



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
MESTRADO ACADÊMICO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

LEONARDO CORRÊA CORDEIRO

**FATORES NATURAIS E ANTRÓPICOS QUE INTERFEREM NA QUALIDADE DA
ÁGUA DO RIO TOCANTINS, TRECHO BAIÃO-MOCAJUBA (PA)**

BELÉM/PARÁ

2024

LEONARDO CORRÊA CORDEIRO

**FATORES NATURAIS E ANTRÓPICOS QUE INTERFEREM NA QUALIDADE DA
ÁGUA DO RIO TOCANTINS, TRECHO BAIÃO-MOCAJUBA (PA)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará (PPGCA-UFPA), convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e Embrapa Amazônia Oriental como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e dinâmica socioambiental na Amazônia

Linha de pesquisa: Ecossistemas amazônicos e dinâmicas socioambientais

Orientador: Dr. José Francisco Berredo Reis da Silva

Coorientador: Dr. Diego de Arruda Xavier

BELÉM/PA
2024

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

C794f Cordeiro, Leonardo Corrêa.
Fatores naturais e antrópicos que interferem na
qualidade da água do Rio Tocantins, trecho Baião-
Mocajuba (PA) / Leonardo Corrêa Cordeiro. — 2024.
91 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. José Francisco Berredo Reis da
Silva

Coorientador(a): Prof. Dr. Diego de Arruda Xavier
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais, Belém, 2024.

1. Recursos hídricos. 2. Sazonalidade. 3. Físico-
químico. I. Título.

CDD 333.91

LEONARDO CORRÊA CORDEIRO

**FATORES NATURAIS E ANTRÓPICOS QUE INTERFEREM NA QUALIDADE DA
ÁGUA DO RIO TOCANTINS, TRECHO BAIÃO-MOCAJUBA (PA)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará (PPGCA-UFPA), convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e Embrapa Amazônia Oriental como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e dinâmica socioambiental na Amazônia
Linha de pesquisa: Ecossistemas amazônicos e dinâmicas socioambientais

Data de aprovação: 27/05/2024

Conceito: APROVADO

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente



JOSE FRANCISCO BERREDO REIS DA SILVA
Data: 24/05/2024 12:13:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Francisco Berrêdo – Orientador
Museu Paraense Emílio Goeldi
Presidente da Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente



ALINE MARIA MEIGUINS DE LIMA
Data: 22/05/2024 09:42:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima
Universidade Federal do Pará
Membro Interno

Documento assinado digitalmente



MARIA DE LOURDES PINHEIRO RUIVO
Data: 22/05/2024 14:40:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo
Museu Paraense Emílio Goeldi
Membro Interno

Documento assinado digitalmente



MARIA DE LOURDES SOUZA SANTOS
Data: 21/05/2024 19:41:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Maria de Lourdes Souza Santos
Universidade Federal Rural da Amazônia
Membro Externo

Ao meu pai Sr. André Luiz Lopes Cordeiro (*in memoriam*) e ao meu tio Sr. Adamastor de Almeida Moraes (*in memoriam*) e as mulheres da minha vida minha mãe Simone e Tia Iracema

Por vocês e para vocês, sempre

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Pará e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, pelos seus pesquisadores que contribuíram com seu conhecimento científico para a construção do meu aprendizado;

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi, pelos pesquisadores Dr. José Francisco Berredo e Dr. Diego de Arruda Xavier responsáveis pela minha orientação e suporte na construção desse estudo;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão de bolsa de mestrado;

Ao projeto Beneficiamento Primário, Propriedades Físicas e Químicas Das Amêndoas De Cacau Nativo (*Theobroma cacao L*) e Sistema Informativo Geográfico As Ilhas De Várzea, pelo apoio financeiro a este trabalho;

Aos membros da banca Dra. Aline Lima, Dra. Maria Ruivo, Dra. Christiene Matos, Dra. Maria de Lourdes Santos e a Dra. Vânia Neu pelas críticas e contribuições para a construção deste trabalho;

Ao meu pai, André Luiz Lopes Cordeiro (*in memoriam*), que sempre esteve ao meu lado, foi um exemplo de homem na minha vida com sua bondade e justiça sempre me guiando pelo caminho correto. À minha mãe Simone Cordeiro e minha tia Iracema Moraes que sempre estiveram ao meu lado apoiando em minhas decisões e dificuldades;

À minha amiga Rhana Roberta (*in memoriam*) pelo seu apoio e incentivo para ingressar no mestrado e por toda sua amizade;

Aos amigos Daniel Barroso, Luan Ferreira e Maurício Moura pela ajuda e amizade no decorrer do mestrado;

Ao meu cachorro Pepê pela companhia nas tardes e madrugadas durante a construção deste trabalho;

Aos amigos do Santa Catarina de Sena Caio, Rodolfo, Donna e Edy que tornaram essa trajetória mais tranquila;

Ao técnico Lucivaldo da Silva pelo apoio no trabalho de campo e ao técnico Paulo pela ajuda nas análises laboratoriais;

Deus escolheu os que são loucos para o mundo a fim de envergonhar os sábios e os que são fracos para o mundo a fim de envergonhar os fortes (1 Coríntios 1: 27~28)

RESUMO

A qualidade da água em bacias hidrográficas pode ser entendida através de estudos com parâmetros físico-químicos, químicos e biológicos e dever analisada levando em conta as atividades antrópicas e processos naturais associados. O objetivo deste estudo foi analisar o comportamento dos parâmetros físico-químicos e químicos em diferentes períodos sazonais na bacia hidrográfica do rio Tocantins, trecho Baião-Mocajuba, para discutir a qualidade da água a partir de interação de fatores antrópicos e processos naturais. Para isso, dados secundários foram levantados e amostras foram coletadas em dois pontos (P1 e P2) em períodos sazonais distintos (menos chuvoso e chuvoso) durante meio ciclo de maré (13h) e os resultados foram discutidos à luz da teoria sobre os fatores naturais e antrópicos de processos que podem interferir na hidroquímica fluvial e na qualidade da água. Parâmetros como temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos foram mensurados in situ e amostras foram coletadas para a determinação de parâmetros químicos (Fe, Mn, Pb, Cu, Cd, Se, Al, As, Ba, B, Co, Cr, Mo, Ni, V, Zn, Sr, Ti, DBO, DQO, Cl, F, NO₃, NO₂, SO₄, PO₄, Nitrogênio total, SiO₂, NH₃, Ca, Mg, Na, K, P, Carbono Orgânico Dissolvido, alcalinidade, dureza). Os dados foram analisados por estatística descritiva, análise de variância, correlação e análises de componentes principais. Os resultados mostram que a sazonalidade é um fator que influencia nos valores dos parâmetros de qualidade da água, exceto para SO₄, H₄SiO₄, Ba e Sr. Por outro lado, o efeito de maré é determinante para alterar os parâmetros de qualidade da água, especialmente no período menos chuvoso, mas essa alteração não ultrapassa os limites estipulados pelo CONAMA 357/2005. A análise de componentes principais permitiu identificar que o Ca, Mg, Ba, Sr, Mn e dureza foram responsáveis por 44,6% dos parâmetros de qualidade da água no período menos chuvoso, enquanto no chuvoso o Mg, K, Ba, dureza, Sr, Ca, Mn, Na, OD e Al foram responsáveis por 47,67%. Conclui-se que a sub-bacia hidrográfica do rio Tocantins tem sofrido impactos antrópicos por conta da implantação da barragem e das atividades agropecuárias e sugere-se que estudos futuros mensuram os efeitos dessas atividades sobre a qualidade da água do rio Tocantins.

Palavras-chave: recursos hídricos; sazonalidade; físico-químico.

ABSTRACT

The water quality in hydrographic basins can be understood through studies involving physical-chemical, chemical, and biological parameters, taking into account anthropic activities and associated natural processes. The aim of this study was to analyze the behavior of physical-chemical and chemical parameters in different seasonal periods in the hydrographic basin of the Tocantins River, Baião-Mocajuba stretch, to discuss water quality based on the interaction of anthropic factors and natural processes. For this purpose, secondary data were collected, and samples were taken at two points (P1 and P2) during distinct seasonal periods (less rainy and rainy) and at mid-tide cycle (13h). The results were discussed in light of the theory regarding natural and anthropic factors in processes that may interfere with riverine hydrochemistry and water quality. Parameters such as temperature, pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, and total dissolved solids were measured in situ, and samples were collected for the determination of chemical parameters (Fe, Mn, Pb, Cu, Cd, Se, Al, As, Ba, B, Co, Cr, Mo, Ni, V, Zn, Sr, Ti, BOD, COD, Cl, F, NO₃, NO₂, SO₄, PO₄, total nitrogen, SiO₂, NH₃, Ca, Mg, Na, K, P, Dissolved Organic Carbon, alkalinity, hardness). The data were analyzed using descriptive statistics, analysis of variance, correlation, and principal component analysis. The results indicate that seasonality is a factor influencing water quality parameter values, except for SO₄, H₄SiO₄, Ba, and Sr. On the other hand, tidal effects are crucial in altering water quality parameters, especially during the less rainy period, but these alterations do not exceed the limits established by CONAMA 357/2005. Principal component analysis identified that Ca, Mg, Ba, Sr, Mn, and hardness accounted for 44.6% of water quality parameters during the less rainy period, while during the rainy period, Mg, K, Ba, hardness, Sr, Ca, Mn, Na, dissolved oxygen, and Al accounted for 47.67%. It is concluded that the Tocantins River hydrographic sub-basin has been impacted anthropogenically due to the construction of the dam and agricultural activities. Future studies are suggested to measure the effects of these activities on the water quality of the Tocantins River.

Keywords: water resources; seasonality; physico-chemical.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo e pontos de coleta no município de Mocajuba/PA	25
Figura 2 - Temperatura (°C) média mensal da série histórica (1990-2021) em Mocajuba-PA, obtidos pelo INNESS e a temperatura média referente a 2022 a) e 2023 b) obtidos pelo INMET	26
Figura 3 - Localização dos pontos de coleta no rio Tocantins, trecho Baião-Mocajuba.....	28
Figura 4 - Equipamentos de medição in loco: Sonda multiparâmetro (a) e soluções de calibração (b).....	29
Quadro 1 - Descrição dos parâmetros e dos métodos de análise.....	30
Quadro 2 - Dados secundários, suas fontes e respectivos períodos utilizados	32
Quadro 3 - Valores de ρ e suas respectivas forças de correlação	34
Figura 5 - Precipitação (mm) média da série histórica (1990-2021) em Mocajuba-PA, obtidos pelo CHIRPS e a precipitação referente a 2022 e 2023 pela CEMADEN. Em vermelho estão destacados os meses em que foram realizadas as coletas.	36
Figura 6 - Vazão diária da série histórica (1969-2016) em Tucuruí-PA, obtidos pela Estação 29700000	37
Figura 7 - Vazão (m ³ /s) média mensal para a série histórica (1969-2016) e as vazões mensais para 2022 e 2023 a jusante da UHE- PA	38
Figura 8 - Cota máxima anual da série histórica (1969-2022) em Tucuruí-PA, obtidos pela Estação 29750000.....	38
Figura 9 - Cota (cm) média mensal da série histórica (1972-2021), 2022 e 2023 no rio Tocantins, trecho Baião-Mocajuba.....	39
Figura 10 - Análise multitemporal de uso e cobertura do solo na Sub-Região Hidrográfica do Tocantins - PA	41
Figura 11 - Condutividade elétrica em relação a cheia e vazante para ambos os períodos do estudo no trecho Baião-Mocajuba	43
Figura 12 - Sólidos totais dissolvidos (mg/L) em relação a cheia e vazante para ambos os períodos do estudo no trecho Baião-Mocajuba.....	44
Figura 13 - Valores de pH em relação a cheia e vazante para ambos os períodos do estudo no trecho Baião-Mocajuba.....	45
Figura 14 - Teores de Oxigênio dissolvido (mg/L) em relação a cheia e vazante para ambos os períodos do estudo no trecho Baião-Mocajuba.....	46

Figura 15 - Valores de temperatura (°c) em relação a cheia e vazante para ambos os períodos do estudo no trecho Baião-Mocajuba	47
Figura 16 - Valores turbidez (NUT) em relação a cheia e vazante para ambos os períodos do estudo no trecho Baião-Mocajuba	48
Figura 17 - Gráfico boxplot dos teores de Ca (a), K (b), Mg (c) e Na (d) por período de maré em relação para o período chuvoso e menos chuvoso	53
Figura 18 - Gráfico boxplot dos teores de Cl ⁻ por período de maré para os períodos amostrados	54
Figura 19 - Gráfico boxplot dos teores de SO ₄ por período de maré para os períodos amostrados	56
Figura 20 - Gráfico boxplot dos teores de F ⁻ por período de maré no período menos chuvoso	56
Figura 21 - Teores de Carbono orgânico dissolvido (a) e dureza (b) durante a cheia e vazante por período amostrado	58
Figura 22 - Teores de Sílica dissolvida durante a cheia e vazante por período amostrado	59
Figura 23 - Teores de Ba (µmol/L) durante a cheia e vazante por período amostrado	59
Figura 24 - Teores de Zn (a) e Cu (b) durante a cheia e vazante por período amostrado	61
Figura 25 - Teores de Fe (a) para o período chuvoso e Mn (b) para os períodos amostrados, ambos em relação ao regime de maré	62
Figura 26 - Teores de Al (a) e V (b) em relação ao regime de maré no período chuvoso	63
Figura 27 - Correlações de Spearman (p<0,05) dos parâmetros físico-químicos e químicos para os períodos amostrados. Menos chuvoso (a) e chuvos (b).	66
Figura 28 - Plotagem das componentes CP1 e CP2 considerando os parâmetros de qualidade da água para a primeira campanha	74
Figura 29 - Coeficientes para os quatro primeiros componentes e seus respectivos autovalores referentes a segunda campanha.....	75
Figura 30 - Plotagem das componentes CP1 e CP2 considerando os parâmetros de qualidade da água para a segunda campanha.....	76

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Classes de uso e cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do Rio Tocantins nos anos de 1985 e 2022 em hectares	40
Tabela 2 - Valores Máximos (Máx), mínimos (Mín), média (Méd) e desvio-padrão (DP) dos parâmetros físico-químicos e biológicos analisados no trecho Baião-Mocajuba durante o período do estudo	41
Tabela 3 - Resultados da análise de variância para a sazonalidade assim com os respectivos p-valor para os parâmetros físico-químicos	48
Tabela 4 - Resultados da análise de variância do regime de maré sobre os parâmetros físico-químicos em ambos os períodos do estudo	50
Tabela 5 - Valores Máximos (Máx), mínimos (Mín), média (Méd) e desvio-padrão (DP) dos parâmetros químicos analisados no trecho Baião-Mocajuba durante o período do estudo	51
Tabela 6 - Resultados do teste de variância para os parâmetros químicos em relação a sazonalidade. H0 representa a hipótese nula e H1 a hipótese alternativa	54
Tabela 7 - Resultados do teste-T para os parâmetros químicos em relação ao período de maré para os períodos amostrais	63
Tabela 8 - Coeficientes para os quatro primeiros componentes e seus respectivos autovalores referente a primeira campanha.	73

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa e interdisciplinaridade da pesquisa	15
2 OBJETIVO	17
2.1 Geral	17
2.2 Específicos	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 Qualidade da água e clima	18
3.2 Climatologia	20
3.3 Maré	21
3.4 Resolução CONAMA 357/2005	22
3.5 Hidrogeoquímica	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1 Área de estudo	25
4.2 Pontos de amostragem	27
4.3 Etapas de coleta dos dados	28
4.4 Fonte de dados	28
4.4.1 Dados primários.....	28
4.4.2 Dados secundários	31
4.5 Análise de dados	33
4.5.1 Análise de dados primários.....	33
4.5.2 Análise de dados secundários	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1 Características hidrológicas e de uso e cobertura da terra	36
5.2 Hidroquímica fluvial	41
5.2.1 Influência da Sazonalidade e da maré sobre os parâmetros físico-químicos	41
5.2.2 Influência da sazonalidade e maré sobre os parâmetros químicos	51
5.3 Qualidade da água	68
5.4 Análise de Componentes Principais	72
6 CONCLUSÕES	77
REFERÊNCIAS	78

1 INTRODUÇÃO

A interação entre natureza e homem nem sempre ocorre de forma equilibrada, visto que, a utilização de recursos naturais como a água tem sua qualidade afetada por atividades antrópicas, o que compromete suas características físicas, químicas e biológicas (Fiorese, 2021; Von Sperling, 2007). O uso e alteração da cobertura do solo e usinas hidrelétricas são exemplos de atividades antrópicas que interferem na qualidade da água, pois alteram o fluxo dos rios, diminuem a mata ciliar, o que aumenta as taxas de erosão e em larga escala interferem no fator natural como o clima alterando o regime de chuvas (Swanson; Bohlman, 2021; Coe; Costa; Soares Filho, 2009).

Nesse contexto, a água é um elemento importante para o desenvolvimento da sociedade estando presente no consumo humano, uso industrial, produção de energia e irrigação tornando necessário o seu monitoramento para garantir a conservação das suas características. Por estar sujeita a variações espaciais e temporais de efeitos internos e externos, é fundamental a compreensão de que a qualidade da água esteja interligada com fatores como clima, vegetação, solo e ação antrópica (Rodrigues, 2008; Pelicice *et al.*, 2021).

O uso adequado dos recursos hídricos está condicionado a uma gestão ambiental adequada, que considere a interligação de fatores naturais e antrópicos. Diante disto, o conceito de bacia hidrográfica como um espaço geográfico definido que possui um corpo hídrico principal que recebe influência de fatores externos em dimensões sociais, econômicas e ambientais desempenha um papel fundamental para a delimitação de estudos detalhados capazes de identificar os fatores que possam estar influenciando na qualidade da água (Gomes; Bianchi; Oliveira, 2021; Lei; Wagner; Fohrer, 2021).

No interior das bacias hidrográficas ocorrem interações entre as interfaces água, solo e rochas que promovem processos físicos e químicos capazes de interferirem na disponibilidade de nutrientes na água (Souza, 2013; Rocha; Mesquita; Lima Neto, 2019). Para a gestão eficiente da qualidade do recurso hídrico na bacia é importante o monitoramento pontual em alguns trechos para identificar fontes poluidoras e quais parâmetros são responsáveis por tais impactos (Oliveira; Campos; Medeiros, 2010; Reis *et al.*, 2016).

A Bacia Hidrográfica Tocantins-Araguaia é formada pela confluência dos rios Tocantins e Araguaia e no seu interior ocorre o desenvolvimento de atividades agrícolas que modificam suas margens provocando impactos no fluxo dos rios e somasse a isso a presença de barragens que alteram o regime de enchentes (Costa; Botta; Cardille, 2003; Swanson *et al.*, 2021). A existência de barragens é um elemento marcante nesta bacia sendo 7 no total, seis na

sub-bacia hidrográfica do Médio Tocantins e 1 na sub-bacia hidrográfica do Baixo Tocantins (Pelicice *et al.*, 2021).

A sazonalidade, vazão e precipitação são processos importantes com variação temporal e espacial a serem considerados nos estudos de monitoramento em bacias hidrográficas. Na bacia hidrográfica do Rio Tocantins, este contribui em até 64% no volume de água do rio Pará durante o período chuvoso, diminuindo para 23% em outubro por conta da entrada de água oceânica e diminuição da precipitação (Prestes *et al.*, 2020). A maré na sub-bacia hidrográfica do baixo Tocantins sofre alterações em seu comportamento por conta da sazonalidade da região, o que influencia no transporte de sedimentos do continente para o oceano (Carneiro; Prestes; Rollnic, 2020).

O fator antrópico no contexto de qualidade da água influencia significativamente, degradando os corpos hídricos e modificando seus fluxos naturais. Na sub-bacia hidrográfica do Baixo Tocantins a presença da Usina Hidrelétrica de Tucuruí pode trazer graves consequências para o ambiente natural e social devido a alterações no regime de cheias, alteração no transporte de nutrientes e diminuição da pesca local pela redução da produção de peixes (ANA, 2017; Cintra e Ludovino, 2004). Fatores naturais como o clima, variação de maré e cobertura vegetal devem ser integrados na análise do monitoramento, pois influenciam nos processos químicos e físicos que ocorrem no solo podendo aumentar a erosão em determinadas áreas e assim a eutrofização dos corpos hídricos (Silva *et al.*, 2005; Gasparetto, 2016; Alves, 2019; Silva, 2015).

Na Região do Baixo Tocantins, o impulso para o desenvolvimento regional fortaleceu o estabelecimento de monoculturas como o dendê (*Elaeis guineenses* J.) que contribuíram para o desmatamento na região assim como a concentração de terras o que dificultaram a socioeconomia das comunidades locais (Ferreira *et al.*, 2016). Nesta região também está inserida a produção de cacau (*Theobroma cacao* L.) desempenhada pela agricultura familiar, praticada pelas comunidades locais (OIT, 2019). Tal atividade desenvolve-se na região por conta das ilhas de várzea, que sofrem influência das inundações periódicas e, conseqüentemente, apresentam sedimentos e compostos orgânicos que contribuem para a fertilidade do solo (Cavalcante *et al.*, 2013).

A existência de atividades antrópicas não pode ser relacionada apenas a algo negativo, sinônimo de degradação do meio ambiente, e sim compreendidas como atividades essenciais para o desenvolvimento socioambiental. Na região do baixo Tocantins essas atividades interagem com os fatores naturais interligando-se com o recurso hídrico disponível, afetando ou não a qualidade da água.

Antes de desaguar no Rio Pará, o rio Tocantins percorre trechos que contém Usinas hidrelétricas, centros urbanos, atividades agropecuárias nas margens, assim como elementos sazonais de precipitação, vazão hídrica, alteração da cobertura do solo que em conjunto interagem com o corpo hídrico. Isto motivou a elaboração deste trabalho, buscando verificar o comportamento dos parâmetros físico-químicos e químicos no trecho Baião-Mocajuba a jusante da sub-bacia do Rio Tocantins. Discussão com essa se faz necessária porque, busca abordar os parâmetros de qualidade da água ligados aos fatores naturais e antrópicos de forma integrada por pertencerem ao mesmo espaço geográfico.

1.1 Justificativa e interdisciplinaridade da pesquisa

O monitoramento dos recursos hídricos em Bacias Hidrográficas é fundamental para a sobrevivência, manutenção dos ecossistemas e desenvolvimento das atividades humanas. Por ser um espaço integrador, fatores naturais e antrópicos estão em constante interação, o que provoca alterações nos corpos hídricos. Nem sempre um rio impactado reflete as atividades ao seu redor, com o impacto podendo ter origem a montante da sua localização. Nesse contexto, o monitoramento da água apresenta as características do atual estado de sua qualidade permitindo subsidiar informações que indiquem quais atividades e uso humano podem ser desenvolvidas, além de identificarem as origens dos impactos antrópicos sobre os recursos hídricos.

Na sub-bacia hidrográfica do baixo Tocantins, poucos estudos sobre a QA abordando parâmetros químicos e físico-químicos foram desenvolvidos, o que estabelece uma lacuna sobre as atuais características do corpo hídrico do rio Tocantins, trecho Baião-Mocajuba. O baixo Tocantins é a porção final da Bacia do Tocantins-Araguaia recebendo águas de toda a bacia que percorrem por diversos ambientes que abrangem as interações dos fatores naturais e antrópicos.

A má qualidade em função da poluição natural ou antrópica, provoca consequências negativas à vida, causando mortes, doenças, desequilíbrios em ecossistemas, impedindo as atividades econômicas. Esses diferentes impactos podem ser potencializados pelo processo de mudanças climáticas, que altera o ciclo hidrológico, interferindo no clima local. Suas implicações nos parâmetros de QA podem afetar a fauna aquática assim como as comunidades locais que utilizam desse recurso natural. Diante disto, este estudo se justifica por tratar de um importante tema de qualidade da água no contexto de bacias hidrográficas e visa contribuir para o enriquecimento de pesquisas sobre os recursos hídricos, assim como subsidiar conhecimento

relevante para o planejamento ambiental em bacias hidrográficas e auxiliar na tomada de decisões do poder público a partir dos resultados gerados neste trabalho.

2 OBJETIVO

2.1 Geral

Analisar o comportamento dos parâmetros físico-químicos e químicos em diferentes períodos sazonais na bacia hidrográfica do rio Tocantins, trecho Baião-Mocajuba, para discutir a qualidade da água a partir de interação de fatores antrópicos e processos naturais.

2.2 Específicos

- Analisar a influência da maré sobre os parâmetros físico-químicos e químicos em diferentes períodos sazonais;
- Aferir os valores dos parâmetros físico-químicos e químicos com as normas legais de qualidade da água estabelecidos em resolução ambiental nacional;
- Analisar, em escala temporal, a influência da Usina Hidrelétrica de Tucuruí sobre variáveis hidrológicas e a dinâmica do uso e cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do rio Tocantins para subsidiar discussão sobre os parâmetros de qualidade da água;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Qualidade da água e clima

Qualidade da água (QA) pode ser compreendida como o produto da interação de fatores naturais e antrópicos que atuam em um corpo hídrico. Os fatores naturais englobam os fenômenos físicos e químicos que ocorrem no interior da bacia hidrográfica como o escoamento superficial, infiltração da água no solo e precipitação atmosférica. O fator antrópico engloba as atividades humanas que impactam os corpos hídricos tais como lançamento de efluentes domésticos e industriais, uso de fertilizantes no solo e que posteriormente são lixiviados para o rio e mudanças na cobertura do solo (Von Sperling, 2007).

A caracterização da QA pode ocorrer por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos que permitem identificar possíveis indícios de poluição em relação ao esperado do ambiente natural do corpo hídrico (Libânio, 2016). Tais características surgiram em decorrência da preocupação com o meio ambiente e em como as atividades humanas desenvolvidas afetam a água (CETESB, 2017; César *et al.*, 2020). Condutividade elétrica (CE), temperatura, oxigênio dissolvido (OD), turbidez, pH são exemplos de parâmetros físicos; alcalinidade, dureza, íons dissolvidos são exemplos de químicos e coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* (*E.Coli*) fazem parte do grupo de parâmetros biológicos (CETESB, 2017; Von Sperling, 2007).

A QA da água varia dependendo da finalidade do recurso hídrico podendo ser para o consumo humano, uso recreativo e navegação. A Resolução CONAMA 357 de 2005 em seu Capítulo II Art.4º classifica os usos das águas doces em quatro classes que contemplam o abastecimento humano, proteção das comunidades aquáticas, recreação, dessedentação de animais e navegação (BRASIL, 2005). Dependendo do seu uso, os valores estabelecidos para manter a QA podem ser diferentes.

Independente da finalidade, os valores estabelecidos visam manter o equilíbrio do corpo hídrico em meio às atividades antrópicas. Ao avaliarem a QA de poços segundo a Portaria de Consolidação nº 5/2017 (Brasil, 2017) do Ministério da Saúde (MS) em Goiânia, Moreira, Kopp e Nardocci (2021) identificaram teores de microorganismos superiores ao estabelecido pelo MS para consumo humano, constatando possível poluição por conta de efluentes. Avaliando a QA no reservatório da UH de Peti Cesar *et al.* (2020) identificaram teores elevados de Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), P total e baixo OD na região atribuídos ao lançamento de efluentes e atividades agrárias próximos à área de estudo.

Mesmo que a atividade antrópica não seja desenvolvida diretamente no corpo hídrico, modificações nos ambientes próximos podem ocasionar desequilíbrio nas suas características físicas, químicas e biológicas. Conhecer as características locais não se restringe apenas aos elementos do solo e água, devendo-se considerar o clima da região. Os parâmetros físico-químicos e químicos podem sofrer influência da sazonalidade climática o que confere a cada região uma dinâmica específica dos seus parâmetros (Esteves, 2011).

O Brasil apresenta regime de chuvas com sazonalidades distintas em estações secas e chuvosas com períodos específicos do ano que podem interferir nos parâmetros de QA (Silva *et al.*, 2008). Marinho *et al.* (2020) investigaram a influência do *El Niño* sobre a CE, OD, pH e sólidos totais dissolvidos (STD) em São Miguel do Guamá, identificando alta correlação das variáveis com a precipitação local, constatando a influência do regime de chuvas nos parâmetros de QA.

O regime sazonal da precipitação impacta em parâmetros físico-químicos como CE e pH visto que no período chuvoso as águas tendem a estarem mais ácidas por conta da matéria orgânica em decomposição assim como diminuem a CE por conta do efeito de diluição sobre os íons (Muniz *et al.*, 2020). As chuvas alteram as condições químicas da água conferindo aos parâmetros comportamentos sazonais distintos (Santos *et al.*, 2021).

Os elementos químicos respondem ao regime pluviométrico no que diz respeito ao efeito de diluição causado pela precipitação, estando em maiores concentrações no período chuvoso e apresentando menores concentrações no chuvoso (Williams; Fisher; Melack, 1997). A inserção dos elementos no rio pode ocorrer por conta de atividades antrópicas que alteram a cobertura do solo permitindo maior lixiviação química (Barroso, 2018). A atividade agropecuária possui influência no fluxo de íons para os rios conforme constatado por Barroso (2018) ao verificar que teores de Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} apresentaram alta correlação em microbacias com predominância da agropecuária.

A erosão do solo pode ser bem distribuída durante o ano apresentando maiores taxas durante o período chuvoso e as menores no período menos chuvoso. O uso insustentável do solo contribui para o aumento dessas taxas em ambos os períodos, sendo necessário uso sustentável do solo (Viola *et al.*, 2014).

Os elementos da paisagem local somados às atividades que são desenvolvidas em volta do corpo hídrico possuem a capacidade de moldar o comportamento dos nutrientes disponíveis nos rios. Isso ressalta a importância do monitoramento ambiental. Além da agropecuária, as usinas hidrelétricas (UH) são empreendimentos de grande impacto no regime hidrológico.

Essas construções são exemplos de produtos antrópicos que causam modificações na natureza como a perda de solo, afugentamento da fauna e modificação da geometria de rios (JUNK, 1990). Essas alterações no território devem ser estudadas para que os impactos sejam mensurados e, se possível, mitigados.

A construção de uma UH pode afetar os teores de nutrientes nos rios e para que esse impacto seja avaliado, as interações dos meios físicos precisam ser compreendidas através de estudos hidrogeoquímicos que permitem a compreensão das complexas reações químicas entre o solo e a água, identificando suas origens e fatores externos que possam influenciar nos teores dos seus nutrientes (Schlesinger; Bernhardt, 2013).

Na região do baixo Tocantins, a vazão do rio apresenta diminuição após o fechamento da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHT) (ANA, 2017). Ações antrópicas como essa sobre a natureza influenciam a dinâmica da maré, como apontado por Jura, Cintra e Ludovino (2004) quando constaram que o fechamento da UHT ocasionou alteração do regime de enchente, empobrecimento da água por conta da retenção de nutrientes e alteração da produtividade primária diminuindo a pesca local. Vale ressaltar que essas alterações podem ser melhor compreendidas quando considerado os efeitos climáticos da região.

3.2 Climatologia

O clima pode ser definido como a síntese das características climáticas de uma determinada região baseada na série histórica de 30 anos dos seus elementos meteorológicos (Hartmann, 2015). Em estudos de QA a precipitação, temperatura do ar e umidade são exemplos de variáveis climáticas que podem influenciar nas características física, química e biológica dos recursos hídricos (Marinho *et al.*, 2020). O monitoramento integrado abordando os parâmetros de QA do corpo hídrico e as características climáticas da região permitem um melhor diagnóstico do impacto no rio.

Além das características climáticas da região, fenômenos climáticos como *El Niño* e *La Niña* influenciam na variabilidade da precipitação alterando padrões da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no oceano Atlântico, com efeitos mais evidentes durante o período menos chuvoso (Guedes; Cândido; Santo, 2013; Marengo, 1992). O *El Niño* corresponde ao aquecimento anômalo da TSM no oceano Pacífico Tropical enquanto que *La Niña* corresponde ao resfriamento anômalo da TSM do mesmo (Pereira; Reboita; Ambrizzi, 2017). Na região amazônica o efeito do fenômeno *El Niño* - Oscilação Sul (ENOS) é presente na área do estudo

alterando os regimes de precipitação estando associado a secas severas, e o seu oposto, *La Niña*, ocorre em período distinto, associada à regime de chuvas intensas (Philander; Holton; Dmowska, 1985; Guimarães; Reis, 2012).

Na região amazônica os efeitos do *El Niño* abrange a porção oeste ocasionando secas severas, enquanto durante a *La Niña* chuvas intensas ocorrem na porção nordeste e leste da Amazônia (Silva; Noda, 2016). No estudo de Pimentel, Loitzenbauer e Rocha (2023) na Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, a precipitação, temperatura da água, umidade, *El Niño* e *La Niña* demonstram influenciar em 49,8% na QA destacando que o aumento de temperatura e radiação solar contribuem para o aumento de nutrientes no corpo hídrico. A elevação da temperatura da água contribui para o aumento de fitoplâncton o que pode ocasionar eutrofização (Ho; Michalak, 2017); Scarsbrook *et al.* (2003) identificaram a correlação significativa da CE, pH e P total com as variáveis climáticas enfatizando a importância do monitoramento sazonal e contínuo.

Mais importante que o volume de água afetado pelos extremos climáticos, é a sua qualidade alterada de forma que os custos para a recuperação das suas características iniciais tornam-se elevados. Dessa forma a QA é uma das principais ferramentas de gestão que permite identificar as causas e severidades dos danos dos fenômenos sobre o corpo hídrico (Michalak, 2016). As alterações de variáveis meteorológicas por conta do *El Niño* e *La Niña* somados à influência da agropecuária em bacias hidrográficas contribuem para as alterações dos nutrientes dos rios por conta das modificações nos períodos de vazões e enchentes dos mesmos (Piazza *et al.*, 2018).

3.3 Maré

As marés são ondas caracterizadas por oscilações verticais da superfície do mar ou de outros corpos hídricos como baías e estuários causadas pela atração gravitacional da lua. Movimentos periódicos dos astros podem contribuir para um comportamento não estacionário das marés em regiões estuarinas (Gallo, 2004). Nos estuários, a penetração da maré é o produto da interação entre escoamento fluvial e movimento oscilatório gerado pela maré na desembocadura cujas ondas longas são amortecidas e progressivamente distorcidas pelas forças de atrito, vazão fluvial e geometria do corpo hídrico (Godin, 1999; Araújo *et al.*, 2018).

Os estuários são ambientes caracterizados pela transição entre rio e mar, além de sofrerem influências de maré apresentando fortes gradientes ambientais, e águas doces, salobras

e salinas (Garrison, 2010). As zonas estuarinas podem ser divididas em três partes: parte inferior referente a interação rio com o mar aberto; parte intermediária com forte mistura de água doce com água salgada; e parte superior ou estuário superior, caracterizada pela água doce e sujeita à ação das marés (Fairbridge, 1980). Nestes ambientes a combinação de chuvas intensas com a influência marítima e fluvial ocasionam aumento do nível médio do rio, como consequência uma diminuição no escoamento de água, alterando a QA (Alencar *et al.*, 2019).

As distintas variações de marés, sizígia e quadratura, atuam modificando os fluxos dos rios o que impactam na disponibilidade de nutrientes na água. Estudos como de Freitas *et al.* (2017) na Reserva Extrativista Marinha Baía do Iguape, apresentaram maiores variações de carga microbiana em maré sizígia enquanto a variação de coliformes foi distinta entre sizígia e quadratura. A influência da maré sobre parâmetros de QA pode ser diferente conforme o seu tipo. Gomes *et al.* (2024) nas proximidades da região portuária de Barcarena, a análise de componentes principais mostrou que durante a vazantes os parâmetros químicos explicam a variação dos dados, enquanto na cheia a variação é ocasionada pelos parâmetros químicos e físico-químicos.

3.4 Resolução CONAMA 357/2005

A legislação no contexto ambiental é uma ferramenta jurídica que contribui junto com o monitoramento para a adequação ambiental de determinado corpo hídrico, estabelecendo valores de referência que permitem o desenvolvimento natural. O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) emitiu a resolução nº 357 de 2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento (Brasil, 2005). Na região amazônica, por conta da diversidade dos seus rios seus parâmetros químicos e físico-químicos podem estar em desacordo com o CONAMA 357/2005, contudo isso não reflete que as águas sejam poluídas (Silva; Miranda; Santana, 2016).

Os corpos hídricos refletem o produto da interação dos fatores naturais e antrópicos que são capazes de alterar suas características e assim prejudicar a fauna aquática. No estudo de Costa *et al.* (2021) na bacia hidrográfica do Tarumã-Açu foram observados valores de OD e pH em desacordo com o CONAMA 357, o que foi atribuído à presença de material orgânico, ácidos húmicos e fúlvicos, provenientes da decomposição da floresta. Comportamento semelhante foi observado por Silva *et al.* (2013) nos rios amazônicos ao identificar que parâmetros de QA em desconformidade com o CONAMA 357/2005 refletem as características únicas desses rios, frisando a diversidade das águas na Amazônia.

No Brasil, o CONAMA 357/2005 classifica os rios conforme o grau de salinidade podendo ser: água doce (salinidade $< 0,5\%$), salobra ($0,5\% < \text{salinidade} < 30\%$) e salina ($30\% < \text{salinidade}$) e de acordo com seus usos múltiplos sendo classes Especial, 1, 2, 3 e 4 (Brasil, 2005; Santos; Santos; Silva, 2018). Assim como o enquadramento dos rios, a potabilidade descrita pela Portaria nº 5 do MS e balneabilidade pela Resolução CONAMA nº 274/2000 referem-se à QA para as diversas finalidades dos recursos hídricos. A potabilidade abrange as características da água que a torna segura para o consumo humano, enquanto a balneabilidade determina os parâmetros para as atividades de recreação (Brasil, 2000; Brasil, 2017).

O enquadramento dos corpos hídricos permite a melhor gestão desses recursos, visto que conforme a sua finalidade pode necessitar de tratamento de baixo a elevado custo. O baixo monitoramento em corpos hídricos na região amazônia e os impactos decorrentes da agropecuária e urbanização dificultam o enquadramento adequado do rio, sendo considerado para a maioria dos corpos hídricos como rios Classe II (Silva; Miranda; Santana, 2016; Reis *et al.*, 2019). Além disso, no Brasil, por conta de sua dimensão continental e distintas regiões com ampla variação climática e geomorfológica, fica difícil estabelecerem parâmetros que contemplem as características específicas de cada região (Passos; Muniz; Oliveira Filho, 2018).

A Lei nº 9.433/1997 (Brasil, 1997) institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, onde o enquadramento dos corpos hídricos tem como objetivo garantir o uso sustentável e a qualidade dos mesmos. Diante disso, parte dos parâmetros de QA utilizados são nacionais e baseados em padrões internacionais, o que torna ausente padrões que representem as características naturais das águas brasileiras (Passos; Muniz; Oliveira Filho, 2018).

3.5 Hidrogeoquímica

A interação entre solo, água e atmosfera compõe um complexo conjunto de reações físicas, químicas e biológicas que ocorrem simultaneamente e resultam na disponibilidade de nutrientes no meio. Os modelos que controlam essas interações e explicam seu comportamento podem ser compreendidos por meio de estudos hidrogeoquímicos (Schlesinger; Bernhardt, 2013). Elementos como Ca^{2+} , Mg^{+2} , SO_4^{2-} , Al, Na^+ e K^+ são introduzidos naturalmente na água por conta do intemperismo de rochas e suas concentrações dependem da composição química da mesma (Hounslow, 2018). Eventuais alterações no regime pluviométrico assim como fluxo de rios podem interferir na lixiviação desses nutrientes para a água.

Estudos hidrogeoquímicos permitem identificar as concentrações desses elementos e suas origens para o meio hídrico. A concentração de íons assim como os parâmetros físico-

químicos, quando mensurados em escalas temporais e espaciais diferentes, possibilitam identificar fontes antrópicas de contaminação (Lages *et al.*, 2023; Lei; Wagner; Fohrer, 2021). Como forma de melhor delimitação para área de estudo são estabelecidas bacias hidrográficas (BH) para melhor representação das reais condições ambientais dos corpos hídricos.

A bacia hidrográfica (BH) que funciona como uma área de captação natural de água da precipitação cujo escoamento converge para um único ponto pode ter seus fluxos alterados por conta das modificações do uso do solo (Tucci, 1997; Lei; Wagner; Fohrer, 2021). Nela está inserido o conjunto de interações homem-natureza que possam modificar a QA. Na BH de Stor Lei, Wagener e Fohrer (2021) correlacionaram os tipos de solo e características da BH com as variáveis físico-químicas da água. Os autores constataram que os solos com predominância de pastagem retiveram menos água e, com isso, parte de nutrientes incluindo metais contribuíram para a eutrofização do rio.

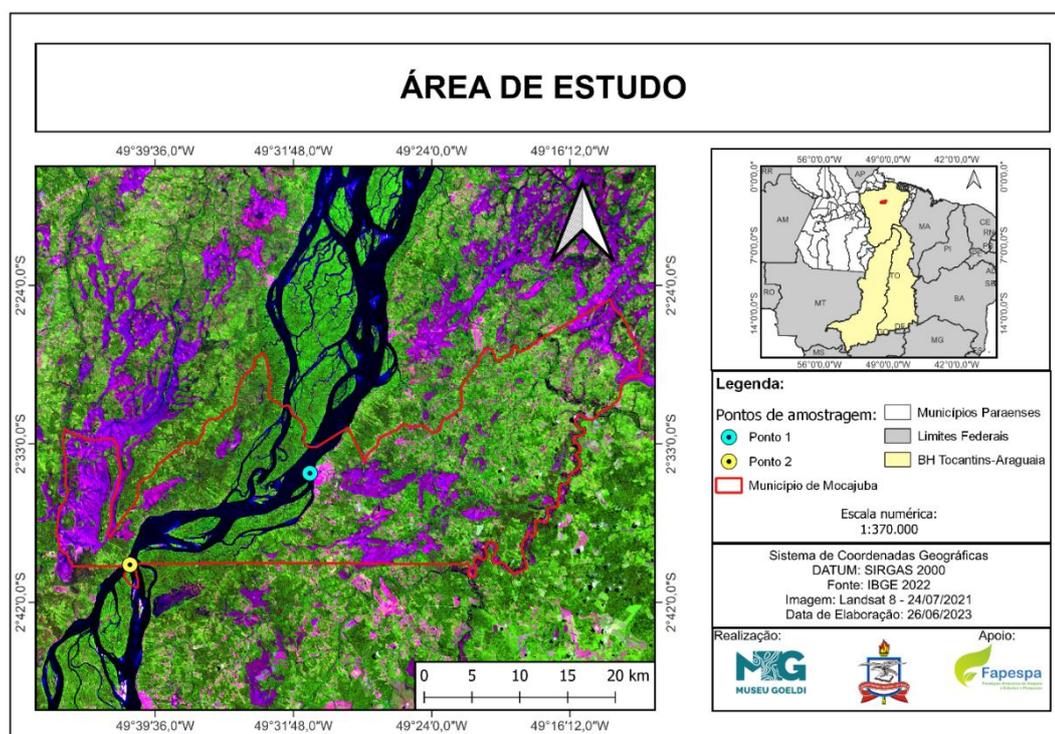
Os parâmetros físicos e químicos da água quando analisados em escala de BH podem refletir melhor a real situação da mesma e indicar os possíveis impactos ambientais ativos no corpo hídrico (Lei; Wagner; Fohrer, 2021). Os estudos de QA não devem restringir-se apenas às características da água e os elementos dissolvidos, mas sim, considerar também o homem pois este é um agente ativo capaz de alterar o regime hidrológico em diferentes escalas (Vogel *et al.*, 2015).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no município de Mocajuba que está localizado na mesorregião do Nordeste Paraense e inserido na microrregião de Cametá, entre os paralelos 2° 42'S e 2° 40'S e longitudes 49° 47' 24" W e 49° 08' 24" W. Possui extensão territorial de 871.171 Km² (Figura 1). O município possui população estimada de 27.198 habitantes com densidade demográfica de 31,22 hab/Km² (Ibge, 2021). Mocajuba está inserida na meso Região Hidrográfica Baixo Tocantins pertencente à Bacia Hidrográfica Tocantins-Araguaia (BHTA), que se destaca como a segunda maior do Brasil com 918.822 km² ocupando 11% do território nacional. O principal rio dessa bacia é o Tocantins com extensão aproximada de 2.400 km formado a partir da confluência dos rios Almas e Maranhão. O seu trecho superior a médio, apresenta características de rio de planalto e no trecho médio a inferior de planície (ANA, 2009).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo e pontos de coleta no município de Mocajuba/PA

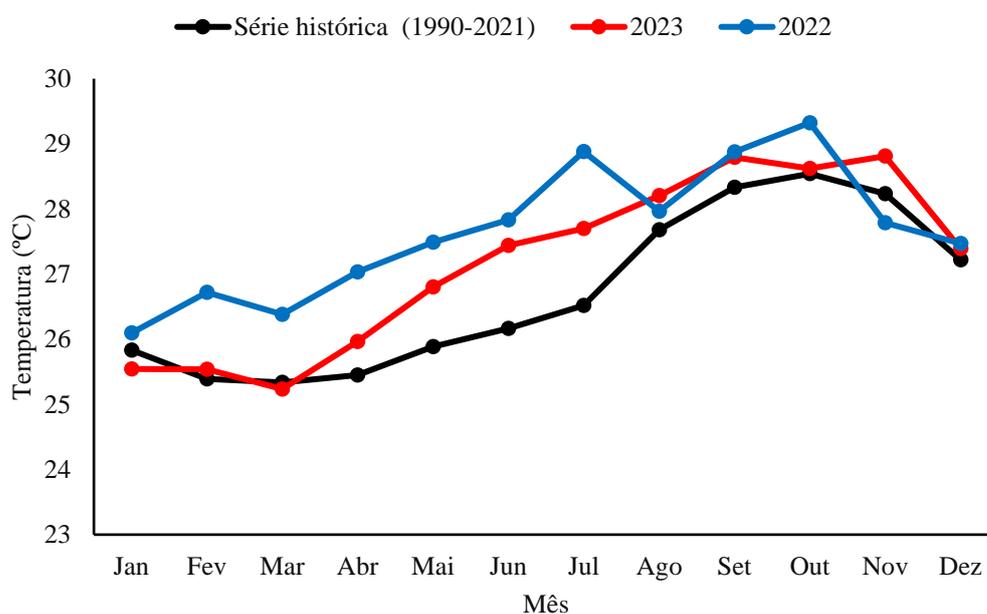


Fonte: Do autor.

O clima predominante é quente e úmido, com temperatura média de 26 C°, segundo a classificação climática de Köppen (Aw), com maiores valores durante o período menos

chuvoso, nos meses de setembro e outubro, chegando a 30,8 °C, e mínima de 22,9 °C no chuvoso enquadrando-se no regime tropical equatorial com a média máxima em outubro com 28,5 °C e mínima 25,3 °C conforme Gráfico da Figura 2. Caracteriza-se com ventos de baixa velocidade e índices de umidade relativa do ar superiores a 85% (Projeto Radam, 1974; Inness *et al.*, 2019). O município possui períodos de precipitação bem definidos sendo dezembro a maio período chuvoso e junho a novembro o menos chuvoso (Ferreira; Souza; Moraes, 2013).

Figura 2 - Temperatura (°C) média mensal da série histórica (1990-2021) em Mocajuba-PA, obtidos pelo INNESS e a temperatura média referente a 2022 a) e 2023 b) obtidos pelo Inmet



Fonte: Do autor.; Adaptado de Inmet (2023)

Os tipos de solo da região são predominantemente latossolo amarelo distróficos, argissolo vermelho, gleissolo háplico ta eutróficos e espodossolo ferrihumilúvico. O latossolo amarelo distrófico apresenta boas condições físicas de retenção de umidade e boa permeabilidade, normalmente utilizado para pastagens. O gleissolo háplico ta eutrófico é caracterizado pela composição de argila de alta atividade e alta fertilidade, podendo apresentar em alguns casos materiais sulfídricos, com solos ricos em bases e sódio. O argissolo caracteriza-se pela baixa atividade de argila e pode conter altos teores de Al sendo normalmente ácidos. Por fim, o espodossolo ferrihumilúvico é caracterizado pelo acúmulo de matéria orgânica, restrição à penetração de raízes e textura arenosa até a profundidade superior a 100 cm (Embrapa, 2021; Ibge, 2015).

A cobertura vegetal da bacia é composta por savana e floresta tropical, possuindo duas zonas de transição sendo um cerrado para floresta tropical e a outra floresta tropical para caatinga (ANA, 2009).

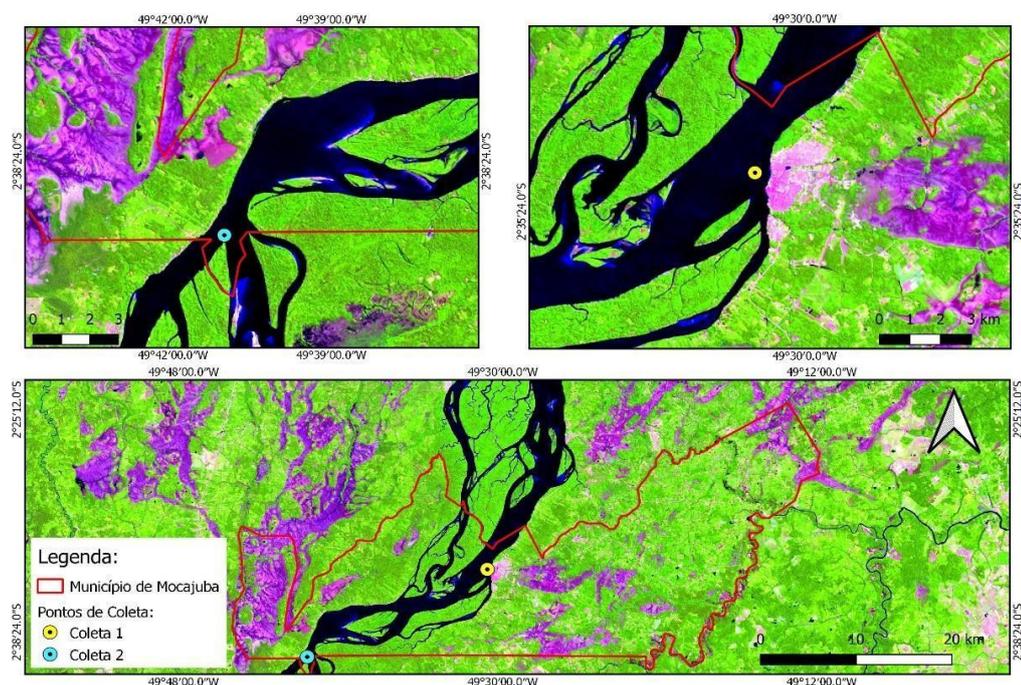
No trecho hídrico, objeto deste estudo, estão inseridas áreas de várzea que se concentram nas margens e nas ilhas da região de Mocajuba. Essas áreas são caracterizadas por ficarem inundadas sazonalmente e desempenharem papel importante nos processos biogeoquímicos retendo e reciclando os nutrientes dos rios (McClain; Victoria; Richey, 2001). As várzeas apresentam altas concentrações de SO_4 e cátions durante período de alta precipitação, contudo os mesmos podem diminuir por conta de fatores naturais como erosão ocasionada pelo fluxo do rio e a alta carga de sedimentos transportando elementos como Al , Ca^{2+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} e Na^+ (Martinelli *et al.*, 1993; Junk, 2013).

Próximo aos pontos amostrados no município de Mocajuba a economia é baseada na agricultura familiar, pecuária e pesca, além do comércio local (Bello *et al.*, 2013). A principal fonte econômica praticada pelas comunidades ribeirinhas consiste no manejo de espécies frutíferas como o açaí (*Euterpe oleracea*) e o cacau (*Theobroma cacao*) (Nogueira; Américo; Costa, 2014). Na região o cacau é uma *commodity* com grande valor econômico tendo destaque internacional com o Estado do Pará mantendo-se no topo nos últimos anos em termos de produtividade com 145.994 toneladas em 2022 (Ibge, 2021).

4.2 Pontos de amostragem

Dois pontos de amostragem foram selecionados (Figura 3), o P1, situado nas coordenadas $2^\circ 34' 40.5''$ S e $49^\circ 30' 52''$ W, próximo ao centro urbano de Mocajuba e o P2, situado nas coordenadas $2^\circ 39' 52.3''$ S e $49^\circ 40' 58''$ W, área com baixa interferência antrópica, próximo às ilhas produtoras de cacau. A seleção dos pontos levou em consideração os possíveis fatores que pudessem influenciar na qualidade do corpo hídrico, com o P2 localizado na parte estreita do trecho Baião-Mocajuba recebendo o fluxo de água desde a montante da barragem e o P1 próximo a cidade passíveis de maior influência antrópica.

Figura 3 - Localização dos pontos de coleta no rio Tocantins, trecho Baião-Mocajuba



Fonte: Do autor.

4.3 Etapas de coleta dos dados

Para o levantamento dos dados desse projeto foram realizadas duas campanhas de campo, a primeira no período menos chuvoso (julho/2022), enquanto a segunda foi realizada no período chuvoso (abril/2023).

Para a coleta das amostras de água superficial foi utilizada a garrafa de Nansen (2 litros) obedecendo meio regime de maré de 13 horas (ANA; CETESB, 2011). A obtenção dos valores referentes à altura de maré (m) e turbidez (UNT) ocorreu por meio do sensor de maré (HOBOT20L), com registros a cada 5 minutos e os dados processados por meio do software INFINITY SERIES.

4.4 Fonte de dados

4.4.1 Dados primários

Os dados dos parâmetros físico-químicos (pH, condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), salinidade, temperatura e sólidos totais dissolvidos (STD)) foram mensurados *in loco* em intervalos de 15 minutos, na primeira campanha, utilizando uma sonda

multiparâmetro AK87v2 (Figura 3) e a calibração do equipamento foi feita com as soluções da AKSO (Figura 4).

Na segunda campanha foi utilizada a sonda Multiparamétrica modelo EXO 2 que permitiu coletar, além dos dados físico-químicos já mencionados, os teores de clorofila-a. Também nesta segunda campanha foram coletadas amostras para determinação dos Sólidos Totais em Suspensão (STS).

Figura 4 - Equipamentos de medição in loco: Sonda multiparâmetro (a) e soluções de calibração (b)



Fonte: Do autor.

Para a determinação dos parâmetros, da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), da Demanda Química de Oxigênio (DQO), da dureza, da alcalinidade e do carbono orgânico dissolvido (COD) amostras de água foram coletadas e armazenadas em frascos de polietileno, resfriadas em isopores para posteriormente serem encaminhadas para análise no laboratório ALS em Goiânia. Em cada ponto, as coletas foram realizadas a cada 1 hora perfazendo 25 amostras sendo 13 no ponto 1 (P1) e 12 no ponto 2 (P2) durante a primeira campanha no período menos chuvoso, enquanto no chuvoso foram 13 amostras no P1 e 13 no P2.

As amostras de água para as análises químicas foram coletadas e armazenadas em frascos de polietileno, resfriadas em isopores para posteriormente serem encaminhadas para análise no laboratório ALS em Goiânia. Em cada ponto, as coletas foram realizadas a cada 1 hora perfazendo 25 amostras sendo 13 no ponto 1 (P1) e 12 no ponto 2 (P2) durante a primeira campanha no período menos chuvoso, enquanto na segunda foram obtidas 26 amostras sendo 13 em cada ponto.

As amostras para determinação de metais foram filtradas com membranas hidrofóbicas Politetrafluoretileno (PTFE) com diâmetro de 25 mm e porosidade de 0,45 μm , para

posteriormente serem armazenadas junto com as demais amostras. O Quadro 1 discrimina os parâmetros avaliados e os métodos empregados na análise conforme *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMWW) e *United States Environmental Protection Agency* (USEPA).

Quadro 1 - Descrição dos parâmetros e dos métodos de análise

Parâmetros	Unidade	Método
Condutividade elétrica (CE)	μS/cm	Condutivimétrico
Oxigênio dissolvido (OD)	mg/L	Sonda polarográfica de compensação automática de temperatura
pH		Potenciométrico
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	Condutivímetro
Temperatura	°C	Sonda polarográfica de compensação automática de temperatura
Salinidade	PPM	<i>Practical Salinity Scale (1978)</i>
Turbidez	UNT	Nefelométrico
Sólidos totais em suspensão (STS)	mg/L	Método 2540 D e E - APHA
Clorofila-a	μg/L	Eletrodo
Alcalinidade Total	mg/L	SMWW 23ª Ed. 2017 – 2320 B / 4500 CO2 D
Carbono Orgânico Total	mg/L	SMWW 23ª Ed. 2017 – 5310 B
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mgO ₂ /L	SMWW 23ª Ed. 2017 – 5210 B
Demanda Química de Oxigênio	mgO ₂ /L	SMWW 23ª Ed. 2017 – 5220 D
Dureza Total	mg/L	SMWW 23ª Ed. 2017 – 2340 B / USEPA 6020 A
Fosfato	mg/L	USEPA SW846 365.2: 1971 / POP 058
Fe dissolvido	mg/L	ICP MS - USEPA 6020 A
Cátions (Ca ⁺² , K ⁺ , Mg ⁺² , Na ⁺)	mg/L	ICP MS -USEPA 6020 A
Metais (Mn, Pb, Cu, Cd, Se, Al, As, Ba, B, Co, Cr, Mo, Ni, V, Zn, Sr, Ti)	mg/L	ICP MS -USEPA 6020 A

Parâmetros	Unidade	Método
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	SMWW 23ª Ed. 2017 – 4500 NH3 F
Óleos e Graxas	mg/L	SMWW 23ª Ed. 2017 – 5520 B, F
Sílica	mg/L	SMWW 23ª Ed. 2017 – 4500 SiO2 C
Ânions (Cl ⁻ , F ⁻ , SO ₄ ⁻² , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻)	mg/L	EPA 9056ª 02/2007 na01; EPA 300.1 1997 rev01

Fonte: Do autor.

A transparência da água (medida somente na segunda campanha) foi realizada por meio do Disco de Secchi (DS) conforme a metodologia da CETESB (2011), que consistiu na submersão do disco até sua profundidade de desaparecimento (H1 cm). Posteriormente, o disco foi emergido até sua completa visualização (H2 cm). As medições foram realizadas apenas no P2, devido à alta intensidade da velocidade do fluxo do rio no P1 que não permitiu a estabilização do DS para as medições. As medições foram realizadas em intervalos de 3 horas, totalizando 4 medições no P2, com início às 09:00h e término, às 18:00 h. Para o cálculo da transparência (cm) foi feita a média aritmética entre H1 e H2.

Para a determinação dos Sólidos Totais em Suspensão (STS) foram coletadas amostras em intervalo de 2 horas, totalizando 7 amostras em cada ponto. Foi feita análise gravimétrica para a obtenção dos teores de STS, sendo os procedimentos realizados no Laboratório de Sedimentologia localizado no Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) em Belém, conforme a metodologia descrita em Standard Methods for the examination of water and wastewater (APHA, 1999).

4.4.2 Dados secundários

Os dados secundários constituem uma etapa complementar neste trabalho para a caracterização hidrológica e de uso e cobertura do solo da porção inferior da bacia hidrográfica do Rio Tocantins e subsidiar discussões sobre a influência de fatores naturais e antrópicos sobre os parâmetros de qualidade da água neste ambiente.

Os dados hidrológicos utilizados foram precipitação de Mocajuba, vazão e cota do Rio Tocantins, além de dados de uso e cobertura do solo da bacia (Quadro 2).

Quadro 2 - Dados secundários, suas fontes e respectivos períodos utilizados

Dado	Fonte	Período
Precipitação	CHIRPS	1990 até 2021
	CEMADEN	2022 e 2023
Vazão	HIDROWEB-ANA	1969 até 2016
	ONS	2022 e 2023
Cota	HIDROWEB-ANA	1972 até 2021
	ONS	2022 e 2023
Uso e cobertura do solo	MAPBIOMAS	1985 e 2022

Fonte: Do autor..

A série histórica de precipitação no período 1990 até 2021 foi utilizada para caracterização pluviométrica do município de Mocajuba e os dados do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) e foram utilizados para evidenciar o período amostral.

O volume de chuva referente aos anos de 2022 e 2023 foi obtido no banco de dados do CEMADEN por meio da estação pluviométrica localizada em Baião. Os valores referentes à série histórica (1990 – 2021) foram obtidos por meio do satélite *Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations – CHIRPS*, que utiliza tecnologia proveniente de satélite combinada com dados de superfície, apresentando resolução espacial de 7 km (Auliyani; Wahyuningrum, 2021).

A série histórica de vazão (1969 - 2016) e de cota (1971 - 2021) foram intencionalmente utilizadas para caracterização hidrológica do rio Tocantins antes e após a implantação da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, com objetivo de analisar o impacto do empreendimento a jusante da barragem. Os dados do Operador Nacional de Sistema Elétrico (ONS) foram utilizados para caracterizar o período amostral.

Os dados de vazão para os anos de 2022 e 2023 foram obtidos por meio do Operador Nacional de Sistema Elétrico – ONS, órgão responsável pelo controle e sistematização da operação das instalações de geração e transmissão elétrica no Brasil (Brandão, 2004).

Os dados referentes ao uso e cobertura do solo foram obtidos na plataforma MAPBIOMAS que possui dados de 1985 até 2022. Esta plataforma abrange informações sobre sensoriamento remoto, identificando diferentes usos do solo podendo ser filtrados por bioma,

estado, município e bacia hidrográfica (Mapbiomas, 2023). Para este trabalho foi feita uma análise temporal entre os anos de 1985 e 2022, apresentados em mapas e tabela para verificar as mudanças no uso e cobertura do solo na região da bacia hidrográfica deste estudo a fim de subsidiar as discussões entre as atividades antrópicas que possam ser relacionadas com a qualidade do corpo hídrico.

4.5 Análise de dados

4.5.1 Análise de dados primários

Os dados foram tabulados em planilha eletrônica no *software Excel*, posteriormente foram analisados nos *softwares R STUDIO* e *JAMOVI* para serem apresentados em forma de gráficos e tabelas. Os elementos químicos utilizados nas análises estatísticas foram os que apresentaram teores maiores que o Limite de Quantificação (LQ) em mais de 50% das amostras analisadas. O LQ se refere ao menor valor que o equipamento empregado na análise pode detectar e, é importante frisar que valores inferiores a LQ não indicam a ausência de teor, mas dizem respeito à sensibilidade do método utilizado.

As análises estatísticas empregadas foram estatística descritiva (máxima, mínimo, média e desvio-padrão), análise de correlação de *Spearman*, Análise de variância (Teste-t – para dados paramétricos e Kruskal-Wallis para não-paramétricos) e Análise de Componentes Principais. Os dados foram testados para verificação da sua distribuição sendo empregado o teste Shapiro-Wilk para nível de confiança de 95% e $p > 0,05$. O teste de normalidade, estatística descritiva e análise de variância foram feitos no *software JAMOVI* (2022) e a análise de correlação de *Spearman* e os gráficos foram feitos no *R STUDIO* (2021).

A análise de componentes principais (ACP) é um método de análise multivariável que permite em um conjunto de dados resumir as principais variáveis responsáveis pela variação total do conjunto de amostras, com o objetivo de preservar as relações existentes nos dados (Finkler *et al.*, 2015). Os procedimentos deste método foram a padronização dos valores para média 0 e variância 1 para que as variáveis tivessem pesos iguais; cálculo da matriz de correlações; determinação dos autovetores; e, por fim, foram consideradas as componentes que corresponderam a mais de 70% da variação dos dados conforme sugerido por Finkler *et al.* (2015). Como forma de selecionar as variáveis mais significativas que não comprometessem a ACP, foi realizado o teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), pois o mesmo indica se a amostra

está adequada para a análise, mensurando o seu nível de adequação para a componente principal (Kaiser, 1958; Nunes; De Queiroz, 2023). O valor de KMO varia de 0 a 1, com 1 indicando que a soma das correlações parciais das variáveis está alta quando comparadas às mesmas condições em modo total, diante disto o critério adotado para o KMO neste trabalho foi o mesmo utilizado por Nunes e De Queiroz (2023) que consistiu em rejeitar amostras com valores abaixo de 0,5 (KMO).

Os *softwares* utilizados para o processamento dos dados e análises foram o R (*R Development Core Team*, 2023), JAMOVI (Versão 2.3). A força da correlação foi classificada de acordo com Xiau *et al.* (2016) conforme Quadro 3.

Quadro 3 - Valores de ρ e suas respectivas forças de correlação

Valor de p	Força da correlação
-1 até 0,5 ou 1 até 0,5	Forte
-0,5 até -0,3 ou 0,3 até 0,5	Moderada
-0,3 até -0,1 ou 0,1 até 0,3	Fraca
-0,1 até 0,1	Muito fraca ou inexistente

Fonte: Do autor.; baseado em Xiau *et al.* (2016)

É importante destacar que foi realizada uma análise estatística para verificar se os pontos amostrados apresentaram diferença entre si nos valores dos parâmetros analisados. Verificou-se que não há diferença entre esses dois pontos, o que levou a considerar que as amostras pertencem ao mesmo ambiente devido a sua homogeneidade. Diante disto, foram considerados para fins de análises e descrição dos resultados apenas sob a perspectiva dos dois períodos sazonais distintos (período chuvoso e menos chuvoso) e altura de maré (cheia e vazante).

Para avaliar a qualidade da água, os valores médios dos parâmetros analisados foram comparados com os valores de referência da Resolução CONAMA n° 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento (Brasil, 2005). Como o rio Tocantins não possui enquadramento de acordo com essa resolução, os parâmetros de qualidade da água foram comparados aos rios de água doce classe II, conforme o Art° 42 enquanto não aprovado os enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2.

4.5.2 Análise de dados secundários

Os dados de precipitação foram plotados em gráficos com a média mensal da série histórica (1990-2021) e os totais mensais acumulados para os anos de 2022 e 2023. Os dados de vazão e cota foram plotados em um gráfico com as máximas anuais mensais da série histórica e em outro gráfico com a média da máxima mensal do período analisado e incluído as médias para os anos de 2022 e 2023. Para analisar o impacto da implantação da hidrelétrica sobre as variáveis cota e vazão foi aplicado o teste Kruskal-Wallis para identificar se houve diferença antes e após a construção da usina, utilizando as medições diárias.

Os dados de uso e cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do rio Tocantins foram classificados conforme o Mapbiomas (2023) nível 2 para os anos de 1985 e 2022, e verificou-se a variação relativa de uso e cobertura do solo para os anos analisados.

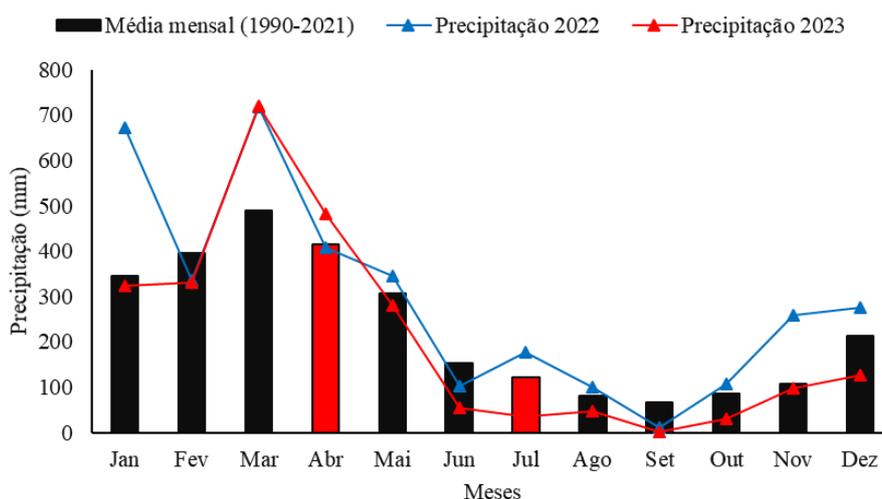
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características hidrológicas e de uso e cobertura da terra

Baseado no levantamento de dados secundários, serão apresentadas as características ambientais da bacia hidrográfica referente aos dados hidrológicos e de uso e cobertura da terra.

A Figura 5 mostra o ciclo anual da precipitação no município de Mocajuba para o período de 1990 até 2021 comparando com a precipitação dos anos de 2022 e 2023 (Figura 5). A média anual de chuva é 2785 mm, sendo que o pico de chuva no município ocorre no mês de março (488 mm) e o menor valor no mês de setembro (66 mm). Comparando a média da série histórica com a precipitação de 2022 e 2023 observa-se que em 2022 houve chuva acima da média (3508 mm), enquanto que em 2023 foi abaixo da média (2534 mm). É importante observar que em 2023 todo período seco esteve abaixo da média climatológica, com exceção dos meses de março e abril. Isso se deve, principalmente, à atuação do fenômeno *El Niño*, considerado um dos eventos mais fortes e duradouros do século e que perdura até os dias atuais (Ludescher *et al.*, 2023). Por outro lado, em 2022 as chuvas estiveram acima da média da normal climatológica devido a atuação do fenômeno *La Niña* (NOAA, 2024)

Figura 5 - Precipitação (mm) média da série histórica (1990-2021) em Mocajuba-PA, obtidos pelo CHIRPS e a precipitação referente a 2022 e 2023 pela CEMADEN. Em vermelho estão destacados os meses em que foram realizadas as coletas.



Fonte: Do autor.; baseados nos dados do CEMADEN (2021) e do CHIRPS (2023)

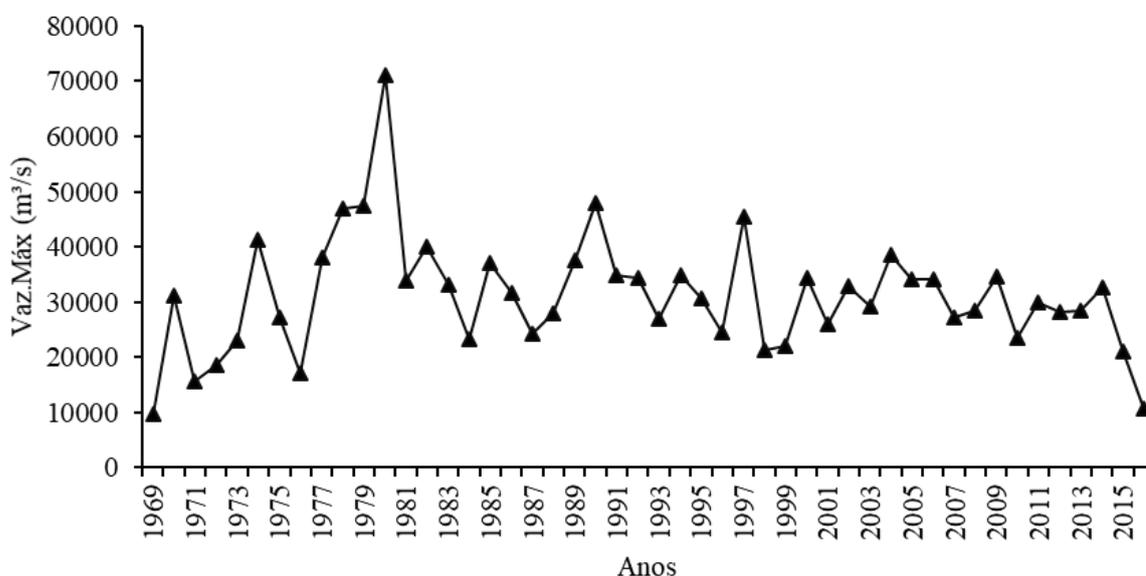
A sazonalidade é presente conforme apresentado na Figura 5. O papel sazonal da precipitação foi descrito por Almada *et al.* (2019) como uma contribuição significativa para o

fluxo dos rios principalmente no período mais chuvoso onde ocorre o maior escoamento de sólidos dissolvidos e matéria orgânica para os rios.

Após a construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí o regime pluviométrico apresentou alteração cuja precipitação média anual (1970-1984) antes da construção da usina era de 4.103 mm e após (1985-2022) passou para 3.227 mm (ANA, 2017).

As vazões hídricas máximas registradas nessa estação foram de 71.036 m³/s em 1980 (antes do fechamento da barragem) e 47.923 m³/s em 1990 (após o fechamento), ambas no período chuvoso conforme Figura 6. Antes do fechamento da barragem a média máxima diária foi de 10.064 m³/s, enquanto que no período pós barragem a média foi de 11.151 m³/s. Essa diferença foi significativa ($p < 0,05$) indicando alteração no regime de vazão com a implantação da hidrelétrica. Após a construção de Tucuruí as modificações no fluxo do rio ocasionaram a maior frequência de enchentes e da vazão sendo o ciclo do rio alterado para se adequar à periodicidade relacionada às estações de energia (Godoy *et al.*, 2023). A dinâmica local assim como o regime de enchente no baixo Tocantins foi alterada por conta da construção da UHT ocasionando a retenção de nutrientes e diminuição da pesca local afetando a socioeconomia da região (Juras; Cintra; Ludovino, 2004).

Figura 6 - Vazão diária da série histórica (1969-2016) em Tucuruí-PA, obtidos pela Estação 29700000

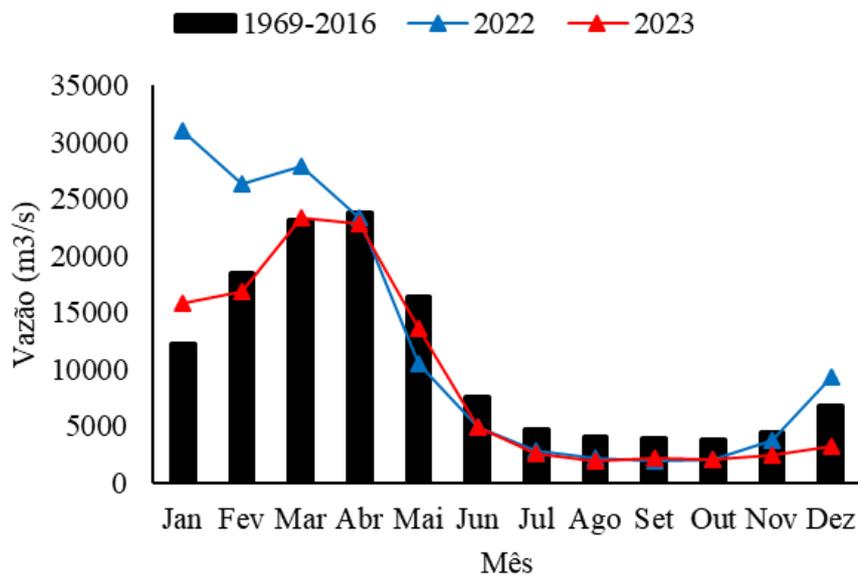


Fonte: Do autor.; baseado nos dados da ANA

Na Figura 7 estão apresentados os valores de vazão média máxima mensal para a série histórica (1969-2016) e a vazão máxima mensal para os anos de 2022 e 2023. De acordo com a Figura 10, o mês de abril apresenta maior vazão máxima de 23.778 m³/s e a mínima no mês

de outubro com 3.848 m³/s. Em 2022, os meses de dezembro a março a vazão esteve acima da média histórica, enquanto o ano de 2023 somente janeiro esteve acima.

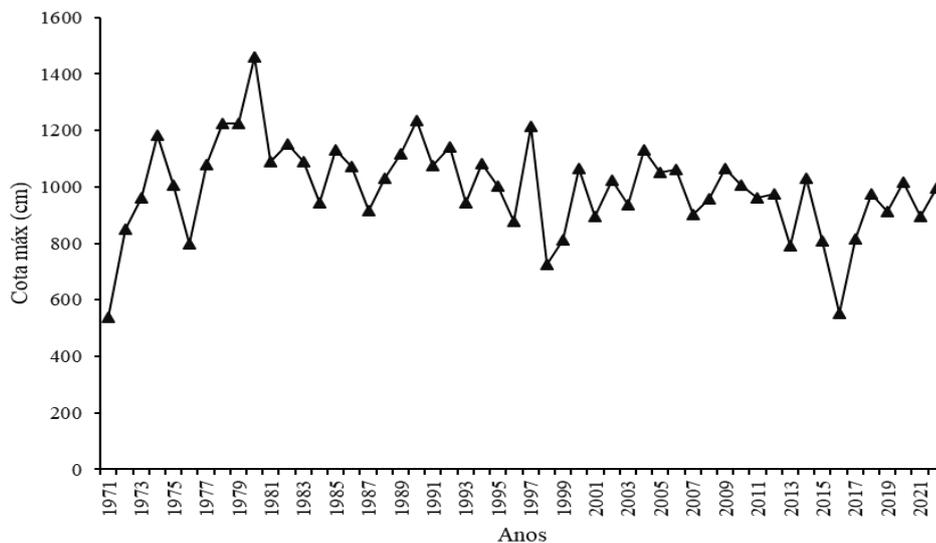
Figura 7 - Vazão (m³/s) média mensal para a série histórica (1969-2016) e as vazões mensais para 2022 e 2023 a jusante da UHE- PA



Fonte: Do autor.; baseado nos dados da ANA (2021) e ONS (2023)

A Figura 8 apresenta a série histórica da cota do rio Tocantins que permitiu identificar as cotas máximas e mínimas para o período amostral. A cota máxima foi de 1.462 cm e mínima de 539 cm em 1980 e 1971, respectivamente. A média antes do fechamento da barragem foi de 507 cm e após foi de 467 cm e a análise de variância não mostrou diferença significativa ($p=0,075$).

Figura 8 - Cota máxima anual da série histórica (1969-2022) em Tucuruí-PA, obtidos pela Estação 29750000

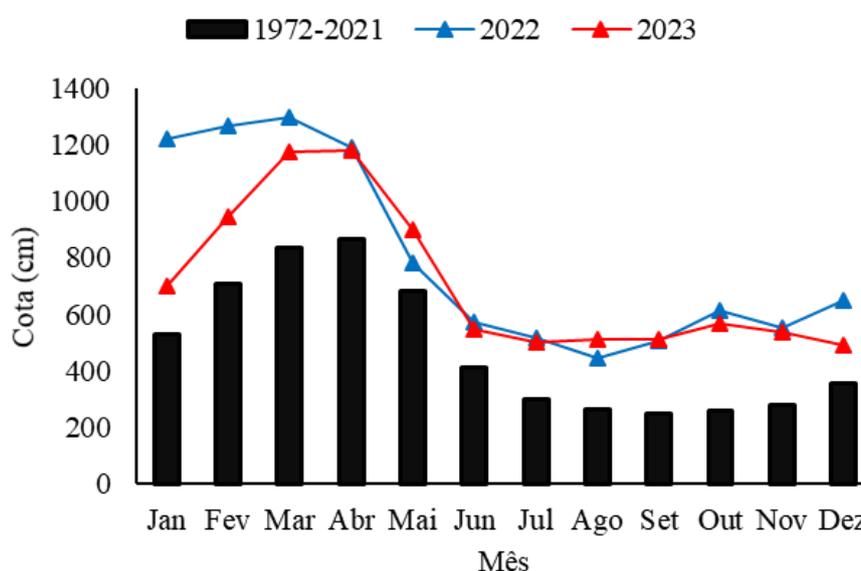


Fonte: Do autor.; baseado nos dados da ANA (2022)

Em 2022 e 2023, as cotas apresentaram comportamento semelhante ao da série histórica, porém com valores superiores ao da série histórica para todos os meses (Figura 9). As cotas apresentaram comportamento semelhante ao da vazão e precipitação para os anos de 2022 e 2023.

Importante destacar que nos anos de 2022 e 2023 ocorreram os fenômenos *La Niña* e *El Nino*, respectivamente, que ocasionam desvios esporádicos da temperatura da superfície do mar do pacífico sul e esse fenômeno altera os processos meteorológicos, influenciando no aumento ou na redução de chuvas na região da área do estudo (NOAA, 2024) com consequências sobre as variáveis cota e vazão.

Figura 9 - Cota (cm) média mensal da série histórica (1972-2021), 2022 e 2023 no rio Tocantins, trecho Baião-Mocajuba



Fonte: Do autor; baseado nos dados da ANA (2021).

De acordo com os dados do Mapbiomas (2023), a análise temporal de uso e cobertura do solo para a bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia nos anos de 1985 e 2022 é mostrada na Tabela 1.

Conforme pode-se observar a área florestal sofreu uma redução de 12,48%, passando de 325.201,34 em 1985 para 208.114,65 hectares em 2022. Por outro lado, o percentual de pastagem aumentou 22,9%, passando de 115.647,25 para 330.451,49 hectares em 2022. A Classe Nível 2 Outros é formada por atividades agropecuárias como silvicultura, dendê, cana, arroz, algodão, café e outras lavouras perenes que juntas apresentaram um aumento de 0,15% aumentando de 317,15 em 1985 para 6.663,29 hectares em 2022.

Tabela 1 - Classes de uso e cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do Rio Tocantins nos anos de 1985 e 2022 em hectares

Classe - 1	Níveis Classe - 2	Anos		Variação (%)
		1985	2022	
Agropecuária	Pastagem	115.647,25	330.451,49	22,90%
Floresta	Formação Florestal	325.201,34	208.114,65	-12,48%
Floresta	Formação Savânica	282.713,75	186.737,89	-10,23%
Floresta	Campo Alagado e Área Pantanosa	50.273,20	47.715,46	-0,27%
Agropecuária	Mosaico de usos	82.673,85	40.724,44	-4,47%
Agropecuária	Soja	1.243,76	37.705,08	3,89%
Formação natural não florestal	Formação Campestre	38.230,97	31.798,76	-0,69%
Corpo D'água	Rio, lago e oceano	16.746,54	18.882,25	0,23%
Área não vegetada	Área Urbanizada	624,95	2.004,28	0,15%
Agropecuária	Outros	317,15	6.663,29	0,15%

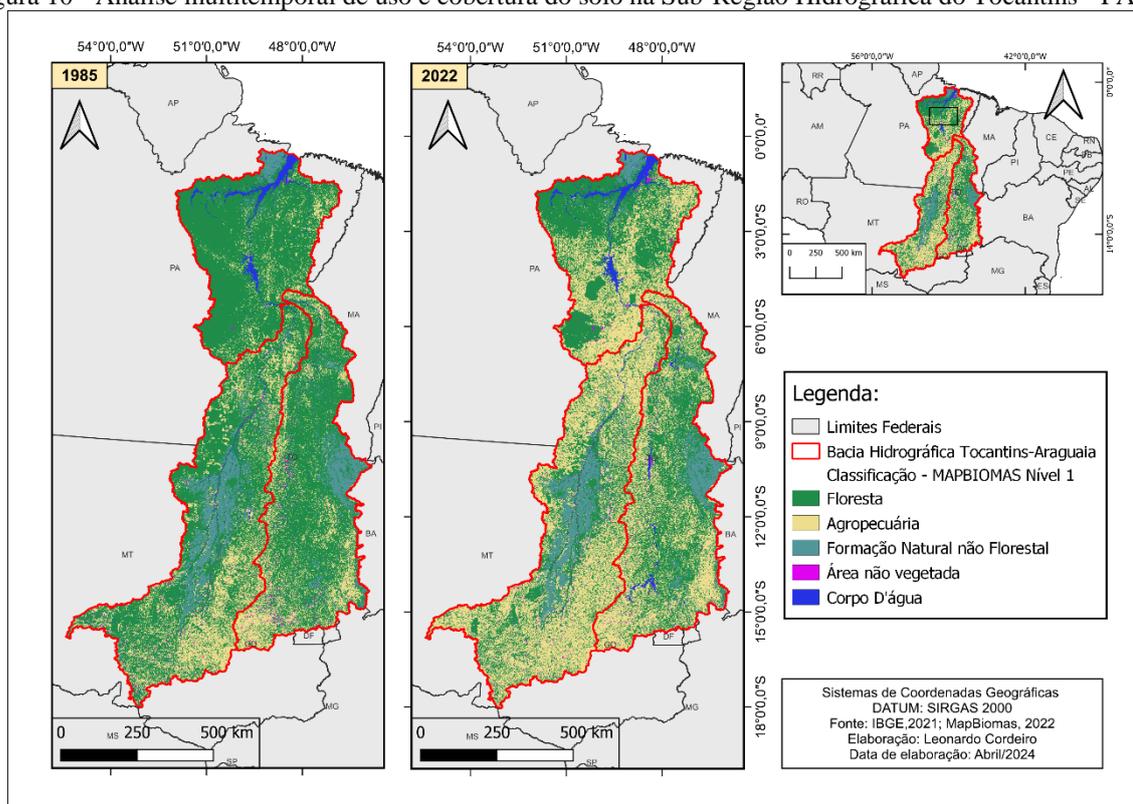
Fonte: MAPBIOMA (2023)

De acordo com o mapa da Figura 10 é possível observar que as maiores alterações se concentraram na porção superior da bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia e essas alterações podem acarretar em impactos sobre os recursos hídricos na porção inferior da sub-bacia. É importante destacar que as alterações na cobertura da terra têm reflexos na qualidade das águas superficiais (Reis *et al.* 2017; Miranda *et al.* (2009). O desenvolvimento de atividades agropastoris influenciam em parâmetros físico-químicos como CE, pH e íons dissolvidos conforme observado por Barroso (2018), ao verificar que as variações desses parâmetros apresentaram correlações significativas com as atividades de pastagem.

A alteração da cobertura vegetal em bacias hidrográficas foi detectada no estudo de Dutra *et al.* (2023) que observaram que a fragmentação florestal para formação de pastagem tem consequência sobre os recursos hídricos e por Emmett *et al.* (1994) que confirmaram a importância da vegetação para redução das concentrações de Fe^{+3} , Al^{-} e SiO_4^{-} no corpo hídrico.

Vale destacar a importância do monitoramento e do diagnóstico do uso do solo como ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, pois as atividades desenvolvidas no solo influenciam nos parâmetros de qualidade da água (Queiroz *et al.*, 2010).

Figura 10 - Análise multitemporal de uso e cobertura do solo na Sub-Região Hidrográfica do Tocantins - PA



Fonte: Do autor; baseado nos dados do Mapbiomas (2023).

5.2 Hidroquímica fluvial

5.2.1 Influência da Sazonalidade e da maré sobre os parâmetros físico-químicos

A Tabela 2 apresenta os valores máximos, mínimos, média e desvio-padrão para os parâmetros físico-químicos e altura de maré para o período chuvoso e menos chuvoso.

Tabela 2 - Valores Máximos (Máx), mínimos (Mín), média (Méd) e desvio-padrão (DP) dos parâmetros físico-químicos e biológicos analisados no trecho Baião-Mocajuba durante o período do estudo

Parâmetros	Menos chuvoso			Chuvoso		
	Mín	Máx	Méd ±DP	Mín	Máx	Méd ±D
CE (µS/cm)	110	157,0	114,86 ± 5,71	30,3	46,7	40,26 ± 2,57
STD (mg/L)	41	74,0	54 ± 2,76	18	28	24 ± 1,62
pH	7,1	7,6	7,35 ± 0,12	6,86	7,5	6,87 ± 0,06
OD (mg/L)	3,7	5,7	4,65 ± 0,42	6,05	6,96	6,57 ± 0,23

Parâmetros	Menos chuvoso			Chuvoso		
	Mín	Máx	Méd ±DP	Mín	Máx	Méd ±D
Temperatura (°C)	27,7	30,3	29,3 ± 0,57	27,8	30,2	29 ± 0,17
Turbidez (NUT)	3	46	6,21 ± 5,31	7,13	65,56	11,94 ± 10,4
Salinidade (ppm)	0	0,1	0,1 ± 0,009	0	0,03	0,01 ± 0,008
Clorofila-a (µg/L)	**	**	**	0,39	0,56	0,47 ± 0,02

Fonte: Do autor.

Nota: ** parâmetro não mensurado nesta coleta.

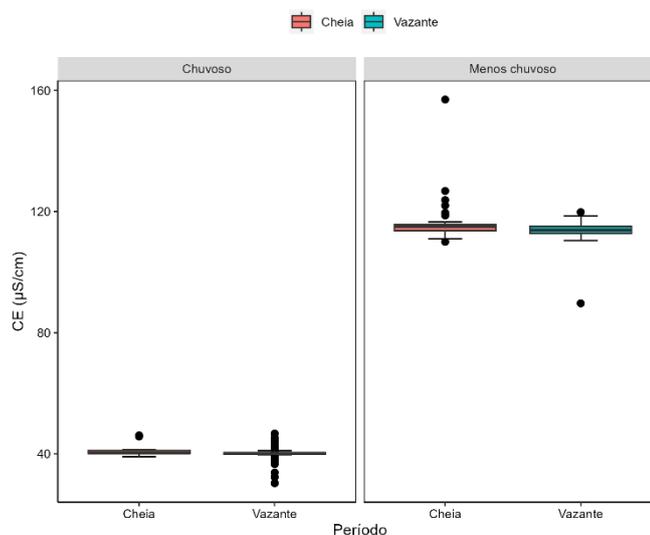
Os valores de CE no período menos chuvoso variaram de 110 a 157 µS/cm, enquanto chuvoso variou de 30,3 a 46,7 µS/cm (Tabela 2). A variação da CE entre os períodos sazonais, também foi observada por Santos *et al.* (2019) no rio Tocantins, no período menos chuvoso oscilou de 40 a 56 µS/cm, e no menos chuvoso entre 40 a 76 µS/cm.

Valores semelhantes foram observados por Santos *et al.* (2019) para o período chuvoso cuja CE variou de 40 a 56 µS/cm e menos chuvoso 40 a 76 µS/cm. A média de CE foi mais elevada no período menos chuvoso (114,86 µS/cm) e a análise de variância foi significativa ($p < 0,001$) para sazonalidade. A salinidade no menos chuvoso variou de 0 a 0,1 ppm com média de $0,1 \pm 0,009$ ppm, sendo menor no período chuvoso com média de $0,01 \pm 0,008$ ppm variando de 0 a 0,03 ppm.

O regime de chuva é um fator que influencia nas concentrações de íons na água por carreamento de material particulado e de rochas para os rios. O comportamento sazonal da CE também foi observado por Wasseman *et al.* (2019) que durante o período de chuvas intensas, mesmo com o aumento da lixiviação do solo e rochas, o volume da água dilui os íons e no período menos chuvoso os íons tendem a estarem mais concentrados resultando em maior condutividade. É importante frisar que, ao monitorar a CE deve-se considerar não apenas o regime de chuva, mas englobar outros elementos como a urbanização nas margens dos rios assim como a própria geologia e vegetação que interagem com a maré que possui períodos bem definidos de cheia e vazante na área do estudo (Gomes *et al.*, 2023; Araújo *et al.*, 2020; Ribeiro; Valadão, 2021).

A Figura 11 apresenta os valores de CE em relação ao período amostrado e a maré. É possível visualizar o comportamento sazonal da CE com maiores valores no período menos chuvoso. Em relação a maré para ambos os períodos sua variação foi distinta, sendo no menos chuvoso maior durante a cheia e no chuvoso durante a vazante.

Figura 11 - Condutividade elétrica em relação a cheia e vazante para ambos os períodos do estudo no trecho Baião-Mocajuba

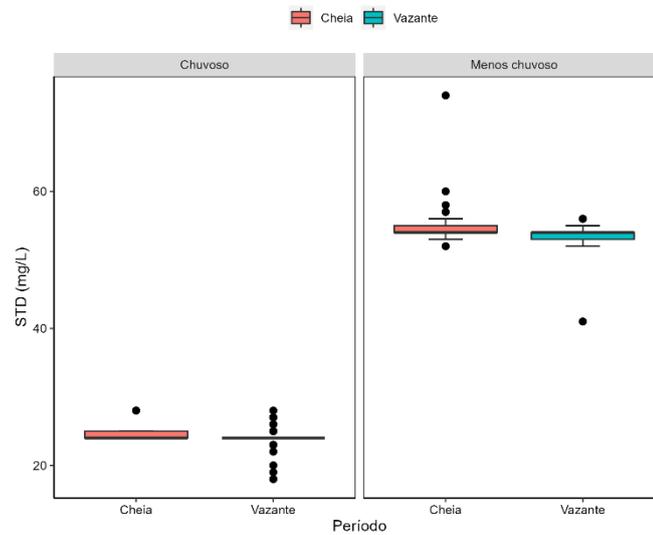


Fonte: Do autor.

As concentrações STD apresentaram comportamento semelhante ao da CE, com maiores teores durante o período menos chuvoso variando de 41 a 77 mg/L com média de 54 mg/L \pm 2,76, enquanto no período chuvoso a variação foi de 18 a 28 mg/L com média de 24 \pm 1,62 (Figura 12) e análise de variância, por meio do teste T, confirmou a diferença sazonal ($p < 0,001$).

A relação entre STD e CE já foi observada em estudos de Silva, Barbosa e Moraes (2015) e Oliveira e Campos (2011) que constataram a sazonalidade dos STD relacionado a disponibilidade de íons dissolvidos no corpo hídrico. O baixo regime pluviométrico contribui para maior concentração dos sólidos dissolvidos por conta da baixa diluição que ocorre nesse período (Marinho *et al.*, 2020). Ainda que ocorra maior carreamento do solo por conta do período chuvoso e a presença de atividades agropecuárias a montante da sub-bacia hidrográfica do Baixo Tocantins, o regime chuvoso dilui os sólidos diminuindo sua concentração (Costa; Moreira; Nunes, 2023). É importante destacar que os seis dias que antecederam a coleta do período chuvoso, foram marcadas por chuvas no local, inclusive durante a coleta das amostras, que podem ter reflexos sobre os valores baixos de STD.

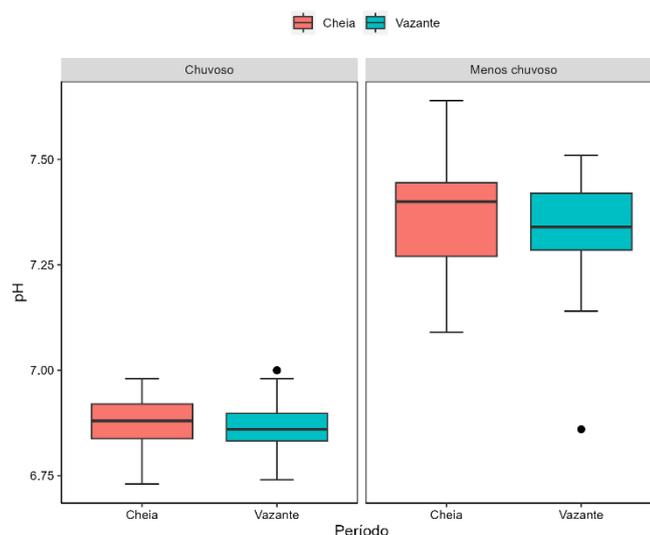
Figura 12 - Sólidos totais dissolvidos (mg/L) em relação a cheia e vazante para ambos os períodos do estudo no trecho Baião-Mocajuba



Fonte: Do autor.

O pH para o período menos chuvoso variou de 7,1 a 7,6 com média de $7,35 \pm 0,12$, enquanto no chuvoso variou de 6,86 até 7,5 com média de $6,87 \pm 0,06$ (Tabela 3). Nota-se que no período chuvoso o pH teve tendência ligeiramente ácida, enquanto no período menos chuvoso o pH tendeu a levemente alcalino (Figura 13) e tal comportamento semelhante foi observado por Neu *et al.* (2023) no rio Tocantins no município de Mocajuba. Esse comportamento do pH em rios da região amazônica também foi observado por Pinheiro, Saldanha e Monte (2019) e Barroso (2018), que atribuíram à entrada de ácidos húmicos proveniente da decomposição do material vegetal das margens dos rios o que pode explicar o comportamento do pH observado neste estudo.

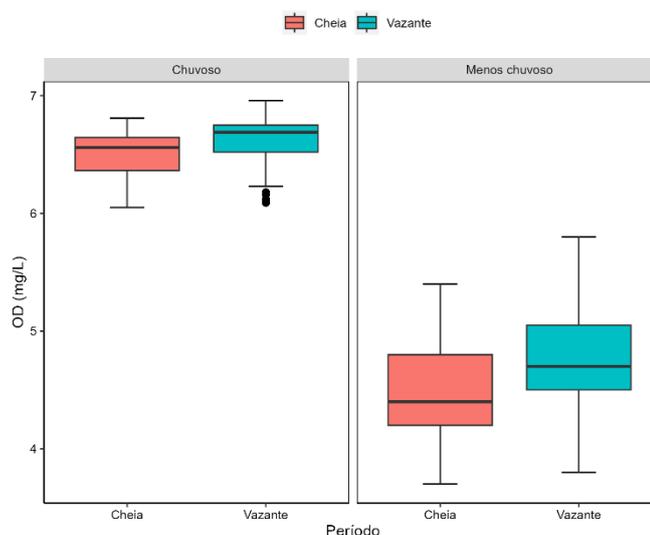
Figura 13 - Valores de pH em relação a cheia e vazante para ambos os períodos do estudo no trecho Baião-Mocajuba



Fonte: Do autor.

O OD no período menos chuvoso variou de 3,7 a 5,7 mg/L, enquanto no período chuvoso variou de 6,05 a 6,96 mg/L (Tabela 2). A concentração média mais elevada ocorreu no período chuvoso (6,57 mg/L) (Figura 14). Houve diferença significativa ($p < 0,001$) nas diferenças das médias dos dois períodos sazonais amostrados (Tabela 4). A sazonalidade influencia nos teores de OD porque a chuva e a fotossíntese são fatores que contribuem para a oxigenação das águas, sendo no período menos chuvoso esperada maiores teores de OD por conta da maior penetração atividade fotossintética assim como no chuvoso a inserção de OD no ambiente por conta das chuvas e carreamento de MO para o rio (Esteves, 2011). Baixas concentrações de OD podem ser atribuídas a atividades antrópicas como despejo de efluentes, e em rios preservados, baixas concentrações podem estar relacionadas aos processos de interação solo e água, e ao aumento da temperatura que influencia na solubilidade de gases no corpo hídrico com diminuição das concentrações de OD (Monte *et al.*, 2021).

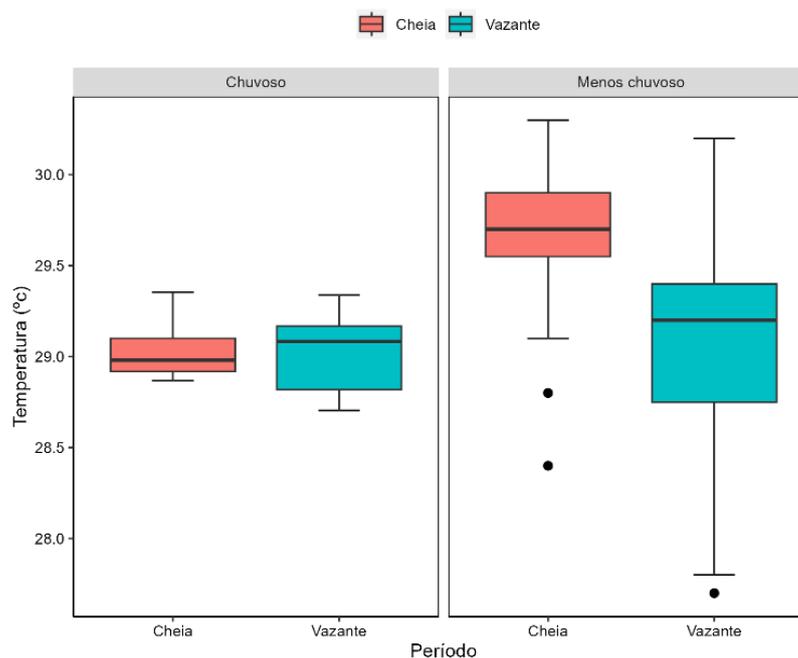
Figura 14 - Teores de Oxigênio dissolvido (mg/L) em relação a cheia e vazante para ambos os períodos do estudo no trecho Baião-Mocajuba



Fonte: Do autor.

A temperatura apresentou pouca variação, sendo no período menos chuvoso de 27,7 até 30,3 °c com média de $29,3 \pm 0,57$, enquanto no período chuvoso variou de 27,8 até 30,2 °c com média de $29 \pm 0,17$ (Tabela 3). Esse comportamento de oscilação da temperatura ocorre de acordo com a amplitude térmica diária e sazonal podendo variar conforme profundidade do rio e horário do monitoramento (Figura 15) (Lopes *et al.*, 2021). Um dos fatores que explicam a temperatura da água está relacionada a temperatura do ar que pode explicar esses resultados, uma vez que a coleta no período menos chuvoso foi realizada no mês de julho cuja temperatura média histórica no município é de 26,7 °c, enquanto que a coleta do mês chuvoso ocorreu no mês de abril cuja média é 25,45 °c. Isso explica também as menores concentrações de OD no período menos chuvoso, cuja temperatura da água é mais elevada.

Figura 15 - Valores de temperatura (°c) em relação a cheia e vazante para ambos os períodos do estudo no trecho Baião-Mocajuba

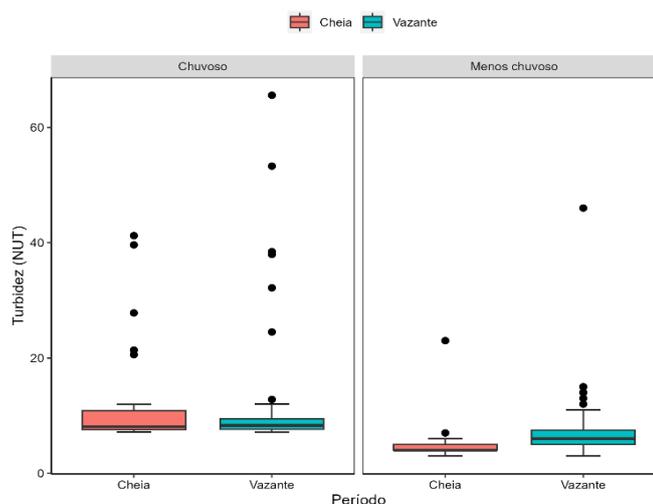


Fonte: Do autor.

Os valores de OD, pH e temperatura no período menos chuvoso são semelhantes ao encontrado por Piratoba *et al.* (2017) em Barcarena e aos valores observados pela Secretaria de Estado e Meio Ambiente e Sustentabilidade - SEMAS (SEMAS, 2020) em estudo de monitoramento no rio Tocantins.

A turbidez foi maior no período chuvoso com variação de 7,13 a 65,56 NUT com média de $11,94 \pm 10,4$, enquanto que no menos chuvoso a variação foi de 3 a 46 NUT com média de $6,21 \pm 5,31$ (Tabela 3) e a variação sazonal foi significativa ($p < 0,001$) pelo Teste-t (Tabela 4). O comportamento sazonal (Figura 16) da turbidez pode ser explicado pelo regime de precipitação, que durante o período chuvoso influencia os processos de escoamento superficial da água da chuva sobre o solo levando consigo material em suspensão para o corpo hídrico (Monte *et al.*, 2021; Araújo *et al.*, 2020). Além disso, o aumento do volume de chuva na bacia do rio Tocantins eleva a vazão e as cotas do rio, o que possibilita uma maior interação entre os ecossistemas aquático e terrestre (Esteves, 2011).

Figura 16 - Valores turbidez (NUT) em relação a cheia e vazante para ambos os períodos do estudo no trecho Baião-Mocajuba



Soma-se a isto, o desmatamento nas áreas a montante da bacia (Figura 10), pois a retirada da cobertura vegetal deixa o solo mais vulnerável aos processos hidrológicos de escoamento superficial e infiltração, processos que contribuem para transferência de materiais do solo para a água com consequência sobre os valores de turbidez (Almeida; Cardoso, 2022) e valores elevados diminuem a penetração da luz o que afeta a atividade fotossintética no corpo hídrico comprometendo o ambiente aquático (Abreu e Cunha, 2015).

Na Tabela 3 estão apresentados o p-valores das análises de variância para sazonalidade dos parâmetros físico-químicos. Todos os parâmetros foram significativos com $p < 0,001$ indicando a existência da sazonalidade sobre o comportamento dos mesmos.

Tabela 3 - Resultados da análise de variância para a sazonalidade assim com os respectivos p-valor para os parâmetros físico-químicos

Parâmetros	Unidade	SAZONALIDADE			Hipótese
		Chuvoso (n=90)	Menos chuvoso (n=94)	p-valor	
CE	$\mu\text{S/cm}$	40,26	114.86	<0,001	H1
STD	mg/L	24,2	54.11	<0,001	H1
pH		6,87	7.35	<0,001	H1
OD	mg/L	6,57	4.65	<0,001	H1
Temperatura	$^{\circ}\text{c}$	29,02	29.29	<0,001	H1
Turbidez	NUT	11,94	6.21	<0,001	H1
Clorofila-a	$\mu\text{g/L}$	0,47	*	*	*

Fonte: Do autor.

A clorofila-a, medida apenas no período menos chuvoso, apresentou variação de 0,39 e 0,56 µg/L. Teores elevados de clorofila-a indicam características de eutrofização do corpo hídrico, o que ocasiona em um maior consumo de oxigênio na água diminuindo os teores de oxigênio dissolvido (Souza *et al.*, 2022).

As leituras com o Disco de Secchi indicaram transparência até 100 cm às 9h e 115 cm às 15h. A zona fótica em ambientes lóticos pode ser de 30 cm abaixo da lâmina d'água podendo-se considerar em alguns estudos até o triplo da profundidade de desaparecimento do disco (Libânio, 2016). As leituras ocorreram apenas no ponto 2 por conta do fluxo do rio que impedia a estabilização adequada, assim como as chuvas que ocorreram durante a coleta. A baixa penetração da luz influencia nos teores de clorofila, visto que ocasiona a diminuição do processo de fotossíntese além de permitir inferir a possibilidade de sólidos dissolvidos no corpo hídrico que dificultam a passagem da luz (Roche; Ferreira; Calheiros, 2022).

A clorofila-a é um bom indicador de avaliação da qualidade da água, pois permite analisar como está a atividade fotossintética do meio e por possuir alta correlação com nutrientes importantes como o fósforo e sua diminuição pode indicar a redução da concentração de outros nutrientes (Abreu; Cunha, 2015) como por exemplo o nitrogênio (Neal *et al.*, 2006). Além disso o monitoramento da clorofila-a na água contribui para a avaliação do estado trófico do rio e permite identificar presença de metais potencialmente tóxicos como o Cu, Zn e Cd que em concentrações elevadas podem comprometer a qualidade da água (Megateli; Semsari; Couderchet, 2009).

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise de variância do regime de maré sobre os parâmetros físico-químicos durante os dois períodos amostrados. O teste-T comparou a diferença das médias da cheia e vazante, e foi observado a influência significativa ($p < 0,001$) para os parâmetros STD, OD, temperatura e turbidez durante o período menos chuvoso. No chuvoso a influência significativa ($p < 0,05$) foi para a CE, STD e OD. É importante destacar que o período de cheia tem duração inferior ao da vazante na região conforme observado por Ribeiro e Valadão (2021) para a região.

Tabela 4 - Resultados da análise de variância do regime de maré sobre os parâmetros físico-químicos em ambos os períodos do estudo

Parâmetros	Unidade	MENOS CHUVOSO				CHUVOSO			
		Cheia (n=39)	Vazante (n=55)	p- valor	Hipótese	Cheia (n=28)	Vazante (n=62)	p- valor	Hipótese
CE	μS/cm	116.37	113.79	0.068	H ₀	40.86	39.9	0.016	H ₁
STD	mg/L	54.87	53.56	0.031	H ₁	24.64	24.0	0.016	H ₁
pH		7.36	7.33	0.212	H ₀	6.87	6.87	0.538	H ₀
OD	mg/L	4.50	4.75	<0.001	H ₁	6.5	6.6	0.014	H ₁
Temperatura	°c	29.66	29.03	<0.001	H ₁	29.03	29.02	0.727	H ₀
Turbidez	NUT	4.67	7.31	<0.001	H ₁	12.28	11.79	0.787	H ₀
Altura	m	2.79	2.32	<0.001	H ₁	1.29	1.43	0.167	H ₀
Clorofila-a	μg/L	*	*	*	*	0.47	0.47	0.39	H ₀

Fonte: Do autor.

Nota: *não foi realizado teste; H₀ = hipótese nula; H₁ = hipótese alternativa

Os teores de STD tiveram variação significativa em relação a maré tanto no período menos chuvoso (p=0,031) como no período chuvoso (p=0,016) e no período menos chuvoso as médias foram maiores. Estes valores podem ser explicados pela presença dos íons inorgânicos dissolvidos que foram mais concentrados no período de menor vazão do rio. A maior concentração de íons inorgânicos dissolvidos também reflete em maiores valores de CE no mesmo período sazonal amostrado, embora a CE não tenha apresentado variação significativa (p=0,068) em relação ao fenômeno de maré. A vazão é uma variável importante a ser considerada nos estudos de qualidade da água, uma vez que seu fluxo está correlacionado com a precipitação e influência em parâmetros pH, turbidez e matéria orgânica (MO) (Fritzsons, 2003; Marinho *et al.*, 2020), parâmetros que se correlacionam com STD (Marinho *et al.*, 2020).

Assim como STD, o OD também apresentou diferença significativa em relação a maré nos dois períodos amostrais, sendo que em ambos os períodos, sua maior concentração média ocorreu durante a vazante, contrariando o que foi observado por Santos *et al.* (2014) que encontraram maiores valores de OD durante a maré alta.

A turbidez e temperatura apresentaram influência significativa ($p < 0,001$) do regime de maré apenas durante o período menos chuvoso, sendo que a turbidez apresentou a maior média (7,31 NUT) durante a vazante e a temperatura maior média (29,66 °c) durante a cheia.

Em relação ao período chuvoso, com exceção do pH, os demais parâmetros físico-químicos sofreram efeito da maré, com seus teores variando em relação à cheia e vazante. Esse comportamento pode ser explicado devido à maré funcionar como agente depurador dos rios e o lançamento de efluentes no corpo hídrico ocasionando alterações nos seus teores (Pereira *et al.*, 2007). O regime de maré pode alterar os processos de oxigenação na água por conta da regulação dos períodos de cheia e vazante, o que pode afetar a entrada de oxigênio no meio hídrico, com isso alterando as taxas de OD (Alencar *et al.*, 2019).

5.2.2 Influência da sazonalidade e maré sobre os parâmetros químicos

A Tabela 5 apresenta os valores de máximo, mínimo, média e desvio-padrão para os parâmetros químicos nos dois períodos amostrados.

Durante o período menos chuvoso os elementos com detecção em 100% das amostras foram Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , F^- , Ba, Sr, H_4SiO_4 ; Cu, Mn, Zn, F; SO_4^{-2} foram detectados na faixa de 76% a 96%; N_2 total, P, Al, NO_3^- , NO_2^- , Ni, Pb, PO_4 e Se na faixa de 4% a 44%; As, B, Cd, Co, Cr, DBO, DQO, Fe, Mo, NH_3 , V e óleos e graxas não foram detectadas. No período chuvoso, os elementos Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , Al, Fe^{3+} , Mn, Sr, Ba e Cu foram detectados em 100% das amostras; V, H_4SiO_4 , SO_4 , N_2 total e Zn na faixa de 77% a 96%; NH_3 , Pb, As e NO_3^- na faixa de 4% a 8%; F^- , B, Mo, Ni, P, PO_4 , Cd, Co, Cr, Se, Ti, NO_2^- , DBO, DQO e óleos e graxas não foram detectados.

Tabela 5 - Valores Máximos (Máx), mínimos (Mín), média (Méd) e desvio-padrão (DP) dos parâmetros químicos analisados no trecho Baião-Mocajuba durante o período do estudo

Parâmetros	Menos chuvoso			Chuvoso		
	Mín	Máx	Méd ±DP	Mín	Máx	Méd ±DP
Na^+ $\mu\text{mol/L}$	78,3	165,29	101,44±18,01	69,6	143,54	108,41±17,48
Ca^{2+} $\mu\text{mol/L}$	59,88	87,33	71,76±7,43	64,87	142,22	100,19±17,86
Mg^{2+} $\mu\text{mol/L}$	49,37	74,06	59,91±5,83	45,26	82,29	64,56±9,86
K^+ $\mu\text{mol/L}$	24,68	46,04	32,4±4,53	47,85	87	70,93±9,43

Parâmetros	Menos chuvoso			Chuvoso		
	Min	Máx	Méd ±DP	Min	Máx	Méd ±DP
F ⁻ μmol/L	0	9,48	1,14±1,84	*	*	*
SO ₄ μmol/L	0	77,04	20,51±24,42	0	22,9	8,68±6,25
Cl ⁻ μmol/L	24,54	70,52	37,77±10,88	26,23	62,05	30.5±7
Alcalinidade mgCaCO ₃ /L	15,33	27,67	19,43±2,51	12,42	18,29	15,47±1,06
COD mg/L	2,2	3,2	2,71±0,28	0	4,4	3,77±0,81
Dureza total mg/L	11	16	13,24±1,2	11	22	16,46±2,67
H ₄ SiO ₄ mg/L	2,14	3,94	2,69±0,35	0	3,65	2,56±1,44
V μmol/L	*	*	*	0	0,29	0,2±0,11
Fe dissolvido μmol/L	*	*	*	3,4	10,37	6,28±1,56
Mn μmol/L	0	0,43	0,26±0,08	0,27	0,51	0,41±0,06
Al μmol/L	*	*	*	5,45	16,57	8.75±3,12
Sr μmol/L	0,24	0,33	0,29±0,02	0,2	0,35	0,28±0,04
Zn μmol/L	0	0,78	0,38±0,19	0	1,56	0,75±0,38
Ba μmol/L	0,17	0,25	0,21±0,02	0,14	0,27	0,22±0,04
Cu μmol/L	1,07	6,12	3,08±1,36	0,15	0,62	0,32±0,12

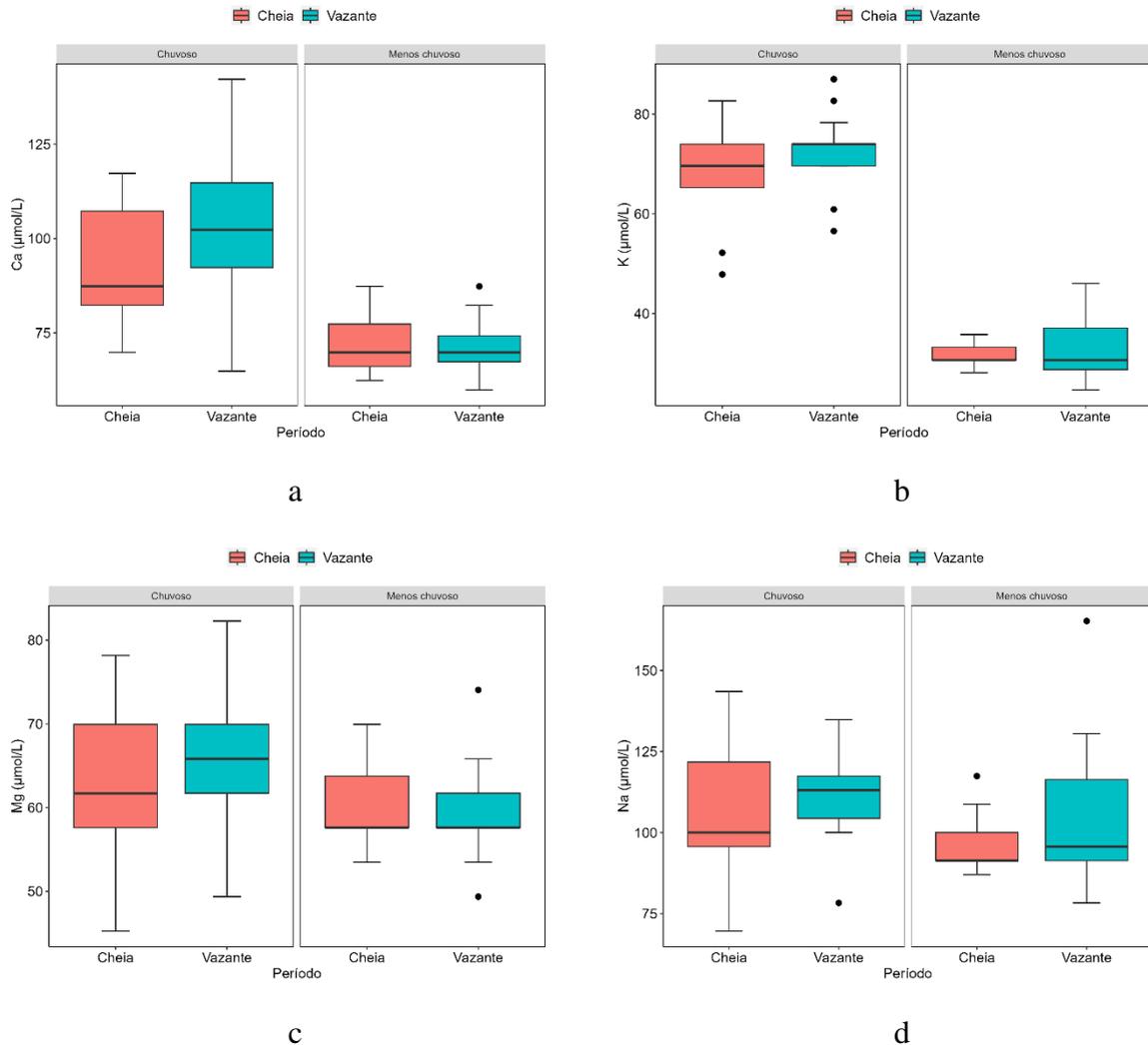
Fonte: Do autor.

Nota: *não detectados

Os cátions foram os elementos que apresentaram maiores teores durante todo o período do estudo, sendo que Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ apresentaram maiores concentrações no período chuvoso com média de 71,76, 59,91 e 32,4 μmol/L (Figura 17), respectivamente, enquanto que o Na⁺ entre os cátions foi o maior em ambos os períodos sendo no chuvoso com média de 108,41 μmol/L e no menos chuvoso com média de 165,29 , sendo estas as maiores médias entre os cátions. A alta mobilidade e solubilidade do Na⁺, permite o seu enriquecimento nas águas naturais, o que pode ser atribuído ao intemperismo de silicatos (Fenzl, 1986). A análise de variância foi significativa (p<0,001) em relação a sazonalidade para esses quatro cátions, indicando que o regime de chuva é um fator que influencia nas concentrações desses elementos. O Ca²⁺ em águas naturais pode ser encontrado na forma de íon Ca²⁺ com sua concentração em

função do equilíbrio de CO_2 e CaCO_3 . Tanto o Mg^{2+} quanto o Ca^{2+} estiveram de acordo com a faixa encontrada por Pereira *et al.* (2020) no rio Tocantins.

Figura 17 - Gráfico boxplot dos teores de Ca (a), K (b), Mg (c) e Na (d) por período de maré em relação para o período chuvoso e menos chuvoso



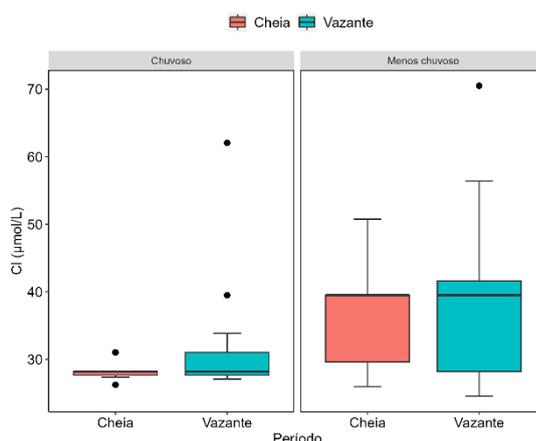
Fonte: Do autor.

Diferenças nos teores de Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} e Cl^- em relação à períodos sazonais pluviométricos distintos são características da região amazônica visto que a precipitação é um fator natural que atua na diluição de alguns elementos na água (Bahia *et al.*, 2011). Para alguns elementos como o Mn, Fe e carbono orgânico dissolvido seus teores foram maiores no período de maiores chuvas e maior vazão na sub-bacia do baixo Tocantins o que aumenta a lixiviação do solo e inserção de matéria orgânica para a água por conta dos tipos de solo da região (Monteiro *et al.*, 2014; Souza; Cardoso; Silva, 2022; Ribeiro; Valadão, 2021).

A matriz de correlação de Spearman (Figura 27) entre os cátions foram mais fortes e diretas no período chuvoso entre Ca^{2+} e Mg^{2+} ($\rho=0,85$; $p<0,05$), Ca^{2+} e K^+ ($\rho=0,84$; $p<0,05$) e Ca^{2+} e Na^+ ($\rho=0,8$; $p<0,05$), enquanto no menos chuvoso foram menores com Ca^{2+} e Mg^{2+} (0,61), Ca^{2+} e K^+ (0,62) e Ca^{2+} e Na^+ ($\rho=0,66$), indicando que a chuva apresenta influência nas concentrações desses elementos nas águas fluviais.

O Cl^- variou de 24,5 a 70,5 $\mu\text{mol/L}$ no período menos chuvoso com média de 37,77 $\mu\text{mol/L} \pm 10,88$ (Tabela 4), enquanto no chuvoso sua variação foi de 26,23 a 62,05 $\mu\text{mol/L}$ com média de 30,5 $\mu\text{mol/L} \pm 7$ e a análise de variância foi significativa ($p<0,001$) para a sazonalidade (Tabela 5). A redução da vazão no período menos chuvoso pode influenciar na maior concentração de cloreto nas águas do rio Tocantins. As fontes do Cl^- na água podem ser por conta da dissolução de sair (naturalmente) ou do despejo de efluentes (antrópico) (Von Sperling, 2007).

Figura 18 - Gráfico boxplot dos teores de Cl^- por período de maré para os períodos amostrados



Fonte: Do autor.

Tabela 6 - Resultados do teste de variância para os parâmetros químicos em relação a sazonalidade. H_0 representa a hipótese nula e H_1 a hipótese alternativa

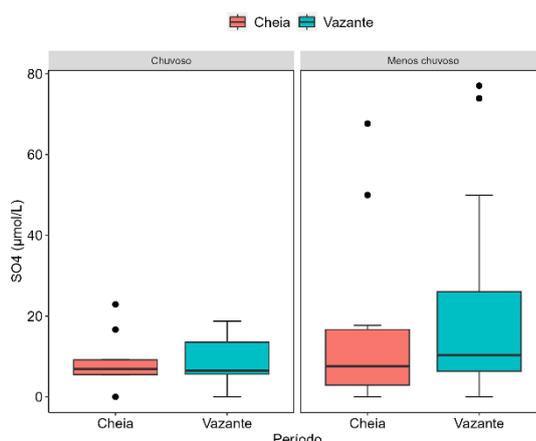
Parâmetros	Unidade	SAZONALIDADE			
		Chuvoso (n=26)	Menos chuvoso (n=25)	p-valor	Hipótese
Ca	$\mu\text{mol/L}$	100,13	71,76	<0,001	H_1
Mg	$\mu\text{mol/L}$	64,56	59,91	0,046	H_1
K	$\mu\text{mol/L}$	70,93	32,4	<0,001	H_1
Na	$\mu\text{mol/L}$	108,41	101,44	0,021	H_1
F	$\mu\text{mol/L}$	*	*	*	*

Parâmetros	Unidade	SAZONALIDADE			
		Chuvoso (n=26)	Menos chuvoso (n=25)	p-valor	Hipótese
Cl	μmol/L	30,5	37,77	0,007	H ₁
SO ₄	μmol/L	8,68	20,51	0,161	H ₀
Alcalinidade	mgCaCO ₃ /L	15,47	19,43	<0,001	H ₁
COD	mg/L	3,77	2,71	<0,001	H ₁
Dureza	mg/L	16,46	13,24	<0,001	H ₁
H ₄ SiO ₄	μmol/L	2,56	2,69	0,546	H ₀
Ba	μmol/L	0,22	0,21	0,92	H ₀
Sr	μmol/L	0,28	0,29	0,503	H ₀
Zn	μmol/L	0,75	0,38	<0,001	H ₁
Cu	μmol/L	0,32	3,08	<0,001	H ₁
Fe	μmol/L	*	*	*	*
Mn	μmol/L	0,41	0,26	<0,001	H ₁
V	μmol/L	*	*	*	*
Al	μmol/L	*	*	*	*

Fonte: Do autor.

O SO₄ apresentou comportamento inverso em relação ao Cl⁻ para ambos os períodos, com concentrações que variaram de 0 a 77,05 μmol/L com média de 20,51 ± 24,42 no menos chuvoso e de 0 a 22,9 μmol/L com média de 8,68 μmol/L ± 6,25 no período chuvoso (Tabela 6). A análise de variância não foi significativa (p=0,161) (Tabela 6). Comportamento sazonal semelhante foi observado por Souza, Silva e Pinto (2020). A presença do sulfato nas águas superficiais pode ocorrer por conta da dissolução do solo ou mesmo pela oxidação de sulfetos considerando também o regime de chuvas que influencia nas suas concentrações (Souza; Silva; Pinto, 2020).

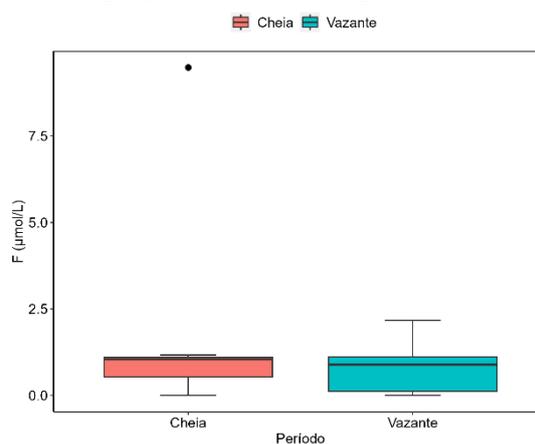
Figura 19 - Gráfico boxplot dos teores de SO₄ por período de maré para os períodos amostrados



Fonte: Do autor.

O F⁻ foi detectado apenas no período menos chuvoso e seus teores foram baixos em relação aos demais ânions variando de 0 a 9,48 µmol/L com média de 1,14 µmol/L ± 1,84 (Figura 20), concordando com o trabalho de Sampaio, Andrade e Baltar (2005) que encontraram menores concentrações no período menos chuvoso. Teores de F nos corpos hídricos podem ocorrer de forma natural por conta da lixiviação de solos sedimentares e em baixas concentrações, conforme observado por Rocha *et al.* (2023). Seus teores normalmente são encontrados (<1mg/L) e estão relacionados à presença de Ca (Fenzl, 1986).

Figura 20 - Gráfico boxplot dos teores de F- por período de maré no período menos chuvoso



Fonte: Do autor.

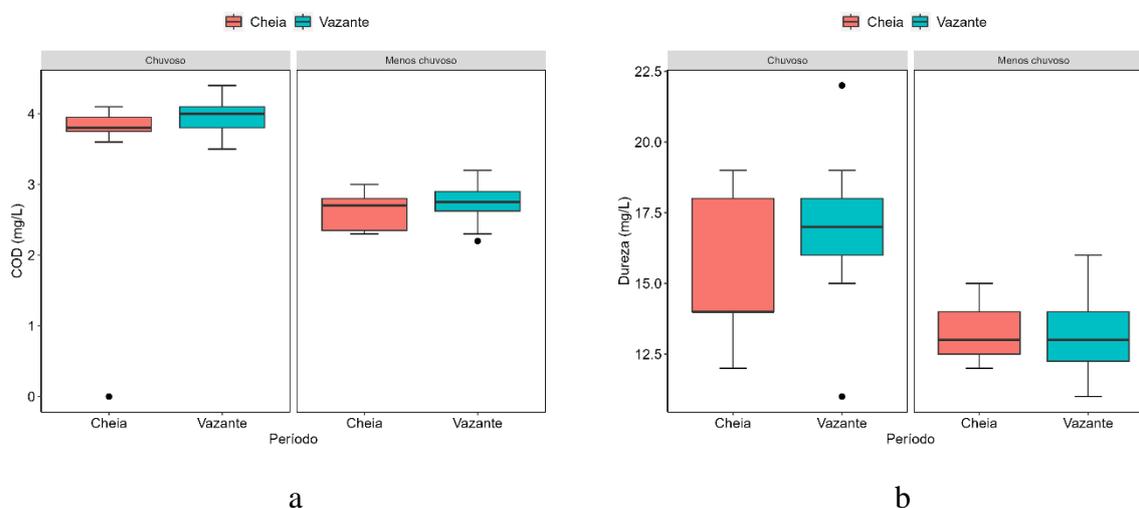
As águas apresentaram-se levemente alcalinas com variação de 12,4 a 18,3 mg/L de CaCO₃ com média de 15,47 mg/L de CaCO₃ ± 1,06 no período chuvoso e de 15,3 a 27,7 mg/L de CaCO₃ no menos chuvoso com média de 19,43 mg/L de CaCO₃ ± 2,51 (Figura 21 a). A alcalinidade apresentou diferença significativa (p<0,001) para a sazonalidade (Tabela 6) indicando que o regime pluviométrico influencia nos teores de CaCO₃. Em águas naturais, a

alcalinidade é responsável pela neutralização de ácidos e seus principais constituintes são o bicarbonato, carbonatos e hidróxidos cuja distribuição varia em função do pH (Esteves, 2011; Von Sperling, 2007).

O COD apresentou maiores teores durante o período chuvoso variando de 0 a 4,4 mg/L com média de 3,77 mg/L \pm 0,81; no menos chuvoso variou de 2,2 a 3,2 mg/L com média de 2,71 mg/L \pm 0,28 (Figura 21 b). A análise de variância indicou diferença significativa ($p < 0,001$) (Tabela 6) para a sazonalidade, confirmando estudos de Peixoto (2001) e Monteiro *et al.* (2014). As médias para o chuvoso estiveram semelhantes aos obtidos por Neu *et al.* (2023) cujas concentrações foram para 3,2 mg/L para o período chuvoso e 2,5 mg/L para o menos chuvoso. Na região do estudo há a ocorrência de solos ricos em matéria orgânica provenientes das ilhas de várzea, que no período chuvoso impulsionam o processo de carregamento desses solos para o corpo hídrico (Mcclain; Victoria; Richey, 2001).

A dureza está relacionada à dissolução de rochas calcáreas pelo gás carbônico da água assim como associada aos cátions divalentes Ca^{2+} e Mg^{2+} (CETESB, 2021; Von Sperling, 2007). A dureza é composta por cátions multi metálicos como o Ca^{2+} e Mg^{2+} podendo relacionar-se com Mn, Sr em menor escala o que explica as correlações observadas neste trabalho (Piratoba *et al.*, 2017; USEPA, 2015). A dureza variou de 11 a 16 mg/L com média de 13,24 mg/L \pm 1,2 no período menos chuvoso, enquanto no chuvoso variou de 11 a 22 mg/L com média de 16,46 mg/L \pm 2,67. Sua concentração ocorre em função dos teores de cátions (Ca^{2+} e Mg^{2+}) na água estando relacionada em menor escala com o Fe, Sr, Mn e Ba (USEPA, 2015; Piratuba *et al.*, 2017). Valores semelhantes foram observados por Piratoba *et al.* (2017) na área portuária de Barcarena cuja dureza variou de 16,21 a 17,52 mg/L e 12,55 a 12,64 mg/L no menos chuvoso e chuvoso, respectivamente. A dureza apresentou o mesmo comportamento sazonal que o Ca^{2+} e Mg^{2+} , o que pode ser explicado por conta da sua alta correlação com esses cátions durante todo o período do estudo, estes são os principais cátions que descrevem o comportamento da dureza e uma fonte para o corpo hídrico são as rochas carbonatadas e minerais silicatados (Esteves, 2011; Gomes *et al.*, 2008).

Figura 21 - Teores de Carbono orgânico dissolvido (a) e dureza (b) durante a cheia e vazante por período amostrado

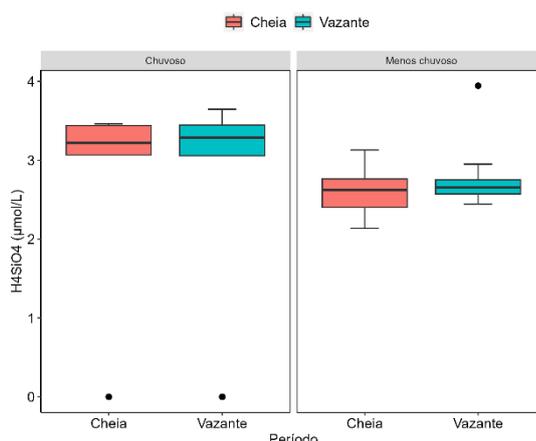


Fonte: Do autor.

As principais fontes de dureza na água são a dissolução de minerais contendo Ca^{2+} e Mg^{2+} como rochas calcárias; outro fator que influencia nos teores de dureza é o pH próximo a neutralidade que tende a deixar a água mole que estabelece até 75 mg/L (Brasil, 2006; Esteves, 2011). O teste-T, aplicado para verificar a diferença das médias nos períodos sazonais apresentou-se significativo ($p < 0,001$) conforme apresentado na Tabela 6 e a dureza correlacionou-se diretamente com Ca^{2+} ($\rho = 0,98$; $p < 0,05$), Mg^{2+} ($\rho = 0,92$; $p < 0,05$), Na ($\rho = 0,85$; $p < 0,05$), K ($\rho = 0,9$; $p < 0,05$), Ba ($\rho = 0,93$; $p < 0,05$), Sr ($\rho = 0,89$; $p < 0,05$) e Mn ($\rho = 0,82$; $p < 0,05$), enquanto no período chuvoso foi um pouco menor com dureza e Ca ($\rho = 0,91$; $p < 0,05$), K ($\rho = 0,5$; $p < 0,05$), Mg ($\rho = 0,79$; $p < 0,05$), Ba ($\rho = 0,8$; $p < 0,05$), Sr ($\rho = 0,86$; $p < 0,05$) e Mn ($\rho = 0,6$; $p < 0,05$) (Figura 27).

A presença de sílica dissolvida (H_4SiO_4) na água está relacionada a sedimentos a sedimentos silte argilosos com composição predominante de quartzo e caulinita com baixas concentrações de esmectita e ilita (Vilhena *et al.*, 2014) e também a presença de diatomáceas ao tipo de solo (Esteves, 2011). Sua variação foi de 2,14 a 3,94 $\mu\text{mol/L}$ com média de 2,69 $\mu\text{mol/L} \pm 0,35$ no período menos chuvoso, enquanto no chuvoso variou de 0 e 3,65 $\mu\text{mol/L}$ com média de 2,56 $\mu\text{mol/L} \pm 1,44$ (Figura 22). Santos *et al.* (2023) verificou que os processos erosão e lixiviação do solo ocasionam maior adição de silicatos no sistema hídrico o que eleva sua concentração. O teste-T não apresentou variação significativa ($p = 0,546$) entre os dois períodos sazonais.

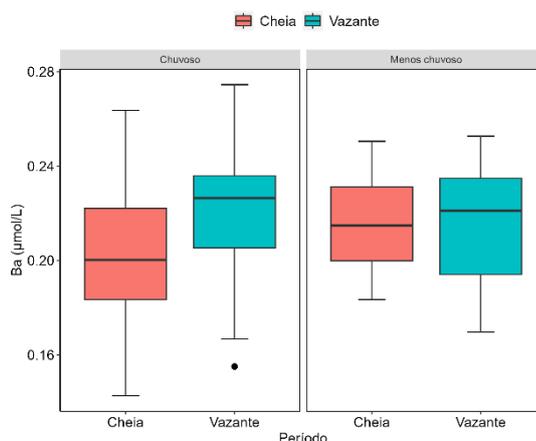
Figura 22 - Teores de Sílica dissolvida durante a cheia e vazante por período amostrado



Fonte: Do autor.

O Ba variou de 0,17 a 0,25 µmol/L com média de 0,21 µmol/L \pm 0,02 no menos chuvoso e de 0,14 a 0,27 µmol/L com média de 0,22 µmol/L \pm 0,04 no período chuvoso (Figura 23). É um metal alcalino terroso que pode ser encontrado de forma natural em solos e sedimentos de rochas que contém carbonatos, sulfatos e silicatos visto que atua como substituto isomórfico dos elementos Ca e K (Biondi; Nascimento; Fabrício, 2011). É um metal que pode ser facilmente agregado ao material particulado em suspensão o que permite seu transporte a grandes distâncias da sua fonte de origem (Sousa, 2008). Os STS obtidos nesse estudo variaram de 1 a 13 mg/L, superior ao obtido por Tavares *et al.* (2011), 3,8 a 9,6 mg/L para a região no mesmo período. Os baixos teores de Ba podem ser explicados por conta dos baixos teores de STS, uma vez que ambos possuem alta capacidade de agregação (Sousa, 2008).

Figura 23 - Teores de Ba (µmol/L) durante a cheia e vazante por período amostrado

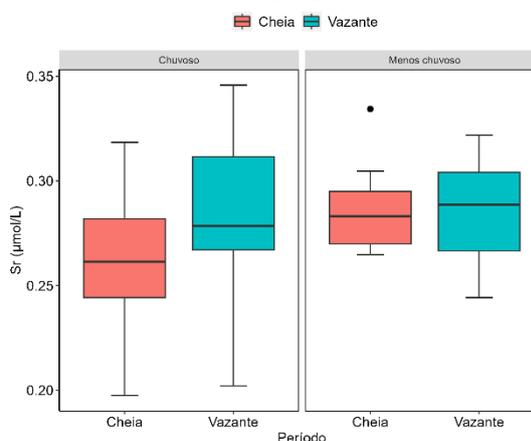


Fonte: Do autor.

O Sr variou no período menos chuvoso de 0,24 a 0,33 µmol/L com média de 0,29 µmol/L \pm 0,02, enquanto no período chuvoso sua variação foi de 0,2 a 0,35 µmol/L com média

de $0,28 \mu\text{mol/L} \pm 0,04$. O teste T não apresentou diferença das médias significativas ($\rho = 0,503$; $p < 0,05$), assim como para o Ba. Sua correlação com esse elemento foi alta no período menos chuvoso ($\rho = 0,92$; $p < 0,05$) e chuvoso ($\rho = 0,88$; $p < 0,05$).

Figura 25 - Teores de Sr ($\mu\text{mol/L}$) durante a cheia e vazante por período amostrado

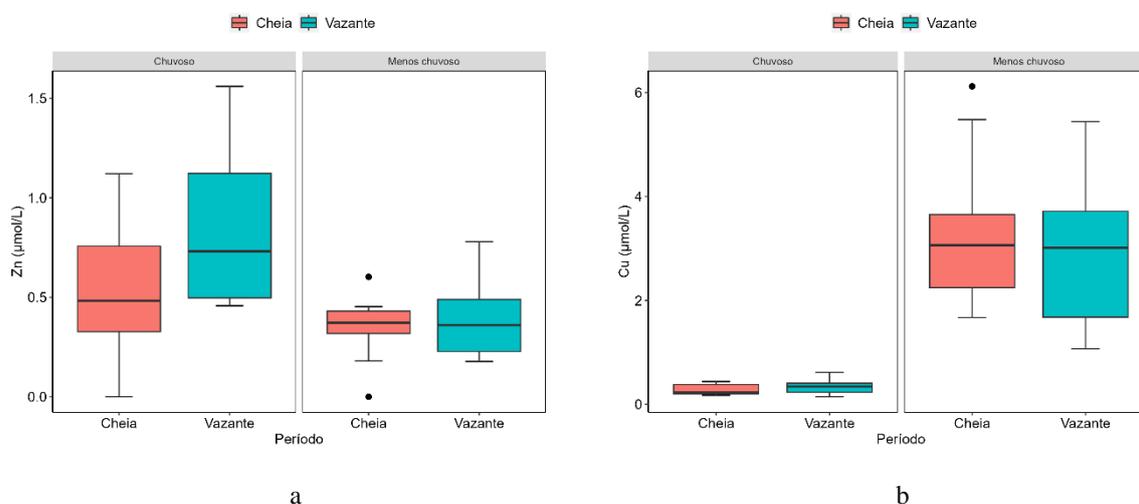


Fonte: Do autor.

O Zn apresentou variação de 0 a $78 \mu\text{mol/L}$ durante o período menos chuvoso com média de $0,38 \mu\text{mol/L} \pm 0,19$, enquanto no período chuvoso variou de 0 a $1,56 \mu\text{mol/L}$ com média de $0,75 \mu\text{mol/L} \pm 0,38$. O teste-T indicou diferença significativa para a sazonalidade ($p < 0,001$). As oscilações do Zn em águas naturais podem ser atribuídas ao escoamento superficial da água com carreamento do solo (Santos *et al.*, 2014), o que explica a maior concentração média no período chuvoso.

Os teores de Cu foram maiores no período menos chuvoso variando de 1,07 a $6,12 \mu\text{mol/L}$ com média de $3,08 \mu\text{mol/L} \pm 1,36$, enquanto no chuvoso suas concentrações foram de 0,15 a $0,62 \mu\text{mol/L}$ com média de $0,32 \mu\text{mol/L} \pm 0,12$ (Figura 24). Sua solubilidade é baixa em águas oxigenadas e levemente alcalinas e teores elevados são indicativos de atividade antrópica (Fenzl, 1986). A maior concentração média no período menos chuvoso também foi observada em outros rios por Horbe *et al.* (2013) e Souza, Silva e Pinto (2020), e indicam que a chuva tem efeito negativo sobre as concentrações de Cu. Durante o período menos chuvoso sua correlação foi forte e direta com o Zn ($\rho = 0,79$; $p < 0,05$) e no chuvoso ($\rho = 0,43$; $p < 0,05$). A diferença entre suas médias foi significativa ($p < 0,05$) sazonalmente.

Figura 24 - Teores de Zn (a) e Cu (b) durante a cheia e vazante por período amostrado

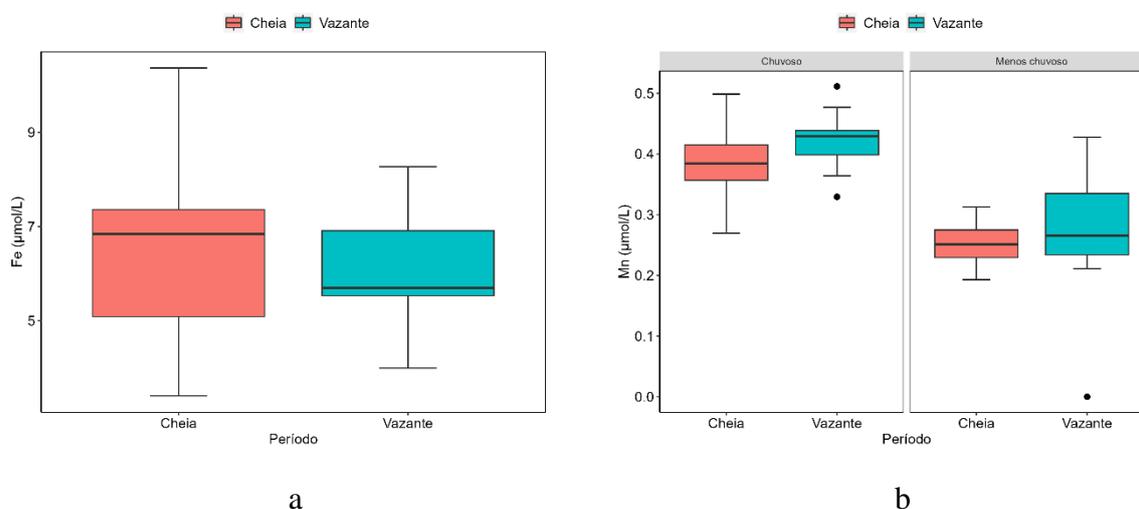


Fonte: Do autor.

O Fe detectado apenas no chuvoso variou de 3,4 a 10,4 µmol/L com média de 6,28 µmol/L \pm 1,56 (Figura 25 a). Em águas superficiais a presença do Fe está relacionada ao carreamento de solos e ocorrência de processos de erosão das margens que são intensificadas em períodos chuvosos (CETESB, 2009). As concentrações elevadas de Fe podem ser explicadas por conta da geoquímica e da pedologia da região, latossolo e argissolo, da região que em pH superior a 4,5 permite que Fe possui alta mobilidade conforme visto por Miranda *et al.* (2009).

O Mn apresentou maiores teores no período chuvoso variando de 0,27 a 0,51 µmol/L com média de 0,41 µmol/L \pm 0,06, enquanto no menos chuvoso variou de 0 a 0,43 µmol/L com média de 0,26 µmol/L \pm 0,08 (Figura 25 b). Parâmetros físico-químicos como OD, pH e temperatura podem influenciar na sua concentração no meio aquático. Em ambientes oxigenados e com pH levemente básico tendem a ocasionar a precipitação do Mn, reduzindo o seu teor no meio (Esteves, 2011). Os teores encontrados nesse estudo são semelhantes aos de Pereira *et al.* (2007) em Barcarena. Suas médias apresentaram diferença significativa ($p < 0,001$) em relação aos períodos sazonais analisados. O Mn e Zn são elementos-traços que sofreram influência da sazonalidade com suas maiores concentrações no período chuvoso. O efeito da diluição e variação da área inundada durante regimes pluviométricos distintos devem ser considerados, pois a interação água-solo nas áreas de várzea da região permite maior transporte de nutrientes para os rios (Horbe *et al.*, 2013; Junk, 2013).

Figura 25 - Teores de Fe (a) para o período chuvoso e Mn (b) para os períodos amostrados, ambos em relação ao regime de maré

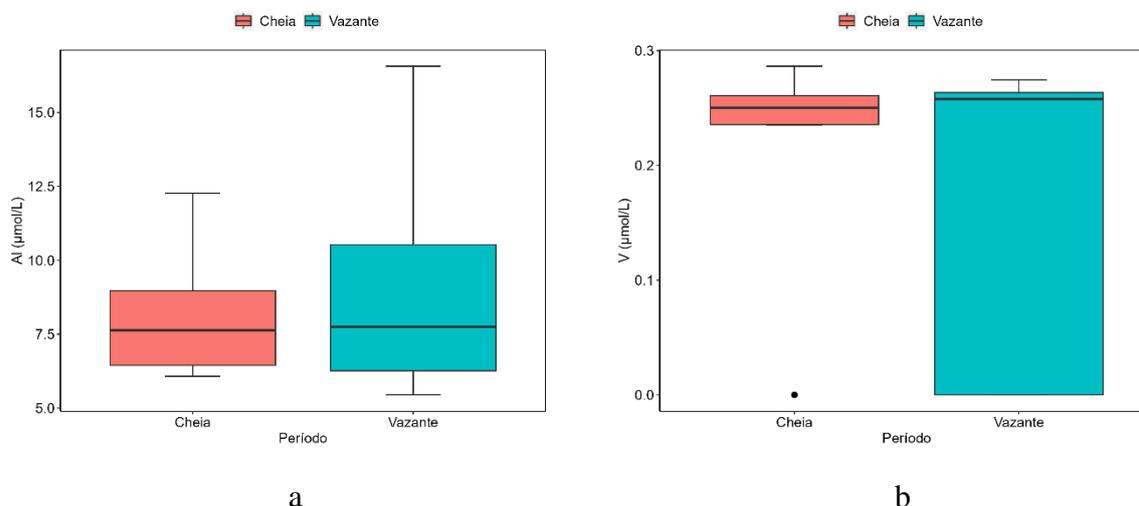


Fonte: Do autor.

O V foi detectado apenas no período chuvoso e em baixas concentrações variando de 0 a 0,3 $\mu\text{mol/L}$ (Figura 26 b). É um metal cuja presença está relacionada a rochas fosfáticas e normalmente combinado com outros elementos como O_2 , S_2 e Cl^- (CETESB, 2024). Seus teores em águas superficiais são baixos podendo ser indicativos de fontes antrópicas ou ocorrência natural (Lollo *et al.*, 2020). A ocorrência do V na região pode ser atribuída a formação Ipixuna caracterizada por possuir oxi-hidróxidos e minérios de ferro que estão associados a este metal, podendo ocorrer de forma natural no corpo hídrico (Cruz *et al.*, 2011).

O Al^+ foi detectado apenas no período chuvoso variando de 5,5 a 16,6 $\mu\text{mol/L}$ com média de 8,75 $\mu\text{mol/L} \pm 3,12$ (Figura 28 a), o que pode ser atribuído ao efeito de diluição provocado pelas chuvas de verão conforme já foi observado por Souza, Silva e Pinto (2020) ao observarem um redução nos teores de Al^+ durante o período menos chuvoso. Sua inserção em ambiente aquático pode ocorrer de forma natural por conta da lixiviação de solos ácidos como latossolo, presentes na área deste estudo, ou por conta de argilo-minerais em suspensão decorrentes de intemperismo de rochas e com baixa solubilidade em pH de 6 a 9 (Miranda *et al.*, 2009; Zambrosi; Alleoni; Caires, 2007). Sua forma natural inclui a lixiviação de argilo-minerais decorrentes de intemperismo de rochas e em ambientes com baixa solubilidade em pH 6 a 9 (Miranda *et al.*, 2009). Ainda os autores Souza, Silva e Pinto (2020) destacam que elevadas concentrações podem estar associadas a atividades antrópicas.

Figura 26 - Teores de Al (a) e V (b) em relação ao regime de maré no período chuvoso



Fonte: Do autor.

A Tabela 6 apresenta os resultados do teste-T para analisar a variância dos parâmetros químicos em relação ao regime de maré durante os períodos amostrados. O único elemento que teve variação significativa foi o Zn no período chuvoso ($p=0,047$). Esse comportamento é indicativo da baixa influência do regime de maré sobre os elementos químicos e corrobora com a análise de correlação que não apresentou correlação entre altura de maré com os elementos químicos.

Tabela 7 - Resultados do teste-T para os parâmetros químicos em relação ao período de maré para os períodos amostrais

Parâmetros	Unidade	MENOS CHUVOSO				CHUVOSO			
		Cheia (n=11)	Vazante (n=14)	p- valor	Hipótese	Cheia (n=9)	Vazante (n=17)	p- valor	Hipótese
Ca	µmol/L	71.68	71.82	0.962	H ₀	93.15	103.92	0.147	H ₀
Mg	µmol/L	60.59	59.36	0.61	H ₀	61.26	66.31	0.22	H ₀
K	µmol/L	31.85	32.82	0.608	H ₀	67.18	72.92	0.143	H ₀
Na	µmol/L	96.88	105.02	0.418	H ₀	103.4 3	111.05	0.3	H ₀
F ⁻	µmol/L	1.55	0.81	0.639	H ₀	*	*	*	*
Cl ⁻	µmol/L	36.3	38.82	0.503	H ₀	28.43	31.59	0.38	H ₀
SO ₄	µmol/L	16.97	23.5	0.763	H ₀	8.91	8.57	0.89	H ₀
Alcalinidade	mgCaCO ₃ / L	19.92	19.05	0.978	H ₀	15.47	15.47	0.3	H ₀

Parâmetros	Unidade	MENOS CHUVOSO				CHUVOSO			
		Cheia (n=11)	Vazante (n=14)	p- valor	Hipótese	Cheia (n=9)	Vazante (n=17)	p- valor	Hipótese
COD	mg/L	2.64	2.76	0.273	H ₀	3.39	3.95	0.23	H ₀
Dureza	mg/L	13.18	13.29	0.835	H ₀	15.33	17.06	0.119	H ₀
H4SiO4	μmol/L	2.61	2.75	0.763	H ₀	2.56	2.56	0.725	H ₀
Ba	μmol/L	0.21	0.22	0.953	H ₀	0.2	0.22	0.153	H ₀
Sr	μmol/L	0.29	0.28	0.917	H ₀	0.26	0.29	0.097	H ₀
Zn	μmol/L	0.35	0.41	0.466	H ₀	0.55	0.86	0.047	H ₁
Cu	μmol/L	3.27	2.92	0.541	H ₀	0.28	0.33	0.316	H ₀
Fe	μmol/L	*	*	*	*	6.68	6.06	0.351	H ₀
Mn	μmol/L	0.25	0.27	0.589	H ₀	0.39	0.42	0.128	H ₀
V	μmol/L	*	*	*	*	0.23	0.18	0.935	H ₀
Al	μmol/L	*	*	*	*	8.33	8.96	0.936	H ₀

Fonte: Do autor.

A Figura 27 apresenta as matrizes de correlação de Spearman para cada período do estudo entre os parâmetros químicos, físico-químicos e a altura de maré analisados nas amostras de água do rio Tocantins. No período menos chuvoso (Figura 27 a) a CE e STD apresentaram correlação significativamente direta e forte ($\rho = 0,92$; $p < 0,05$), concordando com os trabalhos de Lima *et al.* (2017) e Monte *et al.* (2021), que observaram os íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- e os STD influenciam na condutividade, visto que esta abrange os íons dissolvidos na água. Durante o período chuvoso (Figura 27 b) as correlações entre os parâmetros físico-químicos foram maiores e mais significativas: CE e STD ($\rho = 0,94$; $p < 0,05$); OD e temperatura ($\rho = 0,63$; $p < 0,05$). Com exceção do OD e Sr que apresentaram correlação direta significativa e forte ($\rho = 0,53$; $p < 0,05$), as demais correlações entre físico-químicos e químicos foram baixas entre si.

A correlação direta entre OD e temperatura não é muito comum tratando-se da qualidade da água, contudo estudos como o de Kolm, Siqueira e Machado (2016) observaram o aumento do OD durante o período chuvoso atribuindo aos baixos processos anaeróbios de oxidação de matéria orgânica e a redução do efeito de temperatura sob o mesmo.

A altura de maré apresentou fraca correlação com os parâmetros físico-químicos no período menos chuvoso, o que manteve-se no período chuvoso com as correlações sendo

significativas como com o OD ($\rho = 0,43$; $p < 0,05$), pH ($\rho = 0,48$; $p < 0,05$) e temperatura ($\rho = 0,49$; $p < 0,05$) (Figura 29 b). Resultados semelhantes entre OD e altura de maré foram reportados por Lima *et al.* (2014) que observaram aumento de OD com altura de maré. Há poucos estudos que correlacionam a altura de maré com a temperatura da água, porém a sazonalidade é um fenômeno que influencia o comportamento das duas variáveis conforme Santos (2019), Lima *et al.* (2014) e Ribeiro e Valadão (2021).

A correlação entre OD e pH foi fraca e direta mas significativa apenas no período chuvoso ($\rho = 0,48$; $p < 0,05$) (Figura 27 b), e pode ser atribuído à baixa atividade fotossintética nesse período, que influenciam no aumento do pH e no menor consumo de oxigênio (Esteves, 2011; Monte *et al.*, 2021). Araújo *et al.* (2020) também observaram correlação forte e direta entre pH e OD e eles consideram que esses parâmetros, juntamente com CE e STD, são fundamentais para a avaliação da qualidade da água.

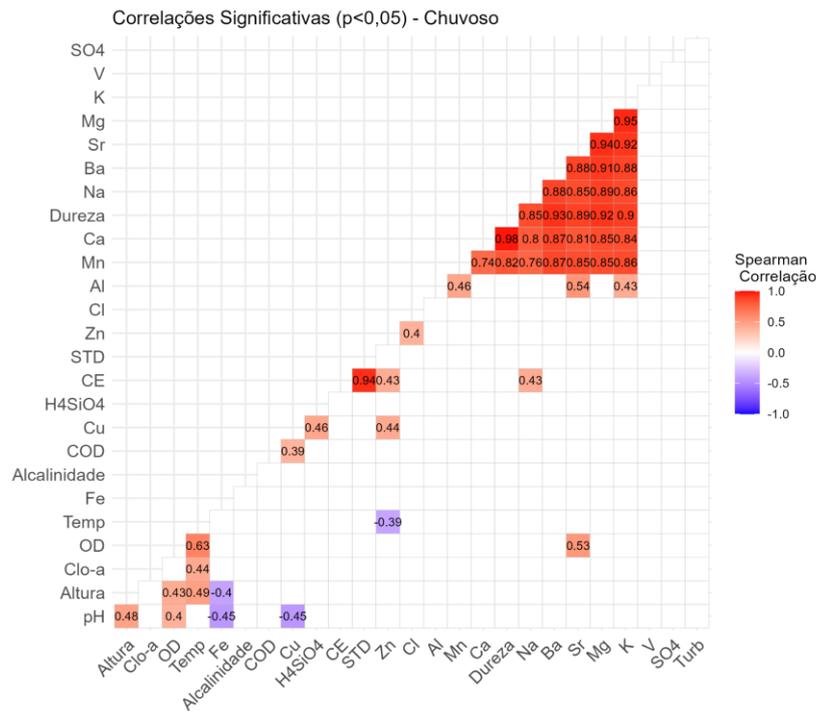
A dureza apresentou alta correlação com Ca ($\rho = 0,98$); $p < 0,05$, Mg ($\rho = 0,92$; $p < 0,05$), Na ($\rho = 0,85$; $p < 0,05$), K ($\rho = 0,9$; $p < 0,05$), Ba ($r = 0,93$; $p < 0,05$), Sr ($\rho = 0,89$) e Mn ($\rho = 0,82$) (Figura 29 a), enquanto no período chuvoso foi um pouco menor com dureza e Ca ($\rho = 0,91$; $p < 0,05$), K ($\rho = 0,5$; $p < 0,05$), Mg ($\rho = 0,79$), Ba ($\rho = 0,8$; $p < 0,05$), Sr ($\rho = 0,86$; $p < 0,05$) e Mn ($\rho = 0,6$; $p < 0,05$) (Figura 27 b). A dureza é composta por cátions multimetálicos como o Ca e Mg podendo relacionar-se com Mn, Sr em menor escala o que explica as correlações observadas neste trabalho (Piratoba *et al.*, 2017; USEPA, 2015).

Foi observado que o regime pluviométrico pode influenciar nas correlações dos elementos químicos com correlações sendo mais fortes no período chuvoso quanto que outras diminuirão. A correlação entre Ca e Ba ($\rho = 0,87$; $p < 0,05$) no período chuvoso foi maior que no período de menos chuva ($\rho = 0,58$; $p < 0,05$).

O Mg apresentou altas correlações com o Na ($\rho = 0,89$) e K ($\rho = 0,95$) durante o período chuvoso, valores semelhantes foram encontrados por Gomes, Anjos e Daltro (2020) nas águas subterrâneas de Boquira – Bahia, cujas correlações foram Mg e K ($\rho = 0,88$; $p < 0,05$), Mg e Na ($\rho = 0,82$; $p < 0,05$). Ainda no mesmo estudo os autores observaram a forte correlação do Sr e Ba ($\rho = 0,96$; $p < 0,05$) que está próxima do observado nesse estudo Sr e Ba ($\rho = 0,88$; $p < 0,05$). A correlação entre Ba e Mg não apresentou alteração, sendo a mesma ($\rho = 0,91$; $p < 0,05$) para todo o período do estudo.

A correlação entre Zn e Cu ($\rho = 0,79$; $p < 0,05$) foi forte e significativa apenas no período menos chuvoso. Valor semelhante entre Zn e Cu ($\rho = 0,61$; $p < 0,05$) foi observado por Celino e Rangel (2007) ao estudarem sedimentos argilosos no município de Lajedinho – Bahia. A presença desses elementos no meio hídrico é influenciada pela concentração de elementos como

b)



A altura de maré não apresentou forte correlação com nenhum parâmetro químico permitindo inferir que não exerce uma forte influência nos teores dos elementos químicos. A sua baixa correlação com os elementos químicos pode ser uma explicação para o fator do regime de maré não ser um fator significativo sobre os mesmos. Os parâmetros físico-químicos não apresentaram correlação forte e significativa com os elementos químicos, com exceção do OD e Sr ($\rho = 0,53$; $p < 0,05$).

O Cu é encontrado em baixos teores na região podendo variar por conta do pH e alcalinidade do ambiente (Nascimento *et al.*, 2015). No estudo de Vilhena *et al.* (2014) foi identificado a sazonalidade do Cu cuja interação do solo-água sob diferentes regimes pluviométricos influencia na concentração deste nos rios.

A região possui períodos de cheia e vazante bem definidos (enchente 7,2 e vazante 5,2 h) além de velocidades dos fluxos distintos o que no geral explica a influência desse fator sobre tal elemento (Ribeiro; Valadão, 2021).

5.3 Qualidade da água

A Tabela 9 apresenta os valores médios dos parâmetros físico-químicos e químicos analisados, comparando-os com os valores de referência da Resolução CONAMA 357/2005.

Tabela 9 - Valores médios dos parâmetros de qualidade da água para os períodos amostrados e os valores de referência da resolução CONAMA 357/2005

Parâmetro	Unidade	CONAMA 357/2005	Menos chuvoso	Chuvoso
			Méd	Méd
Condutividade	µcm /S	Sem referência	114.9	40.3
Turbidez	UNT	100 UNT	6.2	11.9
STD	mg/L	500	54.1	24.2
pH	*	6 a 9	7.3	6.9
Temperatura	°c	Sem referência	29.3	29.0
OD	mg/L	5 mg/L	4.6	6.6
Clorofila-a	%	30µg/L	*	0.5
Al	mg/L	0.1	0.06	0,23
NH ₃	mg/L	3,7	0,1	0,1
As	mg/L	0,01	0,00	0,00
Ba	mg/L	0,7	0,0	0,0
B	mg/L	0,5	< 0,500	< 0,500
Cd	mg/L	0,001	< 0,00100	< 0,00100
Pb	mg/L	0,01	0,0	1,2
Cl	mg/L	≤ 250	2,4	1,1
Co	mg/L	≤ 0,05	< 0,00100	< 0,00100
Cu	mg/L	≤ 0,009	0,019	0,020
Cr	mg/L	≤ 0,05	< 0,0100	< 0,0100
DBO	mgO ₂ /L	≤ 5	< 2,00	< 2,00

Parâmetro	Unidade	CONAMA 357/2005	Menos chuvoso	Chuvoso
			Méd	Méd
Fe	mg/L	≤ 0,3	< 0,100	0,4
F	mg/L	≤ 1,4	0,1	< 0,006
P	mg/L	≤ 0,1	0,6	< 0,30
Mn	mg/L	≤ 0,1	0,0	0,0
Ni	mg/L	≤ 0,025	0,012	< 0,0100
NO ₃	mg/L	≤ 10	0,2	0,4
NO ₂	mg/L	≤ 1	0,0	< 0,006
Se	mg/L	≤ 0,01	0,0	0,0
SO ₄	mg/L	≤ 250	5,7	1,0
V	mg/L	≤ 0,1	< 0,01000	0,01
Zn	mg/L	≤ 0,18	0	0,1

Fonte: Do autor.

Dentre os parâmetros físico-químicos o OD foi o único que apresentou concentração em desacordo com a resolução CONAMA 357/2005, pois apresentou média de 4,6 mg/L no período menos chuvoso, enquanto que a resolução apresenta como valor de referência (VR) de ≤ 5 mg/L para rios de água doce classe II. A menor concentração de OD neste período, coincide com a maior média de temperatura na água e a elevação da temperatura tende a reduzir as concentrações de OD no meio por conta da diminuição da solubilidade dos gases, o que impacta na qualidade da água. Monte *et al.* (2021) também observaram menores concentrações de OD no período menos chuvoso em rios com poucas atividades antrópicas e essa redução foi atribuída aos processos de interação com a floresta e água. Além disso, atividades antrópicas como despejo de esgoto de efluentes em cursos d'água, podem reduzir a concentração de OD pelo consumo de oxigênio para a decomposição da matéria orgânica presente nesses efluentes, potencializados em período de menor vazão nos corpos hídricos. A elevada concentração de OD contrasta com a ausência de DBO e DQO que são indicativos de poluição nos corpos hídricos devido a alta quantidade de oxigênio que é consumido pelos microorganismos para oxidar matéria orgânica presente (CETESB, 2016) em águas ricas em matéria orgânica.

Apesar da CE não apresentar valor de referência (VR) na resolução CONAMA 357/2005, nota-se que esse parâmetro apresentou maiores valores no período menos chuvoso, indicando que a chuva tem efeito diluidor sobre os componentes químicos (Esteves, 2011; Bahia *et al.*, 2011).

Os STD apresentaram valores em conformidade com a resolução CONAMA 357/2005 em ambos os períodos. Tanto o STD como a CE apresentaram maior concentração no período menos chuvoso que reforça mais uma vez a influência da precipitação na diluição dos íons, uma vez que esses dois parâmetros estão fortemente correlacionados. A turbidez está relacionada com a presença de sólidos em suspensão e apresentou maior valor no período chuvoso (11,9 NUT) e está em conformidade com a resolução CONAMA 357/2005.

Os valores médios de pH apresentaram conformidade com o CONAMA 357/2005 nos dois períodos amostrados. A redução da chuva na região reduz também a entrada de ácidos húmicos provenientes da floresta marginal nas águas superficiais resultando na elevação do pH. Adicionalmente, no período menos chuvoso foi observado a maior concentração de CaCO_3 que provoca tamponamento das águas superficiais tornando-as mais alcalinas (Esteves, 2011).

Assim como a alcalinidade, a dureza não possui um valor estabelecido no CONAMA, contudo teores inferiores a 50 mg/L permitem classificar o corpo hídrico como água mole (Von Sperling, 2007). Para o COD não existe um valor estabelecido pelo CONAMA 357/2005, ainda assim elevadas concentrações podem indicar alta eutrofização que pode ocasionar o maior consumo de oxigênio no corpo hídrico desequilibrando o ambiente aquático (Esteves, 2011). Apesar de a alcalinidade não possui um VR estabelecido pelo CONAMA 357, a Secretaria de Vigilância Sanitária do Brasil (Brasil, 2006) determina valores para águas naturais na faixa de 30 a 500 mg/L de CaCO_3 , os teores encontrados neste estudo estão dentro desta mesma faixa e estão de acordo com os observados por Piratoba *et al.* (2017), 16,36 a 18,51 mg/L de CaCO_3 no menos chuvoso e 16,7 a 17,71 mg/L de CaCO_3 no chuvoso

O N_2 total é composto por diversas frações de presentes na água e não possui VR específico estipulado pelo CONAMA 357/2005, contudo as formas Amônia (NH_3), Nitrito (NO_2) e Nitrato (NO_3) avaliados neste estudo possuem seus respectivos VR. As três formas analisadas estão com concentrações em conformidade com resolução nos períodos amostrados. Dentre as três formas avaliadas, o NO_3 apresentou maior concentração média no período chuvoso 0,4 mg/L ficando abaixo do limite estabelecido pela resolução. A presença de nitrogênio está relacionada às atividades antrópicas como despejo de efluentes industriais e domésticos sem tratamento e atividades agropecuárias. Nesse contexto, Barroso *et al.* (2018) verificou que áreas de pastagem influenciaram fortemente nos teores de compostos

nitrogenados na água e na região do estudo verificou-se um aumento das atividades agropecuárias na ordem de 20% (Tabela 1) que podem estar contribuindo com os teores de nitrogênio do rio Tocantins.

O N₂ é um elemento fundamental para o metabolismo de organismos podendo ser limitante à produção primária (Esteves, 2011). Uma das fontes desses nutrientes nos locais amostrados podem ser, as ilhas de várzeas, que durante o período de inundação tendem a carregar esse nutriente do ambiente terrestre para o rio com a interação desses dois ecossistemas (Neu *et al.*, 2023; McClain; Victoria; Richey, 2001).

O P presente em águas naturais pode ser explicado por descargas de esgotos sanitários compostos por matéria orgânica fecal e os detergentes em pó empregados diariamente em larga escala no ambiente doméstico (CETESB, 2016) e uso de fertilizantes (Rubim; Lima, 2020). O P apresentou teor médio (0,6 mg/L) no período menos chuvoso estando em desacordo com a resolução CONAMA 357/2005 que determina a concentração de 0,1 mg/L para ambientes lóticos. O P assim como o N₂ é fundamental para o desenvolvimento de fitoplânctons nos rios e teores elevados podem ocasionar a eutrofização do meio hídrico (Esteves, 2011; Queiroz Neto; Albuquerque; Batista, 2023). Mesmo em concentrações abaixo do estabelecido pelo CONAMA, o P é capaz de degradar a qualidade da água devido a atividade fitoplanctônica que consomem oxigênio (Rubim; Lima, 2020), e em Mocajuba cerca de 40% do esgoto sanitário não recebe tratamento e é despejado no meio ambiente (SNIS, 2021).

Dentre os metais estudados, o Al, Pb, Cu e Fe foram os que apresentaram divergência com o estabelecido pelo CONAMA 357/2005. A concentração de Al foi detectada em ambos períodos amostrados, sendo no período chuvoso com valor médio de 0,23 mg/L estando superior ao VR (0,1 mg/L) e média de 0,06 mg/L no menos chuvoso. O Al pode ocorrer naturalmente em regiões com tipo de solo, argissolo e latossolo (Embrapa, 2021) e em decorrência de atividade metalúrgica (Piratoba *et al.*, 2017). Vale ressaltar que o município de Mocajuba está situado na região com influência de Barcarena que desenvolve atividade ligada a produção de Al, que poderiam explicar esses altos teores nessa amostra.

O Pb é um metal pesado que naturalmente é detectado em baixas concentrações nos corpos hídricos. Em altas concentrações está ligado a contaminação por efluentes domésticos, lixiviação de fertilizantes (Ramos *et al.*, 2020; Duarte, 2013) e esse metal em elevadas concentrações pode ser fatal ao ser humano (CETESB, 2016). Nesse estudo seus teores foram superiores ao estabelecido pelo CONAMA 357/2005 (0,01 mg/L) somente em período chuvoso (1,2 mg/L).

O Fe foi detectado neste estudo e sua concentração média de 0,4 mg/L no período chuvoso está em desacordo com a resolução CONAMA 357/2005 (0,3 mg/L). Assim como o Al, o Fe também é encontrado naturalmente em argissolos, muito presentes na região, principalmente a montante da UHT (Embrapa, 2021). A maior concentração no período chuvoso pode estar relacionada ao elevado índice pluviométrico da região que elevam as cotas e a vazão do rio Tocantins aumentando a interação água e floresta.

O Cu é um elemento traço cuja concentração no meio hídrico é naturalmente baixa e em concentrações mais elevadas decorrem do lançamento de efluentes de atividades industriais e uso de fertilizantes e em doses elevadas são nocivos aos peixes (CETESB, 2016). Seu VR segundo a resolução CONAMA 357/2005 é de 0,009 mg/L. As concentrações médias para os períodos sazonais analisados foram respectivamente 0,019 e 0,02 mg/L no período menos chuvoso e chuvoso estando, portanto, em desacordo com a legislação. No estudo de Duarte (2013) no médio Tocantins foram detectados elevados teores de Cu atribuídos a lixiviação de e lançamento de efluentes no médio Tocantins. O crescimento da atividade agropecuária na bacia hidrográfica pode favorecer as concentrações nas amostras deste estudo (Ramos *et al.*, 2020).

Outros metais como elementos-traços como As, Ba, B, Cd, Co, CR, Mn, Ni, Se, V e Zn estão em baixas concentrações, não ultrapassando o limite estabelecido pela resolução. A presença desses metais, mesmo em baixas concentrações, podem estar relacionadas a prática de atividades agrícolas na bacia hidrográfica por conta do uso de fertilizantes inorgânicos e orgânicos no solo que durante períodos de chuva intensa podem lixiviar para o rio (Ramos *et al.*, 2020). O tipo de solo da região, latossolo amarelo, favorece a fixação de metais pesados utilizados nos fertilizantes que posteriormente carregados para as águas superficiais, afetando sua a qualidade (Ramos *et al.*, 2020; Souza; Morassuti; Deus, 2018).

5.4 Análise de Componentes Principais

A Análise de Componentes Principais (ACP) permitiu reduzir o número de variáveis, sem comprometer dados originais, conservando o máximo de informações (Carvalho *et al.*, 2015). Por meio da ACP foi possível observar as variáveis que mais contribuíram para a variação dos dados em cada período e com isso identificar as mais importantes para a questão da qualidade da água na área de estudo. Referente ao período menos chuvoso, as quatro primeiras componentes principais explicaram 86,63%, sendo a primeira componente responsável por 44,6% dos resultados com autovalor de 5,34, enquanto o segundo componente

explica 20,18% dos resultados e autovalor de 2,42 (Tabela 7). Os dois primeiros componentes foram considerados os mais importantes nessa pesquisa pois explicam juntos 64,75% da variação dos resultados do período menos chuvoso.

Tabela 8 - Coeficientes para os quatro primeiros componentes e seus respectivos autovalores referente a primeira campanha.

Parâmetros	PC1	PC2	PC3	PC4
CE	-0,172291	0,901049	0,268511	0,170700
STD	-0,176794	0,906787	0,256253	0,171677
Ca	0,905660	-0,048513	0,124265	0,002624
Mg	0,909061	0,274834	-0,158744	-0,074126
Na	0,381831	-0,304541	0,822631	-0,147594
K	0,464309	-0,372394	0,745281	-0,015043
Ba	0,833806	0,350052	-0,302467	-0,147337
Sr	0,896990	0,241269	-0,097450	-0,113323
Mn	0,799492	0,045811	-0,111239	0,032109
COD	0,163611	-0,445296	-0,525362	0,014164
Dureza	0,967874	0,057287	-0,016179	0,034453
Turbidez	0,418752	-0,307264	-0,015892	0,838867
Autovalor	5,34684	2,42229	1,80045	0,82679

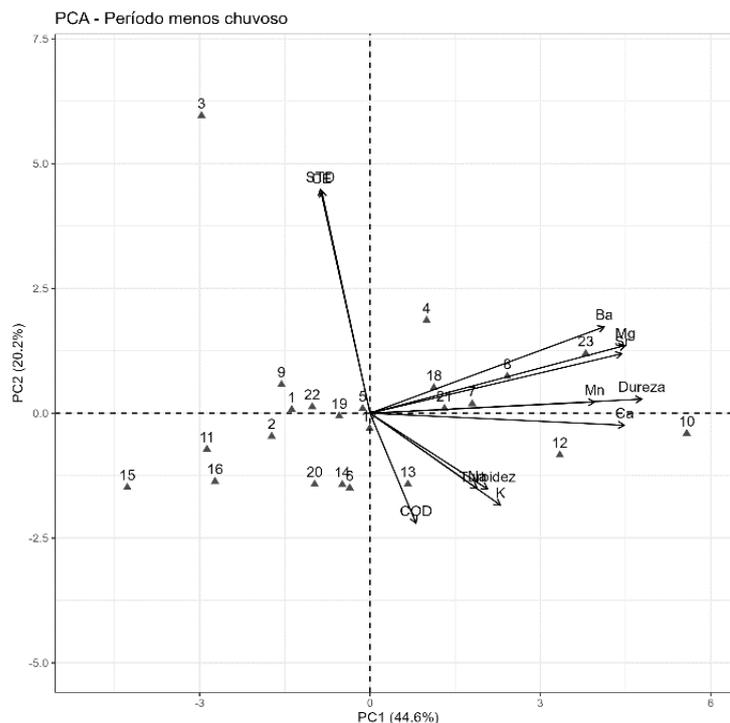
Fonte: Do autor.

A primeira componente (PC1) abrangeu os parâmetros iônicos como Ca, Mg, Ba, Sr, Mn e dureza, com coeficientes positivos Tabela 9. A segunda componente (CP2) teve a CE, STD com coeficientes positivos e o COD com coeficiente negativo (tabela 9), ressaltando a questão dos elementos dissolvidos e matéria orgânica na água. A terceira componente (CP3) teve o Na e K com coeficientes positivos e a quarta componente (CP4) a turbidez. Até a terceira componente é possível inferir a influência dos cátions e matéria orgânica na variação dos dados de qualidade da água no período menos chuvoso.

A presença de cátions pode estar associada a lixiviação do solo representando sua migração para o corpo hídrico. A CE permite inferir possíveis alterações na composição da água no que diz respeito aos íons, se o ambiente possivelmente recebeu ou perdeu cargas. O COD pode estar relacionado a substâncias húmicas no meio como decomposição de matéria

orgânica. A figura 28 apresenta os componentes CP1 e CP2, cujos vetores dos parâmetros convergem para os lados positivos em relação aos eixos x e y.

Figura 28 - Plotagem das componentes CP1 e CP2 considerando os parâmetros de qualidade da água para a primeira campanha



Fonte: Do autor.

Na primeira componente, a maior parte dos elementos que estão à direita do eixo CP1 representam os elementos com maior correlação entre si e que explicaram pela maior parte da variação dos dados. Os cátions possuem alta correlação entre si, principalmente Na^+ e K^+ e Ca^{+2} e Mg^{+2} ; a dureza abrange as concentrações de Ca^{+2} e Mg^{+2} ; ambos representaram maior influência iônica na água. Na segunda componente os vetores CE e STD estão para o sentido positivo em relação ao CP2 indicando que esses parâmetros foram os principais responsáveis pela variação dos dados.

Para o período chuvoso as quatro primeiras componentes representaram 83,18% de explicação dos resultados, com a CP1 tendo 47,67% de variação e autovalor de 7,63, a CP2 com variação de 16,96% e autovalor de 2,71 e as demais CP3 e CP4 com explicação de 18,39% e autovalores de 1,91 e 1,04, respectivamente. Como as CP1 e CP2 juntas abrangeram 64,63% de explicação dos resultados, essas foram consideradas as principais entre as quatro. A Tabela 8 apresenta os parâmetros e seus respectivos autovalores.

Figura 29 - Coeficientes para os quatro primeiros componentes e seus respectivos autovalores referentes a segunda campanha

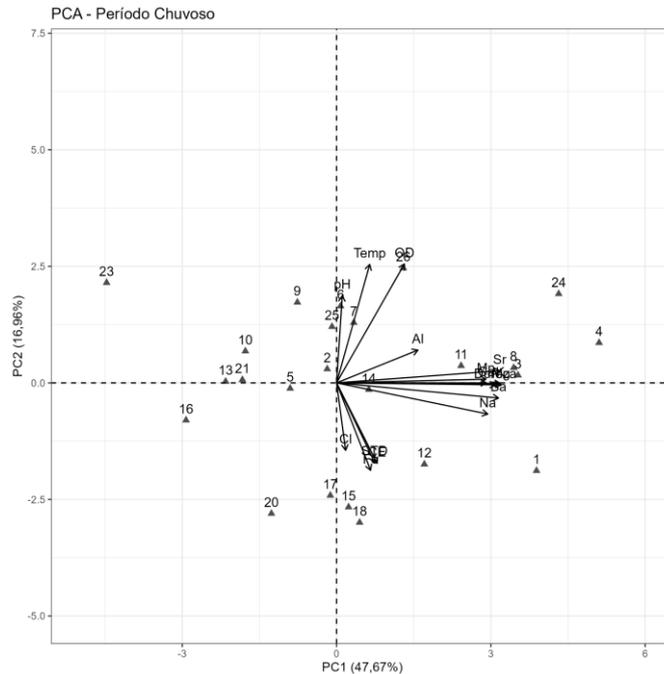
Parâmetros	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
Mg ⁺²	0,9773	-0,0114	-0,0176	-0,1362
K ⁺	0,9723	-0,0031	-0,0290	-0,0548
Ba	0,9621	-0,0992	-0,0945	-0,0182
Dureza	0,9428	-0,0125	-0,1642	-0,0908
Sr	0,9692	0,0793	-0,0761	0,0138
Ca ⁺²	0,8894	-0,0001	-0,1249	-0,0569
Mn	0,8870	0,0243	-0,0784	0,0321
Na ⁺	0,8981	-0,2043	0,1244	-0,0353
STD	0,2253	-0,5191	0,8113	0,0287
CE	0,2411	-0,5273	0,8003	0,0106
pH	0,0342	0,5718	0,2478	-0,4454
OD	0,4030	0,7792	0,3189	-0,0030
Cl	0,0539	-0,4419	-0,3560	0,3949
Al	0,4834	0,2151	0,0637	0,7285
Fe	0,2021	-0,5731	-0,4822	-0,3095
Temperatura	0,1969	0,7762	0,0350	0,1342
Autovalor	7,627	2,713	1,906	1,036

Fonte: Do autor.

O CP1 abrangeu os parâmetros Mg⁺², K⁺, Sr, Ba, dureza, Na⁺, Ca⁺², Mn, Al⁻ e OD com coeficientes positivos (Tabela 10). O CP2 teve a predominância dos parâmetros físico-químicos com a temperatura (Temp), OD, pH com coeficientes positivos e o STD, CE, Cl e Fe com coeficientes negativos. A CP3 teve CE, STD com coeficientes positivos e Fe com coeficiente negativo. A CP4 apresentou Al⁻ e Cl⁻ com coeficientes positivos e o pH com coeficiente negativo.

Assim como no período menos chuvoso, a Tabela 11 permite identificar a predominância dos cátions, metais-traço e dureza na variação dos parâmetros de qualidade da água analisados. A CP2 do regime chuvoso foi distinta em relação ao do período menos chuvoso com predominância dos parâmetros físico-químicos e os elementos Cl⁻ e Fe. No período menos chuvoso a CP3 o Na⁺ e K⁺ foram significativos, enquanto no período chuvoso foram STD, CE e Fe. A Figura 31 apresenta os componentes CP1 e CP2, cujos vetores dos parâmetros convergem para os lados positivos em relação aos eixos x e y.

Figura 30 - Plotagem das componentes CP1 e CP2 considerando os parâmetros de qualidade da água para a segunda campanha



Fonte: Do autor.

No primeiro componente, a maior parte dos elementos que estão à direita do eixo CP1 representam maior correlação entre si e que explicaram maior parte da variação dos dados. No segundo componente os parâmetros químicos no sentido positivo de CP2 indicam a maior correlação entre os mesmos, além de serem os principais para explicarem a variação dos dados. Em relação ao período menos chuvoso a CE e STD se destacaram na CP2 e durante o chuvoso foram as variáveis temperatura (Temp), STD, CE, pH, OD, Cl⁻ e Fe⁺³. No período chuvoso as águas tendem a estarem levemente ácidas tornando o ambiente aquático adequado para o Fe⁺³ ficar dissolvido, essa relação inversa é observada analisando os vetores de Fe⁺³ e pH

6 CONCLUSÕES

Este estudo permitiu observar impactos antrópicos na sub-bacia hidrográfica do Rio Tocantins na escala temporal, principalmente no que diz respeito a mudança de uso e cobertura do solo com perda de cobertura vegetal e aumento nas mesmas proporções de atividades agropecuárias. Adicionalmente foi possível observar os efeitos do barramento do rio Tocantins com a implantação da hidrelétrica sobre os parâmetros hidrológicos a jusante com reflexo sobre a vazão e cota após a construção do empreendimento.

Os parâmetros de qualidade da água aferidos na sub-bacia hidrográfica do Rio Tocantins, trecho Baião-Mocajuba, não apresentaram influência do regime de maré, de forma que esse processo hidrológico não modifica a qualidade da água para a região de estudo. Todos os parâmetros analisados apresentaram comportamento sazonal conforme o regime pluviométrico da região, com exceção dos elementos SO_4 , Ba e Sr, logo o regime de chuvas é um fator que possui influência significativa para alterar a qualidade da água.

Em relação às normas de qualidade da água estabelecidas pelo CONAMA 357 para rios classe II, em relação a sazonalidade, o Cu apresentou concentração em desacordo nos dois períodos sazonais. Os parâmetros Pb, Cu, P e o OD apresentaram teores em desacordo com o estabelecido pela norma, enquanto no chuvoso foram os metais Al, Pb, Cu e Fe. A aplicação da Análise de componentes principais permitiu identificar o Ca, Mg, Ba, Sr, Mn e dureza como os responsáveis pela variação dos parâmetros de qualidade da água durante o período menos chuvoso. No período chuvoso foram a dureza, Mg, K, Ba, Sr, Ca, Mn, Na, Al e os responsáveis pela maior variação das análises. Isso permite constatar que os parâmetros químicos possuem uma grande importância para estudos de qualidade da água, visto que em ambos os regimes sazonais corresponderam por quase 50% da variação dos parâmetros analisados.

Sugere-se para estudos futuros que sejam feitas pesquisas para avaliar os efeitos das atividades antrópicas sobre as águas do rio Tocantins com métodos capazes de quantificar as mudanças sobre a hidroquímica fluvial.

REFERÊNCIAS

ABREU, Carlos Henrique Medeiros de; CUNHA, Alan Cavalcanti da. Qualidade da água em ecossistemas aquáticos tropicais sob impactos ambientais no baixo Rio Jari-AP: **Revisão descritiva. Biota Amazônia**, v. 5, n. 2, p. 119-131, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA – ANA. **Enquadramento dos rios federais**. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/d176c3eb-a88c-4120-ab39-2577c703a596>. Acesso em: 20 de jul. 2023

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia**: relatório síntese. [S.l.]: ANA, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Sistema de informações hidrológicas**. 2017. Disponível em: HidroWeb. <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 20 de jul. 2023.

ALENCAR, Vívian Evelyne Silva Araújo *et al.* Análise de parâmetros de qualidade da água em decorrência de efeitos da precipitação na Baía de Guajará–Belém–PA (Analysis of water quality parameters as a result of the effects of the rainfall on the Guajará bay-Belém-PA). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 661-680, 2019.

ALMADA, Hellen Kezia Silva *et al.* Effects of geomorphology and land use on stream water quality in southeastern Amazonia. **Hydrological Sciences Journal**, v. 64, n. 5, p. 620-632, 2019.

ALMEIDA, Rejane Freitas Benevides; CARDOSO, Maria Marielly Araújo. Degradação ambiental e qualidade da água de rios urbanos: o caso dos corpos d'água de Paraíso do Tocantins, TO, Brasil. **Revista Sítio Novo**, v. 6, n. 3, p. 28-47, 2022.

ALVES, Wellmo dos Santos *et al.* Análise das relações entre uso do solo e qualidade da água do Lago Bonsucesso, em Jataí, Estado de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 1, p. 326-342, 2019.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, DC, 1999.

ARAÚJO, Vívian Evelyne Silva. **Análise de alguns parâmetros de qualidade da água na baía do Guajará em Belém-PA e os efeitos do regime pluviométrico e de marés**. Orientador: Edson José Paulino da Rocha. 2018. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Belém, 2018.

ARAÚJO, Fernanda Benício Coelho de *et al.* Avaliação espacial e sazonal da qualidade da água do rio Corrente dos Matões (Piauí), utilizando análise multivariada. **Ambiência**, v.16 n.1 p. 900 - 917 jan/mar. 2020.

AULIYANI, Diah; WAHYUNINGRUM, Nining. Rainfall variability based on the climate hazards group infrared precipitation with station data (CHIRPS) in lesti watershed, Java Island, Indonesia. *In: CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE*, 2021, [S.l.]: IOP Publishing, 2021. **Proceedings[...]** p. 012003. (paper).

BAHIA, Vânia. Eunice. *et al.* Caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas na área de abrangência do reservatório de abastecimento público do Utinga-Belém (PA). **Águas Subterrâneas**, v. 25, n. 1, p. 43-56, 2011.

BARROSO, Daniel Fernandes Rodrigues *et al.* Fluxos hidrogeoquímicos em águas fluviais de microbacias sob diferentes sistemas agropecuários na Amazônia Oriental. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 3, p. 204-218, 2018.

BRANDÃO, João Luiz Bocci. **Modelo para operação de sistemas de reservatórios com usos múltiplos**. 2004. 50 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2004.

BRASIL. **Lei nº 9.433** de 8 de janeiro de 2008. Dispõe sobre a Política nacional de recursos hídricos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 16 abr.2024

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

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 5**, de 28 de setembro de 2017. Consolida normas sobre as ações e serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 3 out. 2017.

BRASIL. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para o consumo**. Brasília, DF, 2006. 212 p.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Esgotamento sanitário: Baiao (PA)**. SNIS, 2021. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/pa/baiao>. Acesso em: 27 fev.2024

BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Esgotamento sanitário: Breu Branco (PA)**. SNIS, 2021. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/pa/breu-branco>. Acesso em: 27 fev.2024

BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Esgotamento sanitário: Mocajuba (PA)**. SNIS, 2021. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/pa/mocajuba>. Acesso em: 27 fev.2024

BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Esgotamento sanitário: Tucuruí (PA)**. SNIS, 2021. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/pa/tucuru>. Acesso em: 27 fev.2024.

CARNEIRO, Adriel Guimarães; PRESTES, Yuri Onça; ROLLNIC, Marcelo. Estimates of suspended solid transport in the Pará river estuary. **Ocean and Coastal Research**, v. 68, e20281, 2020.

CARVALHO, Fábio Ismael Martins *et al.* Avaliação da qualidade das águas subterrâneas de Belém a partir de parâmetros físico-químicos e níveis de elementos traço usando análise multivariada. **Revista Virtual de Química**, v.7, p.2221-2241, 2015.

CAVALCANTE, T. A. B. *et al.* Rios das ilhas de várzea da Amazônia Central: classificação, morfologia e sedimentologia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 43, n. 4, p. 631-648, dez. 2013.

CELINO, Joil José; RANGEL, P. A. Análise estatística multivariada aplicada a prospecção geoquímica de metais traços em sedimentos de corrente no semi-árido do estado da Bahia. **Geochimica Brasiliensis**, v. 21, n. 2, p.193 – 211, 2007.

CÉSAR, Gabriele Cristina de Lima *et al.* Avaliação da qualidade da água do reservatório da usina hidrelétrica de Peti, Minas Gerais. **Geociências**, v. 39, n. 03, p. 817-829, 2020.

CHAPMAN, Deborah V. *et al.* Developments in water quality monitoring and management in large river catchments using the Danube River as an example. **Environmental Science & Policy**, v. 64, p. 141-154, 2016.

COE, Michael T.; COSTA, Marcos H.; SOARES FILHO, Britaldo S. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River—Land surface processes and atmospheric feedback. **Journal of Hydrology**, v. 369, n. 1-2, p. 165-174, 2009.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Índices de qualidade das águas, critérios de avaliação da qualidade dos sedimentos e indicador de controle de fontes**. 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2022/11/Apendice-E-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>. Acesso em: 28 out. 2023.

COSTA, Jamerson Souza da; RODRIGUES, Liange de Sousa; SILVA, Aline Gabriela Castro da; *et al.* Estado de conservação e qualidade da água em uma bacia hidrográfica periurbana na Amazônia Central. **Scientia Plena**, v. 17, n. 9, 2021. doi: 10.14808/sci.plena.2021.091701.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB); Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília, DF: ANA, 2011.

COMPANHIA, DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL- CETESB. **Informações toxicológicas: Vanádio**. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/servicos/informacoes-toxicologicas/>. Acesso em: 18 de jan. 2024

COMPANHIA, DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL- CETESB. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. São Paulo, 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). **Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000**. Estabelece o critério de balneabilidade para águas doces, salobras e salinas em todo o território nacional. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 27 nov. 2000.

COSTA, Húrbio Rodrigues de Oliveira; MOREIRA, Emanuela Sanches; NUNES, João Osvaldo Rodrigues. O uso da terra por atividades agropecuárias e seu impacto sobre bacias hidrográficas. *GeoGraphos: Revista Digital para Estudantes de Geografia y Ciencias Sociales*, v. 14, n. 152, p. 64-90, 2023.

COSTA, Marcos Heil; BOTTA, Aurélie; CARDILLE, Jeffrey A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. *Journal of hydrology*, v. 283, n. 1-4, p. 206-217, 2003.

CRUZ, Gilberto da Silva *et al.* **Bauxita, horizonte nodular e cobertura argilosa da região de Paragominas e Juruti, estado do Pará**. 2011. 123f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, 2011.

DEUS, Ricardo; DEUS, Simonny Simões; NEVES, Ramiro Joaquim de Jesus. Uso do código SWAT na previsão de vazão dos rios da bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia. *Novos Cadernos NAEA*, v. 23, n. 2, p. 179-200, maio-ago. 2020.

DUARTE, Reginária Morais. **Estudo de metais pesados na bacia do médio Tocantins**. 2013. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Centro de Ciências Sociais, Saúde e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, 2013.

DUTRA, Vítor Abner Borges *et al.* Dinâmica da paisagem e fragmentação de ecossistemas em três bacias hidrográficas na Amazônia Oriental entre 1985 e 2019. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 16, n. 2, p. 936-949, 2023.

EMMETT, B. A. *et al.* The impact of a riparian wetland on streamwater quality in a recently afforested upland catchment. *Journal of Hydrology*, v. 162, n. 3-4, p. 337-353, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Solos tropicais – latossolo amarelo**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos/latossolos-amarelos>. Acesso em: 27 de jun. 2023.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de limnologia**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 790p.

FAIRBRIDGE, R. W. The Estuary: its identification and geodynamic cycle. *In*: OLAUSSON, E.; CATO, I. (ed.). **Chemistry and biochemistry of estuaries**. N. York: Wiley, 1980. p. 1-36.

FENZL, Norbert; RAMOS, José Francisco. **Introdução à hidrogeoquímica**. Belém: Universidade Federal do Pará, 1986.

FERREIRA, Douglas Batista da Silva; SOUZA, Everaldo Barreiros de; MORAES, Bergson Cavalcanti de. Ciclo horário da precipitação no leste da Amazônia durante o período chuvoso. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 13, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v13i0.34723>.

FERREIRA, Luan Daniel Silva *et al.* Concentração de Clorofila e Parâmetros Físico-Químicos para Avaliação de Níveis de Eutrofização do Rio Cereja Bragança-Pa. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 5, p. 2153-2163, 2022.

FERREIRA, Vanilda Araújo *et al.* Os fatores de repercussão da cadeia produtiva do dendê no desenvolvimento local do Baixo Tocantins. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 39, p. 173-188, 2016.

FREITAS, Fernanda; NEIVA, Gabrielly Sobral; CRUZ, Edileide Santana da; SANTANA, J. D. M.; SILVA, I. D. M. M. D.; MENDONÇA, F. D. S. Qualidade microbiológica e fatores ambientais de áreas estuarinas da Reserva Extrativista Marinha Baía do Iguape (Bahia) destinadas ao cultivo de ostras nativas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 723-729, 2017.

FINKLER, Nicolás Reinaldo *et al.* Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, p. 782-792, 2015.

FIORESE, Caio Henrique Ungarato. Dinâmica do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Fruteiras, Estado do Espírito Santo, Brasil. **Labor & Engenho**, v. 15, 2021. <https://doi.org/10.20396/labore.v15i00.8659875>.

FÖRSTNER, Ulrich; WITTMANN, Gottfried T.W. **Metal pollution in the aquatic environment**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012. p. 1-2.

FRITZSONS, Elenice *et al.* Consequências da alteração da vazão sobre alguns parâmetros de qualidade de água fluvial. **Floresta**, v. 33, n. 2, p. 202-214, 2003.

GALLO, Marcos Nicolas. **A influência da vazão fluvial sobre a propagação da maré no estuário do rio Amazonas**. 2004. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2004.

GARRISO, Tom. **Fundamentos da oceanografia**. 7ª ed. Norte-Americana. 2ª ed. Brasileira. [S.l.]: Ed. Noveritis do Brasil, 2017.

GODOY, Bruno Spacek *et al.* 50 years of the water-flow variance in Tucuruí reservoir related with Brazilian energy consumption. **Heliyon**, v. 9, n. 2, e12640, Feb. 2023.

GOMES, Marcos Antônio Ferreira *et al.* **Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos biogeoquímicos, fertilizantes e corretivos**. 2. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008. 62 p.

GOMES, Raul Carneiro; BIANCHI, Christina; OLIVEIRA, Vládia Pinto Vidal de. Análise da multidimensionalidade dos conceitos de bacia hidrográfica. **Geographia**, v. 23, n. 51, p.1-17, 2021.

GODIN, Gabriel. The propagation of tides up rivers with special considerations on the upper saint – Lawrence river. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.48, p. 307- 324, 1999.

GOMES, Luiza de Cássia Santa Brígida; VASCONCELOS JUNIOR, Neuton Trindade; FAIAL, Kelson do Carmo Freitas; NASCIMENTO NETO, Nilo do; MEDEIROS, Adaelson Campelo; CARNEIRO, Brumo Santana. Avaliação da qualidade da água superficial do rio pará nas proximidades da região portuária de vila do Conde, Barcarena-Pa. **Revista Foco**, v. 17, n. 1, e4142, 2024.

GOMES, Wolia Costa *et al.* Avaliação sazonal da água e sedimento superficial da sub-bacia rio das bicás em São Luís no Estado do Maranhão, Brasil. **Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia**, v. 11, n. 3, p. 2788-2798, 2023.

GUEDES, Ana Emília Diniz Silva; CÂNDIDO, Luiz; SANTO, Alessandro. Variabilidade do estoque de água continental e sua relação com as cheias e vazantes extremas na Amazônia. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n. 2, p. 88–99, 2013.

GUIMARÃES, Daniel Pereira; REIS, Ruibrán. dos. Impactos do fenômeno ENOS sobre a temperatura no Brasil. **Revista Espinhaço**, v. 1, n. 1, p. 34-40, 2012.

HORBE, Adriana Maria Coimbra *et al.* Geoquímica das águas do médio e baixo rio Madeira e seus principais tributários-Amazônia-Brasil. **Acta Amazônica**, v. 43, p. 489-504, 2013.

HOUNSLOW, Arthur. **Water quality data: analysis and interpretation**. [S.l.]: CRC press, 2018.

HARTMANN, Dennis L. **Global physical climatology**. [S.l.]: Newnes, 2015.

HO, Jeff C.; MICHALAK, Anna M. Phytoplankton blooms in Lake Erie impacted by both long-term and springtime phosphorus loading. **Journal of Great Lakes Research**, v. 43, n. 3, p. 221–228, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Divisão territorial brasileira** - DTB 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/mocajuba.html>. Último acesso em: 26/06/2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Manuais técnicos em geociências: manual técnico em pedologia**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf>. Acesso em: 27 de jun. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. SIDRA. **Produção agrícola municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/Q>. Acesso em: 16 abr.2024

INNESS, Antje *et al.* The CAMS reanalysis of atmospheric composition. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 19, n. 6, p. 3515-3556, 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Dados meteorológicos: estações automáticas**. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A229>. Acesso em: 21 de set. 2023.

JUNK, Wolfgang J. (ed.). **The central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2013.

JUNK, Wolfgang J.; MELLO, José Alberto S. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Estudos Avançados**, v. 4, p. 126-143, 1990.

JURAS, Anastácio Afonso; CINTRA, Israel Hidenburgo Aniceto; LUDOVINO, Rui Manuel Rosário. A pesca na área de influência da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, estado do Pará. **Boletim Técnico Científico do CEPNOR**, Belém, v. 4, n. 1, p. 77-88, 2004.

KAISER, Henry F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, n. 3, p. 187-200, 1958.

KOLM, H. E.; SIQUEIRA, A.; MACHADO, E. C. Influência da pluviosidade na qualidade da água de dois sangradouros do litoral do Paraná, Brasil. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, Itajaí, v. 20, n. 2, p. 1-11, 2016.

LAGES, Anderson da Silva *et al.* Índice de Qualidade de Água (IQA) para ambientes amazônicos usando estatística multivariada. **Peer Review**, v. 5, n. 11, p. 306-323, 2023.

LEI, Chaogui; WAGNER, Paul D.; FOHRER, Nicola. Effects of land cover, topography, and soil on stream water quality at multiple spatial and seasonal scales in a German lowland catchment. **Ecological Indicators**, v. 120, e 106940, 2021.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamentos de água**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2016. v. 4.

LIMA, Aline Maria Meiguins de *et al.* Análise da relação entre a paisagem e a hidrogeoquímica da bacia hidrográfica do rio Moju, Amazônia Oriental-Brasil. **Água y Território/Water and Landscape**, n. 17, p. 131-150, 2021.

LOLLO, José Augusto de *et al.* Variabilidade espaço temporal das águas subterrâneas do aquífero Bauru impróprias para o consumo humano: concentrações de Bário, Crômio Total e Vanádio. **Pesquisas em Geociências**, v. 47, n. 2, p. E 096380-e096380, 2020.

LOPES, Iris Danielly da Silva *et al.* Multivariate analysis of Amazonian rivers Located in an area of intense industrial activity, Barcarena, Pará State, Brazil. **Journal of Water**, v. 1, 2021. DOI:10.14302/issn.2769-2264.jw-21-3870.

LUDESCHER, Josef *et al.* Very early warning of a moderate-to-strong El Nino in 2023. **Atmospheric and Oceanic Physics**, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.10763>.

MAPBIOMAS. **Plataforma Mapbiomas**. 2024. Disponível em <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 10 de jul. 2023

MARINHO, Eduardo Ribeiro *et al.* Extremos climáticos associados à qualidade de água do Rio Guamá, São Miguel do Guamá, Pará. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 6, p. 262-273, 2020.

MARQUES, Marise Conceição; NASCIMENTO, Clístenes Williams Araújo do. Tolerância de mamona a zinco avaliada por fluorescência de clorofila e nutrição das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 850-857, 2014.

MARTINELLI, Luiz A. *et al.* Chemical and mineralogical composition of Amazon River floodplain sediments, Brazil. **Applied Geochemistry**, v. 8, n. 4, p. 391-402, 1993.

MATSCHULLAT, Jörg *et al.* What influences upland soil chemistry in the Amazon basin, Brazil? Major, minor and trace elements in the upper rhizosphere. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 211, p. 106433, 2020.

MARENGO, José A. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. **International Journal of Climatology**, v. 12, n. 8, p. 853–863, 1992.

MICHALAK, Anna M. Study role of climate change in extreme threats to water quality. **Nature**, v. 535, n. 7612, p. 349-350, 2016.

MCCLAIN, Michael E; VICTORIA, Reynaldo; RICHEY, Jeffrey. **Biogeochemistry of the Amazon basin**. 1. ed. Nova York: Oxford University Press, 2001.

MEGATELI, Smain; SEMSARI, Saida; COUDERCHET, Michel. Toxicity and removal of heavy metals (cadmium, copper, and zinc) by *Lemna gibba*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 72, n. 6, p. 1774-1780, 2009.

MIRANDA, Rafaella Galvão *et al.* Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia-Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos. **Revista Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4, n. 2, p. 75-92, 2009.

MONTE, Christiane do Nascimento *et al.* The physical-chemical characteristics of surface waters in the management of quality in clearwater rivers in the Brazilian Amazon. **Water Policy**, v. 23, n. 5, p. 1303-1313, 2021.

MONTEIRO, Maria TF *et al.* Dissolved organic carbon concentration and its relationship to electrical conductivity in the waters of a stream in a forested Amazonian blackwater catchment. **Plant Ecology & Diversity**, v. 7, n. 1-2, p. 205-213, 2014.

MOREIRA, Marília Honorato; KOPP, Katia Alcione; NARDOCCI, Adelaide Cassia. Avaliação da qualidade da água para consumo humano proveniente de poços rasos e do risco de infecção desta por exposição a patógenos emergentes em um bairro de Goiânia, Goiás. **Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v35i2.30043>.

MUNIZ, Jamilly N. *et al.* Limnological quality: Seasonality assessment and potential for contamination of the pindaré river watershed, pre-amazon region, Brazil. **Water**, v. 12, n. 3, p. 851, 2020.

NASCIMENTO, Bruno Lucio Meneses *et al.* Comportamento e avaliação de metais potencialmente tóxicos (Cu (II), Cr (III), Pb (II) e Fe (III)) em águas superficiais dos Riachos Capivara e Bacuri Imperatriz-MA, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, p. 369-378, 2015.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA. **Physical sciences laboratory**. Disponível em: <https://psl.noaa.gov/enso/>. Acesso em: 03 de jan 2024.

NEU, Vania *et al.* Composition and flux of dissolved and particulate carbon and nitrogen in the lower Tocantins river. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 128, n. 6, 2023. <https://doi.org/10.1029/2022JG006846>.

NEAL, Colin *et al.* Chlorophyll-a in the rivers of eastern England. **Science of the Total Environment**, v. 365, n. 1-3, p. 84-104, 2006.

NOGUEIRA, Karen de Nazareth Santos; AMÉRICO, Maria do Carmo da Silva; COSTA, Francisco de Assis. Guardiões da floresta na Amazônia tocantina: mapeamento de uso e cobertura do solo de populações quilombolas e agroextrativistas da região das ilhas, no município de Mocajuba-PA. *In:* BAHIA, Mirleide Chaar; NASCIMENTO, Dubens Martins. (org.). **Estado, sistemas produtivos e populações tradicionais**. 1ed. Belém: NAEA, 2014. p. 192-2012.

NUNES, Jhon Wittor Araújo; QUEIROZ, Tadeu Miranda de. Análise multivariada da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Jauquara-MT: Multivariate analysis of water quality in the Jauquara hydrographic basin-MT. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 43, n. 01, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5216/bgg.v43i01.64798>.

OLIVEIRA, Clélia Nobre de; CAMPOS, Vânia P.; MEDEIROS, Yvonilde Dantas Pinto. Avaliação e identificação de parâmetros importantes para a qualidade de corpos d'água no semiárido baiano. Estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Salitre. **Química Nova**, v. 33, p. 1059-1066, 2010.

OLIVEIRA, L. A. de; CAMPOS, J. E. G. Análise da distribuição dos parâmetros físico-químicos das águas do sistema aquífero Guarani no estado de Goiás, Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 12, n. 37, p. 21-30, 2011.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (OIT). **Cadeia produtiva do cacau** - avanços e desafios rumo à promoção do trabalho decente: análise situacional. [S.l.]: OIT, 2019.

PASSOS, Ana Luiza Litz; MUNIZ, Daphne Heloisa de Freitas; OLIVEIRA FILHO, Eduardo Cyrino. Critérios para Avaliação da Qualidade de Água no Brasil. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 7, n. 2, p. 290-303, 2018.

PELICICE, Fernando Mayer *et al.* Large-scale degradation of the Tocantins-Araguaia river basin. **Environmental Management**, v. 68, p. 445-452, 2021.

PEREIRA, Heloisa Ramos; REBOITA, Michelle Simões; AMBRIZZI, Tércio. Características da atmosfera na primavera austral durante o El Niño de 2015/2016. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 293-310, 2017.

PEREIRA, S de F.; LIMA, M. A.; FREITAS, K. H. MESCOUTO, C. S.; SARAIVA, A. Estudo químico ambiental do Rio Murucupi- Barcarena, PA, Brasil, área impactada pela produção de alumínio. **Revista Água & Ambiente**, v. 2, n. 3, 2007.

PEREIRA, S. F. P. SANTOS, D.C.; SILVA, C. S.; CRUZ, E. S. Contaminação de recursos hídricos da Amazônia: estudo de caso na represa de Tucuruí -PA. **Sodebrás**, v. 15, p. 135-140, 2020.

PHILANDER, Samuel George; HOLTON, James R.; DMOWSKA, Renata. (ed.). **El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation**. [S.l.: s.n.], 1990. v.46.

PINHEIRO, Danilo Costa; SALDANHA, Edinelson Correa; MONTE, Christiane Do Nascimento. Índice de estado trófico e a proveniência do fósforo e clorofila-a em diferentes estações do ano em uma microbacia Amazônica. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 5, p. 89-100, 2019.

PIRATOBA, Alba Rocio Aguilar *et al.* Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, p. 435-456, 2017.

PORTO, Monica F.A.; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, p. 43-60, 2008.

PIAZZA, Gustavo Antonio; DUPAS, Rémi; GASCUEL-ODOUX, Chantal; GRIMALDI, C., PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V. Influence of hydroclimatic variations on solute concentration dynamics in nested subtropical catchments with heterogeneous landscapes. **Science of the Total Environment**, v. 635, p. 1091–1101, 2018.

PIMENTEL, Viviane; LOITZENBAUER, Ester; ROCHA, Cacinele. Variabilidade climática e qualidade da água em três lagoas da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, RS, Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 20, n. 1, e15, 2023. <https://doi.org/10.21168/reg.v20e15>.

PRESTES, Yuri Onça *et al.* A discharge stationary model for the Pará-Amazon estuarine system. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 28, p. 100668, 2020.

PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SA.22 Belém**: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: CPRM, 1974. (Levantamento de Recursos Naturais, 3).

QUEIROZ, Manoel Moisés Ferreira de *et al.* Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 4, p.200-210, out. /dez. 2010.

QUEIROZ NETO, João Carlos de; ALBUQUERQUE, Carlossandro Carvalho de; BATISTA, Ieda Hortêncio. Qualidade da água e definição de parâmetros preponderantes para monitoramento no rio Puraquequara, Manaus, Amazonas, Brasil. **Boletim de Geografia**, v. 41, 2023. 10.4025/bolgeogr.v41.a2023.e66628.

RAMOS. Michele Ribeiro *et al.* Contaminação por metais pesados em áreas agrícolas no estado do Tocantins. **Tecno-Lógica**, v. 24, n. 2, 2020. DOI:10.17058/tecnolog.v24i2.14845.

REIS, Deyse Almeida dos *et al.* Influência dos fatores ambientais e antrópicos nas águas superficiais no rio Matipó, afluente do rio Doce. **REGA: Água da América Latina**, v. 14, p. 1-15, 2017.

REIS, Edihones Lima *et al.* Diagnóstico ambiental dos impactos da antropização na bacia hidrográfica urbanizada de gurupi-to. **Geoambiente**, [On-line], n. 34, p. 103-130, 2019.

RIBEIRO, Samuel Rodrigues; VALADÃO, Roberto Célio. Efeitos marinho e fluvial na dinâmica dos ambientes inundáveis do Estuário Superior do Rio Pará, Norte do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, n. 4, 2021. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v22i4.2017>.

ROCHA, Paulino Estevez *et al.* Avaliação de parâmetros físico-químicos e aplicação do índice de qualidade natural das águas subterrâneas (IQNAS) para poços no domínio cárstico da Bacia Hidrográfica do Rio Piauí. *In: ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 15., 2023, Sergipe **Anais[...]**. Sergipe: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2023.

ROCHA, Sofia Midauar Gondim; MESQUITA, Janine Brandão de Farias; LIMA NETO, Iran Eduardo. Análise e modelagem das relações entre nutrientes e fitoplâncton em reservatórios do Ceará. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, [Online], n. 54, p. 134-147, 2019.

ROCHE, Kennedy Francis; FERREIRA, Maria Gabriela Alves; CALHEIROS, Débora Fernandes. Influence of nutrient levels, travel time and light availability on phytoplankton chlorophyll-a concentrations in a neotropical river basin. **Acta Limnológica Brasiliensia**, v. 34, p. e18, 2022.

RODRIGUES, F. M. **Caracterização hídrica em função das condições de uso e manejo do solo na microbacia hidrográfica do córrego da Fazenda da Glória, Taquaritinga, S.P.** 2008. xi, 111f. Dissertação (Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2008.

RUBIM, Maria Anete Leite; LIMA, Rita Mileni de Souza. Uma década de avaliação do estado trófico da bacia do Rio Puraquequara. *In: RUBIM, Maria Anete Leite; FERRAZ, Lídia Rochedo (org.). Puraquequara em mosaico: histórias, vidas e recursos naturais.* Manaus: FUA, 2020. p. 1- 307.

SAMPAIO, J. A.; ANDRADE, M.C.de; BALTAR, C.A.M. **Fluorita–rochas e minerais industriais.** [S.l.]: CETEM, 2005.

SANTO, Keyla Cristina Farias dos *et al.* Impacto ambiental da construção da uhe belo monte sobre a qualidade da água do rio Xingu. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION*, 13., 2014, Guimarães, Portugal. *Proceedings[...]*. Guimarães, Portugal: COPEC, 2014. v.3, p. 411-415.

SANTOS, Maria de Lourdes Souza *et al.* Influência das condições da maré na qualidade de água do rio Guamá e Baía do Guajará. **Tropical Journal of Fisheries and Aquatic Science**, v. 14, n. 1, p. 17-25, 2014.

SANTOS, Davis Castro dos *et al.* Distribution of chemical parameters in the water of the Tucuruí reservoir, Amazon region - Brazil: influence of seasonality and depth of water column. **Exatas**, [Online], v. 10, p. 71-82, 2019.

SANTOS, Kelvyn Edilson Alves *et al.* Dinâmica biogeoquímica do estuário Guajarino Orientador: Maria de Lourdes C. Barros. 2019. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Pesca) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, PA, 2019.

SANTOS, Rosinette Machado *et al.* Variação espaço temporal de nutrientes inorgânicos dissolvidos e clorofila a em um estuário amazônico tropical no norte do Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 28, p. e20200408, 2023.

SANTOS, Zaqueu dos *et al.* Análise do índice de qualidade de água em função da sazonalidade na microbacia do Irurá no município de Santarém-Pará. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 5, p. 314-326, 2021.

SCHLESINGER, W. H.; BERNHARDT, E. S. **Biogeochemistry** - an analysis of global change. 4. ed. [S.l.]: Academic Press, 2013.

SCARSBROOK, Mike R.; MCBRIDE, Chris G.; MCBRIDE, Graham B.; BRYERS, G. G. Effects of climate variability on rivers: consequences for long term water quality analysis1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 39, n. 6, p. 1435–1447, 2003.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE- SEMAS. **Relatório de monitoramento da qualidade das águas superficiais no Estado do Pará**. Belém, 2020.

SILVA, Sandra Helena Silva; NODA, Sandra Nascimento. A dinâmica entre as águas e terras na Amazônia e seus efeitos sobre às várzeas. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 2, 2016. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1805>.

SILVA, Ana Elisa Pereira *et al.* Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazônica**, v. 38, p. 733-742, 2008.

SILVA, Antonio Marcos da *et al.* Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 1223-1230, 2005.

SILVA, Hiulha de Jesus; BARBOSA, M. V. M.; MORAIS, P. B. Estudos sazonais de aspectos limnológicos de um fragmento Florestal inundado na Planície do Araguaia, Tocantins, Brasil. **Journal Bioenergy and Food Science**, v. 2, p. 239-248, 2015.

SILVA, VB da; GASPARETTO, N. V. L. Qualidade da água na sub-bacia do rio do Campo-Campo Mourão-PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, UFPE, v. 9, n. 02, p. 585-600, 2016.

SILVA, Maria do Socorro Rocha da; MIRANDA, Sebastião Átila Fonseca; DOMINGOS, Roberto Naves; SILVA, S. L. R.; SANTANA, G. P. Classificação dos rios da Amazônia: uma estratégia para preservação desses recursos. **Holos Environment**, v. 13, n. 2, p. 163-174, 2013.

SILVA, Maria do Socorro Rocha da; MIRANDA, Sebastião Atila Fonseca; SANTANA, Genilson Pereira. Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas: Condições de suas águas versus Resolução nº 357/CONAMA/2005. v. 6, p. 83-90, 2016.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS – SNIRH. **Rede hidrometeorológica nacional**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/gerarGrafico.aspx>. Acesso em: 27 de out. 2023

SOUSA, Bianca Larissa de Mesquita *et al.* Índice de estado trófico de lagos de águas claras associados ao baixo rio Tapajós, Amazônia, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 7, p. 76-89, 2018.

SOUSA, K. C. P. M. 2008. **Estudo dos fluxos fluviais de isótopos naturais de rádio e bário dissolvido para as enseadas de Ubatuba, litoral norte do estado de São Paulo**. 2008.152f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2008.

SOUZA, Amanda Rodrigues de; CARDOSO, Andrea de Oliveira; SILVA, Willians Bini. Identificação de índices de precipitação para previsão mensal de vazão no posto de Tucuruí-bacia do Tocantins: identification of rainfall indexes for monthly streamflow forecast in the Tucuruí station–Tocantins basin. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 12, p. 78599-78620, 2022.

SOUZA, Ana Kely Rufino; MORASSUTI, Claudio Yamamoto; DEUS, Warley Batista de. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. **Acta Biomédica Brasiliensia**, v. 9, n. 3, p. 95-106, 2018.

SOUZA, Fabiane Barreto *et al.* Parâmetros físico-químicos e clorofila no rio Jiquiriçá, Bahia, Brasil: condutividade elétrica oito mil vezes acima do esperado: Physicochemical parameters and chlorophyll in the Jiquiriçá River, Bahia, Brazil: electrical conductivity eight thousand times higher than expected. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 9, p. 60868-60885, 2022.

SOUZA, Giovana Vignoli Campos de. **Caracterização hidrogeoquímica da bacia do rio São João, Silva Jardim** – Rio de Janeiro. 2013. 86f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal de Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica Ambiental, Niterói, 2013.

SWANSON, A. Christine *et al.* Changes in floodplain hydrology following serial damming of the Tocantins River in the eastern Amazon. **Science of the Total Environment**, v. 800, e 149494, 2021

SWANSON, A. Christine; BOHLMAN, Stephanie. Cumulative impacts of land cover change and dams on the land–water interface of the Tocantins River. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, e 662904, 2021.

TAVARES, Milena Daisy Ribeiro Monteiro *et al.* **Estrutura da comunidade microfítoplanctônica da área de influência da UHE de Tucuruí-Pará**. [S.l.: s.n], 2011.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH; Editora da UFRGS, 1997.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency - USEPA. **Secondary maximum contaminant levels: a strategy for drinking water quality and consumer acceptability**. 2015. Disponível em: <http://www.waterrf.org/PublicReportLibrary/4537.pdf>. Acesso em: jan. 2024

VILHENA, Maria do Perpetuo Socorro Progene *et al.* Chemical composition of phytoplankton from the estuaries of Eastern Amazonia. **Acta Amazonica**, v. 44, p. 513-526, 2014.

VILLAMIZAR, Eduardo Antonio Ríoz *et al.* Hydrochemical classification of Amazonian rivers: a systematic review and meta-analysis. **Caminhos de Geografia**, v. 21, p. 211-226, 2020.

VIOLA, Marcelo Ribeiro *et al.* Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 125-135, 2014.

VOGEL, Richard M. *et al.* Hydrology: the interdisciplinary science of water. **Water Resources Research**, v. 51, n. 6, p. 4409-4430, 2015.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. [Belo Horizonte]: Editora UFMG, 2007.

XIAO, Chengwei *et al.* Using Spearman's correlation coefficients for exploratory data analysis on big dataset. **Concurrency and Computation: Practice and Experience**, v. 28, n. 14, p. 3866-3878, 2016.

WILLIAMS, Michael R.; FISHER, Thomas R.; MELACK, John M. Chemical composition and deposition of rain in the central Amazon, Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 31, n. 2, p. 207-217, 1997.

ZAMBROSI, Fernando César Bachiega; ALLEONI, Luís Reynaldo Ferracciú; CAIRES, Eduardo Fávero. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em Latossolo sob plantio direto. **Bragantia**, v. 66, p. 487-495, 2007.