



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

BIANCA ANACLETO ARAUJO DE SOUSA

AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO HÍDRICA E SUAS FONTES GERADORAS EM
TRECHOS URBANIZADOS DO RIO CAPIBARIBE

RECIFE - PE

2023

BIANCA ANACLETO ARAUJO DE SOUSA

AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO HÍDRICA E SUAS FONTES GERADORAS EM
TRECHOS URBANIZADOS DO RIO CAPIBARIBE

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental

Área de Concentração: Recursos Hídricos

Orientadora: Prof(a) Dra. Marilda Nascimento Carvalho

Coorientador: Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda

RECIFE - PE

2023

BIANCA ANACLETO ARAÚJO DE SOUSA

AValiação DA POLUIÇÃO HÍDRICA E SUAS FONTES GERADORAS EM
TRECHOS URBANIZADOS DO RIO CAPIBARIBE

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na Área de Concentração de Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente - Gestão Ambiental e de Recursos Hídricos.

Aprovada em 27 de fevereiro de 2023

Prof(a) Dra. Marilda Nascimento Carvalho
Presidente da Banca e Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Prof(a). Dra. Eleonora Maria Pereira de Luna Freire
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Alex Souza Moraes
Universidade Federal Rural do Pernambuco

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S725a

Sousa, Bianca Anacleto Araújo de
AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO HÍDRICA E SUAS FONTES GERADORAS EM TRECHOS URBANIZADOS DO
RIO CAPIBARIBE / Bianca Anacleto Araújo de Sousa. - 2023.
61 f. : il.

Orientadora: Marilda Nascimento Carvalho.
Coorientador: Romildo Morant de Holanda.
Inclui referências e apêndice(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2023.

1. Monitoramento Hídrico. 2. Águas Superficiais. 3. Gestão Hídrica. 4. Saneamento. I. Carvalho, Marilda Nascimento, orient. II. Holanda, Romildo Morant de, coorient. III. Título

CDD 620.8

DEDICATÓRIA

*Ao meu avô João Anacleto de Sousa
(in memoriam)*

AGRADECIMENTOS

A Deus, que em sua infinita sabedoria deu ao homem a liberdade e a capacidade de se desenvolver, criando o que hoje chamamos de ciência. Aos amigos e familiares que acreditaram e me incentivaram a conquistar esse título.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - PPEAMB da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pelo apoio técnico no desenvolvimento dessa pesquisa. A todos os professores que colaboraram com a minha formação no mestrado em engenharia ambiental. Em especial a professora e orientadora Dra. Marilda Nascimento Carvalho, que me instruiu de maneira tão sábia no decorrer desse trabalho, agradeço a experiência e conhecimento compartilhados e também ao meu coorientador o professor Dr. Romildo Morant de Holanda que foi essencial para concretização desse trabalho entre outras atividades desenvolvidas ao longo do mestrado. Aos professores Alex Souza Moraes e Eleonora Maria Pereira de Luna Freire por aceitarem participar da banca e contribuir com o aprimoramento desse trabalho.

Agradeço ao Laboratório de Análise de Minerais, Solo e Água - LAMSA da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, sem o apoio dos seus colaboradores essa pesquisa não se tornaria possível.

O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro da Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia de Pernambuco - FACEPE.

RESUMO

As águas superficiais são fundamentais tanto para o equilíbrio ambiental quanto para o atendimento às demandas de consumo humano. O monitoramento da qualidade da água constitui-se em importante instrumento de gestão hidroambiental. Segundo a Agência Nacional de Águas, através do Portal de Qualidade da Água, dos 27 Estados brasileiros apenas 10 monitoram a qualidade de suas águas, entre as dificuldades para esse acompanhamento estão os elevados custos da logística envolvida e a ausência de pessoal capacitado para a tarefa, o que resulta em verdadeiros vazios nos dados de monitoramento. Nesse contexto, o presente trabalho avaliou a qualidade da água em alguns trechos do Rio Capibaribe, através do Índice de Qualidade da Água (IQA) e do Índice de Estado Trófico (IET), caracterizando suas águas com indicadores físico-químicos e microbiológicos os quais indicam a deterioração da qualidade da água em todos os locais monitorados. As amostras de água foram coletadas nos municípios de Paudalho e São Lourenço da Mata mensalmente entre junho de 2021 e abril de 2022. Na análise dos resultados foi utilizada a estatística descritiva e multivariada. A caracterização pelo IET indicou que a água apresenta grande potencial trófico sendo classificada como hipereutrófica, enquanto o IQA, variou entre regular, ruim e péssima. Além dos nove parâmetros previstos no IQA, também foram analisados por espectrofotometria de absorção atômica os metais cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), manganês (Mn) e zinco (Zn) evidenciando em alguns momentos valores acima do aceitável pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Os resultados desse estudo mostraram através dos parâmetros analisados que foi possível observar significativas mudanças na qualidade da água do Rio Capibaribe no trecho de estudo, indicando que o mesmo foi fortemente afetado pelos tipos de uso e ocupação do solo.

Palavras Chave: Monitoramento Hídrico; Águas Superficiais; Gestão Hídrica; Saneamento.

ABSTRACT

Surface waters are fundamental both for the environmental balance and for meeting the demands of human consumption. Monitoring water quality is an important hydro-environmental management tool. According to the National Water Agency, through the Water Quality Portal, of the 27 Brazilian states, only 10 monitor the quality of their waters, among the difficulties for this monitoring are the high costs of the logistics involved and the lack of trained personnel for the task, which results in true gaps in the monitoring data. In this context, the present work evaluated the water quality in some stretches of the Capibaribe River, through the Water Quality Index (IQA) and the Trophic State Index (TSI), characterizing its waters with physical-chemical and microbiological indicators which indicate the deterioration of water quality in all monitored locations. Water samples were collected in the municipalities of Paudalho and São Lourenço da Mata monthly between June 2021 and April 2022. In the analysis of results, descriptive and multivariate statistics were used. The characterization by the TSI indicated that the water has a great trophic potential being classified as hypereutrophic, while the WQI varied between fair, bad and very bad. In addition to the nine parameters provided for in the IQA, the metals cadmium (Cd), lead (Pb), copper (Cu), chromium (Cr), manganese (Mn) and zinc (Zn) were also analyzed by atomic absorption spectrophotometry, showing in some moments values above the acceptable by CONAMA Resolution n° 357/2005. The results of this study showed through the analyzed parameters that it was possible to observe significant changes in the water quality of the Capibaribe River in the study stretch, indicating that it was strongly affected by the types of land use and occupation.

Keywords: Water Monitoring; Surface Waters; Water management; water contamination.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Localização georreferenciada dos pontos onde as amostras foram coletadas. 32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Pesos atribuídos aos parâmetros do IQA.....	18
Tabela 2: Classes do Índice de Qualidade da Água - IQA.....	20
Tabela 3: Classificação para o IET.....	23
Tabela 4: Principais parâmetros físicos de qualidade da água, metais pesados e suas características.....	25
Tabela 5: Principais parâmetros químicos de qualidade da água e suas características.....	26
Tabela 6: Características dos coliformes termotolerantes.....	27
Tabela 7: Principais impactos observados nas margens do Rio Capibaribe.	29
Tabela 8: Categorização para os valores do coeficiente de correlação de Pearson.....	31
Tabela 9: Parâmetro avaliado e seu método de aferição.	33
Tabela 10: Resultado da classificação do IQA mensal do município de Paudalho.....	35
Tabela 11: Resultado da classificação do IQA mensal do município de São Lourenço da Mata (Centro).....	36
Tabela 12: Resultado da classificação do IQA mensal do município de São Lourenço da Mata (Tiuma).	37
Tabela 13: Matriz de correlações para o ponto de coleta em Paudalho.	38
Tabela 14: Coeficientes resultantes da regressão linear simples entre turbidez e precipitação em Tiuma.....	39
Tabela 15: Matriz de correlações São Lourenço da Mata (Centro).....	40
Tabela 16: Matriz de correlações São Lourenço da Mata (Tiuma).....	41
Tabela 17: Coeficientes resultantes da regressão linear simples entre pH e Precipitação (Tiuma).	42
Tabela 18: Coeficientes resultantes da regressão linear simples N e Precipitação (Tiuma). ..	42
Tabela 19: Coeficientes resultantes da regressão linear simples turbidez e precipitação (Tiuma).	43
Tabela 20: Valores notáveis de DBO por ponto de coleta.	45
Tabela 21: Valores máximos de DBO estabelecidos pela Resolução CONAMA n.357/05. ..	45
Tabela 22: Valores notáveis de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) medidos durante a pesquisa.	46
Tabela 23: Valores notáveis de fósforo (P) por ponto de coleta	48
Tabela 24: Valores máximos de Fósforo Total estabelecidos pela Resolução CONAMA n. 357/05	48
Tabela 25: Valores notáveis de Nitrogênio por ponto de coleta	49

Tabela 26: Resumo dos valores medidos para os metais pesados e seu valor limite segundo CONAMA.	49
Tabela 27: Usos da água segundo o CONAMA de acordo com o enquadramento do manancial.....	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resultado do IQA mensal no município de Paudalho.	34
Gráfico 2: Resultado do IQA mensal no município de São Lourenço da Mata (Centro).	35
Gráfico 3: Resultado do IQA mensal no município de São Lourenço da Mata (Tiuma).	36
Gráfico 4: Precipitação média mensal (mm) nos pontos de coleta durante a pesquisa.	38
Gráfico 5: Gráfico de resíduos após regressão linear.	40
Gráfico 6: Gráfico de resíduos após regressão linear.	42
Gráfico 7: Gráfico de resíduos após regressão linear.	43
Gráfico 8: Gráfico de resíduos após regressão linear.	43
Gráfico 9: Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO (mg/L).	44
Gráfico 10: Oxigênio Dissolvido - OD (%)	45
Gráfico 11: Medida de Condutividade Elétrica - CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$).	46
Gráfico 12: Medida de Salinidade (ppm).	47
Gráfico 13: Valor do IET para cada ponto amostral.	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima

CE - Condutividade Elétrica

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

IET - Índice de Estado Trófico

IQA - Índice de Qualidade da Água

LAMSA - Laboratório de Análise de Minerais, Solo e Água

OD - Oxigênio Dissolvido

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

pH - Potencial Hidrogeniônico

LISTA SÍMBOLOS

Cd - Cádmio

Cu - Cobre

Cr - Cromo

Mn - Manganês

N - Nitrogênio

P - Fósforo

Pb - Chumbo

Zn - Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo Geral.....	16
2.2. Objetivos Específicos	16
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1. Avaliação de Qualidade das Águas	17
3.1.1. Índice de Qualidade da Água (IQA) e Índice de Estado Trófico (IET) para o fósforo total (P)	17
3.1.2. Parâmetros de Físico-Químicos de Qualidade da Água	24
3.1.3. Parâmetros Microbiológicos de Qualidade da Água.....	26
3.2. Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe	27
3.3. Estatística: Correlação de Pearson.....	30
4. MATERIAL E MÉTODOS	31
4.1. Caracterização Metodológica	31
4.2. Localização da Área de Estudo.....	31
4.3. Avaliação da Qualidade da Água	33
4.4. Tratamento Estatístico	33
5. RESULTADOS	34
5.1. Índice de Qualidade da Água.....	34
5.2. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	44
5.3. Condutividade Elétrica (CE)	46
5.4. Índice de Estado Trófico para Fósforo Total (IET - PT)	47
5.5. Metais Pesados	49
5.6. Usos da Água	50
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
APÊNDICE A - METAIS PESADOS	
APÊNDICE B - RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DOS PONTOS DE COLETA	

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento da qualidade da água constitui-se um importante instrumento da gestão hidroambiental. O diagnóstico dos parâmetros físico-químicos e biológicos dos corpos hídricos e a análise da sua variação temporal permitem identificar fontes poluidoras e indicar medidas para melhoria da qualidade da água. Obter informações sobre a qualidade da água é fundamental para que se possa estabelecer uma relação com os seus múltiplos usos de forma segura a população humana e ao meio ambiente.

A qualidade da água está diretamente relacionada ao uso que se faz do ambiente em seu entorno. No caso do meio hídrico, a poluição das águas pode ser conceituada como a ocorrência de fenômenos que resultam na adição de substâncias ou de formas de energia que direta ou indiretamente alteram suas características e que inviabilizam seu uso para fins específicos (VON SPERLING, 2014).

Os corpos d'água superficiais se destacam como os mais vulneráveis à poluição antropogênica em decorrência de maiores superfícies expostas ao contato direto com as atividades humanas. O processo de urbanização e as práticas agropecuárias se constituem como os principais agentes poluidores dessas águas, contribuindo com altos teores de matéria orgânica quando lançam seus efluentes nos corpos d'água, ou pelo excesso de nutrientes, sedimentos e resíduos de pesticidas (VON SPERLING, 2014; CENTENO, 2020).

A integração entre a gestão urbana, ambiental e hídrica tem sido cada vez mais um objeto de análise e discussão em trabalhos recentes, os quais corroboram informações de estudos técnicos voltados à gestão de recursos hídricos no Brasil que ratificam a fragilidade da articulação entre políticas urbanas e de recursos hídricos, gerando consequências em um determinado território quanto aos seus aspectos socioeconômicos. (AGUIAR, 2022; GRANZIERA E JEREZ, 2019; NOWATZKI *et al.*, 2021)

As diversas fontes de poluição modificam a dinâmica dos corpos hídricos, por isso torna-se tão relevante a realização do monitoramento da qualidade da água ao longo do tempo, pois permite o acompanhamento da evolução das condições da qualidade da água, e ao longo do espaço para acompanhar o comportamento de determinados parâmetros em diferentes pontos do manancial superficial, servindo assim como medida de apoio a tomadas de decisões (ABREU & CUNHA, 2015; CENTENO, 2020). Os mananciais superficiais também são mais suscetíveis às variabilidades climáticas locais, especialmente os eventos hidrológicos extremos, como cheias e secas. Os fatores climáticos geram mudanças na qualidade das águas em decorrência da variabilidade na temperatura e precipitação do

ambiente (CENTENO, 2020; GOMES, 2022). O que ressalta a importância de realizar o monitoramento nos períodos secos e chuvosos.

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, através do Portal de Qualidade da Água, nem todos os Estados brasileiros têm condições de monitorar a qualidade de suas águas, seja pelos elevados custos da logística envolvida, seja pela ausência de pessoal capacitado para a tarefa, o que resulta em verdadeiros vazios no monitoramento (ANA, 2020).

Uma ferramenta de tomada de decisão que vem sendo utilizada no Brasil é o Índice de Qualidade da Água (IQA), proposto pela National Sanitation Foundation (NSF) nos Estados Unidos em 1970. Desde 1975, após pequenas adaptações, vem sendo utilizado no Brasil por diversos órgãos ambientais para monitoramento da qualidade da água (CENTENO, 2020). O Índice de Qualidade da Água (IQA) é um instrumento matemático para converter um conjunto de dados (provenientes de vários parâmetros físicos, químicos e biológicos) em um único número, para expressar o nível de qualidade da água (TIAN *et al.*, 2019).

Em função da localização geográfica, os sistemas aquáticos são submetidos às características climáticas, geológicas, topográficas, uso e cobertura do solo, e formas de apropriação econômica e social de seus recursos hídricos ao longo de sua história. A qualidade da água, portanto, está relacionada a uma série de interferências, como a litologia da bacia, problemas com processos erosivos (MUSHI, *et al.* 2019), as condições climáticas (XU *et al.*, 2019) e interferências decorrentes das mais diversas atividades antropogênicas (IBÁNHEZ, *et al.*, 2019; YAN, *et al.*, 2017). A abrangência regional (agreste, mata e litoral) confere à bacia hidrográfica do rio Capibaribe um ambiente complexo no qual se evidenciam contrastes climáticos, de relevo, de solos e de cobertura vegetal, além de aspectos socioeconômicos, que exigem um modelo de gestão hídrico e ambiental, que atenda às suas peculiaridades subregionais e locais (SRH, 2010).

Nesse contexto, o presente trabalho caracterizou e qualificou a água do Rio Capibaribe a partir da análise de parâmetros físico-químicos e biológicos, pelo método IQA. Essas análises foram realizadas em três pontos ao longo de um trecho perene do rio, entre os municípios de Paudalho e São Lourenço da Mata, que foram escolhidos em observância a intensa urbanização presente nas margens do rio nessas localidades. Os resultados são comparados com parâmetros regulatórios da qualidade da água em corpos hídricos estabelecidos na Resolução CONAMA n.357/2005, complementada e alterada parcialmente pela Resolução n.430/2011. Para complementar essa análise as amostras de água coletadas também foram avaliadas quanto à presença de alguns metais pesados e com relação ao seu nível de eutrofização, calculado através do Índice de Estado Trófico (IET).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho foi monitorar a qualidade da água do Rio Capibaribe, nos trechos de cursos d'água de Paudalho e São Lourenço da Mata. A partir dos resultados dos indicadores de qualidade das águas, foi realizada a análise descritiva que identificou algumas interferências antropogênicas regionais, por usos e ocupações comunitárias, que causam impactos na qualidade água.

2.2. Objetivos Específicos

- Coletar mensalmente amostras de água do Rio Capibaribe nas cidades de Paudalho e São Lourenço da Mata por um período de 11 meses;
- Realizar ensaios físico-químicos e microbiológicos mensalmente na água do Rio Capibaribe;
- Avaliar qualitativamente a água pelo IQA, IET(P) e a presença de metais pesados comparando mês a mês e identificando a influência dos períodos chuvosos e de estiagem sobre a qualidade da água;
- Analisar as atividades potenciais poluidoras ao longo do trecho de estudo que interfiram nos indicadores de qualidade da água, em especial, nas regiões mais urbanizadas dos municípios selecionados;
- Disponibilizar relatórios com os resultados da avaliação de qualidade da água para os gestores municipais.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Avaliação de Qualidade das Águas

A qualidade de uma água está relacionada às condições do seu entorno, uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica seguida dos seguintes fatores: condições naturais, interferência do homem, qualidade de uma água existente e qualidade desejável para água. (VON SPERLING, 2014). A qualidade dos recursos hídricos depende de um grande número de parâmetros físico-químicos e da magnitude e fonte de qualquer carga de poluição; e, para avaliar isso, é essencial monitorizar estes parâmetros (SERAJUDDIN et al., 2019). A avaliação de dados relativos à qualidade de água é um fator fundamental na gestão de recursos hídricos.

Os índices de qualidade da água constituem em importante ferramenta de monitoramento dos corpos hídricos, por permitirem de forma rápida e sintética a caracterização da qualidade da água, convertendo em um único número de fácil compreensão, não só no meio científico como entre o público geral, diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos (CUNHA, 2019). Os indicadores de qualidade visam apontar os impactos decorrentes das atividades antropogênicas associados aos municípios selecionados, além de contribuir com a implementação de políticas públicas destinadas à preservação dos ambientes hídricos e seu uso sustentável.

3.1.1. Índice de Qualidade da Água (IQA) e Índice de Estado Trófico (IET) para o fósforo total (P)

O Índice de Qualidade da Água (IQA) é o principal índice de qualidade utilizado no Brasil para avaliação da água para abastecimento público. O IQA é calculado com base nos parâmetros: temperatura da água, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), resíduo total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes, nitrogênio total (N), fósforo total (P) e turbidez. O IQA é composto por esses nove parâmetros com seus respectivos pesos (w), fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água (ANA, 2020). O cálculo do IQA é feito por meio do operador produto ponderado dos nove parâmetros, segundo a Equação 1:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (Eq. 1)$$

q_i = qualidade do i -ésimo parâmetro obtido do respectivo gráfico de qualidade (Curvas médias de variação dos parâmetros de qualidade das águas para o cálculo do IQA) em função da concentração medida;

w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro (Tabela 1) fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que o somatório dos pesos dos n -parâmetros seja igual a um (Equação 2).

Tabela 1: Pesos atribuídos aos parâmetros do IQA.

Parâmetros	Peso - w_i
Oxigênio Dissolvido	0,17
Coliformes Termotolerantes	0,15
pH	0,12
DBO	0,10
Temperatura	0,10
Nitrogênio Total	0,10
Fósforo Total	0,1
Turbidez	0,08
Sólidos Totais	0,08

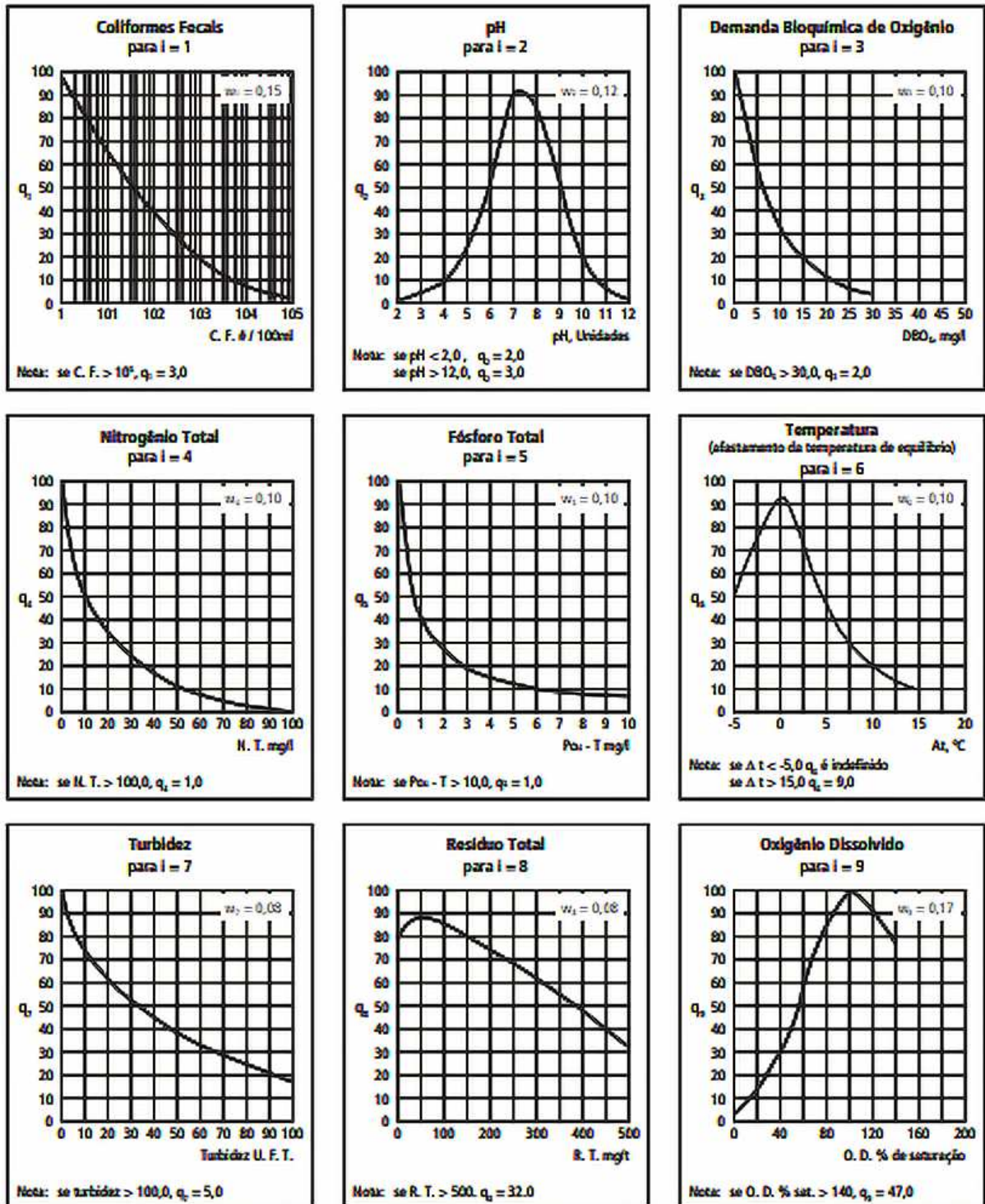
Fonte: CETESB (2018).

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (Eq. 2)$$

No cálculo do IQA é usada uma função de agregação onde os subíndices de parâmetros individuais são combinados usando as ponderações para fornecer um único índice geral. Ao final do cálculo uma escala de classificação é usada para classificar a qualidade da água com base no valor geral do índice.

De acordo com Von Sperling (2014) a CETESB adaptou as curvas (Figura 02) da *National Sanitation Foundation* por meio de estudos correlatos desenvolvidos no Brasil. Cada curva é lida em função da concentração medida do seu respectivo parâmetro.

Figura 2: Curvas médias de variação de qualidade das águas.



Fonte: CETESB (2018).

Assim, o IQA é classificado de acordo com as faixas já calculadas e variam por estados brasileiros. A Tabela 2 apresenta a classificação da qualidade da água que se utiliza em Pernambuco.

Tabela 2: Classes do Índice de Qualidade da Água - IQA

Qualidade	IQA
Ótima	80 - 100
Boa	52 - 79
Razoável	37 - 51
Ruim	20 - 36
Péssima	0 - 19

Fonte: ANA (2020).

O IQA reflete principalmente, a poluição causada pelo lançamento de cargas orgânicas. Dessa forma, parâmetros como metais pesados, pesticidas, entre outros contaminantes inorgânicos, que também podem alterar as características naturais nas águas superficiais acabam sendo negligenciados. Esses contaminantes não são degradados naturalmente e, a depender do ambiente, se dispersam ou são mobilizados e depositados junto aos sedimentos (NEGRÃO, 2021; SANTOS, 2021). Nesse sentido, a análise da presença de metais pesados ajuda a complementar essa lacuna do IQA, tornando a avaliação mais profunda, como é a proposta do presente trabalho. Segundo Negrão (2021) as fontes antropogênicas de metais pesados mais comumente encontradas são provenientes de resíduos sólidos e líquidos de origem industrial (galvanoplastia e metalurgia, fundições, soldagem, fusão e modelagem de ligas e incineração), podem chegar aos córregos e rios pelo lançamento direto dos efluentes ou mesmo carreados no escoamento das águas pluviais.

O desenvolvimento de atividades antrópicas está intimamente relacionado ao uso e cobertura da bacia hidrográfica e impacta diretamente nos aspectos quali-quantitativos da água. Em um trabalho desenvolvido por Assunção et al. (2020), foi realizada a avaliação da qualidade da água através do IQA para o Rio Tibagi, onde a série histórica de parâmetros do IQA analisados, indicam que o rio vem sofrendo impactos, provavelmente provenientes de processos antropogênicos associados principalmente às atividades do setor agropecuário. Essa associação entre essas atividades agropecuárias e a degradação da qualidade da água foi constatada pela combinação entre o IQA e a classificação de uso e ocupação do solo realizada com imagens do satélite LANDSAT 5 e 8.

Cunha (2019) usou o IQA para avaliar as bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Paraíba, Pajeú e Moxotó, onde os resultados evidenciam a influência antrópica na qualidade da água de rios e reservatórios na área de estudo. Fontes antrópicas podem ter contribuído para elevação dos níveis de turbidez e DBO, e as baixas concentrações de oxigênio dissolvido. Foi constatada presença de pastos, acesso de animais no espelho d'água, currais, áreas

destinadas ao cultivo agrícola, faixas de assoreamento e extração de areia registrado nas estações amostrais. As descargas de esgotos *in natura* e as atividades agropecuárias foram apontadas como as principais origens do aporte de fósforo e nitrogênio desses mananciais.

Em outro estudo que avaliou a qualidade da água do rio Beheshtabad nas províncias de Chaharmahal e Bakhtiari do Irã, usando o índice de qualidade da água, os resultados apontaram para os fertilizantes agrícolas, descarga de esgoto a montante e fazendas de peixes como os principais agentes que diminuem a qualidade da água do rio Beheshtabad. A alteração na concentração dos parâmetros que compõem o índice de qualidade da água aumenta de montante para jusante, em consonância com o aumento da presença dessas práticas poluidoras (FATHI, 2018).

Santos (2021) avaliou através do IQA a qualidade da água do Rio Ipixuna no Pará, que foi classificada, nos pontos amostrados, como boa. No mesmo trabalho fez-se uma avaliação da balneabilidade dos pontos estudados, mostrando que esses locais apresentaram condições impróprias ao banho devido à alta concentração de cianobactérias e água ácida o que gera riscos à saúde pública e a saúde da população usuária do corpo hídrico. Além do índice foram realizadas consultas a alguns indivíduos representantes sociais que vivenciam os aspectos ambientais, utilizando a água do Rio Ipixuna à balneabilidade, mesmo com despejo de efluente doméstico e comercial, apenas por falta de alternativas de outras áreas para lazer.

Pode-se encontrar na literatura inúmeras correlações entre as atividades desenvolvidas nas proximidades de um corpo hídrico e a qualidade de suas águas, no entanto, essa não é a única variável relevante a ser estudada. Aspectos naturais (geologia, limnologia, topografia) e temporais (clima, hidrologia) interferem também nesse meio, mas com menores impactos negativos e demandam métodos mais complexos de avaliação. Dentre esses aspectos o clima é citado elemento interveniente, como destaca Tian (2019), Sá (2018) e Souza (2019). Uma das motivações para que o presente trabalho seja desenvolvido em 11 meses, assim tem-se uma amostragem de todas as estações do ano.

Tian et al. (2019) avaliaram um outro método de cálculo do índice de qualidade da água para o Rio Luanhe, na China, utilizando 12 variáveis: temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, índice de permanganato, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrito, clorofila, sólidos suspensos. Mesmo com maior número de parâmetros, as variações sazonais no índice de qualidade foram significativas e a relação entre o uso da terra e o IQA também têm certas características sazonais, que foram significativamente correlacionados nos períodos de amostragem. Alguns

parâmetros apresentavam maior ou menor influência para cada estação do ano, por exemplo, a DBO mostrou valores menores no outono.

Sá *et al.* (2018) em seu trabalho calculou os índices de qualidade da água dos atrativos turísticos do Poço do Limão, Praia do Tabuleiro, Balneário Benedito Martins Leite, cachoeiras do Angico, da Baía, do Chuvisco e do Cristal, localizados no município de Santo Antônio do Rio Abaixo (MG) entre os meses de setembro de 2016 e maio de 2017. Foi observado que o período chuvoso influenciou negativamente os resultados desses índices, dado o escoamento superficial. Destaca-se que houve uma deterioração do índice nos períodos chuvosos devido ao aumento da concentração de *Escherichia coli* que ocorre pelo escoamento superficial provocado pela precipitação.

Em uma pesquisa realizada por Souza (2019) foi monitorada a qualidade da água do Rio Goiana em Pernambuco, com dados da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) e de outros pesquisadores, fez-se um diagnóstico espaço-temporal inédito da qualidade da água dessa bacia de 2001 a 2014, através do IQA. Os resultados sugerem uma tendência a uma menor qualidade de águas no período de estiagem e que não só o estuário, mas toda a bacia depende fortemente das chuvas e do escoamento superficial para sua renovação. O período de seca apresentou maior variabilidade dos dados que no período chuvoso, onde uma menor dispersão do IQA resultou, em melhores condições da qualidade da água.

Outro indicador muito utilizado no monitoramento dos corpos hídricos é o Índice de Estado Trófico (IET) que classifica os corpos d'água em diferentes graus de trofia, possibilitando avaliar a qualidade da água quanto ao seu enriquecimento por nutrientes, que tem como consequência o crescimento excessivo das algas e macrófitas aquáticas (CETESB, 2018). Assim podemos entender que os resultados correspondentes ao IET, podem ser considerados como uma forma de mensuração do potencial de eutrofização nos corpos hídricos, já que os nutrientes são os principais agentes causadores do processo.

A eutrofização é um problema global e, segundo muitos estudos, passou de um problema natural a um problema cultural. Ao longo dos anos, o problema da eutrofização vem crescendo em todas as partes do mundo devido à revolução verde na década de 1960, que consistiu na produção de agroquímicos com alto teor de fósforo e nitrogênio (OSORIO LÓPEZ, 2020).

O IET para o fósforo total (P) é calculado conforme a Equação 3 e o seu comportamento ambiental é apresentado na Tabela 3.

$$IET (PT) = 10 \left(6 - \left(\frac{0,42 - 0,36(\ln PT)}{\ln 2} \right) \right) - 20 \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

PT: concentração de fósforo total em $\mu\text{g.L}^{-1}$;

Ln: logaritmo natural.

Tabela 3: Classificação para o IET.

Estado Trófico	Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	IET
Ultraoligotrófico	$PT \leq 13$	$IET \leq 47$
Oligotrófico	$13 < PT \leq 35$	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$35 < PT \leq 137$	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$137 < PT \leq 296$	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$296 < PT \leq 640$	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	$PT > 640$	$IET > 67$

Fonte: CETESB (2018).

Um corpo hídrico pode apresentar diferentes estados tróficos, entre eles a oligotrofia, que é a propriedade das águas lacustres com baixo teor de nutrientes em um ecossistema aquático. Outro estado é a mesotrofia, que é definida como a propriedade das águas que contêm quantidades intermediárias de nutrientes, enquanto o estado de eutrofia é apresentado por um enriquecimento de substâncias nutritivas na água, principalmente nitrogênio e fósforo (VÁSQUEZ, et al., 2009; CIFUENTES-OSORIO, G. R. *et al.*, 2022)

Fatores dependentes do ciclo hidrológico (vaporização, condensação e precipitação), área e fisiografia da bacia de drenagem, relevo, geologia e especialmente a cobertura vegetal, influenciam os processos de trocas e interações biogeoquímicas terra-água, podendo, então, causar variações nos níveis de concentração de nutrientes no meio. Essas variações podem ser identificadas por mudanças no valor do IET (ABREU; CUNHA, 2017).

Em virtude da variabilidade sazonal dos processos ambientais que têm influência sobre o grau de eutrofização de um corpo hídrico, esse processo pode apresentar variações no decorrer do ano, havendo épocas em que se desenvolve de forma mais intensa e outras em que pode ser mais limitado. Geralmente, no início da primavera, com o aumento da temperatura da água, maior disponibilidade de nutrientes e condições propícias de penetração de luz na água, é comum observar-se um incremento do processo, após o período de inverno, em que se mostra menos intenso. Nesse sentido, a determinação do grau de eutrofização médio anual de

um corpo hídrico pode não identificar, de forma explícita, as variações que ocorreram ao longo do período anual, assim também serão apresentados os resultados mensais para cada ponto amostral (CETESB, 2018).

O fósforo total é um dos nutrientes que atuam como agente causador de interferências para os usos desejáveis da água. Portanto, torna-se uma medida indireta para caracterizar o estágio de eutrofização em que se encontra um corpo d'água, possibilitando a tomada de medidas preventivas e/ou corretivas, para as quais é interessante a adoção de um sistema classificatório, como o IET (SARDINHA, 2019).

Um estudo realizado por Osorio López (2020) mostrou que o IET foi capaz de identificar a degradação da água por nutrientes, o mesmo utilizou além do fósforo (P), a turbidez e a análise de clorofila para calcular o IET. De modo que, o IET para P reproduziu as mesmas conclusões das demais análises, classificando o estado atual de eutrofização na lagoa Paca no Perú como mesotrófico. De acordo com Von Sperling (2014), o cálculo do IET pode ser feito com apenas uma variável disponível, caso não haja resultado para fósforo total ou clorofila, sem nenhuma limitação.

Aqui no Brasil, mas especificamente em águas amazônicas Ribeiro (2020) analisou a água e classificou segundo o IET-P o lago Bolonha e a Baía do Guajará, os quais obtiveram valores de “Supereutrófico” e variação de “Ultraliogotrófico” a “Supereutrófico” respectivamente, sendo possível associar o uso e ocupação do solo próximo aos pontos de amostragens e a interferência urbana do recurso hídrico estudado.

3.1.2. Parâmetros de Físico-Químicos de Qualidade da Água

Uma forma de compreender aspectos indicativos de poluição, alteração das condições naturais e limitação de uso das águas, se dá através da aferição de parâmetros, físicos, químicos e microbiológicos dessas águas. A Tabela 4 apresenta as principais características e prováveis causas para alteração na concentração dos parâmetros físicos e metais pesados medidos neste trabalho e a Tabela 5 apresenta as características para os parâmetros de ordem química.

Tabela 4: Principais parâmetros físicos de qualidade da água, metais pesados e suas características.

Parâmetro	Características	Causa provável que altera as condições naturais
Turbidez (Turb)	É um parâmetro físico e representa o grau com que os sólidos em suspensão presentes na água atenuam a passagem de luz, deixando a água turva (ANA, 2020; CETESB, 2018).	O aumento da turbidez na água acontece principalmente devido a presença de matérias sólidas em suspensão (silte, argila, sílica, coloides), matéria orgânica e inorgânica, organismos microscópicos e algas (SCHORR, 2022).
Sólidos Totais (ST)	Sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado (CETESB, 2018).	O aumento da erosão nas margens dos rios e riachos pode elevar os níveis de ST na água (ANA, 2020).
Temperatura (Temp)	Variações de temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical (CETESB, 2018).	Elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais e usinas termoeletricas (CETESB, 2018).
Condutividade Elétrica (CE)	É a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica (CETESB, 2018).	Pode indicar a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes (CETESB, 2018).
Metais Pesados	Elementos químicos que, mesmo em baixas concentrações, conferem à água características de toxicidade. Tais substâncias são denominadas micropoluentes. O maior destaque nesse caso é dado aos metais pesados, por exemplo, arsênio, cádmio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio, níquel, prata, zinco (BRASIL, 2006).	Esses contaminantes são originários de distintos processamentos industriais, do uso de fertilizantes e de agrotóxicos. Porém, tendo em vista que em lançamentos industriais sua ocorrência é mais concentrada e localizada, a presença de metais pesados torna-se mais significativa e preocupante (BRASIL, 2006).

Tabela 5: Principais parâmetros químicos de qualidade da água e suas características.

Parâmetro	Características	Causa provável que altera as condições naturais
Nitrogênio (N)	Pode se apresentar na forma de nitrito e nitrato. Provoca o enriquecimento do meio possibilitando o crescimento mais intenso de seres vivos, principalmente algas (CETESB, 2018; VON SPERLING, 2016).	O lançamento de esgoto sanitário, escoamento advindo de áreas com a presença de fertilizantes agrícolas. (VON SPERLING, 2016).
Fósforo Total (P)	É um indicador do excesso de ortofosfato, polifosfatos, fosfatos condensados e fósforo orgânico. (CETESB, 2018).	O fósforo se agrega aos sedimentos sendo, portanto, associado à poluição dos sedimentos e por fertilizantes (BRIDA, 2021).
Oxigênio Dissolvido (OD)	Oxigênio proveniente da atmosfera dissolvido nas águas naturais, devido à diferença de pressão parcial. Este mecanismo define a concentração de saturação de um gás na água, em função da temperatura (CETESB, 2018).	O aumento da matéria em um rio leva ao consumo de oxigênio dissolvido, em virtude da estabilização da matéria orgânica que ocorre graças às bactérias decompositoras, as quais utilizam o oxigênio dissolvido para sua respiração (VON SPERLING, 2014)
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	É a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável (CETESB, 2018).	Aumento de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica, como os esgotos sanitários (CETESB, 2018)
pH	o potencial hidrogeniônico refere-se à quantidade de cátions hidrônio presentes no meio e indica se esse meio, ou mistura, é ácido, básico ou neutro. (BRASIL, 2006).	Alterações nos valores de pH também podem aumentar o efeito de substâncias químicas que são tóxicas para os organismos aquáticos, tais como os metais pesados (ANA, 2020)

3.1.3. Parâmetros Microbiológicos de Qualidade da Água

A detecção e quantificação de todos os micro-organismos patogênicos potencialmente presentes na água é trabalhoso, demanda tempo, os custos são elevados. O objetivo do exame

microbiológico da água é fornecer subsídio a respeito da ausência de risco de ingestão de micro-organismos causadores de doenças, geralmente provenientes da contaminação pelas fezes humanas e outros animais de sangue quente. Os micro-organismos patogênicos incluem vírus, bactérias, protozoários e helmintos. Como indicadores de contaminação fecal, são eleitas como bactérias de referência as do grupo coliforme. Essas bactérias do grupo de coliformes (Tabela 6), sobrevivem apenas durante curtos períodos de tempo na água e, de modo geral, admite-se que, quando presentes, a contaminação é recente, porém alguns efluentes são tão poluídos com matéria orgânica que as bactérias coliformes não apenas sobrevivem, mas podem se manter como populações significativas (FUNASA, 2014).

Tabela 6: Características dos coliformes termotolerantes.

Coliformes Termotolerantes	Micro-organismos do grupo coliforme, capazes de fermentar a lactose a 45°C, sendo representados principalmente pela <i>Escherichia coli</i> e, também por algumas bactérias dos gêneros <i>Klebsiella</i> , <i>Enterobacter</i> e <i>Citrobacter</i> (CETESB, 2018).	É um indicador aceitável de contaminação fecal na água (CETESB, 2018).
----------------------------	--	--

Quando a água não se encontra com uma boa qualidade microbiológica, pode provocar diversas doenças transmitidas por ela ou por alimentos produzidos em contato direto, afetando a saúde dos que fizerem uso. Atualmente as maiores ameaças microbiológicas relacionadas com o consumo de água são de contaminantes naturais de fezes humanas ou animais (NOGUEIRA *et al.*, 2009; FUNASA, 2014;).

Os resultados das análises dos padrões microbiológicos em rios (coliformes totais e termotolerantes, e bactérias mesófilas aeróbias) devem estar em conformidade às Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n. 430/2011 (BRASIL, 2011) e n.357/2005 (BRASIL, 2005).

3.2. Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe

O Brasil possui legislações específicas referentes à qualidade da água de mananciais superficiais, como a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n.357 de 2005 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento desses corpos hídricos, e a Resolução do CONAMA, n.430 de 2011, que complementa e substitui

parcialmente a Resolução n.357, estabelecendo limites para alguns parâmetros a serem analisados antes de permitir o lançamento de efluentes em um corpo receptor.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, as águas doces são classificadas em cinco classes: classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4. Quanto maior o número da classe, menos nobre são os usos destinados para o corpo hídrico e menos rígidos serão os parâmetros estabelecidos. O enquadramento nas referidas classes impõe uma meta de qualidade de água a ser, obrigatoriamente, alcançada ou mantida no manancial.

A bacia do Capibaribe enquadra-se na classe 2, seguindo a orientação da Resolução CONAMA Nº 357/2005 (MOURA, 2020). No entanto, segundo um relatório pela Agência Estadual de Meio Ambiente do Pernambuco, nessa bacia foi identificado um comprometimento da qualidade da água, entre os parâmetros que apresentaram inconformidades em relação aos padrões da classe 2 das águas doces da Resolução do CONAMA destacam-se em ordem decrescente: Coliformes Termotolerantes ,OD, Fósforo Total e DBO (CPRH, 2019). Evidenciando um possível comprometimento da qualidade da água dessa bacia pelo lançamento de cargas poluidoras. A Resolução CONAMA nº 357/2005 orienta que para o parâmetro de coliformes termotolerantes, sejam utilizados os padrões dispostos na Resolução CONAMA nº 274/2000, responsável por dispor os limites para fins de balneabilidade, permitindo a densidade máxima de 2500 coliformes fecais por 100 mililitros.

Na bacia do Capibaribe evidencia-se o predomínio de áreas agrícolas antropizadas, sobretudo de pastos e de cana de açúcar, seguido de vegetação arbustiva, com remanescentes de vegetação arbórea nativa. No Baixo Capibaribe, situado na Zona da Mata, o balanço hídrico é positivo, já que as necessidades podem ser supridas pela produção de água na própria macrozona. Entretanto, nessa região há a necessidade de uma adequada gestão dos recursos hídricos quanto à conservação das áreas de recarga dos aquíferos e quanto ao controle da poluição, entre outros (BRAGA et al, 2015).

O Rio Capibaribe passa por 42 municípios, dentre esses 15 estão integralmente inseridos na bacia e 27 dispõem de sua sede na bacia. A interação da bacia com distintas zonas climáticas confirma a complexidade da natureza existente nessa região. A diversidade de formas de ocupação humanas estabelecidas torna este estrato geográfico ainda mais abrangente em termos de complexidade. Sete cidades estão dispostas ao longo do Rio Capibaribe, em sequência, da nascente à foz: Santa Cruz do Capibaribe, Toritama, Salgadinho, Limoeiro, Paudalho, São Lourenço da Mata e Recife. A elas somam-se ao longo do percurso de portes inferiores, como distritos municipais, vilas e extensões urbanas para além do perímetro urbano (ARAGÃO, 2019; SRHE/PE, 2010). As formas de uso dos solos

nas áreas de margens do rio Capibaribe nas manchas urbanas de Santa Cruz do Capibaribe, Limoeiro e São Lourenço geram impactos como os relatados na Tabela 7, que mostra as atividades predominantes (ARAGÃO, 2019).

Tabela 7: Principais impactos observados nas margens do Rio Capibaribe.

Usos do solo	Impactos	Cidades		
		Santa Cruz do Capibaribe	Limoeiro	São Lourenço da Mata
Residencial	Supressão de cobertura vegetal		x	x
	Impermeabilização do solo		x	x
	Lançamento de efluentes domésticos no rio	x	x	x
	Despejo indevido de resíduos sólidos		x	x
Indústria	Supressão de cobertura vegetal		x	x
	Impermeabilização do solo	x	x	x
	Lançamento de efluentes domésticos no rio		x	x
Comércio Formal e Informal	Supressão de cobertura vegetal		x	x
	Impermeabilização do solo		x	x
	Lançamento de efluentes domésticos no rio	x	x	x
	Produção de resíduos sólidos para escoamento difusa		x	x
Serviços (educação, saúde, escritórios de seguros, oficinas, contabilidade, etc.)	Supressão de cobertura vegetal		x	x
	Impermeabilização do solo		x	x
	Lançamento de efluentes domésticos no rio	x	x	x
	Produção de resíduos sólidos para escoamento difusa		x	x
Lazer e esportes	Supressão de cobertura vegetal			x
	Impermeabilização do solo		x	x
	Lançamento de efluentes domésticos no rio		x	x
Pecuária	Supressão de cobertura vegetal		x	x
	Exposição do solo a processos erosivos acelerados	x	x	x
Extrativismo	Supressão de cobertura vegetal		x	
	Exposição do solo a processos erosivos acelerados	x	x	
	Poluição do rio		x	

Fonte: ARAGÃO (2019).

O estudo desenvolvido por Aragão (2019) já indica a presença de atividades poluidoras em alguns trechos nas margens do Rio Capibaribe, o presente trabalho irá complementar essa análise para o município de São Lourenço da Mata realizando e também a classificação para Tiúma e Paudalho, associando os impactos com os parâmetros de qualidade da água analisados. A Política Nacional de Recursos Hídricos incorporou a participação municipal na gestão dos recursos hídricos por meio da integração das políticas locais de saneamento, uso e ocupação do solo e de meio ambiente com as políticas em nível federal e estadual de recursos hídricos. Para que os Municípios presentes na bacia hidrográfica passassem a desempenhar a atribuição supracitada, foi de suma importância a criação da Lei Federal nº 10.257/2001, conhecida como Estatuto da Cidade. O Estatuto da Cidade apresenta mecanismos legais destinados à função social da propriedade, e tem contribuído para a caracterização e efetivação das funções social e ambiental da propriedade urbana, uma vez que regula o uso da propriedade urbana em prol do equilíbrio ambiental (BRASIL, 2001).

3.3. Estatística: Correlação de Pearson

Segundo Valentini (2021) as ferramentas estatísticas multivariadas podem ser utilizadas para avaliar os efeitos das atividades humanas na qualidade da água de corpos hídricos. Essas ferramentas são amplamente utilizadas para identificar problemas ambientais e têm-se mostrado úteis para lidar com conjuntos de dados ambientais complexos.

A análise de correlação é um método estatístico usado para estudar o grau de relação entre variáveis, indicando a magnitude como duas variáveis se correlacionam entre si. O coeficiente de correlação de Pearson (r) ou coeficiente de correlação produto-momento é um teste cujo objetivo é medir o grau de **correlação** linear entre duas variáveis quantitativas, atributo ou característica de determinado assunto.

É um índice adimensional com valores situados entre -1,0 e 1,0 inclusive, que reflete a intensidade de uma relação linear entre dois conjuntos de dados. Este coeficiente, normalmente representado pela letra "r" assume apenas valores entre -1 e 1. Onde, $r = 1$ significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis. $r = -1$ indica uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis, ou seja, se uma aumenta, a outra sempre diminui. $r = 0$ significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra, conforme a classificação da Tabela 8 (CALLEGARI-JACQUES, 2009).

Tabela 8: Categorização para os valores do coeficiente de correlação de Pearson.

Intervalo do coeficiente de correlação (r)	Classificação
0 - 0,1	Nula
0,1 - 0,3	Fraca
0,3 - 0,6	Moderada
0,6 - 0,9	Forte
0,9 - 1	Muito Forte
1	Perfeita

Fonte: A autora adaptado de CALLEGARI-JACQUES, 2009.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização Metodológica

A metodologia descrita no presente trabalho é de natureza prática, descritiva quanto ao objeto de estudo e contempla uma abordagem qualitativa e quantitativa de seus resultados (PRODANOV, 2013). Esse estudo se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), por debater o monitoramento da qualidade da água, que é um recurso essencial à vida humana. Os ODS são resultados de um pacto global assinado durante a Cúpula das Nações Unidas em 2015 pelos 193 países membros, a agenda é composta por 17 objetivos, dos quais essa pesquisa se enquadra aos objetivos 6, 11, respectivamente, água potável e saneamento, cidades e comunidades sustentáveis (AGENDA 2030, 2022).

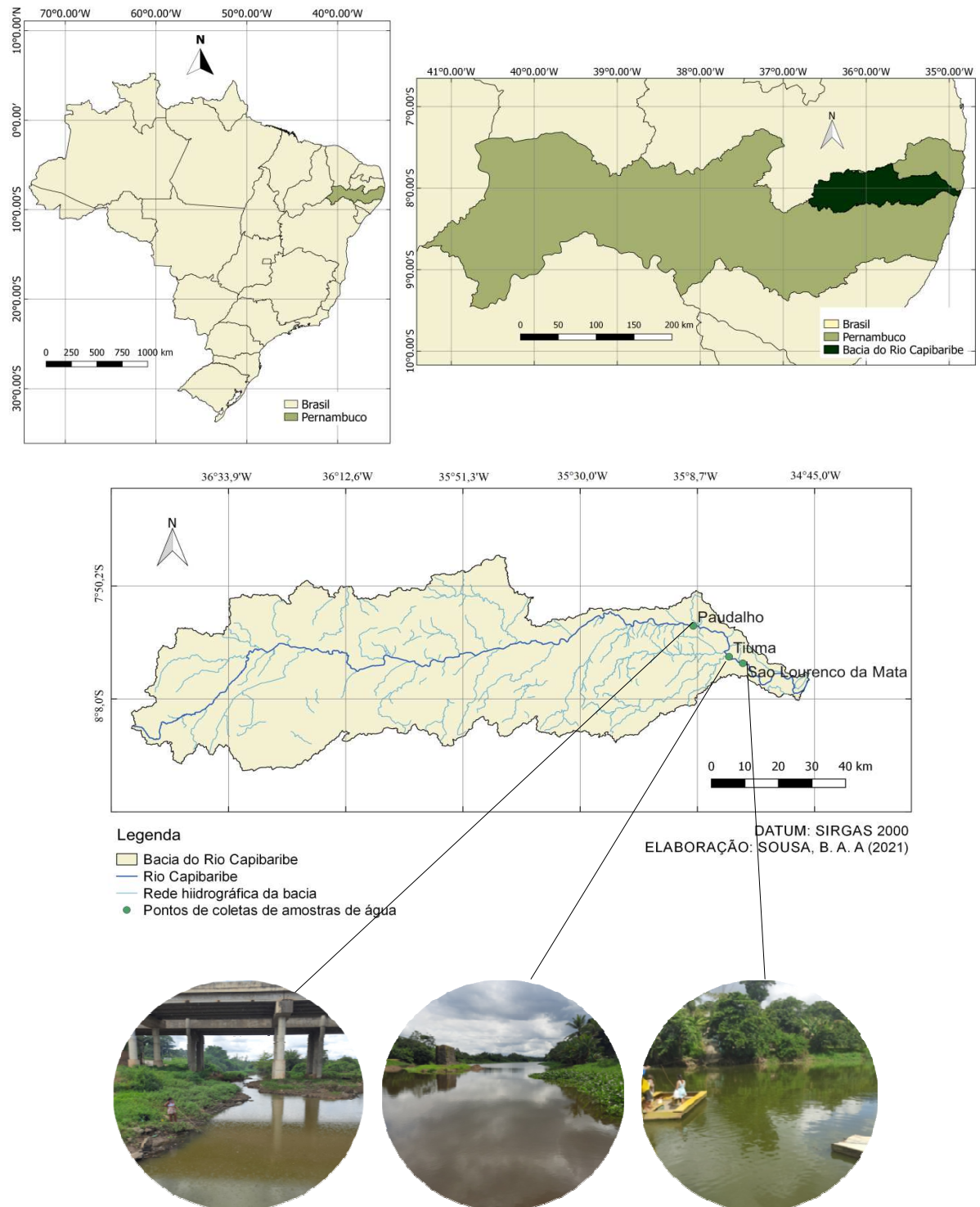
4.2. Localização da Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Capibaribe, que corresponde à Unidade de Planejamento Hídrico UP2, está localizada na porção norte-oriental do Estado de Pernambuco. O rio Capibaribe foi monitorado em três pontos, localizados nos municípios Paudalho e São Lourenço da Mata (Centro e Tiúma), como mostra a Figura 01. Essas regiões foram selecionadas por observância de intensas atividades antropogênicas e que se configuram como potenciais poluidoras. Segundo a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) (2022), o rio Capibaribe apresenta regime fluvial intermitente nos seus alto e médio cursos, tornando-se perene somente a partir do município de Limoeiro, no seu baixo curso, ou seja, na região escolhida o trecho do rio é perene, possibilitando a coleta em todas as estações do ano.

As amostras para análise de qualidade da água foram coletadas mensalmente por onze meses, as coletas se iniciaram em de junho de 2021 sendo finalizadas em abril de 2022,

totalizando 33 amostras. O monitoramento consiste na avaliação dos parâmetros relacionados ao IQA, IET e metais pesados.

Figura 1: Localização georreferenciada dos pontos onde as amostras foram coletadas.



4.3. Avaliação da Qualidade da Água

A qualidade da água foi avaliada quantitativamente através da aferição da concentração dos parâmetros listados na Tabela 9 e classificada qualitativamente conforme o resultado do IQA e IET-P. A fim de identificar contaminações por metais pesados, foram analisados por espectrofotometria de absorção atômica os metais cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), manganês (Mn) e zinco (Zn).

Os ensaios analíticos foram realizados conforme os métodos para análises de águas potáveis e residuais constantes no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (A. P. H. A. et al 2012) usando as metodologias descritas na Tabela 8. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Análise de Minerais, Solo e Água (LAMSA) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Tabela 9: Parâmetro avaliado e seu método de aferição.

Parâmetro	Método
Temperatura	Potenciométrico (Sonda multiparâmetro)
Oxigênio Dissolvido	Potenciométrico (Sonda multiparâmetro)
pH	Potenciométrico (Sonda multiparâmetro)
Resíduo Total	Potenciométrico (Sonda multiparâmetro)
Condutividade Elétrica	Potenciométrico (Sonda multiparâmetro)
Nitrogênio	Espectrofotométrico
Fósforo	Espectrofotométrico
Turbidez	Turbidímetro de bancada
DBO	DBO5(20)
Coliformes Termotolerantes	Tubos múltiplos
Metais pesados (Cd, Pb, Cu, Cr, Mn, Zn)	Espectrofotometria de absorção atômica

4.4. Tratamento Estatístico

Na análise descritiva dos resultados foi utilizada a estatística descritiva observando os valores de média, desvio padrão, máximos e mínimos dos parâmetros de qualidade da água monitorados durante o período avaliado; considerando, inclusive, as influências sazonais (períodos chuvoso e seco) no intervalo temporal estudado. Foi realizada análise de Correlação de Pearson entre a precipitação média mensal e os parâmetros de qualidade da água, gerando uma matriz de correlação. Identificada as correlações existentes eram submetidas ao processo de regressão linear simples.

5. RESULTADOS

5.1. Índice de Qualidade da Água

Ao se discutir a qualidade da água o foco torna-se a quantificação sobre os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Entretanto a discussão mais ampla quando além dos aspectos técnicos leva-se em consideração o claro entendimento de tais parâmetros. Uma das principais vantagens do IQA, que é amplamente utilizado pela CETESB e pela Agência Nacional de Águas (ANA) para qualificar dados referentes à qualidade da água de mananciais. Os Gráficos 1, 2 e 3 mostram como se comportou o Rio Capibaribe no tocante a qualidade da água ao longo da pesquisa, as faixas de cor no gráfico indicam a estação do ano.

Gráfico 1: Resultado do IQA mensal no município de Paudalho.



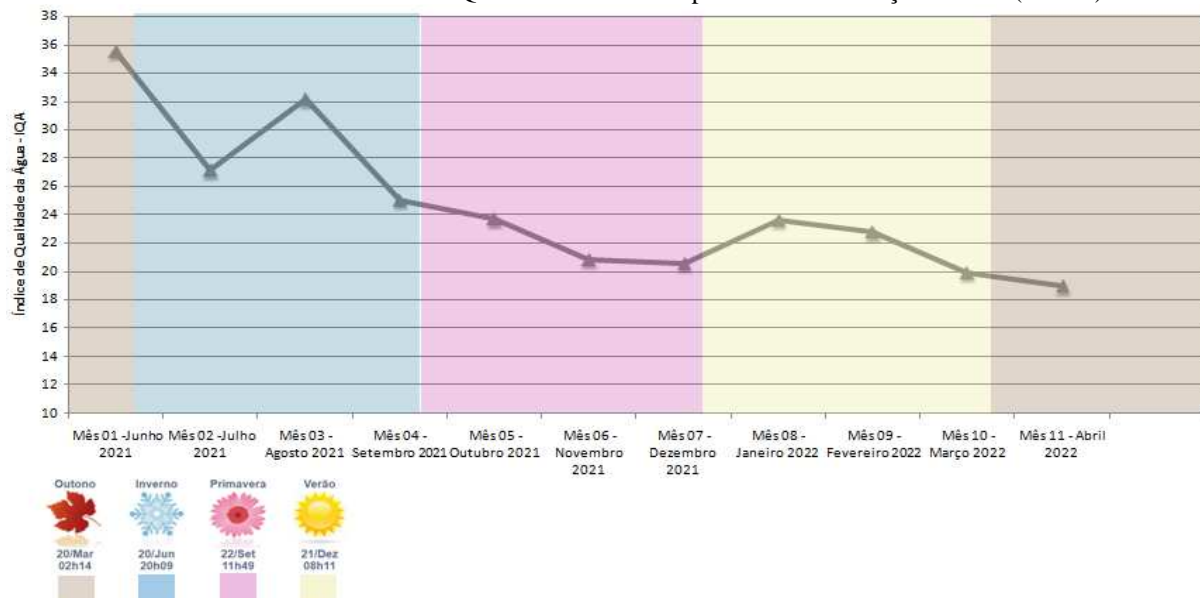
Para a cidade de Paudalho o IQA calculado teve pior resultado em julho, sendo a água nesse mês classificada como péssima para os demais meses de pesquisa houve pouca variação numérica do IQA. A Tabela 10 apresenta os valores calculados do IQA e como eles se enquadram na classificação qualitativa de água, onde podemos observar que a qualidade da água preponderantemente é ruim.

Tabela 10: Resultado da classificação do IQA mensal do município de Paudalho.

Classificação da qualidade (CETESB, 2018)		
IQA		Avaliação
80	100	Ótima
52	79	Boa
37	51	Razoável
20	36	Ruim
0	19	Péssima

Classificação mensal da pesquisa		
Mês 01 -Junho 2021	21	Ruim
Mês 02 -Julho 2021	19	Péssima
Mês 03 -Agosto 2021	24	Ruim
Mês 04 - Setembro 2021	29	Ruim
Mês 05 - Outubro 2021	20	Ruim
Mês 06 - Novembro 2021	23	Ruim
Mês 07 - Dezembro 2021	23	Ruim
Mês 08 - Janeiro 2022	23	Ruim
Mês 09 - Fevereiro 2022	23	Ruim
Mês 10 - Março 2022	21	Ruim
Mês 11 - Abril 2022	21	Ruim

O Gráfico 2 apresenta os resultados do IQA para o ponto de coleta localizado no centro de São Lourenço da Mata, onde é possível identificar uma tendência de diminuição na qualidade da água no decorrer da pesquisa, demonstrada pela queda no valor do IQA que foi de 36 (junho) no início do trabalho até 19 (abril) sendo classificado de ruim e péssimo respectivamente.

Gráfico 2: Resultado do IQA mensal no município de São Lourenço da Mata (Centro).

O IQA nesse ponto também obteve pouca variação numérica sendo que a avaliação qualitativa classificou a água como ruim na maior parte dos meses, caindo para péssima em abril de 2022 (último mês de coleta), conforme classificação apresentada na Tabela 11.

Tabela 11: Resultado da classificação do IQA mensal do município de São Lourenço da Mata (Centro).

Classificação da qualidade (CETESB, 2018)		
IQA		Avaliação
80	100	Ótima
52	79	Boa
37	51	Razoável
20	36	Ruim
0	19	Péssima

Classificação mensal		
Mês 01 -Junho 2021	36	Ruim
Mês 02 -Julho 2021	27	Ruim
Mês 03 -Agosto 2021	32	Ruim
Mês 04 - Setembro 2021	25	Ruim
Mês 05 - Outubro 2021	24	Ruim
Mês 06 - Novembro 2021	21	Ruim
Mês 07 - Dezembro 2021	21	Ruim
Mês 08 - Janeiro 2022	24	Ruim
Mês 09 - Fevereiro 2022	23	Ruim
Mês 10 - Março 2022	20	Ruim
Mês 11 - Abril 2022	19	Péssima

Gráfico 3: Resultado do IQA mensal no município de São Lourenço da Mata (Tiuma).

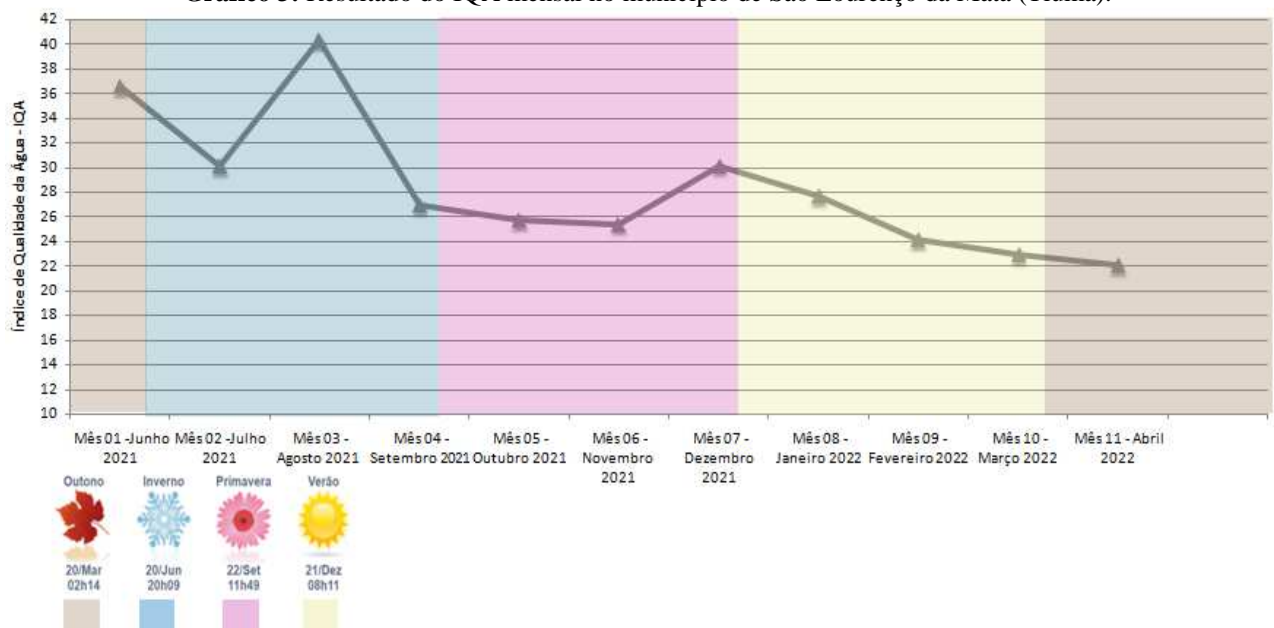


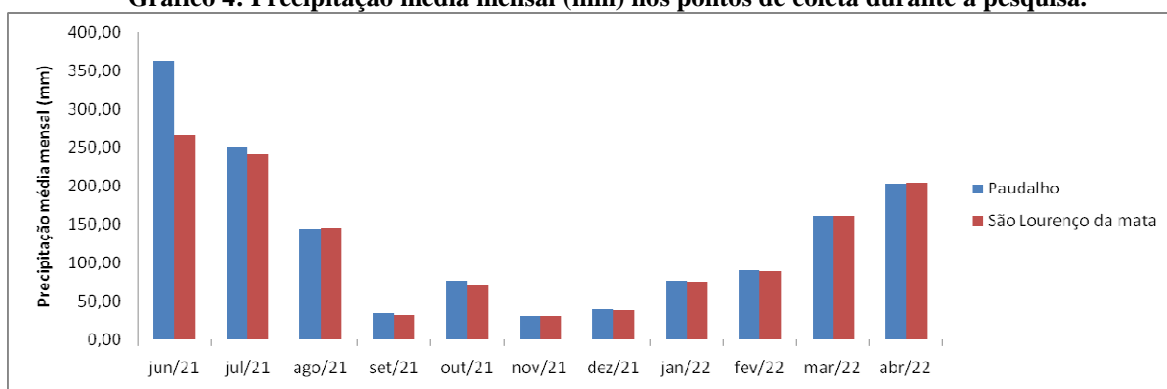
Tabela 12: Resultado da classificação do IQA mensal do município de São Lourenço da Mata (Tiuma).

Classificação da qualidade (CETESB, 2013)		
IQA		Avaliação
80	100	Ótima
52	79	Boa
37	51	Razoável
20	36	Ruim
0	19	Péssima

Classificação mensal		
Mês 01 -Junho 2021	37	Razoável
Mês 02 -Julho 2021	30	Ruim
Mês 03 -Agosto 2021	40	Razoável
Mês 04 - Setembro 2021	27	Ruim
Mês 05 - Outubro 2021	26	Ruim
Mês 06 - Novembro 2021	25	Ruim
Mês 07 - Dezembro 2021	30	Ruim
Mês 08 - Janeiro 2022	28	Ruim
Mês 09 - Fevereiro 2022	24	Ruim
Mês 10 - Março 2022	23	Ruim
Mês 11 - Abril 2022	22	Ruim

Durante as visitas em campo para a coleta das amostras, verifico-se a atuação do homem sobre a natureza do rio através de atividades como pesca, criação de animais as margens do manancial, como também descartem de resíduos sólidos e líquidos. Tais atividades são consideradas com potencial poluidor e degradativas a qualidade da água, relacionando-se aos resultados negativos do IQA obtidos nesse trabalho.

Os índices calculados mostram que a qualidade da água no Rio Capibaribe já está comprometida e indica uma tendência de agravamento desses impactos na qualidade da água nos três pontos de coleta. O Gráfico 4 traz os valores médios mensais de precipitação de acordo com a APAC. Esses dados quando relacionando com os valores do IQA nos respectivos municípios, podemos verificar que entre os meses de setembro e outubro esse índice começa a decair assim como os valores de chuva desse período.

Gráfico 4: Precipitação média mensal (mm) nos pontos de coleta durante a pesquisa.

Fonte: A autora com dados da APAC (www.apac.pe.gov.br, 2022).

Alguns parâmetros de qualidade da água são mais susceptíveis a influência da variação sazonal e climática, por exemplo, turbidez, pH, condutividade elétrica, entre outros. Na análise dos registros feitos pela APAC com a média mensal de precipitação verificou-se através da matriz de correlação de Pearson, quais variáveis do estudo apresentaram correlação com a pluviometria e com outros parâmetros. Correlação mostrada na Tabela 13 (Paudalho), Tabela 15 (São Lourenço da Mata - Centro) e Tabela 16 (São Lourenço da Mata - Tiuma).

Tabela 13: Matriz de correlações para o ponto de coleta em Paudalho.

		Prec.	DBO	CE	pH	N	OD	Tp	ST	Sal.	Turb
Prec.	r-pearson	-									
	p-pearson	-									
DBO.	r-pearson	0,270	-								
	p-pearson	0,422	-								
CE	r-pearson	0,022	-0,210	-							
	p-pearson	0,950	0,536	-							
pH	r-pearson	0,256	0,440	-0,156	-						
	p-pearson	0,447	0,176	0,647	-						
N	r-pearson	0,571	0,464	-0,214	0,077	-					
	p-pearson	0,066	0,150	0,527	0,823	-					
OD	r-pearson	0,006	-0,180	0,647*	-0,420	-0,303	-				
	p-pearson	0,986	0,597	0,031	0,198	0,366	-				
Tp	r-pearson	-0,253	0,018	0,515	-0,214	-0,151	0,158	-			
	p-pearson	0,452	0,957	0,105	0,527	0,658	0,642	-			
ST	r-pearson	0,178	0,346	0,229	0,526	-0,421	0,064	0,113	-		
	p-pearson	0,601	0,297	0,498	0,096	0,197	0,853	0,741	-		
Sal.	r-pearson	0,100	-0,167	0,980***	-0,120	-0,198	0,719*	0,373	0,281	-	
	p-pearson	0,771	0,623	0,001	0,726	0,558	0,013	0,258	0,430	-	
Turb	r-pearson	0,764**	0,162	-0,394	0,097	0,625*	-0,325	-0,485	-0,148	-0,334	-
	p-pearson	0,006	0,634	0,231	0,778	0,040	0,330	0,131	0,663	0,315	-

Nota. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ ($p = p\text{-pearson}$) / Prec. = precipitação / Tp = temperatura / Sal = salinidade.

Para considerarmos uma correlação significativa deve-se obter um valor p-pearson $< 0,05$, de modo que, para valores expostos na Tabela 9, a turbidez e a precipitação apresentaram correlação significativa. O grau dessa correlação é medido pelo r-pearson apontando maior correlação quando próximo de 1, nesse caso 0,764 indica uma correlação forte entres essas variáveis de conforme Tabela 8.

Essa correlação forte com a pluviometria evidencia o aumento de material sólido em suspensão, que tem como principal consequência deixar a água do corpo hídrico turva. Penedo (2015) afirma que a turbidez da água em um ponto é influenciada pelas características da bacia a montante. A precipitação é um dos fatores mais importantes na geração de turbidez de origem difusa em bacias rurais, por sua ação mecânica na desagregação, deslocamento e carregamento das partículas de solo. Contudo, a interação da precipitação com a superfície é influenciada pela cobertura vegetal, pelas características do solo e conformação do terreno, elementos que modelam a trajetória da água entre os processos de interceptação, infiltração e escoamento superficial (PENEDO, 2015). De acordo Richter (2009) a clarificação da água torna-se mais difícil com o aumento da turbidez ocasionada por chuvas.

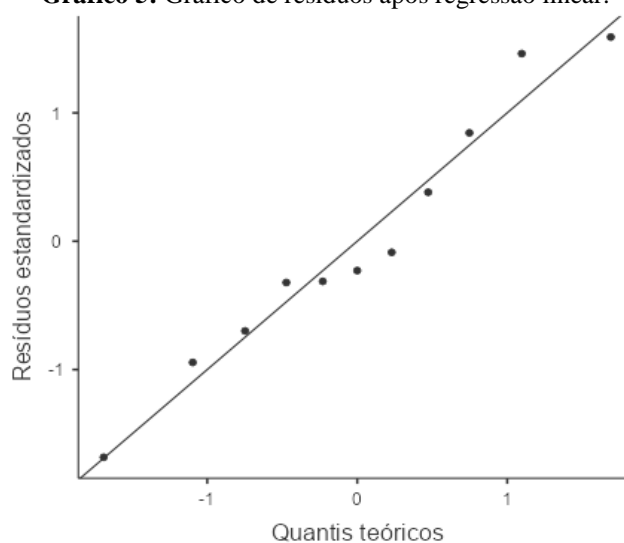
O segundo passo na análise estatística foi realizar uma regressão linear simples entre as variáveis que apresentaram correlação significativa. O objetivo foi identificar o quanto os valores de turbidez são influenciados pela precipitação, como já visto que existe essa correlação significativa entres esses dados. O Gráfico 5 modelo Q-Qplot (resíduos) e a Tabela 14 mostram o resultado dessa regressão.

Tabela 14: Coeficientes resultantes da regressão linear simples entre turbidez e precipitação em Tiuma.

Coeficientes do modelo - Turbidez		$R^2 = 0,584$	
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	P
Intercepto	0,79991	0,148	$<0,01$
Precipitação (mm)	0,00316	$8,8 \cdot 10^{-4}$	0,006

P = p-pearson

Vale ressaltar que os parâmetros avaliados apresentavam distribuição normal de acordo com o teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). O intercepto ou coeficiente $\alpha = 0,79991$, remete ao ponto onde o gráfico toca o eixo, já o valor 0,00316 remete ao coeficiente angular β da reta de regressão.

Gráfico 5: Gráfico de resíduos após regressão linear.

Analogamente o procedimento foi realizado nos demais pontos de coleta. A Tabela 15 mostra a matriz de correlações São Lourenço da Mata - Centro. As variáveis que não tinham distribuição normal foram retiradas da matriz. Para esse ponto não foi possível identificar correlação significativa entre a pluviometria e os parâmetros de qualidade da água.

Tabela 15: Matriz de correlações São Lourenço da Mata (Centro).

		Prec.	DBO	CE	N	OD	Tp	ST	Sal.	Turb
Prec.	r-pearson	-								
	p-pearson	-								
DBO.	r-pearson	-0,199	-							
	p-pearson	0,557	-							
CE	r-pearson	-0,404	0,262	-						
	p-pearson	0,218	0,436	-						
N	r-pearson	0,358	0,090	0,329	-					
	p-pearson	0,280	0,792	0,324	-					
OD	r-pearson	0,411	0,082	-0,143	-0,102	-				
	p-pearson	0,209	0,811	0,676	0,766	-				
Tp	r-pearson	0,047	0,381	0,637*	0,736*	-0,173	-			
	p-pearson	0,890	0,248	0,035	0,010	0,611	-			
ST	r-pearson	-0,230	-0,156	0,563	0,575	-0,322	0,550	-		
	p-pearson	0,497	0,646	0,072	0,064	0,334	0,080	-		
Sal.	r-pearson	-0,353	0,310	0,983***	0,316	0,008	0,615*	0,508	-	
	p-pearson	0,286	0,354	0,001	0,343	0,980	0,044	0,110	-	
Turb	r-pearson	0,141	-0,351	-0,766**	-0,305	-0,369	-0,410	-0,475	-0,830**	-
	p-pearson	0,680	0,290	0,006	0,363	0,264	0,211	0,140	0,002	-

Nota. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ ($p = p$ -pearson) / Prec. = precipitação / Tp = temperatura / Sal = salinidade

O segundo ponto de coleta em São Lourenço da Mata no bairro Tiúma os dados apresentaram correlação significativa muito forte ($p=0,951$) entre a precipitação e a turbidez da água e uma correlação forte entre precipitação e pH ($p=0,711$) e entre a precipitação e o nitrogênio($p=0,629$). A Tabela 16 mostra que além dessas correlações alguns parâmetros de qualidade da água também se correlacionam entre si, a exemplo da condutividade elétrica e a salinidade.

Tabela 16: Matriz de correlações São Lourenço da Mata (Tiúma).

		Prec.	DBO	CE	pH	N	OD	Tp	ST	Sal.	Turb
Prec.	r-pearson	-									
	p-pearson	-									
DBO	r-pearson	0,174	-								
	p-pearson	0,609	-								
CE	r-pearson	-0,229	-0,241	-							
	p-pearson	0,498	0,476	-							
pH	r-pearson	0,711*	0,407	-0,362	-						
	p-pearson	0,014	0,214	0,274	-						
N	r-pearson	0,629*	0,339	-0,558	0,375	-					
	p-pearson	0,042	0,307	0,075	0,255	-					
OD	r-pearson	0,312	0,252	-0,032	0,773**	-0,130	-				
	p-pearson	0,351	0,455	0,925	0,005	0,704	-				
Tp	r-pearson	-0,329	-0,343	0,318	-0,701*	-0,329	-0,407	-			
	p-pearson	0,324	0,302	0,341	0,016	0,323	0,214	-			
ST	r-pearson	-0,438	-0,301	0,736**	-0,464	-0,654*	-0,036	0,516	-		
	p-pearson	0,177	0,368	0,010	0,150	0,029	0,916	0,104	-		
Sal.	r-pearson	-0,185	-0,162	0,989***	-0,246	-0,549	0,089	0,234	0,687*	-	
	p-pearson	0,587	0,633	0,001	0,465	0,080	0,795	0,488	0,020	-	
Turb	r-pearson	0,951***	0,224	-0,437	0,754**	0,740**	0,329	-0,476	-0,589	-0,388	-
	p-pearson	0,001	0,507	0,178	0,007	0,009	0,324	0,139	0,056	0,238	-

Nota. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ ($p = p$ -pearson) / Prec. = precipitação / Tp = temperatura / Sal = salinidade

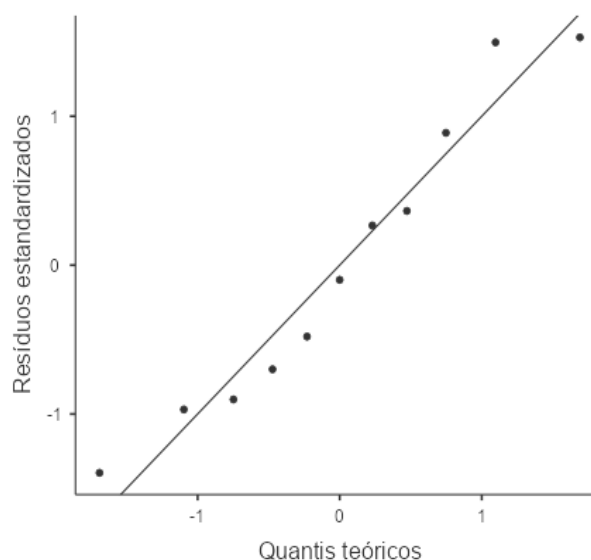
Condutividade elétrica corresponde à medida da capacidade dos íons presentes na água em conduzir eletricidade e cresce proporcionalmente ao aumento da concentração dos sais, por esse motivo justificasse essa correlação muito forte entre CE e salinidade.

Seguindo para a etapa de regressão linear simples, o Gráfico 6 no modelo Q-Qplot mostra a dispersão de resíduos entre pH e precipitação. A Tabela 16 traz os resultados da regressão, onde podemos inferir pelo coeficiente de determinação (R^2) que 50,6% dos dados do pH sofrem influência da precipitação.

Tabela 17: Coeficientes resultantes da regressão linear simples entre pH e Precipitação (Tiuma).

Coeficientes do modelo - pH		$R^2 = 0,506$	
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	P
Intercepto	6,67412	0,21870	<0,01
Precipitação (mm)	0,00450	0,00148	0,014

P = p-pearson

Gráfico 6: Gráfico de resíduos após regressão linear.

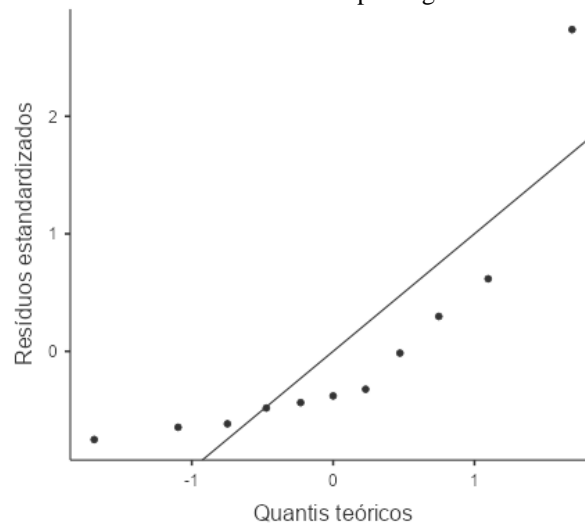
De acordo com pesquisas realizadas por Melo (2011) e Nascimento (2022) existe uma forte correlação entre precipitações e pH, podendo isso estar relacionado à diluição de sais solúveis, como também as condições atmosféricas. Esse último demonstra ser um fator determinante devido presença do gás carbônico (CO_2), ou outros componentes exógenos na atmosfera.

O Gráfico 7 no modelo Q-Qplot mostra a dispersão de resíduos entre N e precipitação. A Tabela 18 traz os resultados da regressão, onde podemos inferir pelo coeficiente de determinação (R^2) que 18,1% dos dados do N sofrem influência da precipitação.

Tabela 18: Coeficientes resultantes da regressão linear simples N e Precipitação (Tiuma).

Coeficientes do modelo - N		$R^2 = 0,181$	
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	P
Intercepto	1,1921	1,45953	0,435
Precipitação (mm)	0,0140	0,00988	0,191

P = p-pearson

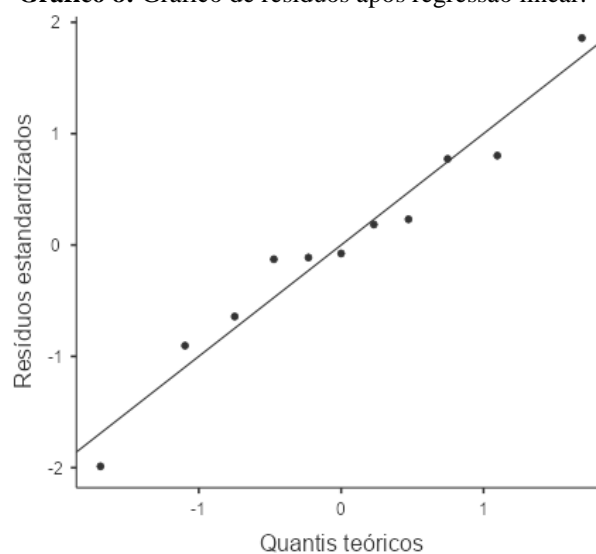
Gráfico 7: Gráfico de resíduos após regressão linear.

O Gráfico 8 mostra a dispersão de resíduos entre turbidez e precipitação. A Tabela 18 apresenta os resultados da regressão. Como as distribuições que estão sendo comparadas são bem semelhantes, os pontos no gráfico Q-Q repousam mais próximos a reta.

Tabela 19: Coeficientes resultantes da regressão linear simples turbidez e precipitação (Tiuma).

Coeficientes do modelo - Turbidez		$R^2 = 0,904$	
Preditor	Estimativas	Erro-padrão	P
Intercepto	0,57498	0,0746	<0,001
Precipitação (mm)	0,00466	$5,05 \cdot 10^{-4}$	<0,001

P = p-pearson

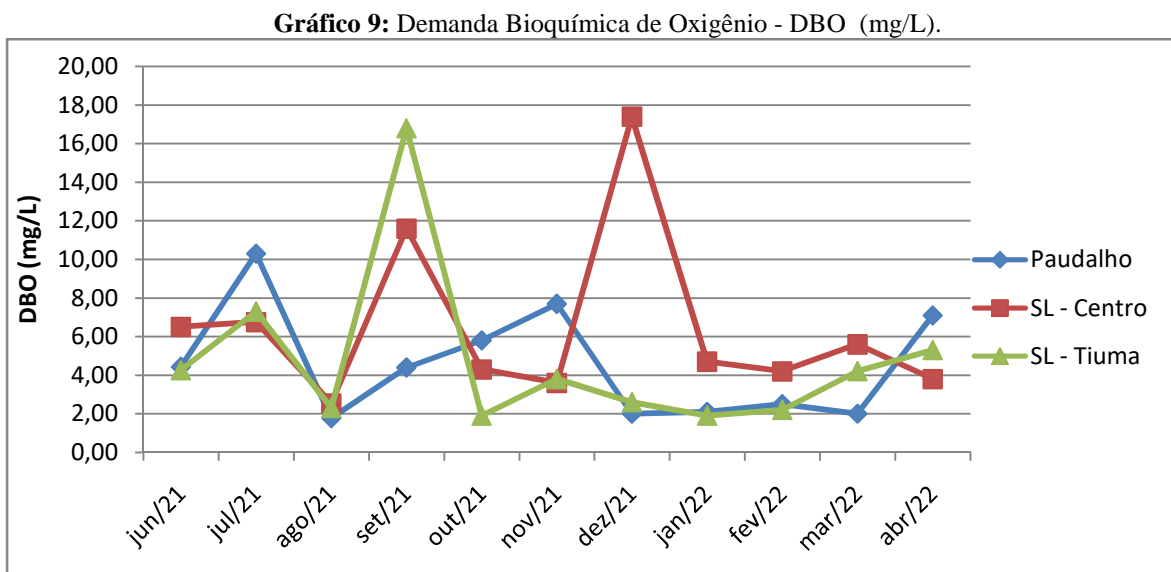
Gráfico 8: Gráfico de resíduos após regressão linear.

A regressão linear simples aponta a predição que a precipitação tem de influenciar as variáveis a qual esta se relaciona significativamente. Através do R^2 temos um indicativo do

percentual dessa predição. A turbidez em Tiúma se destacou nesse quesito, apresentando um coeficiente de determinação (R^2) de 90,4%.

5.2. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

O Gráfico 9 mostra como se comportou as concentrações de DBO ao longo da pesquisa para os três pontos de coleta. Os valores de pico se concentraram entre os meses de setembro e dezembro, onde se teve os menores índices de precipitação média na região.



Além de ser um dos parâmetros utilizados no IQA a medição e análise individual da DBO é um significativo indicador de contaminação em águas. Esse parâmetro é muito importante no estudo e categorização da água não consumível. As medições de DBO determinam o oxigênio total necessário para equilibrar o carbono orgânico, além de apontar a biodegradabilidade e a existência de matéria orgânica no local, e sua presença deste composto, um método usado para determinar a eficácia metabolizada por bactérias comumente encontradas na água contaminada (LACHAPELLE *et al.*, 2019).

A Tabela 20 apresenta os valores notáveis de DBO para cada ponto de coleta de amostra, o valor mínimo encontrado foi de 1,77 mg/L medido no mês de agosto em Paudalho, já o valor máximo foi mensurado em São Lourenço da Mata, que no mês de dezembro apresentou um valor de 17,4 mg/L de DBO.

Tabela 20: Valores notáveis de DBO por ponto de coleta.

DBO (mg/L)	Paudalho	São L. da Mata (Centro)	São L. da Mata (Tiuma)
máxima	10,30	17,40	16,80
média	4,55	6,45	4,78
mínima	1,77	2,54	1,90

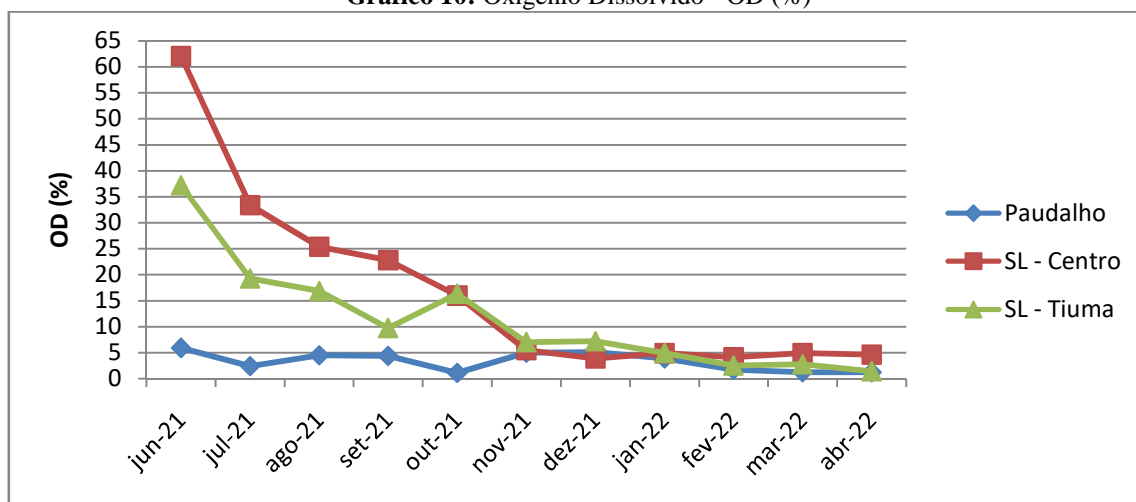
A Resolução n.357/05 do CONAMA que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelece limites de DBO para cada classe mostrada na Tabela 21. Confrontando esses valores com os resultados obtidos para este trabalho nota-se que o manancial, antes indicado para a Classe II, não mais se enquadra nessa classificação. O limite da Classe II (5 mg/L) de DBO foi superado em pelo menos um dos pontos de coleta durante os nove meses da pesquisa.

Tabela 21: Valores máximos de DBO estabelecidos pela Resolução CONAMA n.357/05.

DBO 5 dias a 20°C	Águas Doces		
	Classe I	Classe II	Classe III
	3 mg/L	5 mg/L	10 mg/L

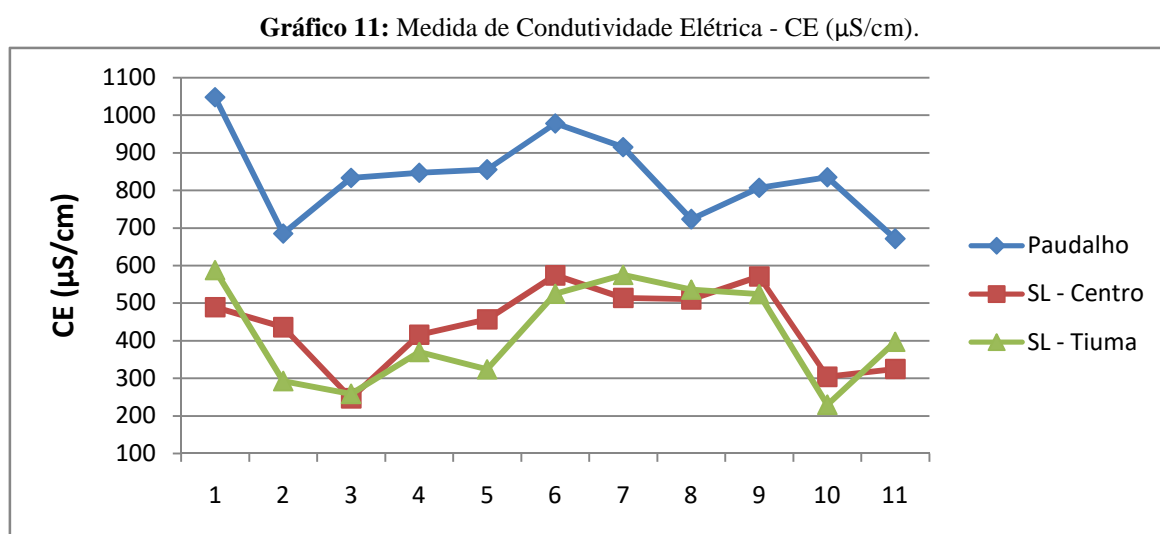
Segundo Von Sperling (2014), o principal efeito ecológico da poluição orgânica em um curso d'água é o decréscimo dos teores de OD e aumento da DBO. A DBO representa uma medida indireta de compostos orgânicos, que são depurados gerando o consumo de OD.

O Gráfico 10 mostra o comportamento do OD, onde podemos observar que após os picos de DBO entre setembro e dezembro houve uma queda na concentração de OD, indicando que no balanço de OD o consumo para depuração da matéria orgânica foi superior aos mecanismos de reeração do manancial.

Gráfico 10: Oxigênio Dissolvido - OD (%)

5.3. Condutividade Elétrica (CE)

A CE é uma medida da capacidade de uma solução aquosa de transportar uma corrente elétrica, estando diretamente relacionada com as características geoquímicas e com as condições climáticas do local, cuja alteração, na água, está associada aos elementos de sódio, cálcio e magnésio, por esse motivo é frequentemente usada como uma medida indireta da salinidade (VON SPERLING, 2014). O Gráfico 11 mostra como se comportou a CE ao longo da pesquisa para os três pontos de coleta.



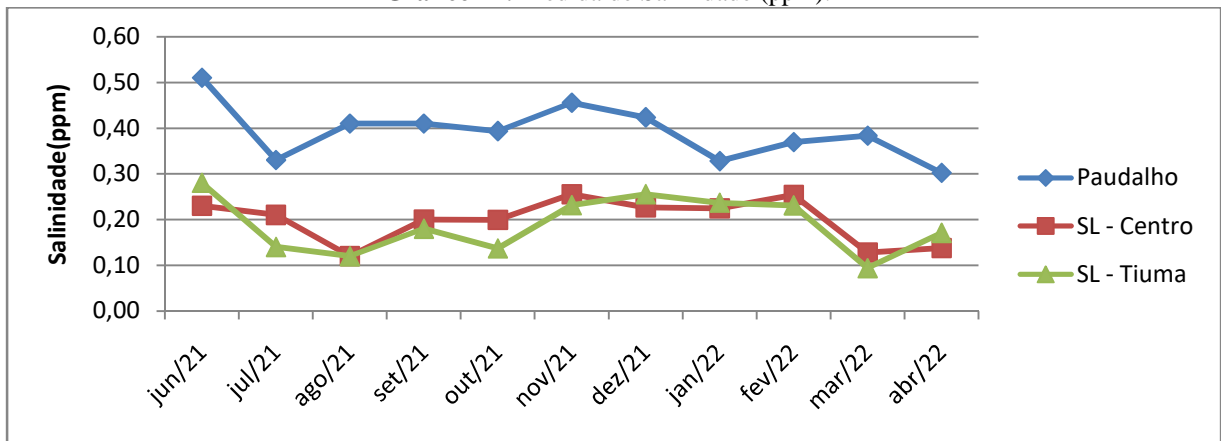
No ponto de coleta em Paudalho a condutividade apresentou valores muito elevados, sendo o mínimo encontrado $651 \mu\text{S}/\text{cm}$ chegando até $1050 \mu\text{S}/\text{cm}$. A Resolução CONAMA nº 357/2005 não determina valores para o parâmetro condutividade elétrica, no entanto, a CETESB considera que valores acima de $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ são indicativos de ambientes impactados. Como pode ser observado no Gráfico 11, para os três pontos de coleta do rio Capibaribe durante toda pesquisa a CE ficou acima de $100 \mu\text{S}/\text{cm}$, o que de acordo com a CETESB, indica que esse ambiente foi impactado por ações antropogênicas. A Tabela 22 apresenta os valores notáveis para cada ponto amostral.

Tabela 22: Valores notáveis de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) medidos durante a pesquisa.

	Paudalho	São Lour. da Mata (Centro)	São Lour. da Mata (Tiama)
Média	836	440	420
Desvio-Padrão	116	109	134
Mínimo	671	247	229
Máximo	1048	574	588

Como Segundo Von Sperling (2014) a condutividade é frequentemente usada como uma medida indireta da salinidade por ser um indicativo da presença de sódio, cálcio e magnésio, associado a altas taxas de evaporação e geralmente condições hidrogeológicas favoráveis a teores elevados de sais nos corpos d'água, o que também justifica altos valores de condutividade elétrica. O Gráfico 12 apresenta os dados referentes a salinidade medidos durante esse estudo, onde pode-se observar essa semelhança com o Gráfico 11.

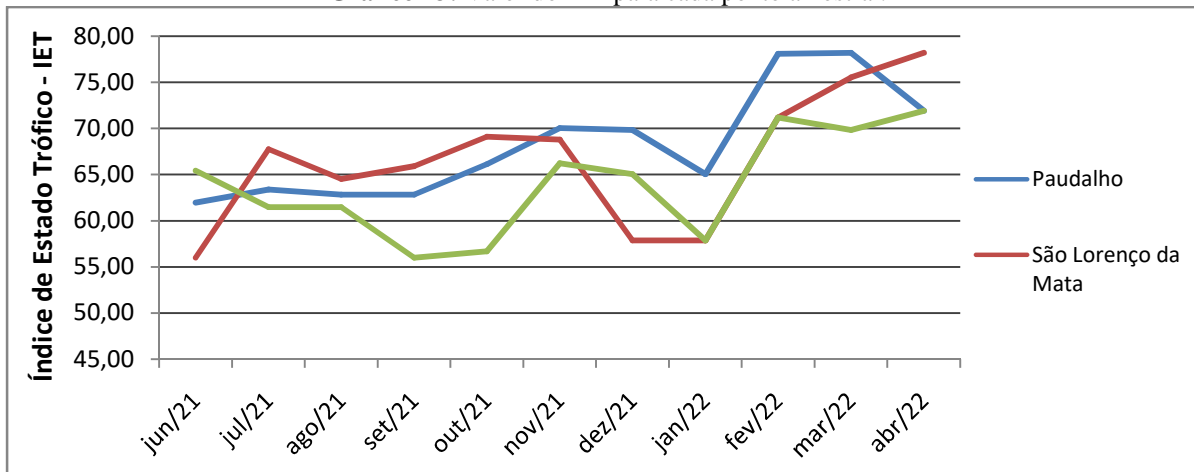
Gráfico 12: Medida de Salinidade (ppm).



5.4. Índice de Estado Trófico para Fósforo Total (IET - PT)

Um dos indicadores capazes de verificar alterações antropogênicas nas águas naturais é a concentração de fósforo total, usada como base no cálculo do índice IET. Com isso, a fim de verificar aportes de fósforo total que possam resultar na deterioração dessa importante fonte de água e levá-la ao processo de eutrofização, foi calculado o IET. O Gráfico 13 apresenta os resultados dessa análise para os três pontos de coleta.

Gráfico 13: Valor do IET para cada ponto amostral.



Observando o Gráfico 13 para os três pontos amostrais indicando uma tendência de aumento do potencial trófico no manancial, considerando o valor do IET inicial em jan/21 para abr/22. Apesar da redução em jan/22 os meses seguintes apresentaram aumentos consideráveis do índice. Analisando as concentrações de Fósforo Total apresentadas na Tabela 23 com seus valores notáveis nos meses analisados podemos verificar valores maiores que os máximos permitidos (Tabela 24) na Resolução n.357/05 do CONAMA.

Tabela 23: Valores notáveis de fósforo (P) por ponto de coleta

Fósforo Total (mg/L)	Paudalho	São L. da Mata (Centro)	São L. da Mata (Tiuma)
Média	1,40	1,16	0,53
Mínimo	0,22	0,07	0,07
Máximo	1,50	5,00	1,50

As águas naturais que ainda não foram submetidas a processos de poluição, a quantidade de fósforo varia de 0,005 mg/L a 0,020 mg/L. Geralmente, a presença de fósforo nos mananciais, em concentrações superiores a 0,01 mg/l, determina proliferações de algas, o que pode causar problemas quanto à utilização desses locais (USEPA 2022; SARDINHA, 2019).

Tabela 24: Valores máximos de Fósforo Total estabelecidos pela Resolução CONAMA n. 357/05

Fósforo Total (mg/L)	Águas Doces (PT em mg/L)		
	Classe I	Classe II	Classe III
Ambiente lêntico	0,020	0,030	0,050
Ambiente intermediário	0,025	0,050	0,075
Ambiente lótico	0,100	0,100	0,150

O nitrogênio também é um elemento químico interveniente no processo de eutrofização. Compostos nitrogenados são comumente encontrados em fertilizantes, herbicidas, esgotos sanitários, entre outras substâncias advindas de atividades antropogênicas. De modo que, a análise do nitrogênio total também funciona com indicador de eutrofia nos corpos hídricos. A Tabela 25 mostra os valores mais significativos obtidos nos meses de pesquisa.

Tabela 25: Valores notáveis de Nitrogênio por ponto de coleta

	Nitrogênio Total (mg/L)		
	Paudalho	São L. da Mata (Centro)	São L. da Mata (Tiuma)
Mínimo	1,90	5,00	0,50
Média	5,02	11,56	2,91
Máximo	10,50	15,00	10,40

5.5. Metais Pesados

Os metais pesados são poluentes que podem ser encontrados em ambientes aquáticos sendo considerado um dos exemplos mais claros de como as atividades humanas podem modificar tal meio, sendo os córregos urbanos os meios aquáticos mais comuns para encontrar esses tipos de poluentes (NEGRÃO, 2021). Nos estudos sobre qualidade da água os metais pesados geram uma preocupação justificada pelo fato de que esses contaminantes ambientais são estáveis e persistentes, uma vez que não podem ser degradados. As análises realizadas em decorrência do presente trabalho apresentam dados relevantes expostos na Tabela 26.

Tabela 26: Resumo dos valores medidos para os metais pesados e seu valor limite segundo CONAMA.

Metal	Valores Máximos de Referência (CONAMA)	Valores Medidos	Paudalho	SL - Centro	SL - Tiuma
Zn	5,0 mg/L	Mín	<0,01	<0,01	<0,01
		Máx	2,700	0,16	0,069
Cu	1,0 mg/L	Mín	<0,03	<0,03	<0,03
		Máx	0,079	0,03	0,03
Mn	1,0 mg/L	Mín	<0,02	0,033	0,02
		Máx	3,110	2,247	1,056
Cr	0,1 mg/L	Mín	<0,006	<0,006	<0,006
		Máx	0,006	0,006	0,006
Cd	0,2 mg/L	Mín	<0,002	<0,002	<0,002
		Máx	0,002	0,002	0,002
Pb	0,5 mg/L	Mín	<0,01	<0,01	<0,01
		Máx	0,010	0,01	0,01

De acordo com a Tabela 25 os limites previstos na Resolução 430/11 do CONAMA foram ultrapassados em alguns pontos de coleta, cabe ressaltar que os valores destacados foram todos aferidos no mês de julho. Além dos valores descritos na Tabela 25 se encontram

no *Apêndice A* todos as concentrações medidas pra cada metal no período de realização da pesquisa.

5.6. Usos da Água

Uma das principais preocupações do monitoramento da qualidade da água é obter orientação pra designar os usos adequados para a água mantendo o equilíbrio do meio hídrico e garantido a saúde de seus usuários. O Rio Capibaribe segundo a CPRH (2019) no trecho compreendido desde a localidade de Limoeiro até a foz, ficam enquadradas na Classe 2. No entanto, é verificado neste trabalho que as concentrações de alguns parâmetros medidos não mais se enquadram no que estabelece a Resolução 357/05 do CONAMA, responsável por essa classificação. Portanto, os usos que são designados por classe ficam ainda mais limitados conforme mostra a Tabela 27.

Tabela 27: Usos da água segundo o CONAMA de acordo com o enquadramento do manancial.

Enquadramento	Usos Preponderantes
Classe Especial	<ul style="list-style-type: none"> - Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; - Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, - Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> - Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; - Proteção das comunidades aquáticas; - Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; - Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e - Proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
Classe 2	<ul style="list-style-type: none"> - Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; - Proteção das comunidades aquáticas; - Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; - Irrigação de hortaliças, plantas frugíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e - Aquicultura e à atividade de pesca.
Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> - Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; - Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; - Pesca amadora; - Recreação de contato secundário; e - Dessedentação de animais.
Classe 4	<ul style="list-style-type: none"> - Navegação; e - Harmonia paisagística.

Durante as visitas aos pontos de coleta foram registrados usos da água por parte da população ribeirinha para, dessedentação animal, pesca amadora, navegação, recreação de contato direto e irrigação. Tais usos são previstos para enquadramento na classe 2, no entanto, como o Rio Capibaribe apresenta parâmetros com concentração acima dos limites permitidos para essa classe, podemos indicar que ele se enquadra na classe 3, para qual não são aceitáveis os usos na irrigação de contato e recreação de contato primário.

6. CONCLUSÃO

Os resultados desse estudo mostraram que foi possível observar significativas mudanças na qualidade da água do Rio Capibaribe no trecho de estudo. Quando aplicado, os índices IQA e EIT, proporcionaram maiores possibilidades de classificação do manancial bem como, facilitaram a compreensão dos dados coletados, confirmando a hipótese desse trabalho. Porém, recomenda-se um aprofundamento no estudo do IET(PT) e a influência de outros fatores, além do fósforo no processo de eutrofização. De acordo com os parâmetros analisados, a trecho do Rio Capibaribe em análise foi fortemente afetado pelos tipos de uso e ocupação do solo, que indicam valores dos parâmetros de qualidade da água maiores e/ou muito próximos ao máximo permitido pela legislação vigente.

O interesse das Prefeituras em obter os dados do monitoramento ficou evidente durante as reuniões realizadas no início da pesquisa, portanto, esse pode ser um quesito importante para que os relatórios entregues ao final da pesquisa se tornem norteadores de tomada de decisão no âmbito das políticas ambientais nos municípios de Paudalho e São Lourenço da Mata. Devido aos usos identificados durante a pesquisa não estarem adequados a condição de qualidade da água faz-se necessário um monitoramento dessas atividades juntamente a uma política de conscientização perante a população.

Sugere-se estabelecer mais pontos de monitoramento ao longo dos trechos do Rio Capibaribe. Fortalecer parcerias entre as esferas, governamental e ambiental, a exemplo das prefeituras, APAC e a ANA, é fundamental para viabilizar esse monitoramento de forma eficiente. Partindo dessa ótica no sentido de minimizar custos com análises de laboratoriais de qualidade da água recomenda-se utilizar métodos espaciais exploratórios para avaliar apenas parâmetros potencialmente modificados pelas atividades antropogênicas desenvolvidas no entorno ou pela pluviometria. Nos pontos mais prejudicados pela ação do homem seria indicada também a realização de análises do solo nas margens do manancial.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. H. M.; CUNHA, A. C. Qualidade da água e índice trófico em rio de ecossistema tropical sob impacto ambiental. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 22, n. 1, p. 45-56, 2017.

ABREU, C. H. M.; CUNHA, A. C. Qualidade da água em ecossistemas aquáticos tropicais sob impactos ambientais no Baixo Rio Jari-AP: **Biota Amazônia**, v.5, n.2, p.119–131, 2015.

AGENDA 2030. **ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>. Acesso em: 28 dez. 2022.

Agência Nacional de Águas (ANA)- **Portal da Qualidade das Águas. Índice de Qualidade da Água-IQA**. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#:~:text=Indicadores%20de%20Qualidade%20%2D%20%20C3%8Dndice%20de,Unidos%2C%20pela%20National%20Sanitation%20Foundation.&text=O%20IQA%20foi%20desenvolvido%20para,o%20abastecimento%20p%20C3%BAblico%2C%20ap%20C3%B3s%20tratamento>. Acesso em: 27 out. 2020.

Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH). **Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco** – 2019. Recife: CPRH. 2020. 200p.

AGUIAR, W. J.; BRAGA, R. A. P.; SELVA, V. S. F.; SOBRAL, M. C. M. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n.1, p.487-502, 2022.

ASSUNÇÃO, E. G.; CASTRO, P. H. M.; PEREIRA, A. C. F. P.; KURODA, E. K. Análise temporal do uso e cobertura do solo e da qualidade da água da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi. **Revista DAE**. v.68, n.222, p.121-133, 2020.

A.P.H.A, **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**, 22nd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC, 2012.

ARAGÃO, J. P. V. G.; TORRES, E. T. A. Vulnerabilidades em manchas urbanas ao longo das margens fluviais do Capibaribe Pernambuco/Brasil. **Sociedade e Natureza**. Uberlândia, MG. v.31, p.1-28, 2019.

BRAGA, R. et al. **Gestão e educação socioambiental na Bacia do Capibaribe**. Recife: Editora Clã, v.140, 2015.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução - CONAMA n. 357**, 18 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília – DF, março de 2005.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução - CONAMA n. 430**, 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução N° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília – DF, maio de 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução - CONAMA nº 274**, 29 de novembro de 2000. Dispõe sobre Classificação das águas doces, salobras e salinas essencial à defesa dos níveis de qualidade, avaliados por parâmetros e indicadores específicos, de modo a assegurar as condições de balneabilidade; de forma a assegurar as condições necessárias à recreação de contato primário. Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília – DF, novembro de 2000.

BRASIL. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, 2006. 212 p. (Série B. Textos Básicos de Saúde).

BRIDA, M. A. O. **Dinâmica de fósforo em cinco embalses em cadena en la cuenca del río Limay, Norpatagonia Argentina**. Dissertação de Mestrado - Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires, 121 p., 2021.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Tradução. [s.l.] Artmed Editora, 2009.

CENTENO, L. N. et al. Adequabilidade de um índice de qualidade da água para o rio Camaquã/RS. **Revista DAE** São Paulo, v.68, n.222, p.153-163, 2020.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índices de qualidade das águas**. 2018. Disponível em: Apêndice-D-Índices-de-Qualidade-das-Águas.pdf (cetesb.sp.gov.br). Acesso em mar. 2021.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade das águas superficiais. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade**. 2018. Disponível em: Apêndice-E-Significado-Ambiental-das-Variáveis-de-Qualidade.pdf (cetesb.sp.gov.br). Acesso em: 28 dez. 2022.

CIFUENTES-OSORIO, G. R. et al. Estudio de las concentraciones de nitrógeno y fósforo en aguas del embalse de la copa. Toca - Boyacá. **Revista I3+**, v.4, n.2, p.9-22, 2022.

CUNHA, A. M.; CASÉ, M.; LOPES, D. V. Qualidade da água como reflexo de atividades antrópicas em bacias hidrográficas do nordeste, Brasil. **Geosul**, Florianópolis, v.34, n.72, p.102-123, 2019.

FATHI, E.; ZAMANI-AHMADMAHMOODI, R.; ZARE-BIDAKI, R. Water quality evaluation using water quality index and multivariate methods, Beheshtabad River, Iran. **Applied Water Science**. v.8, n.210, p.209-215, 2018.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Controle da qualidade da água para Técnicos que trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde. Brasília, DF, 2014. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_eme_tas.pdf. Acesso em: 27 de jan. de 2023.

GRANZIERA, M. L. M; JEREZ, D. M., 2019. Implementação de Políticas Públicas: desafios na integração dos planos diretores, de saneamento e bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Políticas Públicas (RBPP)**, v.9, p.231-248.

GOMES, J. P.; SANTOS, G. B.; VALENTINI, M. H. K.; VIEIRA, B; M. Avaliação da variabilidade de parâmetros da qualidade das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguarão. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n. 40, p. 31-45, 2022.

IBÁÑHEZ, J. et al. Unraveling the dispersion and environmental impact of anthropogenic discharges in transitional water ecosystems. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.216, p.204-217, 2017.

MELO, M.C. **Estudo da matéria orgânica nos recalques de resíduos sólidos urbanos aterrados. 159f.** Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

MOURA, M. R. F.; SILVA, S. R.; MELO, J. M. Panorama da Gestão Integrada de Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe-PE. **Revista Científica ANAP Brasil** v.13, n.31, p.1984-3240, 2020.

MUSHI, C. A. et al. Assessment of basin-scale soil erosion within the Congo River Basin: A review. **Catena**, v.178, p.64-76, 2019.

NASCIMENTO, S. C. et al. Variação sazonal de indicadores físico-químicos e fitotoxicológicos em lixiviado de aterro sanitário localizado no semiárido brasileiro. **Rev. Eng. Sanitária e Ambiental**. v.27, n. 6, p.1-8, 2022.

NEGRÃO, G. N.; OLIVEIRA, B. H. M.; BUTIK, M. Monitoramento ambiental de metais pesados em macrófita aquática pela análise de espectrometria de absorção atômica - AAS na bacia do Rio Cascavel, Guarapuava, PR. **Revista Georaguia**. v.11, n.1, p.338-354, 2021.

NOGUEIRA, A. J.; CARDOSO, M.; DELGADILLO, I.; ALMEIDA, A. Qualidade microbiológica e química das águas de consumo humano do distrito de Bragança. **Revista Portuguesa de Saúde Pública**, v.27, n. 1, p.95-116, 2009.

NOWATZKI, A.; COUTO, J. P. B.; PAULA, E. V.; FERNANDES, C. V. S. Restrições socioambientais ao uso da terra e seu estado de antropização na UGRH do Paranapanema: subsídios à gestão territorial. **REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina**, v.18, n.15, p.1- 21, 2021.

OSORIO LÓPEZ, I. L.; NAVARRO RODRÍGUEZ, S. & CUELLAR ARANCIBIA, C. S. (2020). Estado actual de eutrofización utilizando el modelo matemático del índice de estado trófico (IET) en la laguna de Paca de la provincia de Jauja. **Revista de la UNCP**. v. 17, n.1, p.139-142, 2020.

PENEDO, P. H. S. **Relação entre precipitação e turbidez em cursos d'água no Espírito Santo**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 80 p., 2015.

PRODANOV, C. C. ERNANI, C. F. **Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2ª Edição. Editora: Feevale, Novo Hamburgo, 2013.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. 1ª Edição. Editora: Blucher, São Paulo, 352 p., 2009.

RIBEIRO, H. M. C. et al. Índice do Estado Trófico (IET) em águas amazônicas: baía do Marajó e baía do Guajará. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p.1-19, 2020.

SÁ, A. D. et al. Análise da qualidade da água em atrativos naturais na região de Santo Antônio do Rio Abaixo (MG). **Research, Society and Development**, v.7, n.4, p.1-30, 2018.

SANTOS, C. L. et al. Aplicação do índice de qualidade da água no rio Ipixuna e avaliação das condições de balneabilidade com a percepção ambiental dos usuários. **Research, Society and Development**. v.10, n.4, p.1-20, 2021.

SARDINHA, D. S. et al. Índice de estado trófico para fósforo total (IET-PT) aplicado em afluente da Represa Bortolan em Poços de Caldas (MG). **Revista DAE**, v.67, n.216, p.95-105, 2019.

SERAJUDDIN, MD; AKTARUL, I.; CHOWDHURY; HAQUE. Assessing Seasonal Water Quality Variations in River Water Using Water Quality Index (WQI): A Case Study. **Scholars Journal of Engineering and Technology**, v.7, n.8, p.245-251 2019.

SCHORR, A. S. **Tratamento de água e efluentes**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Freitas Bastos Editora, 2022.

SRH-PE. Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. **Plano hidroambiental da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe: Tomo I-diagnóstico hidroambiental**. 2010.

SOUZA, P. F. G.; COSTA, C. R.; COSTA, M. F. Diagnóstico da qualidade da água da bacia do Rio Goiana. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.6, n.1, p.2-15, 2019.

TIAN, Y. et al. Using a water quality index to assess the water quality of the upper and middle streams of the Luanhe River, northern China. **Science of the Total Environment**, v. 667, p. 142-151, 2019.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. National Strategy for the Development of Regional Nutrient Criteria Factsheet. Disponível em: <https://www.epa.gov/nutrient-policy--data/national-strategy-development-regional-nutrient-criteria-factsheet>. Acesso em: 10 de junho 2022.

VALENTINI, M. H. K. et al. Análise estatística de correlação e de variância do monitoramento da água bruta da Estação de Tratamento de Água Terras Baixas – Pelotas/RS. **Revista Thema**, v.19, n.3, p.600-614, 2021.

VÁSQUEZ, C. ARIZA Y A. PINILLA, G. Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano cundiboyacense. **Revista de la Facultad de Ciencias Pontificia Universidad Javeriana**, v.11, p.9-22, 2009.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4ª Edição. Editora: UFMG, Belo Horizonte, 2014.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos - princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. v.2, 2ª Edição. Belo Horizonte: UFMG, 211 p, 2016.

XU, G. et al. Seasonal changes in water quality and its main influencing factors in the Dan River basin. **Catena**, v.173, p.131-140, 2019.

















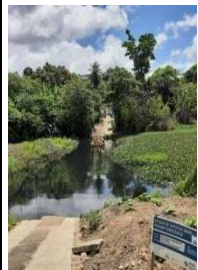




YAN, Y. et al. Evolution of Luyang Lake since the last 34,000 years: Climatic changes and anthropogenic impacts. **Quaternary international**, v.440, p.90-98, 2017.

	Zn	LQ= 0,01	0,01	Nd	0,012	<0,01	0,013	<0,01	<0,01	0,013	0,069	0,062	0,01
	Cu	LQ= 0,03	0,03	Nd	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Tiama	Mn	LQ= 0,02	0,02	1,056	0,033	0,026	0,248	0,089	0,16	0,168	0,085	0,073	0,129
	Cr	LQ= 0,006	0,006	Nd	<0,006	<0,006	<0,06	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
	Cd	LQ= 0,002	0,002	Nd	<0,002	<0,002	<0,02	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
	Pb	LQ= 0,01	0,01	Nd	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Nd = Não detectado

LQ = Limite de quantificação do método

APÊNDICE B - RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DOS PONTOS DE COLETA

Ponto de Coleta 01: Paudalho										
Mês 1-jun/21	Mês 2-jul/21	Mês 3-ago/21	Mês 4-set/21	Mês 5-out/21	Mês 6-nov/21	Mês 7-dez/21	Mês 8-jan/22	Mês 9-fev/22	Mês 10-mar/22	Mês 11-abr/22
										
Ponto de Coleta 02: São Lourenço da Mata - Centro										
Mês 1-jun/21	Mês 2-jul/21	Mês 3-ago/21	Mês 4-set/21	Mês 5-out/21	Mês 6-nov/21	Mês 7-dez/21	Mês 8-jan/22	Mês 9-fev/22	Mês 10-mar/22	Mês 11-abr/22
								?		
Ponto de Coleta 03: São Lourenço da Mata - Tiuna										
Mês 1-jun/21	Mês 2-jul/21	Mês 3-ago/21	Mês 4-set/21	Mês 5-out/21	Mês 6-nov/21	Mês 7-dez/21	Mês 8-jan/22	Mês 9-fev/22	Mês 10-mar/22	Mês 11-abr/22
