



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE ESTUDOS COSTEIROS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE BRAGANÇA
FACULDADE DE CIÊNCIAS NATURAIS

JOSÉ AILTON DA PAIXÃO COSTA

QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO CEREJA, BRAGANÇA-PA

BRAGANÇA-PA

2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

C837q Costa, José Ailton da Paixão.
Qualidade da água do Rio Cereja, Bragança Pará / José Ailton
da Paixão Costa. — 2025.
42 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Luci Cajueiro Carneiro Pereira
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade Federal do
Pará, Campus Universitário de Bragança, Faculdade de Ciências
Naturais, Bragança, 2025.

1. Eutrofização. 2. Rio Cereja. 3. Coliformes
termotolerantes. I. Título.

CDD 576.15

QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO CEREJA, BRAGANÇA-PA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Ciências Naturais da Universidade Federal do Pará, Instituto de Estudos Costeiros, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciatura em Ciências Naturais.

Orientadora: Profa. Dra. Luci Cajueiro Carneiro Pereira

BRAGANÇA-PA

2025

QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO CEREJA BRAGANÇA-PA

Trabalho de Conclusão de Curso orientado pela Profa. Dra. Luci Cajueiro Carneiro Pereira, apresentado ao Curso de Licenciatura em Ciências Naturais, pela Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do grau de licenciatura em Ciências Naturais.

APROVADA EM: 05/11/2025

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Luci Cajueiro Carneiro Pereira Orientador – UFPA

Profa. Dra. Ana Beatriz Brito Dias - UNAMA

Profa. Dra. Natália do Socorro da Silva Sousa - SEDUC

AGRADECIMENTOS

- Sou grato a todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho. À Universidade Federal do Pará (Campus Bragança) e ao Instituto de Estudos Costeiros (IECOS).
- Aos professores da Faculdade de Ciências Naturais por concederem-me inúmeros conhecimentos.
- Ao PIBIC/CNPq por ter concedido-me bolsa de Iniciação Científica durante o desenvolvimento deste estudo.
- Ao Laboratório de Oceanografia Costeira e Estuarina (LOCE) que proporcionou-me suporte para estudo e realização das análises microbiológicas.
- À professora Dr^a. Luci Cajueiro Carneiro Pereira, por seus ensinamentos e orientações ao longo desse período acadêmico.
- As colegas do Laboratório LOCE: Brenda, Jenny, Gleice e Ingrid que contribuíram de forma direta e indireta para realização desse trabalho.

RESUMO

O Rio Cereja, localizado no município de Bragança-PA, é uma Área de Preservação Permanente (APP) com aproximadamente 4 km de extensão. A qualidade de suas águas tem sido comprometida pela ausência de saneamento básico e pela ocupação desordenada de suas margens. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da água ao longo do rio, desde sua nascente até a foz, buscando compreender os impactos das atividades antrópicas sobre esse ecossistema. Foram analisadas variáveis hidrológicas como temperatura, pH, turbidez, clorofila-*a* e oxigênio dissolvido e microbiológicas incluindo enterococos, coliformes termotolerantes e coliformes totais em sete pontos distintos ao longo do curso do rio. As análises seguiram os parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que regulamenta a qualidade das águas doces de classe 2. A metodologia adotada envolveu a coleta de água superficial nos meses de junho, agosto, outubro e dezembro de 2022, além de março e julho de 2023. Para as medições *in situ* de pH, temperatura e oxigênio dissolvido, foi utilizado o multiparâmetro AKSO-AK88. A turbidez foi determinada com auxílio de um CTD; a clorofila-*a*, por espectrofotometria; os enterococcus, por meio da técnica de membranas filtrantes de acetato de celulose; e os coliformes, pela técnica de fermentação em tubos múltiplos. Os resultados indicaram que, dos pontos de coletas estudados, tiveram 99% das concentrações de oxigênio dissolvido e 29,26% dos valores de pH abaixo dos padrões exigidos pelo CONAMA. As maiores concentrações de clorofila-*a* e os níveis mais elevados de turbidez foram observados nas estações de coleta situadas em áreas mais urbanizadas. Todos os pontos analisados apresentaram colônias típicas de enterococcus nas amostras de 1, 10 e 100 ml de água. De modo geral, verificou-se uma alta taxa de contaminação por coliformes totais e termotolerantes em todos os trechos do rio. Com base nos critérios estabelecidos pelo CONAMA, conclui-se que o Rio Cereja encontra-se com todos os tipos de uso da água comprometidos, devido às elevadas concentrações de coliformes termotolerantes ao longo de seu curso. Diante desse cenário, torna-se urgente a implementação das medidas previstas no plano diretor municipal para a recuperação e preservação da qualidade hídrica do rio.

Palavras-chave: Qualidade de água, coliformes, Rio Cereja

ABSTRACT

The Cereja River, located in the municipality of Bragança-PA, is a Permanent Preservation Area (APP) with approximately 4 km of extension. The quality of its waters has been compromised by the lack of basic sanitation and the disorderly occupation of its banks. This study aimed to assess the water quality along the river, from its source to its mouth, in order to understand the impact of anthropogenic activities on this ecosystem. Hydrological variables — such as temperature, pH, turbidity, chlorophyll-a, and dissolved oxygen — and microbiological variables — including enterococci, thermotolerant coliforms, and total coliforms — were analyzed at seven distinct points along the river. The analyses followed the parameters established by CONAMA Resolution No. 357/2005, which regulates the quality of Class 2 freshwater. The methodology involved collecting surface water samples in June, August, October, and December of 2022, as well as in March and July of 2023. In situ measurements of pH, temperature, and dissolved oxygen were taken using the AKSO-AK88 multiparameter device. Turbidity was measured with a CTD; chlorophyll-a was analyzed by spectrophotometry; enterococci were identified using the cellulose acetate membrane filtration technique; and coliform concentrations were determined using the multiple-tube fermentation technique. The results indicated that, among the sampling points studied, 99% of the dissolved oxygen concentrations and 29.26% of the pH values were below the standards required by CONAMA. The highest concentrations of chlorophyll-a and turbidity levels were observed at sampling stations located in more urbanized areas. All analyzed points presented typical enterococci colonies in the 1, 10, and 100 ml water samples. Overall, a high rate of contamination by total and thermotolerant coliforms was found throughout the river. Based on CONAMA's criteria, it is concluded that all types of water use in the Cereja River are compromised due to the high concentrations of thermotolerant coliforms along its course. Given this scenario, it is urgent to implement the measures proposed in the municipal master plan to restore and preserve the river's water quality.

Keywords: Water quality, coliforms, Cereja River.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01 - Mapa da área de estudo destacando a América do Sul e o Brasil (A), parte do litoral paraense (B) e os pontos de coletas na cidade de Bragança (C), (adaptado de Ribeiro). 13
- Figura 02 - Fotos representando os pontos de coleta (P1 a P7), onde é possível ver as áreas de balneário (P1-P3), construções nas margens e o assoreamento no leito do rio (P4-P6), e área de manutenção de embarcações (P7), (fonte: autor). 15
- Figura 03 - Valores de precipitação total mensal (mm) durante o período de estudo (2022-2023). As setas indicam os meses de realização das coletas. Fonte: INMET, Estação Meteorológica de Tracuateua-PA. 21
- Figura 04 - Gráfico de variação mensal e espacial com limites estabelecidos pelo CONAMA, representado pela linha tracejada. Temperatura (A-B), pH (C-D) com limites máximo e mínimo, turbidez(E-F) com limite máximo, oxigênio dissolvido (G-H) com limite mínimo e clorofila-*a* (I-J)) com limite máximo, no Rio Cereja. 24
- Figura 05 - Variação espacial das concentrações de coliformes termotolerantes no Rio Cereja, com limites estabelecidos pelo CONAMA, referente ao mês de junho (A), agosto(B), outubro (C), dezembro (D), março (E) e julho (F). A linha (**a**) refere-se ao limite de coliformes termotolerantes em corpos d'água indicado para contato primário, irrigação de frutas e vegetais consumidos crus e com casca, enquanto a linha (**b**) refere-se ao limite máximo de coliformes termotolerantes estabelecido pelo CONAMA para a conservação de ambientes aquáticos. 26
- Figura 06 - Gráficos correspondentes aos setores de ocupação antrópica, com limites estabelecidos pelo CONAMA, representado pela linha tracejada. Setor 1 menor ocupação, setor 2 ocupação moderada e setor 3 maior ocupação, variação média do temperatura (A), pH (B) com limites máximo e mínimo, turbidez (C) com limite máximo, oxigênio dissolvido (D) com limite mínimo e clorofila-*a* (E) com limite máximo, no Rio Cereja. 28
- Figura 07 - Gráficos comparativos por estação de coleta entre junho de 2022 e julho de 2023, com limites estabelecidos pelo CONAMA, representado pela linha tracejada. Variação de temperatura (A), pH (B) com limites máximo e mínimo, oxigênio dissolvido (C) com limite mínimo e clorofila-*a* (D) com limite máximo , no Rio Cereja. 30
- Figura 08 - Gráficos comparativos por setores de ocupação antrópica entre junho de 2022 e julho de 2023. Com limites estabelecidos pelo CONAMA, representado pela linha tracejada. Setor 1 menor ocupação, setor 2 ocupação moderada e setor 3 maior ocupação, variação de temperatura (A), pH (B) com limites máximo e mínimo, oxigênio dissolvido (C) com limite mínimo e clorofila-*a* (D) com limite máximo, no Rio Cereja. 32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral.....	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3. ÁREA DE ESTUDO	12
3.1 Caracterização dos pontos de coleta.....	14
3.2 Caracterização dos setores de baixa, média e alta influência antrópica.....	15
4. METODOLOGIA	16
4.1 Levantamento Bibliográfico	16
4.2 Precipitação Pluviométrica	16
4.3 Trabalho em Campo	17
4.4 Trabalho em Laboratório	17
4.5 Análise Estatística.....	19
5. RESULTADOS	20
5.1 Precipitação pluviométrica	20
5.2 Variáveis físico-químicas.....	21
5.3 Análises microbiológicas.....	25
5.4 Variáveis hidrológicas e microbiológicas por setores de ocupação antrópica	27
5.5 Dados comparativos entre junho de 2022 e julho de 2023 das variáveis hidrológicas e microbiológicas.....	29
5.6 Dados comparativos entre junho de 2022 e julho de 2023 das variáveis hidrológicas e microbiológicas por setores de ocupação antrópica.....	31
6. DISCUSSÃO	33
6.1 Análise espacial por setores de ocupação.....	33
6.2 Análise temporal por setores de ocupação.....	34
6.3 Tipos de uso do Rio Cereja.....	35
6.4 Tipos de uso permitidos segundo os dados do CONAMA.....	36
6.5 Implicações da qualidade do Rio Cereja para a gestão costeira e medidas mitigadoras.....	37
7. CONCLUSÕES	38
8. REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

A água faz parte do cotidiano de todos os seres vivos e é indispensável na manutenção da vida, sendo necessária como por exemplo, na produção agrícola, industrial, para a geração de energia, navegação e abastecimento humano (TUCCI & CHAGAS, 2017). Há várias décadas, a forma como as populações interagem com água tem sido negligenciada, devido a sua abundância e pela concepção errônea de que a mesma é um recurso infinito, porém as altas pressões exercidas com o passar dos anos sobre os recursos hídricos tais como o aumento populacional, a demanda agrícola e a contaminação da água e solo, evidenciam que a quantidade não é garantia de qualidade (TOZI *et al.*, 2018).

De acordo com Pitrat (2010), mais de 85% da população brasileira vive em áreas urbanas; no entanto, a falta de planejamento urbano em diversos municípios favorece a ocupação irregular do solo, gerando uma série de impactos ambientais.

O despejo de esgoto diretamente em corpos hídricos, como rios, pode desencadear processos de eutrofização caracterizados pelo excesso de nutrientes e matéria orgânica que afetam negativamente os ecossistemas aquáticos em curto prazo. Entre os efeitos recorrentes da eutrofização estão a redução da biodiversidade, a alteração da biota dominante, o aumento da biomassa de organismos indicadores de contaminação, elevação da turbidez, intensificação da sedimentação, diminuição da vida útil de reservatórios e o surgimento de condições anóxicas nas águas afetadas (HELLAWELL, 1992).

Além dos impactos ambientais, o lançamento de esgoto também representa riscos à saúde pública. Segundo Silva *et al.* (2013), a presença de microrganismos patogênicos pode causar doenças gastrointestinais, irritações oculares e dermatológicas. Dentre esses microrganismos, os coliformes termotolerantes são amplamente utilizados como indicadores microbiológicos da qualidade da água.

O município de Bragança, situado no nordeste do estado do Pará, possui uma população estimada em 123.082 habitantes (IBGE, 2022). Apesar do crescimento populacional anual de 2,1%, a cidade ainda carece de infraestrutura básica de saneamento, como coleta de esgoto, abastecimento de água potável, coleta regular de resíduos sólidos e estações de tratamento. Além disso, não há programas habitacionais suficientes para atender a população em situação de vulnerabilidade que ocupa, de forma irregular, áreas de conservação e preservação ambiental.

Como consequência, muitos desses moradores acabam se estabelecendo às margens dos rios por meio de assentamentos não regulamentados. Isso tem intensificado os impactos antrópicos sobre os recursos hídricos locais, com destaque para construções irregulares, assoreamento e lançamento de esgoto diretamente nos rios, especialmente nas áreas mais urbanizadas da cidade.

Diante desse cenário, este estudo tem como foco o Rio Cereja afluente do rio Caeté com o objetivo de compreender os efeitos do crescimento urbano desordenado e da falta de saneamento básico sobre a qualidade de suas águas superficiais. Conforme a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, as margens do Rio Cereja são consideradas Área de Preservação Permanente (APP), sendo sua ocupação proibida em razão da importância ambiental para a preservação dos recursos hídricos, da paisagem, da estabilidade geológica e da biodiversidade, além de garantir o fluxo gênico da fauna e flora, a proteção do solo e o bem-estar das populações humanas locais (Art. 3º, inciso II, Lei nº 12.651).

A ausência de um sistema eficiente de coleta e tratamento de esgoto compromete não apenas a qualidade das águas superficiais do estuário do rio Caeté e do Rio Cereja, mas também afeta outros corpos hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos, nas zonas urbana e rural de Bragança (GORAYEB, 2008).

A relevância deste estudo consiste na análise dos impactos do despejo de esgoto doméstico ao longo do Rio Cereja, desde sua nascente até a foz. Para isso, foram avaliados indicadores ambientais físicos, químicos e microbiológicos em áreas com diferentes níveis de influência antrópica (baixa, moderada e alta) nos anos de 2022 e 2023.

As análises foram conduzidas com base nos parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que define os critérios para a classificação dos corpos d'água e estabelece padrões de qualidade para ambientes aquáticos e águas doces, a fim de verificar se a água está adequada ou não para uso direto ou indireto. Com os resultados obtidos, foi possível identificar os trechos com maior nível de contaminação e avaliar possíveis alterações na qualidade da água ao longo dos últimos anos, por meio da comparação com dados anteriores.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar o monitoramento da qualidade da água do Rio Cereja, visando compreender os impactos ambientais decorrentes das atividades antrópicas e naturais ao longo de seu curso.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os parâmetros hidrológicas (temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido, pH e clorofila-*a*) e microbiológicas (enterococos, coliformes termotolerantes e totais), considerando influências naturais e antrópicas.
- Analisar a relação entre as ocupações irregulares nas margens do Rio Cereja e o processo de eutrofização de suas águas.
- Apresentar resultados que contribuam para tomada de decisões por parte do poder público municipal de Bragança, para restaurar a qualidade ambiental do Rio Cereja e garantir sua sustentabilidade para usos futuros.

3. ÁREA DE ESTUDO

Geograficamente, o município de Bragança (Figura 01) está localizado na mesorregião do Nordeste Paraense e integra a microrregião Bragantina, situado entre o paralelo 01°45'71''S e a longitude 46°04'54''O. Com uma área territorial de 2.091 km².

A região possui um clima úmido e tropical, com chuvas concentradas entre os meses de janeiro a julho, a precipitação pluviométrica anual é superior aos 2.000 mm (MORAES *et al.*, 2005). Sendo que cerca de 75% a 85% desse volume ocorre no primeiro semestre (MARTORANO *et al.*, 1993; MORAES *et al.*, 2005). A temperatura média anual é de aproximadamente 27,7°C, com variações frequentes entre 25°C e 31°C. A umidade relativa do ar oscila entre 80% e 91% (MARTORANO *et al.*, 1993).

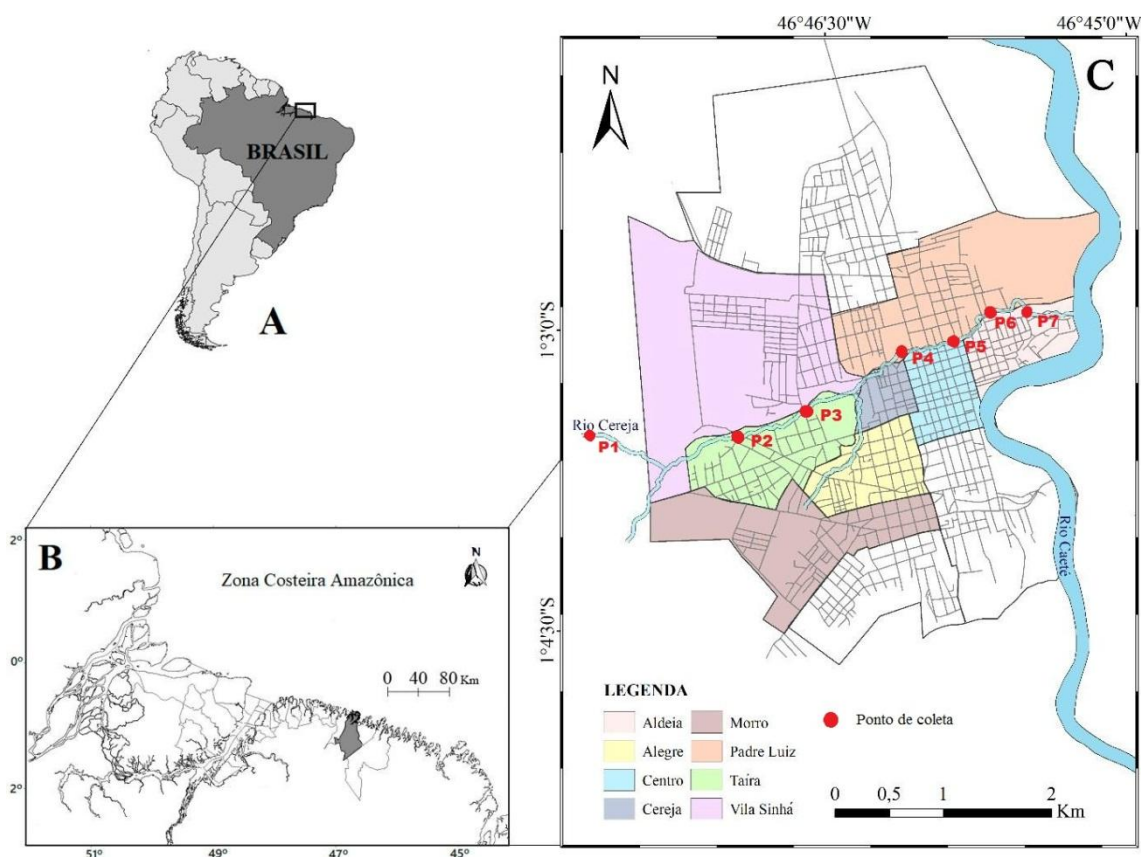


Figura 01 – Mapa da área de estudo destacando a América do Sul e o Brasil (A), parte do litoral paraense (B) e os pontos de coletas na cidade de Bragança (C), (adaptado de Ribeiro).

O Rio Cereja tem suas nascentes principais localizadas fora da zona urbana de Bragança e atravessa a cidade de oeste a leste, cortando os bairros: Vila Sinhá, Cereja, Taira, Alegre, Padre Luiz, Centro e Aldeia. Sua foz está localizada em uma área de manguezal e suas águas deságuam no estuário do Rio Caeté (figura 01C).

3.1 Caracterização dos pontos de coleta

A caracterização dos pontos está descrita abaixo e mostrada na figura 02:

- **P1** – Corresponde a uma das principais nascentes do Rio Cereja. Trata-se de uma área ainda bem preservada, com densa cobertura vegetal composta por espécies nativas e baixa interferência antrópica. Nas proximidades da nascente, há uma área destinada à balneabilidade, utilizada para recreação de contato primário.
- **P2** – Apresenta boa cobertura vegetal e presença de residências próximas ao leito do rio. É o primeiro ponto ao longo do curso do rio a receber rede de esgoto. A área também é utilizada como balneário.
- **P3** – Possui vegetação bem conservada, embora já apresente interferência humana moderada. O local abriga uma floricultura e também é utilizado para atividades recreativas de contato primário.
- **P4** – Caracteriza-se por vegetação rasteira e elevada ocupação humana. Há lançamento direto de esgoto no rio, o que compromete significativamente a qualidade da água neste trecho.
- **P5** – Localizado nas proximidades da principal via urbana (Avenida Nazezeno Ferreira), representa um ponto intermediário do curso do rio. A área recebe esgoto doméstico proveniente de residências situadas tanto na zona urbana quanto na área de proteção ambiental. É marcada por construções de alvenaria em áreas de preservação, alto grau de assoreamento e escassa vegetação ciliar.
- **P6** – Trecho navegável do rio, com baixa cobertura vegetal e intensa ocupação humana. Há diversas construções residenciais às margens, geralmente sem fossas sépticas, resultando no despejo direto de efluentes sanitários e esgoto no corpo hídrico.
- **P7** – Localizado na foz do Rio Cereja, este ponto apresenta moradias ribeirinhas, lançamento direto de esgoto, além de atividades de construção e reparo de pequenas embarcações. A área é ecologicamente peculiar, pois marca o início da formação de um ecossistema de manguezal e sofre influência das marés em determinados períodos.



Figura 02 - fotos representando os pontos de coleta (P1 a P7), onde é possível ver as áreas de balneário (P1-P3), construções nas margens e o assoreamento no leito do rio (P4-P6), e área de manutenção de embarcações (P7), (fonte: autor).

3.2 Caracterização dos setores de baixa, média e alta influência antrópica

O curso do rio foi dividido em três setores de influência antrópica, sendo levado em consideração o número de habitantes do bairro o qual faz parte a estação de coleta no Rio Cereja. Além da observação da alteração da paisagem nativa às margens do rio. A (tabela 01) mostra a estimativa de habitantes por bairro da cidade de Bragança, segundo descrito por Cavalcante (2021).

Tabela 01 - Estimativa populacional por bairros que margeia o Rio Cereja (CAVALCANTE, 2021).

Bairros	Número de Habitantes
Centro	2207
Aldeia	6311
Cereja	2480
Padre Luiz I e II	7312
Taíra	6027
Vila Sinhá	11291

Tabela 02 – Localização das estações de coleta no Rio Cereja, com os respectivos bairros, nível de influência antrópica, divisão por setores e coordenadas geográficas.

Estação de coleta	Localização	Influência antrópica	Setor	Coordenadas
P1	Fora da zona urbana	Baixa	1	S1° 03.529' W46° 47.689'
P2	Taira	Moderada	2	S1° 03.547' W46° 46.980'
P3	Taira	Moderada	2	S1° 03.377' W46° 46.558'
P4	Padre Luiz	Alta	3	S1° 03.148' W46° 46.185'
P5	Padre Luiz	Alta	3	S1° 03.088' W46° 46.003'
P6	Aldeia	Alta	3	S1° 02.895' W46° 45.592'
P7	Aldeia	Alta	3	S1° 02.931' W46° 45.419'

4. METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos, o estudo foi estruturado em três etapas principais: levantamento bibliográfico, trabalho de campo e análises laboratoriais.

4.1 Levantamento Bibliográfico

O levantamento bibliográfico foi realizado por meio da consulta a acervos acadêmicos e institucionais, incluindo artigos científicos, livros, dissertações, teses e sites governamentais. A pesquisa teve como foco temas relacionados à degradação de rios, processos de eutrofização, áreas de proteção ambiental e urbanização não planejada, entre outros assuntos pertinentes à dinâmica dos recursos hídricos.

4.2 Precipitação Pluviométrica

Os dados de precipitação foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), por meio da Estação Meteorológica localizada no município de Tracuateua-PA, no período de janeiro de 2022 a dezembro de 2023. Essa estação está situada a 17 km a oeste de Bragança e a 36 metros acima do nível do mar. O monitoramento dos padrões pluviométricos é fundamental para compreender as oscilações naturais das variáveis hidrológicas e sua possível influência sobre a qualidade da água e os níveis de contaminação microbiológica.

4.3 Trabalho em Campo

Foram definidas sete estações de coleta ao longo do Rio Cereja, abrangendo desde sua nascente até a foz. As coletas foram realizadas em seis campanhas distintas, com o objetivo de analisar variáveis físicas e microbiológicas da água, considerando diferentes níveis de influência antrópica ao longo do curso do rio (tabela 02).

As campanhas foram realizadas nos meses de junho/2022 (final do período chuvoso), agosto/2022 (início do período seco), outubro/2022, dezembro/2022 (período seco), fevereiro/2023 (início do período chuvoso) e julho/2023 (final do período chuvoso). Em cada campanha foram coletadas quatro amostras de água em cada uma das sete estações de coleta, totalizando 28 amostras por campanha. Essas amostras foram destinadas às análises microbiológicas, incluindo clorofila-*a*, enterococcus, coliformes totais e coliformes termotolerantes.

As amostras foram obtidas superficialmente com o uso de frascos de vidro âmbar, previamente esterilizados e etiquetados. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em caixas térmicas com gelo e mantidas sob refrigeração por um período inferior a 24 horas, até o momento das análises laboratoriais, conforme os protocolos estabelecidos pela *American Public Health Association* (APHA, 2004).

As medições *in situ* foram realizadas com o auxílio de um CTD para medir a turbidez da água e de um multiparâmetro AKSO-AK88, para registrar pH, temperatura e concentrações de oxigênio dissolvido, em cada estação de coleta.

Todo o material coletado foi devidamente acondicionado e transportado para o Laboratório de Oceanografia (LOCE) da Universidade Federal do Pará (UFPA), Campus Bragança. O georreferenciamento dos pontos de coleta foi realizado com o uso de GPS da marca Garmin. Além disso, foram feitos registros fotográficos em cada ponto para documentar as condições ambientais locais e identificar possíveis ocupações irregulares nas margens do rio.

4.4 Trabalho em Laboratório

No laboratório, as amostras destinadas à análise de clorofila-*a* foram submetidas a um processo de filtração a vácuo, utilizando filtros de fibra de vidro. A extração da clorofila-*a* foi realizada com acetona a 90%, e as concentrações foram determinadas por

espectrofotometria, seguindo os métodos descritos por Parsons & Strickland (1963) e pela UNESCO (1966).

A equação utilizada para o cálculo da concentração de clorofila-*a* foi:

$$\text{Clorofila-}a \text{ (}\mu\text{g/L)} = \frac{(11,85 \cdot A_{665} - 1,54 \cdot A_{645} - 0,08 \cdot A_{630}) \cdot v}{V}$$

Onde,

A= leituras da absorbância nos respectivos comprimentos de onda a que se referem seus índices;

v= volume da solução de acetona 90% (10 mL);

V= volume da amostra filtrada (mL).

O cultivo de *Enterococcus* foi realizado, através da técnica de membranas filtrantes de acetato de celulose, com 47mm de diâmetro e 0,45µm de porosidade, brancas, quadriculadas e estéreis. A técnica de amostragem foi efetuada seguindo a técnica de membrana filtrante (MÉTODO 1600, EPA2006).

A técnica baseou-se na filtração de volumes adequados de água (1, 10 e 100 ml), mediante pressão negativa (vácuo), através de membrana filtrante. As bactérias presentes nas amostras, por apresentarem dimensões maiores que os poros da membrana, ficaram retidas em sua superfície. Por sua vez, a membrana foi então transferida para uma placa de Petri, contendo o meio de cultura seletivo e diferencial para *Enterococcus* (Ágar mEI). Por capilaridade, o meio se difundiu para a membrana, entrando em contato com as bactérias e, após um período determinado de incubação (24 ± 2 h a $41 \pm 0,5^\circ\text{C}$), colônias foram desenvolvidas e apresentaram características típicas (coloração com um halo azul). Os resultados apresentados mostram apenas a presença ou ausência da formação de colônias.

A determinação do índice de coliformes totais e coliformes termotolerantes foi realizada, através da metodologia de tubos múltiplos, seguindo os procedimentos adotados pela *American Public Health Association* (2004).

O Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais e termotolerantes foram definidos em função da classificação dos tipos de água estabelecidos pela APHA (*American Public Health Association*).

Para todas as variáveis estudadas foram utilizados como base, os parâmetros de qualidade da água estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005 (Tabela 03). De acordo com a resolução, o Rio Cereja é classificado como um corpo de água doce classe 2, a qual se destina ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas de campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.

Tabela 03. Padrões de qualidade da água, de acordo com a resolução CONAMA 357/2005, para corpos de água doce, classe 2.

Parâmetros da água	Limite CONAMA
Oxigênio dissolvido	Não inferior a 5 mg L ⁻¹
pH	6 a 9
Turbidez	Até 100 UNT
Clorofila <i>a</i>	Até 30 mg m ⁻³
Enterococcus	Até 400UFC/100mL
Coliformes termotolerantes	Contato primário, irrigação de frutas e vegetais consumidos crus e com casca até 200 NPM 100 mL ⁻¹ Conservação de ambientes aquáticos até 1000 NPM 100 mL ⁻¹

4.5 Análise Estatística

Os dados foram avaliados quanto à normalidade por meio do teste de Anderson-Darling e quanto à homogeneidade das variâncias pelo teste de igualdade de variâncias baseado no teste F, utilizando o software IBM SPSS Statistics 25. Apesar da distribuição normal em alguns casos, os dados não atenderam à suposição de homogeneidade das variâncias, portanto utilizou-se a ANOVA de Welch (F – fator único, $p < 0,05$) como alternativa à ANOVA tradicional, por ser adequada mesmo quando há violação dessa premissa. Os dados foram verificados quanto à variação anual (2022/2023), por estação (chuvosa/seca), por mês e por ponto (P1 ao P7). Posteriormente, aplicou-se o método não-paramétrico post hoc de Games-Howell para comparar os grupos estudados com base nas

variáveis ordenadas.

5. RESULTADOS

5.1 Precipitação pluviométrica

Ao comparar os dois anos de estudo, observa-se que 2022 foi o mais chuvoso, com precipitação total de 2.645 mm, enquanto 2023 registrou um volume inferior, totalizando 2.102 mm (Figura 3). No segundo semestre de 2022, os índices pluviométricos foram significativamente mais elevados em relação ao mesmo período de 2023, com média e desvio padrão de $56,4 \pm 38,6$ mm, contra $11 \pm 10,5$ mm em 2023.

Durante o primeiro semestre de 2023, as chuvas foram 10,8% inferiores às de 2022. Os meses de março e abril destacaram-se como os mais chuvosos em ambos os anos, com registros de 549,7 mm e 556,7 mm em 2022, e 439,7 mm e 366,8 mm em 2023, respectivamente.

No segundo semestre de 2023, os índices de precipitação foram consideravelmente menores em comparação a 2022. Os meses de setembro e outubro apresentaram os menores volumes, com 23,8 mm e 6,2 mm, respectivamente. Outubro e novembro de 2023 também se destacaram como os meses mais secos, com registros próximos de zero (Figura 3).

Em relação aos meses em que ocorreram as campanhas de coleta, os maiores índices pluviométricos foram observados em junho de 2022 (187,3 mm), março de 2023 (439,7 mm) e julho de 2023 (137,8 mm), caracterizando o período chuvoso. Já os menores volumes foram registrados em agosto de 2022 (77,4 mm), outubro de 2022 (6,2 mm) e dezembro de 2022 (91,1 mm), correspondendo à estação seca.

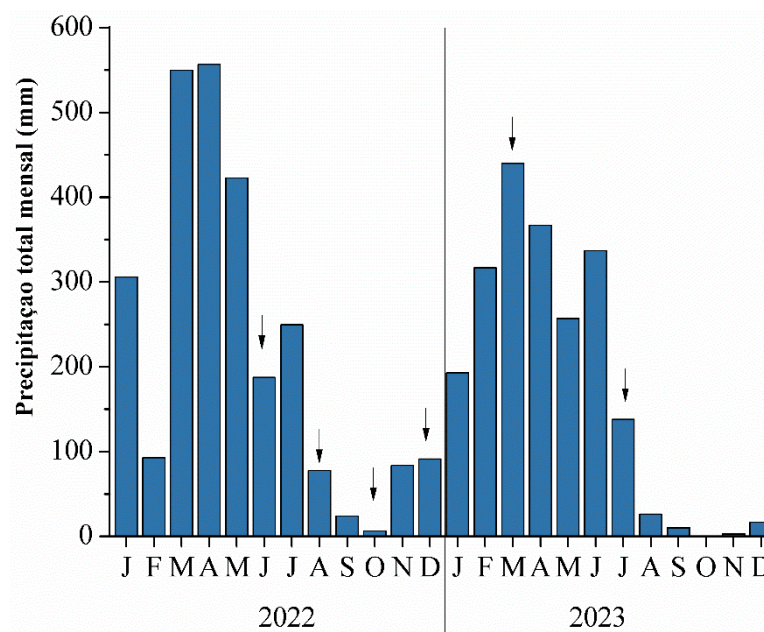


Figura 03 - Valores de precipitação total mensal (mm) durante o período de estudo (2022-2023). As setas indicam os meses de realização das coletas. Fonte: INMET, Estação Meteorológica de Tracuateua-PA.

5.2 Variáveis físico-químicas

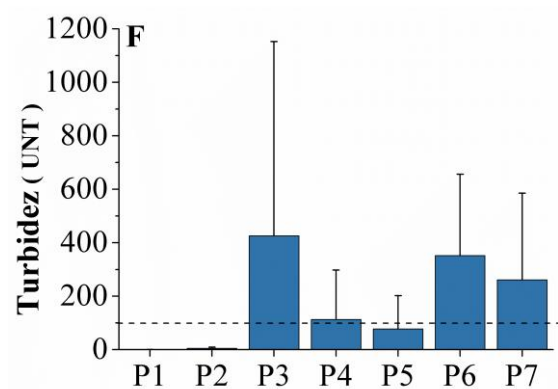
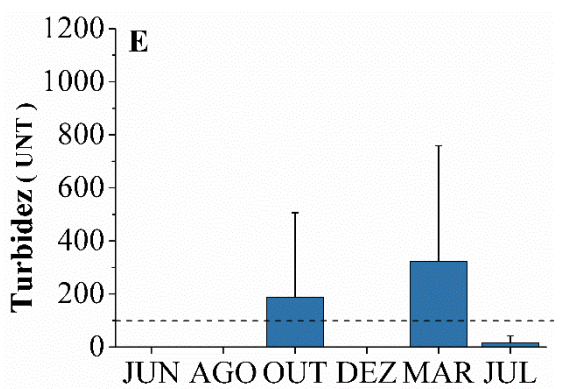
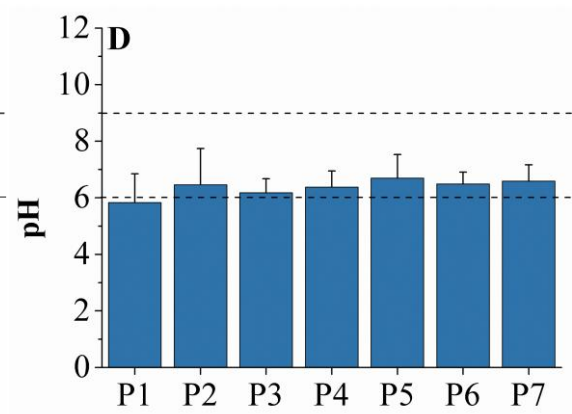
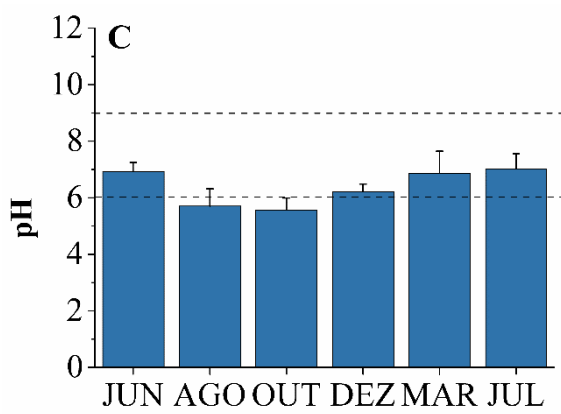
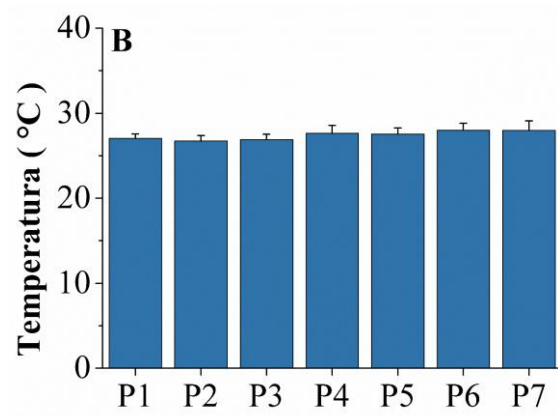
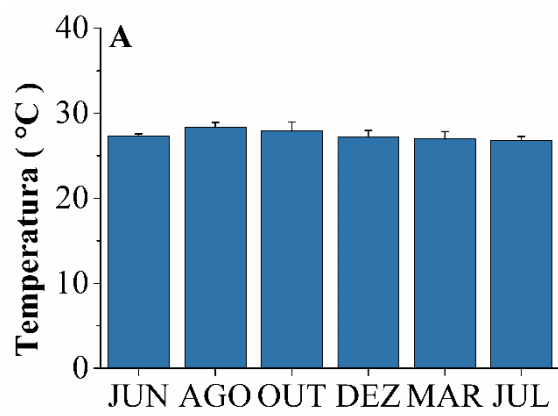
A temperatura média das águas do Rio Cereja foi relativamente elevada, com valor geral de $27,43 \pm 0,75$ °C. Houve diferença significativa entre os anos de 2022 e 2023, sendo os maiores valores registrados em 2022 ($F = 11,89$; $p = 0,002$). Sazonalmente ($F = 11,63$; $p = 0,002$), observou-se que as temperaturas foram ligeiramente superiores no período seco ($27,83 \pm 0,91$ °C) e menores no período chuvoso ($27,01 \pm 0,62$ °C). As variações mensais também apresentaram diferenças significativas ($F = 6,10$; $p = 0,002$), oscilando entre $26,79 \pm 0,48$ °C em julho de 2023 e $28,36 \pm 0,57$ °C em agosto de 2022. Espacialmente, os valores mais baixos foram registrados nas proximidades da nascente, enquanto os mais elevados ocorreram próximos à foz do rio (Figura 4A,B).

O pH médio da água foi de $6,38 \pm 0,56$. Comparando os anos de 2022 e 2023, houve diferença significativa nos valores de pH, sendo os maiores registrados em 2023 ($F = 16,20$; $p = 0,000$). Em termos sazonais, também foi observada diferença significativa ($F = 43,18$; $p = 0,000$), com os valores mais altos registrados durante a estação chuvosa ($6,94 \pm 0,56$) e os mais baixos na estação seca ($5,84 \pm 0,51$). Mensalmente, os maiores valores foram observados em julho de 2023 ($7,02 \pm 0,54$) e os menores em outubro de 2022 ($5,58 \pm 0,41$), também apresentando diferença significativa ($F = 11,50$; $p = 0,000$).

De modo geral, os dados indicam que o pH esteve dentro da faixa aceitável estabelecida pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de classe 2 (entre 6,0 e 9,0). No entanto, 28% das estações apresentaram valores inferiores a 6,0, caracterizando águas ligeiramente ácidas, especialmente nas regiões próximas à nascente. Já os valores mais elevados, próximos à neutralidade, foram registrados nas áreas próximas à foz (Figura 4C,D).

As águas do Rio Cereja apresentaram turbidez média de $176,31 \pm 242,94$ UNT, com variações entre $170,36 \pm 335,92$ UNT na estação chuvosa e $188,23 \pm 317,47$ UNT na estação seca. Os menores valores foram observados na nascente ($0,40 \pm 0,41$ UNT), enquanto o maior valor foi registrado na estação P3, em fevereiro ($425,5 \pm 726,6$ UNT). Sazonalmente, a turbidez foi mais acentuada no período seco e menos intensa durante a estação chuvosa. No total, 66% das estações de coleta apresentaram turbidez dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA (até 100 UNT) (Figura 4E,F).

A concentração média de oxigênio dissolvido nas águas foi de $3,44 \pm 0,60$ mg·L⁻¹, com variações entre $3,36 \pm 0,84$ mg·L⁻¹ no período seco e $3,52 \pm 0,79$ mg·L⁻¹ no período chuvoso. Os menores valores foram registrados em julho de 2023 ($2,96 \pm 0,57$ mg·L⁻¹), especialmente na estação P1, enquanto os maiores ocorreram em dezembro do mesmo ano ($3,99 \pm 0,62$ mg·L⁻¹), com destaque para a estação P7. Diferenças significativas não foram registradas entre os anos nem entre os períodos sazonais; entretanto, houve diferença significativa mensal ($F = 4,11$; $p = 0,013$). Apenas 4,8% das estações apresentaram concentrações de oxigênio dissolvido compatíveis com os critérios do CONAMA para águas de classe 2 (mínimo de 5 mg·L⁻¹). Além disso, 5% das estações foram classificadas como hipóxicas, com valores inferiores a 2 mg·L⁻¹ (Figura 4G,H). Espacialmente, houve diferença significativa nos valores de oxigênio dissolvido, com os maiores valores registrados no ponto P3 ($F = 4,04$; $p = 0,013$).



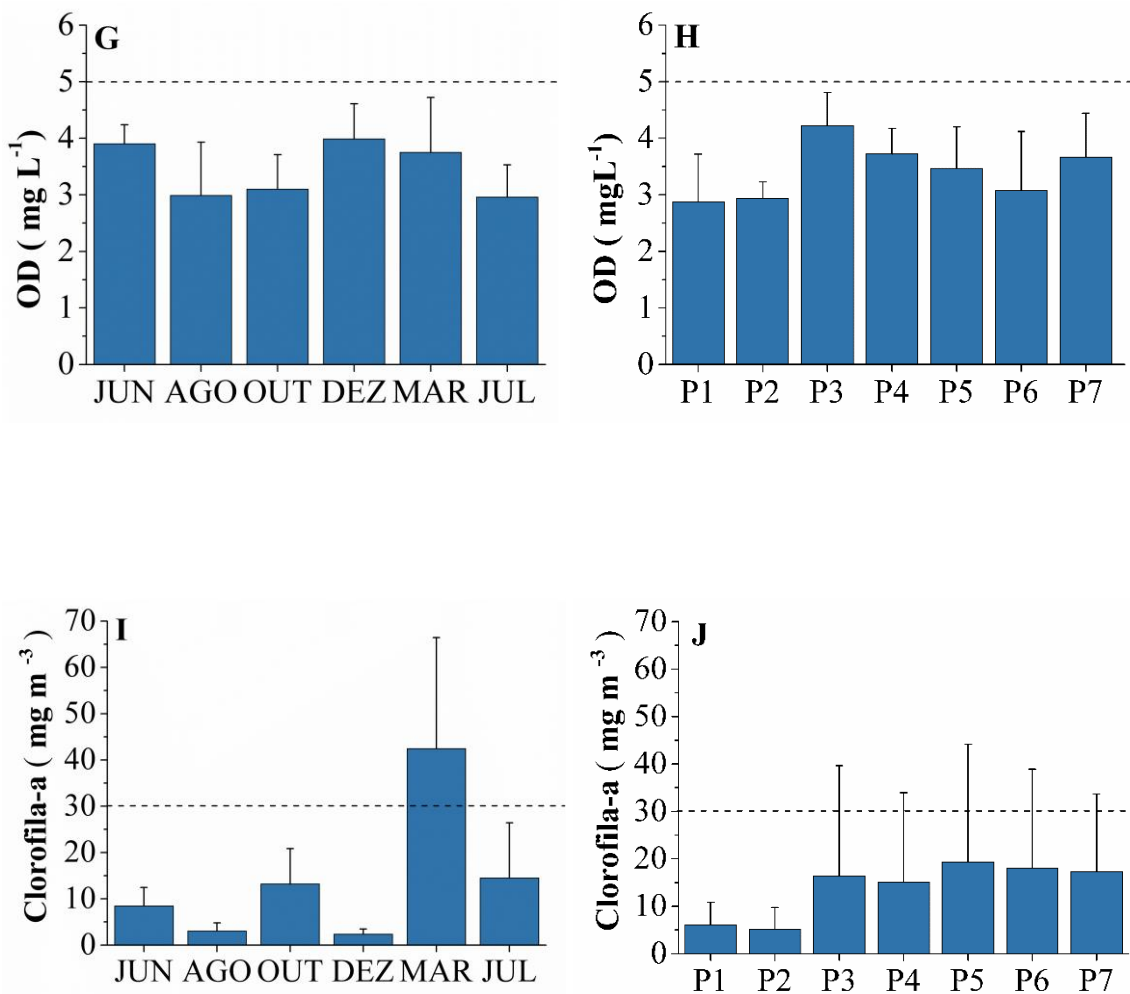


Figura 04 - Gráfico de variação mensal e espacial com limites estabelecidos pelo CONAMA, representado pela linha tracejada. Temperatura (A-B), pH (C-D) com limites máximo e mínimo, turbidez(E-F) com limite máximo, oxigênio dissolvido (G-H) com limite mínimo e clorofila-a (I-J)) com limite máximo, no Rio Cereja.

A concentração média de clorofila-*a* foi de $14,13 \pm 13,57 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Houve diferença significativa entre os anos, com os maiores valores registrados em 2023 ($F = 11,81$; $p = 0,004$). Sazonalmente, os menores valores foram registrados no período seco ($6,20 \pm 6,69 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) e os maiores no período chuvoso ($22,45 \pm 21,52 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), também com diferença significativa ($F = 10,45$; $p = 0,004$). A análise mensal revelou diferenças significativas ($F = 8,67$; $p = 0,001$), com os menores valores ocorrendo em dezembro de 2022 ($2,35 \pm 1,14 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) e os maiores em março de 2023 ($42,43 \pm 23,98 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Espacialmente, a estação P5 apresentou as maiores concentrações ($19,29 \pm 24,88 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), enquanto a estação P2 registrou os menores valores ($5,20 \pm 4,55 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Aproximadamente 85% das amostras analisadas estiveram dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA para clorofila-*a* (até $30 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) (Figura 4I,J).

5.3 Análises microbiológicas

Mais de 90% das amostras de água apresentaram níveis de coliformes totais de 1100 NMP 100 mL⁻¹ ou mais, ultrapassando o limite recomendado pelo CONAMA para a maioria dos tipos de uso de água classe 2, enquanto apenas 7,3% das amostras atenderam ao padrão da resolução CONAMA. Sazonalmente não foi observado diferença relevante entre os meses de coleta. Estiveram de acordo com a classificação do CONAMA a estação P1 (240 NMP 100 mL⁻¹) em junho de 2022, P4 (210 NMP 100 mL⁻¹) em dezembro de 2022 e P7 (210 NMP 100 mL⁻¹) em julho de 2023.

Com relação à concentração de coliformes termotolerantes, pouco mais de 90% das amostras de água apresentaram valores iguais a 1100 NMP 100 mL⁻¹ ou mais, apenas 9,7 % das amostras atenderam ao padrão da resolução CONAMA para a maioria dos tipos de uso de água classe 2 (Figura 5). Sazonalmente houve pouca diferença entre os meses de coleta. Estiveram de acordo com a classificação do CONAMA apenas as estações P1 (240 NMP 100 mL⁻¹) em junho e agosto de 2022, P4 (210 NMP 100 mL⁻¹) e P5 (93 NMP 100 mL⁻¹) em dezembro de 2022.

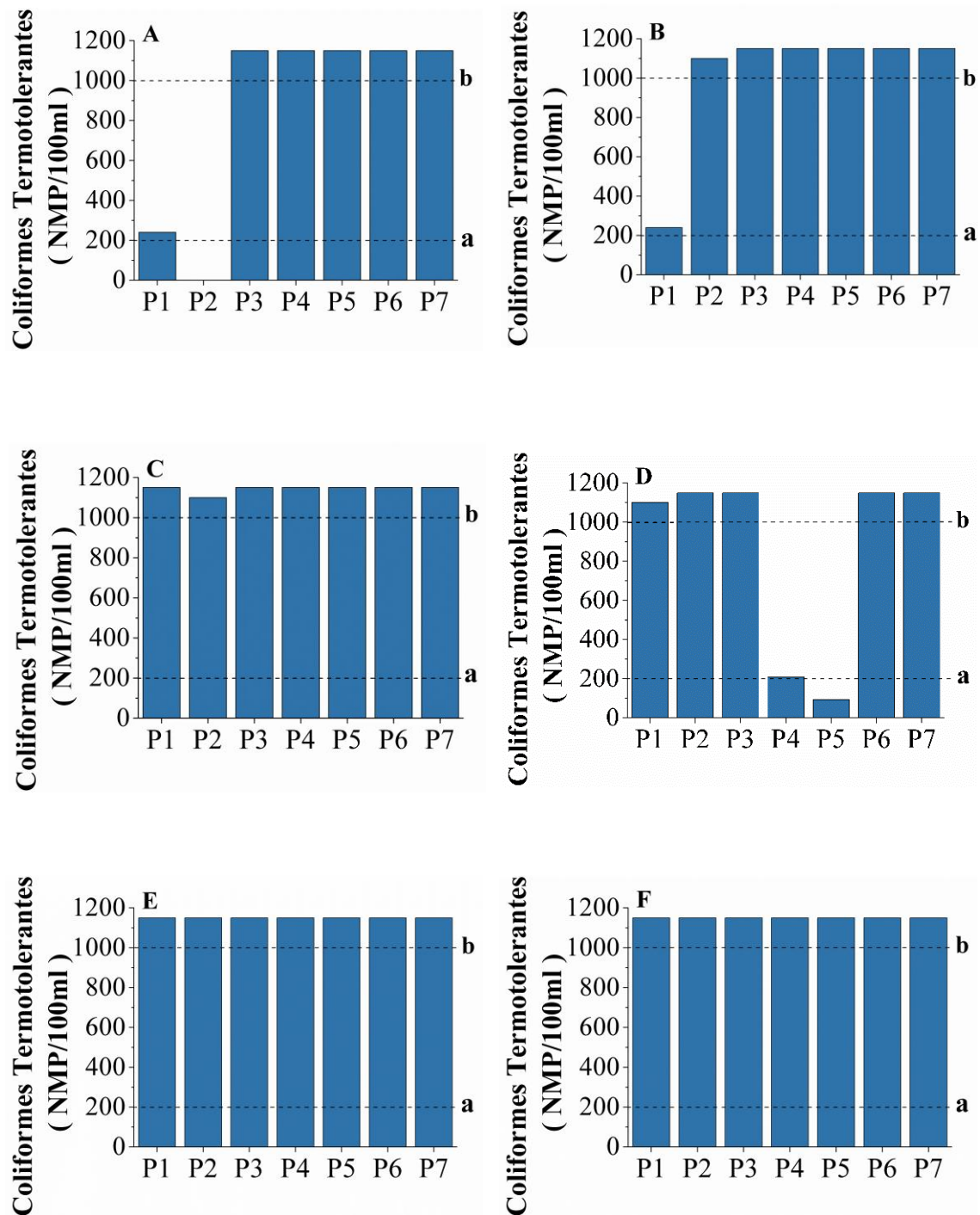


Figura 05 - Variação espacial das concentrações de coliformes termotolerantes no Rio Cereja, com limites estabelecidos pelo CONAMA, referente ao mês de junho (A), agosto(B), outubro (C), dezembro (D), março (E) e julho (F). A linha (a) refere-se ao limite de coliformes termotolerantes em corpos d'água indicado para contato primário, irrigação de frutas e vegetais consumidos crus e com casca, enquanto a linha (b) refere-se ao limite máximo de coliformes termotolerantes estabelecido pelo CONAMA para a conservação de ambientes aquáticos.

5.4 Variáveis hidrológicas e microbiológicas por setores de ocupação antrópica

A temperatura média das águas do Rio Cereja apresentou pouca variação entre os setores com diferentes níveis de ocupação antrópica. O setor de ocupação moderada registrou média de $26,83 \pm 0,62$ °C, o setor de menor ocupação apresentou $27,07 \pm 0,51$ °C, enquanto o setor de maior ocupação teve a maior média, com $27,80 \pm 0,87$ °C (Figura 6A).

O pH médio da água também não apresentou diferenças significativas entre os setores. No setor de menor ocupação (Setor 1), o valor médio foi de $5,83 \pm 1,02$; no setor de ocupação moderada (Setor 2), $6,31 \pm 0,90$; e no setor de maior ocupação (Setor 3), $6,54 \pm 0,59$. Esses valores indicam uma tendência de aumento do pH com o grau de ocupação, embora dentro de uma faixa relativamente estável (Figura 6B).

A turbidez das águas, por outro lado, apresentou variações expressivas. O setor de ocupação moderada registrou os maiores níveis ($215,34 \pm 514,00$ UNT), seguido pelo setor de maior ocupação ($200,78 \pm 241,77$ UNT). O setor de menor ocupação, localizado próximo à nascente, apresentou os menores valores ($0,40 \pm 0,41$ UNT), evidenciando a influência direta da ocupação humana na qualidade visual da água (Figura 6C).

As concentrações médias de oxigênio dissolvido foram mais baixas nos setores de menor ocupação ($2,88 \pm 0,84$ mg L⁻¹) e de ocupação moderada ($3,64 \pm 0,81$ mg L⁻¹). Curiosamente, o setor de maior ocupação apresentou valores ligeiramente superiores ($3,48 \pm 0,77$ mg L⁻¹), o que pode estar relacionado a fatores locais como maior circulação da água ou presença de vegetação aquática (Figura 6D).

As concentrações de clorofila-*a* mostraram diferenças significativas entre os setores. O setor de menor ocupação apresentou a menor média ($6,13 \pm 4,73$ mg m⁻³), seguido pelo setor de ocupação moderada ($11,28 \pm 17,69$ mg m⁻³). O setor de maior ocupação registrou os maiores valores ($17,43 \pm 19,14$ mg m⁻³), indicando maior produtividade biológica e possível processo de eutrofização (Figura 6E).

Quanto às concentrações de coliformes totais e termotolerantes, todos os setores apresentaram valores elevados, com destaque para o setor de ocupação moderada, onde todas as amostras ultrapassaram 1000 NMP 100 mL⁻¹. Os setores de baixa e alta ocupação também apresentaram valores majoritariamente acima desse limite. Esses resultados

indicam contaminação microbiológica significativa por bactérias patogênicas em todos os trechos analisados, comprometendo a qualidade da água para usos múltiplos.

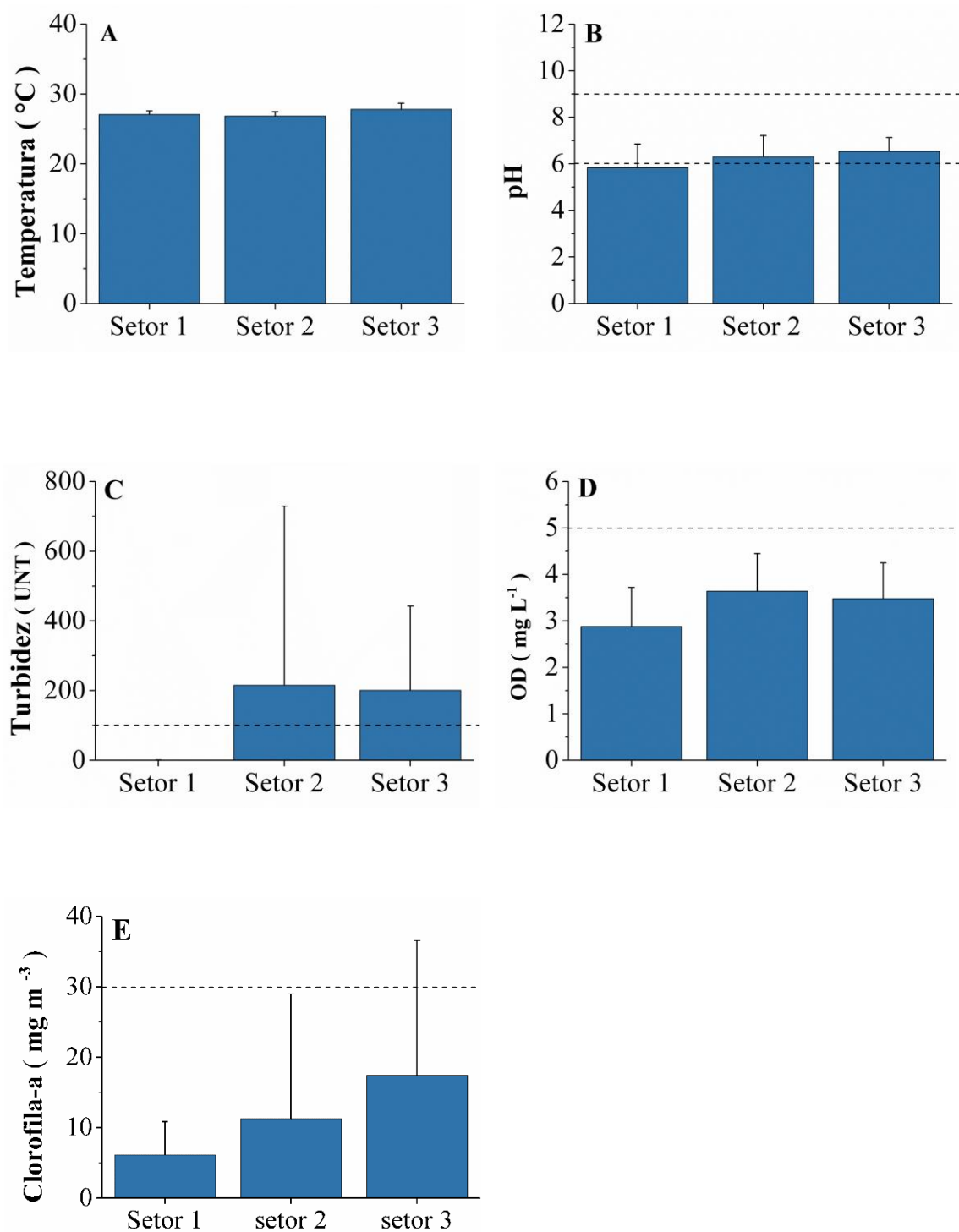


Figura 06 - Gráficos correspondentes aos setores de ocupação antrópica, com limites estabelecidos pelo CONAMA, representado pela linha tracejada. Setor 1 menor ocupação, setor 2 ocupação moderada e setor 3 maior ocupação, variação média do temperatura (A), pH (B) com limites máximo e mínimo, turbidez (C) com limite máximo, oxigênio dissolvido (D) com limite mínimo e clorofila-a (E) com limite máximo, no Rio Cereja.

5.5 Dados Comparativos entre Junho de 2022 e Julho de 2023 das Variáveis Hidrológicas e Microbiológicas.

Os meses de junho de 2022 e julho de 2023, ambos pertencentes ao período chuvoso, apresentaram características climáticas semelhantes, com níveis de precipitação relativamente próximos: 187,3 mm em junho e 137,8 mm em julho. Essa proximidade permite uma comparação consistente entre os dados obtidos nas sete estações de coleta ao longo do Rio Cereja, em dois anos distintos, dentro do mesmo contexto sazonal.

As temperaturas médias registradas foram semelhantes entre os dois meses. Em junho, todas as estações apresentaram temperatura de 27 °C. Já em julho, esse valor foi mantido apenas nas estações P5 e P6, enquanto nas demais variou entre 26,3 °C e 26,9 °C (Figura 7A).

Os valores de pH oscilaram entre 6 e 7, com variações discretas entre os dois períodos. As maiores diferenças foram observadas nas estações P1, P4 e P5. Na estação P1, o pH passou de 6,3 em junho para 7,3 em julho. Na estação P4, houve redução de 7,2 para 6,4. Já na estação P5, o pH aumentou de 7,0 para 7,8. Nas demais estações, as variações ficaram entre 0,29 e 0,53 unidades. Todos os valores permaneceram dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (Figura 7B).

Diferenças foram observadas nas concentrações de oxigênio dissolvido, especialmente nas estações P1 e P3. Em junho, P1 registrou 3,7 mg L⁻¹, enquanto em julho caiu para 1,8 mg L⁻¹, caracterizando condição hipóxica. Na estação P3, os valores foram de 4,5 mg L⁻¹ em junho e 3,3 mg L⁻¹ em julho. Nas demais estações, as variações ficaram entre 0,2 e 0,9 mg L⁻¹. Em ambos os meses, os níveis de oxigênio dissolvido estiveram abaixo do mínimo recomendado pelo CONAMA (5 mg L⁻¹) (Figura 7C).

As concentrações de clorofila-*a* apresentaram variações expressivas entre os dois períodos, com destaque para as estações P6 e P7. Em junho, P6 registrou 14,77 mg m⁻³, enquanto em julho caiu para 6,48 mg m⁻³. Na estação P7, os valores passaram de 5,48 mg m⁻³ em junho para 40,33 mg m⁻³ em julho. Nas demais estações, as diferenças variaram entre 2,98 e 5,51 mg m⁻³. Enquanto junho apresentou resultados dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA (até 30 mg m⁻³), julho ultrapassou esse limite em algumas estações (Figura 7D).

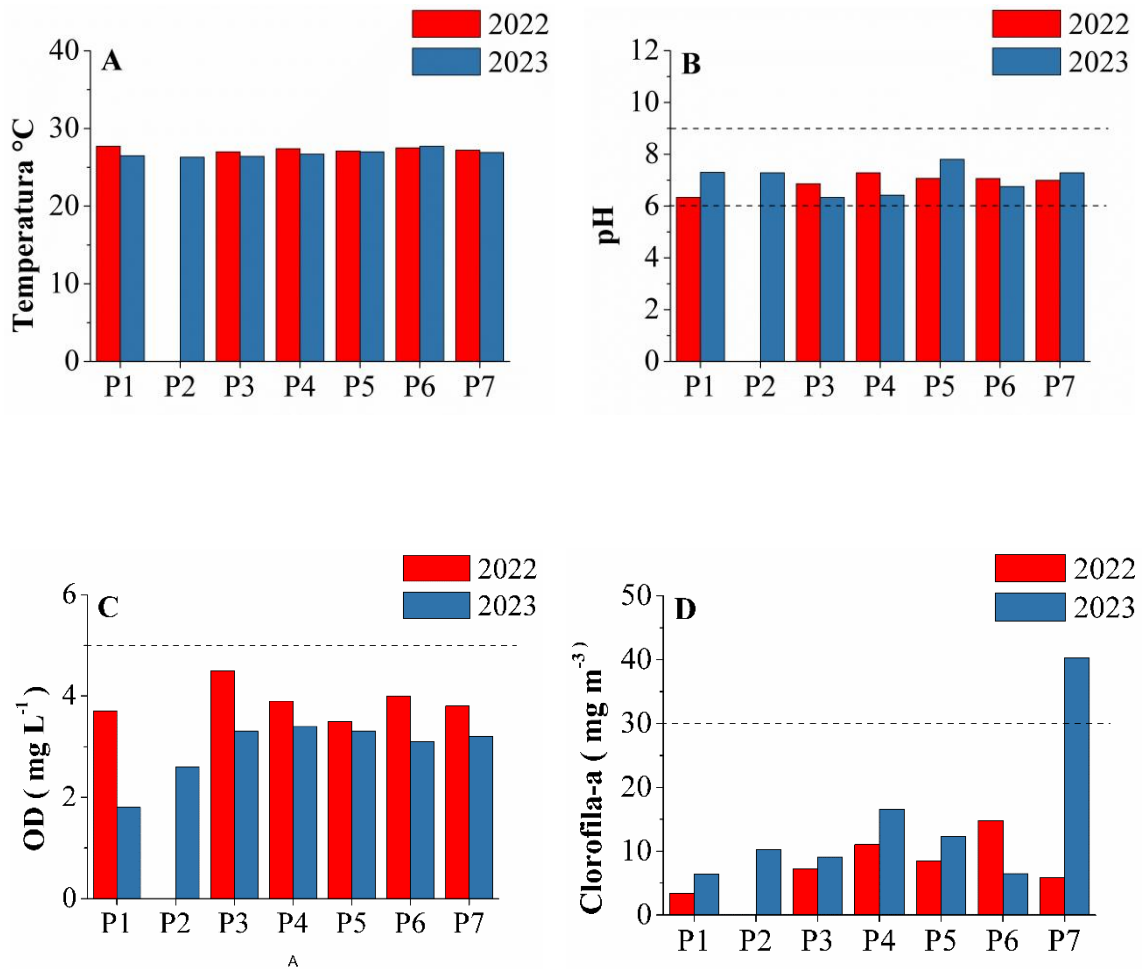


Figura 07 - Gráficos comparativos por estação de coleta entre junho de 2022 e julho de 2023, com limites estabelecidos pelo CONAMA, representado pela linha tracejada. Variação de temperatura (A), pH (B) com limites máximo e mínimo, oxigênio dissolvido (C) com limite mínimo e clorofila-a (D) com limite máximo, no Rio Cereja.

Mais de 84% das amostras coletadas em ambos os meses apresentaram concentrações de coliformes totais superiores a 1100 NMP 100 mL⁻¹, excedendo os limites recomendados pelo CONAMA. Apenas cerca de 15% das amostras estiveram em conformidade. Diferenças relevantes foram observadas nas estações P1 e P7. Em P1, junho apresentou 240 NMP 100 mL⁻¹, dentro dos padrões, enquanto julho ultrapassou 1100 NMP 100 mL⁻¹. Em P7, o cenário foi inverso: junho registrou valores acima do limite, enquanto julho apresentou 210 NMP 100 mL⁻¹, em conformidade com a legislação.

As análises indicaram que 92,3% das amostras apresentaram concentrações superiores a 1100 NMP 100 mL⁻¹, com apenas uma amostra dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA. A única exceção foi a estação P1 em junho de 2022, com

240 NMP 100 mL⁻¹. No entanto, esse mesmo ponto apresentou agravamento em julho de 2023, com valores superiores a 1100 NMP 100 mL⁻¹.

5.6 Dados Comparativos entre Junho de 2022 e Julho de 2023 das Variáveis Hidrológicas e Microbiológicas por Setores de Ocupação Antrópica

A temperatura da água do Rio Cereja apresentou variações discretas entre os setores de ocupação antrópica nos meses analisados, com diferença média de até ± 1 °C entre junho de 2022 e julho de 2023. Em junho, as temperaturas variaram entre 27,2 °C e 27,7 °C, enquanto em julho os valores oscilaram entre 26,3 °C e 26,9 °C (Figura 8A).

O pH da água apresentou diferenças moderadas entre os três setores nos dois períodos. Em junho, o setor de menor ocupação (Setor 1) registrou pH de 6,33, enquanto em julho esse mesmo setor apresentou pH mais neutro (7,30). No setor de ocupação moderada (Setor 2), os valores foram ligeiramente menores em ambos os meses: 6,86 em junho e 6,81 em julho. Já no setor de maior ocupação (Setor 3), o pH manteve-se próximo à neutralidade, com 7,10 em junho e 7,06 em julho. Todos os valores estiveram dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (entre 6,0 e 9,0) (Figura 8B).

As concentrações de oxigênio dissolvido mostraram variações significativas entre os setores e entre os meses. Em junho, as águas foram mais oxigenadas, especialmente no setor de ocupação moderada (4,50 mg L⁻¹). Em julho, os níveis foram mais baixos, com destaque para o setor de menor ocupação, que apresentou a menor concentração (1,80 mg L⁻¹). O setor moderado registrou 2,95 mg L⁻¹, e o setor de maior ocupação apresentou o valor mais elevado do mês (3,25 mg L⁻¹). Em ambos os meses, os valores ficaram abaixo do mínimo recomendado pelo CONAMA (5 mg L⁻¹), com destaque para a condição hipóxica observada em julho no setor 1 (Figura 8C).

As concentrações de clorofila-*a* apresentaram diferenças expressivas entre os meses e os setores. Em junho, os valores foram mais baixos: 3,39 mg m⁻³ no setor 1, 7,19 mg m⁻³ no setor 2 e 10,03 mg m⁻³ no setor 3. Em julho, houve aumento significativo: 6,37 mg m⁻³ no setor 1, 9,69 mg m⁻³ no setor 2 e 18,90 mg m⁻³ no setor 3. Em ambos os períodos, o setor de maior ocupação apresentou as maiores concentrações, indicando maior produtividade biológica e possível processo de eutrofização (Figura 8D).

Quanto aos coliformes totais, apenas uma amostra em cada mês esteve em

conformidade com os limites estabelecidos pelo CONAMA (até 1000 NMP 100 mL⁻¹). Em junho, essa amostra foi registrada no setor de menor ocupação (240 NMP 100 mL⁻¹), enquanto em julho ocorreu no setor de maior ocupação (210 NMP 100 mL⁻¹). As demais amostras excederam os limites recomendados.

Nas análises de coliformes termotolerantes, junho também apresentou apenas uma amostra dentro dos padrões, novamente no setor de menor ocupação (240 NMP 100 mL⁻¹). Em julho, todas as amostras dos três setores apresentaram concentrações superiores a 1100 NMP 100 mL⁻¹, indicando agravamento da contaminação microbiológica.

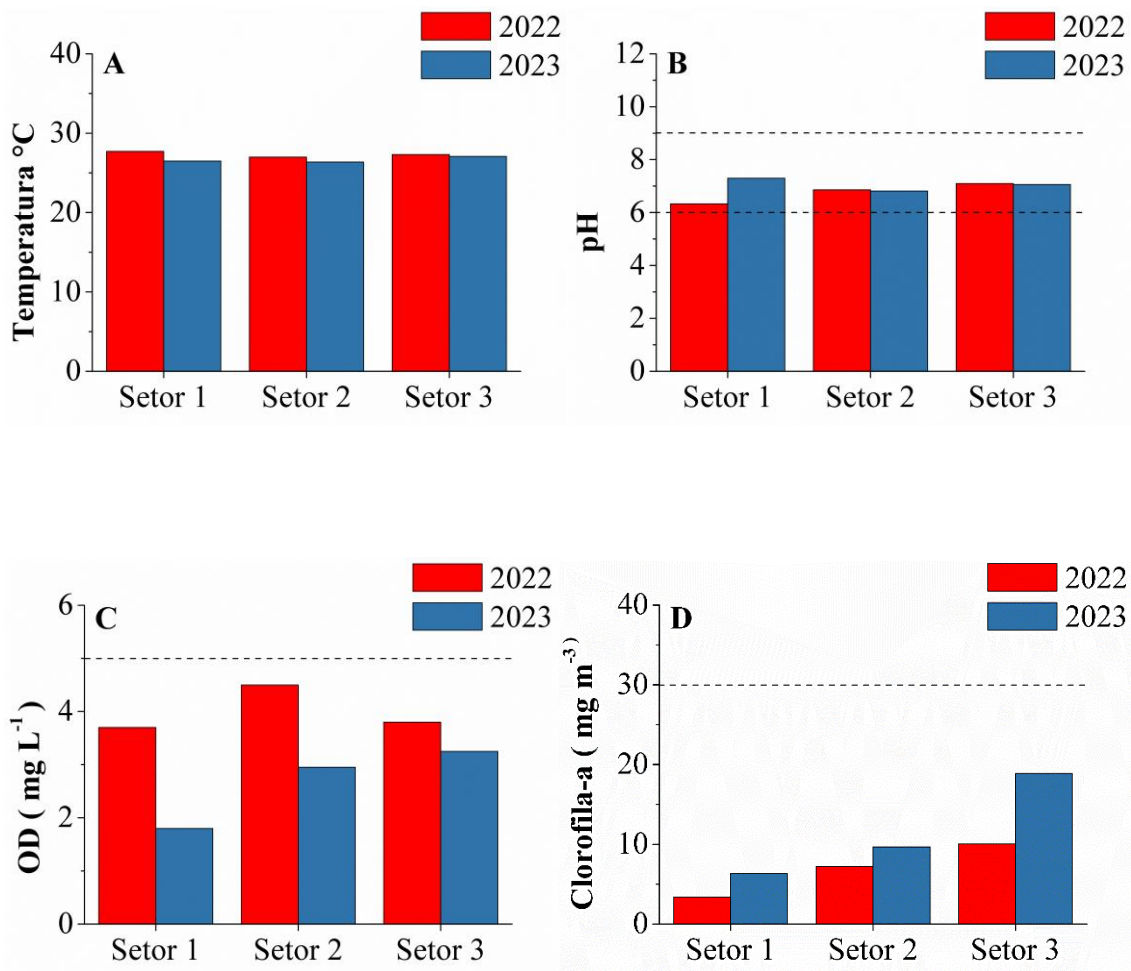


Figura 08 - Gráficos comparativos por setores de ocupação antrópica entre junho de 2022 e julho de 2023. Com limites estabelecidos pelo CONAMA, representado pela linha tracejada. Setor 1 menor ocupação, setor 2 ocupação moderada e setor 3 maior ocupação, variação de temperatura (A), pH (B) com limites máximo e mínimo, oxigênio dissolvido (C) com limite mínimo e clorofila-a (D) com limite máximo, no Rio Cereja.

6. DISCUSSÃO

6.1 Análise espacial por setores de ocupação

Os dados obtidos neste estudo indicam que o setor 1, correspondente à área de menor ocupação antrópica, apresentando os menores valores de pH e de oxigênio dissolvido. Essa condição é decorrente da maior presença de matéria orgânica vegetal proveniente da vegetação ripária e de fragmentos de floresta, que contribuem para o aumento da concentração de ácidos húmicos na água. Segundo Duncan (2010), em estudos realizados em rios amazônicos, áreas mais preservadas próximas às nascentes tendem a apresentar pH mais ácido devido à decomposição da matéria orgânica. Esse processo intensifica a atividade de microrganismos decompositores, que consomem oxigênio dissolvido, justificando os baixos valores observados para essa variável no setor 1.

Nos setores 2 e 3, caracterizados por maior ocupação urbana e maior lançamento de esgoto e resíduos sólidos, os valores de pH permaneceram dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, assim como as concentrações de oxigênio dissolvido foram relativamente mais elevadas. O estudo realizado por Janzen *et al.* (2008), demonstra que o aumento do fluxo hídrico, nesses trechos, favorece a aeração natural do sistema. O movimento da água promove a incorporação de oxigênio atmosférico, elevando sua concentração na coluna d'água.

A turbidez, considerada um importante indicador da qualidade da água (ALCÂNTARA *et al.*, 2009), apresentou variações significativas entre os setores. Embora fatores naturais como precipitação e vazão influenciem essa variável, alterações no uso do solo decorrentes da urbanização também contribuem para seu aumento (ARNOLD & TORAN, 2018; DÍAZ-TORRES *et al.*, 2021). No presente estudo, os menores valores de turbidez foram registrados nos setores 1 e 2, enquanto os maiores ocorreram no setor 3, área mais urbanizada. A degradação da vegetação ciliar e o processo de erosão das margens, associados ao lançamento de efluentes urbanos e à influência do estuário do Rio Caeté, explicam os altos níveis de turbidez observados nesse setor.

A presença de esgoto não tratado nos corpos hídricos é um fator determinante para a eutrofização, sendo a densidade do fitoplâncton um dos principais indicadores desse processo (YUSUF, 2020). Os dados obtidos no setor 3, mais urbanizado, apresenta maior disponibilidade de nutrientes, refletida nas elevadas concentrações de clorofila-*a* e na proliferação de microalgas e plantas flutuantes em diversos trechos do rio, uma vez que, a decomposição da matéria orgânica libera nutrientes que são prontamente utilizados por

algas e macrófitas aquáticas, promovendo seu crescimento acelerado (KARLSON *et al.*, 2002).

Além dos impactos ecológicos, o lançamento de efluentes compromete a saúde pública e afeta negativamente as comunidades biológicas aquáticas, devido à presença de microrganismos patogênicos (MEDEIROS *et al.*, 2017). Estudos anteriores realizados por Sousa (2015) e Cavalcante (2021) já indicavam níveis elevados de coliformes termotolerantes no Rio Cereja. Os resultados do presente estudo confirmam a persistência desse problema, com a maioria das amostras excedendo os limites estabelecidos pelo CONAMA. A presença de enterococcus foi detectada em todos os setores, com os maiores índices nos setores de média e alta ocupação, possivelmente relacionados ao elevado número de emissários de esgoto.

Dessa forma, observa-se que não houve melhorias significativas na qualidade da água do Rio Cereja nos últimos anos. Os resultados obtidos neste estudo são compatíveis com os dados históricos, indicando que o rio permanece impróprio para qualquer tipo de uso, seja recreativo, agrícola ou de abastecimento.

6.2 Análise temporal por setores de ocupação

A análise temporal das variáveis hidrológicas e microbiológicas do Rio Cereja revelou que os meses de agosto e outubro de 2022, pertencentes ao período seco, apresentaram os menores valores de pH no setor de menor urbanização. Em contraste, os meses de junho de 2022, julho de 2023 (ambos no período chuvoso) e dezembro de 2022 (final do período seco) registraram valores dentro da faixa ideal estabelecida pelo CONAMA (entre 6 e 9). De acordo com Duncan (2010), o declínio do pH nos meses secos é a combinação entre maior concentração de ácidos húmicos provenientes da vegetação ripária e o aumento da temperatura, que favorece a atividade de microrganismos decompositores, intensificando a liberação de compostos ácidos.

As concentrações de oxigênio dissolvido estiveram abaixo do limite mínimo recomendado pelo CONAMA (5 mg L^{-1}) em todos os setores e meses analisados. Os menores valores foram observados em julho de 2023, no setor de menor ocupação. Esse cenário pode ser atribuído à entrada de águas pluviais carregadas de nutrientes e sedimentos oriundos da erosão, que estimulam a proliferação de microrganismos aeróbicos. Além disso, a baixa vazão característica desse setor limita a aeração natural, dificultando a incorporação de oxigênio atmosférico à coluna d'água (NAGALLI;

NEMES, 2009).

O aumento da turbidez pode comprometer os processos fotossintéticos e a dinâmica do ecossistema aquático (BARBOSA *et al.*, 2023). A turbidez foi mais acentuada nos setores de média e alta urbanização durante o mês de fevereiro de 2023, período que registrou o maior índice de precipitação pluviométrica. Segundo Arcova e Cicco (1999), com o aumento da precipitação e conseqüente aumento dos sólidos em suspensão, ocorrem picos nos valores de turbidez nos meses chuvosos, pois eles impedem o feixe de luz de penetrar na água. Além disso, o lançamento de esgoto doméstico sem tratamento também contribuiu significativamente para o aumento de microrganismos nesses setores, uma vez que, a composição de águas turvas pode estar associada à presença de microrganismos patogênicos provenientes, como bactérias, vírus e parasitas (FUNASA, 2013), representando riscos à saúde humana e à segurança hídrica.

Neste estudo, os valores de clorofila-a excederam o limite estabelecido pelo CONAMA (30 mg m⁻³) em fevereiro de 2023 nos setores mais urbanizados. As chuvas intensas transportaram grandes volumes de matéria orgânica de origem antrópica para o rio, especialmente esgoto, aumentando a quantidade de nutrientes disponíveis nesse ambiente aquático, o que promoveu a proliferação de microalgas, elevando os níveis de clorofila-a, (RAM *et al.*, 2014).

Quanto aos coliformes termotolerantes, não foram observadas variações significativas entre os meses de coleta. No entanto, os setores de média e alta urbanização apresentaram os piores resultados, com concentrações iguais ou superiores a 1100 NMP 100 mL⁻¹. Esses valores indicam que a água do Rio Cereja permanece imprópria para qualquer tipo de uso, tanto no período chuvoso quanto no seco.

6.3 Tipos de uso do rio cereja

Historicamente, o Rio Cereja desempenhou papel relevante para os habitantes de Bragança, sendo utilizado como alternativa de lazer e para diversas atividades cotidianas. Relatos de moradores mais antigos indicam que, até a década passada, o rio era amplamente utilizado para recreação, além de atividades econômicas e domésticas. No entanto, o crescimento populacional acelerado, aliado à expansão urbana desordenada e à ausência de investimentos em infraestrutura de saneamento básico, comprometeu significativamente a qualidade da água, elevando os níveis de pressão ambiental e restringindo os usos permitidos pelo CONAMA 357/2005.

Estudos anteriores, como o de Sousa (2015), documentaram a realização de diversas atividades nas margens do rio, incluindo suinocultura, avicultura, pastagem de gado, agricultura itinerante (com queima de vegetação ribeirinha), descarte de fezes humanas, lavagem de roupas e utensílios domésticos, além da higienização de animais como cães e cavalos.

Atualmente, observa-se uma redução significativa na diversidade de usos. A balneabilidade está restrita aos setores de baixa e média ocupação antrópica, embora já bastante comprometida. No setor de ocupação moderada, o rio também é utilizado para irrigação de plantas ornamentais. No setor de alta ocupação, o uso predominante é o lançamento de esgoto doméstico sem tratamento. Na foz do rio, funciona um pequeno porto de reparo de embarcações, onde são descartados resíduos sólidos, solventes e óleo diretamente na água, agravando ainda mais o cenário de degradação ambiental.

6.4 Tipos de uso permitidos segundo os dados do CONAMA

Com base nos parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005, o Rio Cereja encontra-se inadequado para qualquer tipo de atividade que envolva contato direto com a água, como recreação, balneabilidade ou irrigação de hortaliças, parques e praças. Os níveis de coliformes termotolerantes registrados nas amostras dos três setores de ocupação antrópica excedem, em sua maioria, o limite máximo permitido (até 1000 NMP 100 mL⁻¹), tornando o rio impróprio para esses usos.

Além disso, as margens do Rio Cereja são legalmente reconhecidas como Área de Preservação Permanente (APP), conforme a Lei n° 12.651, de 25 de maio de 2012. Essa legislação proíbe a ocupação das margens em razão da sua relevância ecológica, voltada à preservação dos recursos hídricos, da paisagem, da estabilidade geológica e da biodiversidade, além de garantir o fluxo gênico da fauna e flora, a proteção do solo e o bem-estar das populações humanas locais.

Durante o desenvolvimento deste estudo, foram observadas diversas infrações à legislação ambiental, incluindo a presença de resíduos sólidos nas margens e no leito do rio, descarte direto de esgoto doméstico e sanitário, e proliferação de macrófitas aquáticas em grande parte do curso hídrico indicadores claros de degradação ambiental e ausência de gestão efetiva.

Embora o município tenha adotado algumas medidas pontuais, como dragagens esporádicas, instalação de placas informativas contra ocupações irregulares e implantação de eco-barreiras em parceria com instituições de ensino, essas ações têm se mostrado

insuficientes. O não cumprimento das diretrizes estabelecidas no Plano Diretor Municipal (2006–2016 e 2016–2026) evidencia a necessidade urgente de ações estruturantes e contínuas para a recuperação e preservação do Rio Cereja.

A seguir, está detalhada a Lei complementar No 006/2015 do plano director do município de Bragança.

“Subseção I
Do Esgotamento Sanitário

Art. 12. São diretrizes relativas ao esgotamento sanitário:

- I - assegurar sua implantação no Município, segundo a distribuição espacial da população e das atividades sócio-econômicas;

- II - viabilizar a implantação de estações de tratamento de esgoto, em especial que interceptem os lançamentos realizados no Rio Grande (do Cereja), no Rio Caeté e no Rio Chumucuí;

- III - incentivar o uso de sistema de tanques sépticos para tratamento de rejeitos domésticos, bem como de poços de monitorização para o controle de contaminação do lençol freático nas áreas desprovidas de redes de esgoto sanitário em que são utilizadas, simultaneamente, fossas sanitárias e cisternas para captação de água;

- IV - impedir o lançamento de esgoto sanitário, no prazo de 10 (dez) anos, no Rio Grande (do Cereja) e no Rio Caeté, que não passe previamente por estação de tratamento.”

6.5 Implicações da qualidade do Rio Cereja para a gestão costeira e medidas mitigadoras

O comprometimento da qualidade da água do Rio Cereja, decorrente do crescimento populacional acelerado, da ocupação irregular de suas margens e da ausência de investimentos em saneamento básico, representa um desafio significativo para a gestão ambiental e costeira do município de Bragança.

A pressão antrópica sobre esse corpo hídrico compromete diversos tipos de uso, como recreação, irrigação e abastecimento e viola os parâmetros estabelecidos pelo CONAMA nº 357/2005.

Do ponto de vista da gestão costeira, os impactos observados no rio Cereja têm

implicações diretas sobre o estuário do rio Caeté e os ecossistemas associados, como manguezais. O aumento da carga orgânica em ambientes aquáticos, estimula a proliferação bacteriana, comprometendo a biodiversidade, os serviços ecossistêmicos, a saúde pública e o equilíbrio ambiental, elevando os riscos associados ao uso da água contaminada (NASCIMENTO, 2017; NOLASCO *et al.*, 2020; SILVA, 2022; SILVA, 2024a). Além disso, a pesca artesanal, o turismo e a segurança alimentar podem ser comprometidos.

Para mitigar essas problemáticas, é fundamental adotar uma abordagem integrada de gestão ambiental, com ações articuladas entre os setores urbano, rural e costeiro. Algumas medidas prioritárias incluem:

- Fortalecimento das campanhas de educação ambiental e sensibilização comunitária, com foco na preservação dos recursos hídricos e na valorização dos serviços ecossistêmicos prestados pelo rio Cereja.
- Intensificação da fiscalização ambiental, visando coibir ocupações irregulares nas margens do rio e o descarte inadequado de resíduos sólidos e efluentes sanitários.
- Implantação de estações de tratamento de esgoto, conforme previsto no Plano Diretor Municipal, com prioridade para interceptação dos lançamentos diretos no rio Cereja. A meta de eliminar o lançamento de esgoto sem tratamento em até 10 anos deve ser considerada estratégica e urgente.
- Revisão e cumprimento efetivo das diretrizes dos Planos Diretores (2006–2016 e 2016–2026), com foco na proteção das Áreas de Preservação Permanente (APPs), recuperação da vegetação ciliar e ordenamento territorial.
- Monitoramento contínuo da qualidade da água, com campanhas regulares de coleta e análise, integradas a sistemas de informação geográfica para suporte à tomada de decisão.

A implementação dessas ações estruturantes são fundamentais para impedir que a qualidade da água do Rio Cereja continue sendo deteriorada, ampliando os riscos socioambientais e comprometendo a sustentabilidade da zona costeira de Bragança.

7. CONCLUSÕES

As oscilações observadas nas variáveis hidrológicas e microbiológicas do Rio Cereja ao longo do período de estudo foram influenciadas por fatores naturais, como a sazonalidade climática e por pressões antrópicas, especialmente relacionadas à ocupação

irregular das margens e à ausência de infraestrutura de saneamento básico.

A temperatura da água apresentou variações discretas, sendo ligeiramente mais elevada durante o período seco, tanto entre os meses quanto entre os setores de coleta. Os valores de pH foram mais baixos nos meses secos e permaneceram dentro dos limites aceitáveis durante o período chuvoso.

As concentrações de oxigênio dissolvido foram consistentemente baixas, com os menores valores registrados no período seco, sobretudo nas proximidades da nascente. Esse padrão sugere que o aumento da temperatura e a baixa vazão hídrica favorecem a atividade de microrganismos decompositores, intensificando o consumo de oxigênio e contribuindo para a acidificação da água.

A turbidez foi mais acentuada em março, mês de maior precipitação, especialmente nas áreas urbanizadas. A mais alta vazão provocada pelas chuvas intensas contribuiu para a ressuspensão de sedimentos do fundo do rio e para o aumento da carga de água residual, coincidindo com os picos de concentração de clorofila-*a*. Esse padrão indica uma preferência da comunidade fitoplanctônica por setores com maior disponibilidade de nutrientes, evidenciando processos de eutrofização.

A contaminação microbiológica por coliformes termotolerantes e enterococcus foi detectada em todas as campanhas, inclusive em áreas próximas à nascente. No entanto, os setores com maior ocupação antrópica apresentaram os piores resultados, refletindo o impacto direto do lançamento de esgoto doméstico sem tratamento.

Este estudo permitiu o monitoramento detalhado das variáveis hidrológicas e microbiológicas do Rio Cereja, demonstrando a influência espacial das ocupações irregulares no processo de degradação da qualidade da água.

Os resultados evidenciam a necessidade urgente de ações por parte do poder público municipal de Bragança. Recomenda-se a elaboração e implementação de um plano de ação que contemple o cumprimento das diretrizes previstas no Plano Diretor Municipal, a realocação de moradores em áreas de preservação permanente e a proibição de novas construções irregulares nas margens do Rio Cereja. Tais medidas são essenciais para restaurar a qualidade ambiental do rio e garantir sua sustentabilidade para usos futuros.

8. REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, E.; NOVO, E.; STECH, J.; LORENZZETTI, J.; BARBOSA, C.; ASSIREU, A.; SOUZA, A. O comportamento da turbidez em uma várzea amazônica. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, v. 6, p. 3947–3992, 2009.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard methods for examination of water and wastewater*. Washington, D.C., 2004.
- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, estado de São Paulo. *Scientia Forestalis*, 1999.
- ARNOLD, E.; TORAN, L. Efeitos da vegetação de margem e incisão nas taxas de erosão em um córrego urbano. *Water*, v. 10, p. 482, 2018.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Nairóbi, Quênia: Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2012.
- CAVALCANTE, F. R. B. Qualidade da água do Rio Cereja, Bragança-PA. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Naturais) – Universidade Federal do Pará, Bragança, 2021.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://mma.gov.br>>.
- DÍAZ-TORRES, O. et al. Mudanças rápidas na comunidade fitoplânctônica de um lago subtropical, raso e hipereutrófico durante a estação chuvosa. *Frontiers in Microbiology*, v. 12, p. 617151, 2021.
- DUNCAN, W. P.; FERNANDES, M. N. Caracterização físico-química dos rios de águas brancas, pretas e claras da Bacia Amazônica e suas implicações na distribuição de arraias de água doce (Chondrichthyes, Potamotrygonidae). *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, v. 5, p. 454–464, 2010.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Method 1600: Enterococci in water by membrane filtration using membrane-Enterococcus indoxyl-beta-D-glucoside agar (mEI). Washington, D.C.: EPA, 2006.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). *Manual prático de análise de água*. 4. ed. Brasília: Funasa, 2013.
- GORAYEB, A. Análise integrada da paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Caeté – Amazônia Oriental. 2008. 203 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade

Estadual Paulista, São Paulo, 2008.

HELLAWELL, J. M. *Biology of freshwater pollution*. 2. ed. London: Longman Scientific & Technical, 1991.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo demográfico: resultados preliminares. Brasília, 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Dados meteorológicos nacionais. Brasília.

JANZENI, J. G.; SCHULZII, H. E.; LAMON, A. W. Medidas da concentração de oxigênio dissolvido na superfície da água. 2008.

KARLSON, K.; ROSENBERG, R.; ERIK, B. Temporal and spatial large-scale effects of eutrophication and oxygen deficiency on benthic fauna in Scandinavian and Baltic waters – a review. In: GIBSON, R. N.; BARNES, M.; ATKINSON, R. J. A. (Eds.). *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*. New York: Taylor and Francis, 2002. p. 427–489.

MARTORANO, L. G.; PEREIRA, L. C.; CEZAR, E. G. M.; PEREIRA, I. C. B. Estudos climatológicos do estado do Pará: classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thorntwaite, Mather). Belém: Sudam/Embrapa, 1993.

MEDEIROS, A. C. et al. Índice de qualidade das águas superficiais dos rios amazônicos em áreas industriais do Pará, Brasil. *Environmental Pollution*, v. 123, p. 156–164, 2017.

MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazonica*, v. 35, p. 207–214, 2005.

NAGALLI, A.; NEMES, P. D. Estudo da qualidade de água de corpo receptor de efluentes líquidos industriais e domésticos. *Revista Acadêmica de Ciências Animais*, 15 abr. 2009.

NASCIMENTO, I. N. Associação de fatores físico-químicos às cianobactérias em lago raso urbano. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2017.

NOLASCO, G. M. et al. Análise da alcalinidade, cloretos, dureza, temperatura e condutividade em amostras de água do município de Almenara/MG. *Recital – Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara*, v. 2, n. 2, 2020.

PARSONS, T. R. A.; STRICKLAND, J. D. Manual of sea water analysis. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada, 1963.

PITRAT, D. M. J. J. Avaliação da contaminação por metais em rios: estudo de caso da bacia do rio Passaúna. 2010. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

RAM, A. et al. Nutrients, hypoxia and mass fishkill events in Tapi Estuary, India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 148, p. 48–58, 2014.

SILVA, G. A. M. Mudanças climáticas, desastres e saúde: evolução da produção científica em periódicos na segunda década do século XXI. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2024a.

SILVA, G. G. Compostagem orgânica no laboratório de Tecnologias Agroambientais da UFCG – Campus I com foco nos objetivos do desenvolvimento sustentável. 2022. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, 2022.

SILVA, I. R.; PEREIRA, L. C. C.; TRINDADE, W. N.; MAGALHÃES, A.; COSTA, R. M. Natural and anthropogenic processes on the recreational activities in urban Amazon beaches. *Ocean & Coastal Management*, v. 73, p. 75–84, 2013.

SOUSA, S. S. N. Influência do despejo de esgoto doméstico na qualidade das águas do Rio Caeté e do Rio Cereja, Bragança-Pará. 2015. Dissertação (Mestrado em Biologia Ambiental) – Universidade Federal do Pará, 2015.

TOZI, S. C.; MASCARENHAS, A. L.; PÓLEN, R. R. Água, conflitos e política ambiental na Amazônia legal. *Revista NERA*, v. 21, n. 42, p. 229-256, 2018.

TUCCI, C.; CHAGAS, M. Segurança hídrica: conceitos e estratégia para Minas Gerais. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 14, n. 1, p. 1–16, 2017.

UNESCO. Determination of photosynthetic pigments in sea waters: report of SCOR/UNESCO working group 14 with meeting from 4 to 6 June. Paris: UNESCO, 1966.

YUSUF, Z. H. Fitoplâncton como bioindicadores da qualidade da água no reservatório de Nasarawa, estado de Katsina, Nigéria. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 2, s.d.