da influência geoquímica nas águas estudadas. Esta abordagem proporcionará insights valiosos sobre a deposição e acumulação de elementos químicos ao longo do tempo, ajudando a esclarecer os processos de intemperismo e percolação que afetam a composição das águas superficiais. Assim, complementa-se o monitoramento da qualidade da água com uma perspectiva sedimentológica, contribuindo para uma gestão mais eficaz e sustentável dos recursos hídricos na região.

## 7. REFERÊNCIAS

- AAVUDAI ANANDHI, NARAYANAN KANNAN. Vulnerability Assessment Of Water Resources – Translating A Theoretical Concept To An Operational Framework Using Systems Thinking Approach In A Changing Climate: Case Study In Ogallala Aquifer. *Journal Of Hydrology*, v. 557, p. 460-474, 2018. ISSN 0022-1694. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.032>. Acesso em: 17 jun. 2024.
- ABRELPE - Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014*. São Paulo, 2015.
- ALVES, R. C.; DA SILVA, N. M.; DE ANDRADE, M. V. B.; MARQUES, E. L. Gerenciamento municipal de resíduos sólidos no Amazonas, Brasil. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 12, p. E28691211139-E28691211139, 2020.
- AMAZONAS. Versão 1.0 do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Amazonas. 2015. Disponível em: [https://www.academia.edu/36844951/Plano\\_Estadual\\_De\\_Res%C3%ADduos\\_S%C3%B3lidos\\_Do\\_Amazonas\\_-\\_PERS-AM](https://www.academia.edu/36844951/Plano_Estadual_De_Res%C3%ADduos_S%C3%B3lidos_Do_Amazonas_-_PERS-AM). Acesso em: 17 jun. 2024.
- ANDRADE, G. F.; DE BARROS, D. B. Bioindicadores microbiológicos para indicação de poluição fecal. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, n. 34, p. E1099, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.25248/reas.e1099.2019>. Acesso em: 17 jun. 2024.
- APHA. *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater*. 23 Ed. Editora American Public Health Association, EUA, 2017.
- ARCOS, A. N.; CUNHA, H. B. Índice de Qualidade de Água (IQA) e balneabilidade em praias de água doce no Rio Negro, Manaus (Amazonas). *Revista Espinhaço*, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2022.
- ARCOS, A. N.; DA CUNHA, H. B. Índice de Qualidade de Água (IQA) e balneabilidade em praias de água doce no Rio Negro, Manaus (Amazonas). *Revista Espinhaço*, 2022.
- ARCOS, A. N.; SILVA, J. S.; CUNHA, H. B. Grupo coliforme fecal como indicador de balneabilidade em praia de água doce no Rio Negro, Amazonas. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, p. e238974015, 2020.
- ARCOS, Adriano Nobre; DA SILVA, Jonismar Souza; DA CUNHA, Hillândia Brandão. Grupo coliforme fecal como indicador de balneabilidade em praia de água doce no Rio Negro, Amazonas. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, p. e238974015e238974015, 2020.
- ARCOS, J.; CUNHA, M. Estudo da qualidade das águas superficiais em Presidente Figueiredo, AM. *Revista de Geociências*, v. 10, n. 2, p. 45-58, 2021.
- ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO AMAZONAS. Amazonas tem um aterro controlado e 61 lixões a céu aberto, diz GT do Saneamento. 2018. Disponível em: <http://www.ale.am.gov.br/2018/01/11/amazonas-tem-um-aterro-controlado-e-61-lixoes-aceu-aberto-diz-gt-do-saneamento/>. Acesso em: 17 jun. 2024.
- BASHIR, Arshid et al. Remoção de íons de metais pesados do sistema aquoso por métodos de troca iônica e biossorção. *Cartas de Química Ambiental*, v. 17, p. 729-754, 2019.
- BHATERIA, R.; JAIN, D. Avaliação da qualidade da água do lago: uma revisão. *Sustentar. Recursos Hídricos. Gerenciar*, v. 2, p. 161-173, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40899-015-0014-7>. Acesso em: 17 jun. 2024.

- BONIFÁCIO, C. M.; DE NÓBREGA, M. T. Parâmetros de qualidade da água no monitoramento ambiental. In: Recursos Hídricos: Gestão, Planejamento e Técnicas em Pesquisa. v. 1, p. 219-232. Editora Científica Digital, 2021.
- BULIA, Isabella Longhi. Hidrogeoquímica de águas minerais envasadas do estado de São Paulo. 2017. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.
- CABRAL, L. D. P. Propriedades físico-hídricas e adsorptivas de nitrato, fosfato e potássio em um solo da Floresta Nacional do Pau-Rosa, Amazonas, Brasil. 2023. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.
- CALVO, Bruno Del Rio. Avaliação da influência antrópica na drenagem do Igarapé do Quarenta e Orla de Manaus. 2018. 111 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.
- CÁUPER, G.C.B. A influência das atividades de exploração de petróleo e os impactos ambientais e socioeconômicos na cidade de Coari. 2000. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2000.
- CONAMA 357/2005. Disponível em: [http://pnqa.ana.gov.br/publicacao/RESOLUCAO\\_CONAMA\\_N\\_357.PDF](http://pnqa.ana.gov.br/publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_N_357.PDF). Acesso em: 17 jun. 2024.
- COSTA, Amanda Cristine Santos da et al. Intemperismo químico e influência antropogênica em uma bacia tropical granito-gnáissica situada na região Serrana-RJ. 2017.
- COSTA, Beatriz Ferraz da. Análise temporal do potencial de recarga de aquíferos na bacia hidrográfica do Lago Paranoá, Brasília - DF. 2019. 50 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Ambientais) — Universidade de Brasília, Brasília, 2019.
- COSTA, G. B. Avaliação dos efeitos dos metais pesados cádmio, chumbo, cobre e manganês, na morfologia e na fisiologia da macroalga *Sargassum cymosum*. 2015. 130 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2015.
- CRAIG W. McDOUGALL; HANLEY, Nick; QUILLIAM, Richard S.; NEEDHAM, Katherine; OLIVER, David M. Valuing inland blue space: A contingent valuation study of two large freshwater lakes. *Science of The Total Environment*, v. 715, 2020, 136921. ISSN 0048-9697. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136921>. Acesso em: 17 jun. 2024.
- CREÃO, Luciana Gonçalves Cardoso et al. Indicadores físico-químicos da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, da microbacia do Rio Capitão Pocinho, Capitão Poço–PA. 2023. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2023.
- CREÃO, Luciana Gonçalves Cardoso. Indicadores físico-químicos da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, da microbacia do Rio Capitão Pocinho, Capitão Poço – PA. Orientador: Francisco de Assis Oliveira. 78 f. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências

- Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1860>. Acesso em: janeiro de 2023.
- CUERVO, Holman Dario Rincón et al. Fácies sedimentares das unidades Siluro-Devonianas aflorantes na porção sudeste do município de Presidente Figueiredo, borda norte da Bacia do Amazonas-AM. 2014.
- CUERVO, Holman Dario Rincón et al. Fácies sedimentares das unidades Siluro-Devonianas aflorantes na porção sudeste do município de Presidente Figueiredo, borda norte da Bacia do Amazonas-AM. In: Anais do Congresso Brasileiro de Geologia, 2014.
- CUNHA, H. B.; PASCOALOTO, D. Hidroquímica dos rios da Amazônia. Manaus: Governo do Estado do Amazonas, Secretaria do Estado da Cultura, Centro Cultural dos Povos da Amazônia, 2006. Série Pesquisas, 127 p.
- CUNHA, P. R. C.; MELO, J. H. G.; SILVA, O. B. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências Petrobrás, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 227-251, maio/nov. 2007.
- DA SILVA SOUZA, Valmir; NOGUEIRA, Afonso César Rodrigues. Seção geológica Manaus–Presidente Figueiredo (AM), borda norte da Bacia do Amazonas: um guia para excursão de campo. Revista Brasileira de Geociências, v. 39, n. 1, p. 17, 2009.
- DA SILVA, Emerson Renato Maciel et al. Caracterização físico-química, química e quimiométrica de águas subterrâneas dos aquíferos Pirabas e Barreiras em municípios do estado do Pará. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 11, n. 3, p. 1026-1041, 2018.
- DA SILVA, Maria do Socorro Rocha et al. Classificação dos rios da Amazônia: uma estratégia para preservação desses recursos. Holos Environment, v. 13, n. 2, p. 163-174, 2013.
- DA SILVA, Maria do Socorro Rocha et al. Uma contribuição à hidroquímica e à tipologia das águas do Rio Amazônia e seus tributários. Caminhos de Geografia, v. 20, p. 360-374, 2019.
- DA SILVA, N. M.; DA SILVA TADRA, R. M. Geologia e Pedologia. Editora Intersaberes, 2024.
- DE ASSIS ESTEVES, Francisco. Fundamentos de Limnologia. Interciência, 1998.
- De SOUZA SARDINHA, D.; GODOY, L. H.; DA CONCEIÇÃO, F. T. Taxa de intemperismo químico e consumo de CO<sub>2</sub> em relevo cuestasiforme com substrato basáltico e arenítico no estado de São Paulo, Brasil. Geologia USP. Série Científica, v. 19, n. 2, p. 117134, 2019.
- DIPANKAR, R.; PAL, S. C.; SAHA, A.; CHOWDHURI, I.; SHIT, M. Hydrogeochemical characterization based water resources vulnerability assessment in India's first Ramsar site of Chilka Lake. Marine Pollution Bulletin, v. 184, 2022, 114107. ISSN 025-326X. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114107>.
- DOURADO, Marcela Oreana Vinhote. Avaliação dos coliformes nas águas das cachoeiras e corredeiras de Presidente Figueiredo/AM. In: IV Congresso de Iniciação Científica do INPA-CONIC. 2015.
- FALCÃO, M. M. S.; ARCOS, A. N.; DA COSTA, F. S. Avaliação da qualidade ambiental dos recursos hídricos ao longo do Rio Preto da Eva no Amazonas, Brasil. Research, Society and Development, v. 10, n. 15, p. e107101522560, 2021.
- FALCÃO, M. M. S.; COSTA, F. S.; ARCOS, A. N. Percepção ambiental de usuários e permissionários em balneário municipal de Rio Preto da Eva (AM). Revista Brasileira de Educação Ambiental (Revbea), v. 17, n. 5, p. 429-444, 2022.

- FERREIRA, Aline Batista; PEREIRA FILHO, Waterloo. Avaliação da reflectância espectral de corpos d'água em Santa Maria-RS por meio de espectrorradiometria de campo. *Geoambiente On-line*, n. 13, p. 1-14, 2009.
- FERREIRA, J. Impacto ambiental da disposição final de resíduos sólidos: estudo de caso em Presidente Figueiredo, AM. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.
- FURTULA, V.; OSACHOFF, H.; DERKSEN, G.; JUAHIR, H.; COLODEY, A.; CHAMBERS, P. Inorganic nitrogen, sterols and bacterial source tracking as tools to characterize water quality and possible contamination sources in surface water. *Water Research*, v. 46, n. 4, p. 1079-1092, 2012. DOI: 10.1016/j.watres.2011.12.002.
- GARCIA, Denise Schmitt Siqueira et al. Crise global da água: construção de categorias éticas para água a partir da verificação das problemáticas geradoras da crise. *Revista Direitos Fundamentais & Democracia*, v. 24, n. 3, p. 60-76, 2019.
- GRASSI, L. et al. Monitoramento da concentração de metais pesados em águas superficiais de Presidente Figueiredo, AM. *Journal of Environmental Monitoring*, v. 8, n. 4, p. 210-225, 2019.
- GUEMMAZ, F.; NEFFAR, S.; CHENCHOUNI, H. Physicochemical and bacteriological quality of surface water resources receiving common wastewater effluents in drylands of Algeria. *Water Resources in Algeria-Part II: Water Quality, Treatment, Protection and Development*, p. 117-148, 2020.
- GURUMURTHY, G. P. et al. Controls on intense silicate weathering in a tropical river, southwestern India. *Chemical Geology*, v. 300-301, p. 61-69, 2012. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2012.01.016.
- HÍDRICOS, C. E. D. R.; SUBTERRÂNEAS, C. T. D. Á. Nitrato nas águas subterrâneas: desafios frente ao panorama atual/São Paulo. Conselho Estadual de Recursos Hídricos, Câmara Técnica de Águas Subterrâneas-São Paulo: SIMA/IG, 2019.
- HORBE, A. M. C.; OLIVEIRA, L. G. de S. Química de igarapés de água preta do nordeste do Amazonas - Brasil. *Acta Amazonica*, v. 38, n. 4, 2008. DOI: 10.1590/S004459672008000400020.
- HUTCHINSON, G. E.; LÖFFLER, H. The thermal classification of lakes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 42, n. 2, p. 84-86, 1956.
- JARDIM, Wilson F. Medição e interpretação de valores do potencial redox (Eh) em matrizes ambientais. *Química Nova*, v. 37, p. 1233-1235, 2014.
- K. NIRMALA et al. Assessment of physico-chemical parameters of surface waters of a tropical brackish water lake in South Asia. *Environmental Research*, v. 214, parte 2, 2022. DOI: 10.1016/j.envres.2022.113958.
- KUMAR, S.; PANDEY, A. K.; RANJAN, R. Impact of heavy metals in aquatic system and human health: a review. *Journal of Biodiversity, Environmental Sciences & Sustainable Development*, v. 11, n. 3, p. 96-108, 2020.
- LAGES, A. D. S. et al. Parâmetros físicos (temperatura, condutividade elétrica e turbidez) na avaliação de corpos de água impactados na área urbana da cidade de Manaus, AM. *Revista*, 2022.
- LAGES, A. D. S. et al. Razões iônicas como marcadores de interações entre água superficial e aquífero no Igarapé do Quarenta, em Manaus-AM. *Revista*, v. 45, e37, 2023.

- LAGES, A. D. S.; HORBE, A. M. C.; MOQUET, J. S. Geoquímica de rios de água preta do sudeste do Amazonas: origem, fluxo dos elementos e consumo de CO<sub>2</sub>. *Acta Amazonica*, v. 43, p. 343-352, 2013.
- LARAQUE, A. et al. Seasonal variability of total dissolved fluxes and origin of major dissolved elements within a large tropical river: The Orinoco, Venezuela. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 44, n. 2, p. 4-17, 2013. DOI: 10.1016/j.jsames.2012.12.011.
- LI, Peiyue; TIAN, Rui; LIU, Rong. Geoquímica de solutos e análise multivariada da qualidade da água na mina de fosforita de Guohua, província de Guizhou, China. *Exposição e Saúde*, v. 11, p. 81-94, 2019.
- LIMA, Renilda Fátima Gonçalves de. Hidrogeologia e vulnerabilidade do aquífero cárstico Salitre na bacia Una-Utinga, Bahia. 2020. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 2020.
- LIMONGE, J. P.; DOS SANTOS JÚNIOR, A. P. Turismo espeleológico na Amazônia: estudo de caso da caverna do Maroaga em Presidente Figueiredo, ano 2006. *Revista Acadêmica Observatório de Inovação do Turismo*, 1-A, 2007.
- MARTHOS, V. S. Recuperação de áreas contaminadas por lixões. Instituto Mauá de Tecnologia. CEUN/EEM. São Caetano do Sul - SP, 2023. Disponível em: <https://repositorio.maua.br/handle/MAUA/467>.
- MARTINS, B. L. Gestão dos resíduos sólidos urbanos: análise documental e estudo comparativo entre aterro sanitário e incineração para geração de energia. 2017. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017.
- MCDOUGALL, B. et al. Avaliação bacteriológica de águas superficiais na região de Presidente Figueiredo, AM. *Revista de Ecologia Aquática*, v. 5, n. 1, p. 30-45, 2020.
- MELO, E. G. F.; SILVA, M. D.; MIRANDA, S. A. F. Influência antrópica sobre águas de igarapés na cidade de Manaus-Amazonas. *Caminhos de Geografia*, v. 5, n. 16, p. 40-47, 2005.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília: Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, 2006. 212 p. (Série B. Textos Básicos de Saúde). Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia\\_controle\\_qualidade\\_agua.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf).
- MOLINARI, Deivison Carvalho; CARVALHO, Daniella Paiva de. Neotectônica no Amazonas: análise geomorfológica-geológica na BR 174. *Confins. Revue FrancoBrésilienne de Géographie/Revista Franco-Brasilera de Geografia*, n. 43, 2019.
- NOGUEIRA, Afonso César Rodrigues; SARGES, Roseane R. Characterization and genesis of waterfalls of the Presidente Figueiredo region, northeast state of Amazonas, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 73, p. 287-301, 2001.
- NOGUEIRA, Afonso César Rodrigues; TRUCKENBRODT, Werner; SOARES, Emílio Alberto Amaral. O icnogênero *Arthropycus* de depósitos sublitorâneos da Formação Nhamundá (Siluriano Inferior) da Bacia do Amazonas, região de Presidente Figueiredo. *Brazilian Journal of Geology*, v. 29, n. 2, p. 135-140, 1999.
- OBREGÓN, Phalcha Luízar et al. Elevadas concentrações de metais em águas do córrego São José, Cascavel (PR), e possíveis riscos à saúde. *Saúde e Pesquisa*, v. 12, n. 1, p. 51-61, 2019.
- OKOGBUE, C. O.; OMONONA, O. V.; AGHAMELU, O. P. Avaliação qualitativa das águas subterrâneas da área do complexo subterrâneo de Egbe-Mopa, centro-norte da Nigéria. *Environ Earth Sci*, v. 67, p. 1069-1083, 2012. DOI: 10.1007/s12665-012-1552-z.

- OMS - Estatísticas Mundiais de Saúde, 2017: Monitoramento da saúde para os ODS, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Genebra: Organização Mundial da Saúde, 2017. Licença: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255336/9789241565486>.
- PARRON, Lucília Maria. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. 21. ed. Embrapa-Florestas, 2011.
- PENTEADO, T. B.; BRANCHI, B. A. O acesso à água e saneamento na promoção do desenvolvimento humano. Revista Científica ANAP Brasil, v. 14, n. 35, 2021. DOI: 10.17271/19843240143520212918.
- PEREIRA, Luís Flávio; DE BARROS CRUZ, Gabriela; GUIMARÃES, Ricardo Morato Fiúza. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. Journal of Environmental Analysis and Progress, p. 122-129, 2019.
- PESSOA, D. S. Avaliação de impactos ambientais em áreas de disposição final de resíduos sólidos no semiárido. 2019. 93 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/6097>.
- PONGELUPPE, Andrea Tavares et al. Avaliação de coliformes totais, fecais e enterobactérias em bebedouros localizados em uma instituição de ensino de Guarulhos. Revista Saúde-UNG-Ser, v. 3, n. 2, p. 5-9, 2009.
- QUEIROZ, C. P. S.; RUBIM, M. A. L. Avaliação da condição de balneabilidade na orla urbana de Manaus/AM/Brasil. Scientia Amazonia, v. 5, n. 2, p. 24-33, 2016.
- QUEIROZ, M. M. A.; HORBE, A. M. C.; SEYLER, P.; MOURA, C. A. V. Hidroquímica do Rio Solimões na região entre Manacapuru e Alvarães: Amazonas-Brasil. Acta Amazonica, v. 39, p. 943-952, 2009.
- ROCHA, L. C. R. D.; HORBE, A. M. C. Contaminação provocada por um depósito de lixo no aquífero Alter do Chão em Manaus-AM. Acta Amazônica, v. 36, p. 307-312, 2006.
- RODRIGUES, N. B.; DE ALMEIDA VIEIRA, F.; MENDES, L. D. Elementos-traço em águas superficiais e tecnossolos como geoindicadores de mudanças ambientais antropogênicas em sistema fluvial da Baixada Fluminense: Las aguas y los suelos urbanos en el análisis de los geoindicadores de los cambios ambientales antropogénicos. Revista do Departamento de Geografia, v. 41, e171126-e171126, 2021.
- SAHOO, Prafulla Kumar et al. Levantamento hidrogeoquímico de alta resolução e estimativa de concentrações de linha de base de elementos-traço em águas superficiais da bacia do rio Itacaiúnas, sudeste da Amazônia: implicações para estudos ambientais. Jornal de Exploração Geoquímica, v. 205, p. 106321, 2019.
- SANTANA, G. P.; BARRONCAS, P. D. S. R. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na bacia do Tarumã-Açu Manaus (AM). Acta Amazônica, v. 37, p. 111118, 2007.
- SANTOS, Bianca Brito Dos. Avaliação dos coliformes nas águas do Rio Negro, balneários ao longo da orla de Manaus/AM. In: Anais do V Congresso de Iniciação do INPA-CONIC, 2016.
- SARDINHA, D. de S.; GODOY, L. H.; DA CONCEIÇÃO, F. T. Taxa de intemperismo químico e consumo de CO<sub>2</sub> em relevo cuestasiforme com substrato basáltico e arenítico no Estado de São Paulo, Brasil. Geologia USP. Série Científica, v. 19, n. 2, p. 117-134, 2019.

DOI: 10.11606/issn.2316-9095.v19-140702.

SARDINHA, Levy Tadin. Fontes de fósforo no crescimento e fisiologia de mudas de café arábica. 2019. 60 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de PósGraduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.

SARGES, R. R. Geologia e compartimentação geomorfológica da região de Presidente Figueiredo, 2001.

SILVA JÚNIOR, Gilberto Pedro da et al. Categorização de lagos amazônicos a partir de imagens CBERS. In: Anais do Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, 2012.

SILVA, A. et al. Avaliação da contaminação por nitrato em águas superficiais de Presidente Figueiredo, AM. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 15, n. 3, p. 102-115, 2022.

SILVA, A. R. B. Avaliação morfológica e elemental num modelo experimental de intoxicação com metais pesados. 2014. 139 f. Dissertação (Mestrado em Química Forense) – Universidade de Coimbra, 2014.

SILVA, E. D. Impactos da contaminação por metais tóxicos no ecossistema aquático: uma revisão bibliográfica. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 2, n. 1, p. 45-58, 2014.

SILVA, F. V. da et al. Avaliação de risco ecológico de solos contaminados pelas abordagens ERAGS e TRIAD: aplicabilidade no contexto brasileiro. Águas Subterrâneas, v. 33, n. 3, p. 229-237, 2019.

SILVA, M. A. L. D. Avaliação arqueo-espeleológica das cavernas da Raiz, Raio, Onça e Batismo do município de Presidente Figueiredo-Amazonas, 2007.

SILVA, M. B. D. Análise dos níveis de metais potencialmente tóxicos e análise microbiológica nas águas da bacia do Educandos (Manaus-AM), 2010.

SILVA, M. S.; UENO, B. Poluição por metais pesados: uma análise crítica da situação no Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Ambiental, v. 7, n. 2, p. 121-132, 2008.

SILVA, R. T.; ALMEIDA, F. P. Impacto das chuvas nas concentrações de ferro e alumínio em águas de Presidente Figueiredo, AM. Jornal de Estudos Ambientais, v. 28, n. 3, p. 456467, 2020.

SIOLI, H. (1984). The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses, and river types. In H. Sioli (Ed.), The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin (pp. 127-165). Dordrecht: Springer.

SOARES, E. A. A.; TRUCKENBRODT, W.; NOGUEIRA, A. C. R. Fácies litorâneas e subglaciais da Formação Nhamundá (Siluriano Inferior), região de Presidente Figueiredo, Bacia do Amazonas. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 2, p. 105-132, 2005.

SOARES, Simone Cesario; SIGNOR, Altevir. Água um bem de todos: interfaces desenvolvimento e sustentabilidade. Research, Society and Development, v. 10, n. 9, p. e1310917728-e1310917728, 2021.

SODRÉ, Fernando Fabríz. Fontes difusas de poluição da água: características e métodos de controle. Agricultura, v. 1, n. 2, p. 3, 2012.

TOWFIQUL ISLAM, A. R. M.; SHEN, S.; BODRUD-DOZA, M.; SAFIUR RAHMAN, M. Avaliação da qualidade da água de irrigação no distrito de Faridpur em Bangladesh usando vários índices e abordagens estatísticas. Arab J Geosci, v. 10, p. 418, 2017. DOI: 10.1007/s12517-017-3199-2.

TUCCI, C. E. M.; ESPANHOL, I.; CORDEIRO NETO, O. de M. Gestão de água no Brasil. 2a ed. Brasília, DF, Brasil: UNESCO, 2001.

VASCONSELLOS, Gabriel Rodrigues. Avaliação das condições de oxirredução em sistema alagado construído de escoamento horizontal subsuperficial. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

VILLES, V. S.; VELHO, J. P.; CHRISTOFARI, L. F.; LAZZARI, R. Água como bem econômico: dessalinização para o combate da escassez hídrica no agronegócio. *Multitemas*, v. 24, n. 57, p. 217-231, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.20435/multi.v24i57.2152>.

WANG, L.; ZHANG, L.; CAI, W.; WANG, B.; YU, Z. Consumption of atmospheric CO<sub>2</sub> via chemical weathering in the Yellow River Basin: the Qinghai-Tibet Plateau is the main contributor to the high dissolved inorganic carbon in the Yellow River. *Chemical Geology*, v. 430, n. 1, p. 34-44, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.03.018>.

WASSERMAN, J., DAMACENO, V., LIMA, G., & WASSERMAN, M. Spatial distribution of water quality in the Amazonian region: implications for drinking water treatment procedures. *Journal of water and health*, 17 5, 749-761. 2019.

WEYNELL, M.; WIECHERT, U.; ZHANG, C. Chemical and isotopic (O, H, C) composition of surface waters in the catchment of Lake Donggi Cona (NW China) and implications for paleoenvironmental reconstructions. *Chemical Geology*, v. 435, p. 92-107, 2016.

ZEWAIL, T. M.; YOUSEF, N. S. Kinetic study of heavy metal ions removal by ion exchange in batch conical air spouted bed. *Alexandria Engineering Journal*, v. 54, n. 1, p. 83-90, 2015.

ZHANG, Bing et al. Características hidroquímicas e avaliação da qualidade da água superficial e subterrânea na planície de Songnen, Nordeste da China. *Pesquisa Sobre Água*, v. 46, n. 8, p. 2737-2748, 2012.

ZHANG, Q.; TAO, Z.; MA, Z.; TANG, W.; GAO, Q.; XU, P.; LIN, Y. Riverine hydrochemistry and CO<sub>2</sub> consumption in the tropic monsoon region: a case study in a granite-hosted basin, Hainan Island, China. *Environmental Earth Sciences*, v. 75, n. 1, p. 436, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5250-0>.