



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Influência do índice de chuvas e das atividades antrópicas nos parâmetros das águas do Rio Tocantins no trecho de Marabá - Itupiranga

Nazareno Melo da Silva¹, Maamar El Robrini², Maria Lourdes Souza Santos³, Pedro Henrique Campos Souza⁴, Cássila dos Santos Simão⁵

¹Msc. em Recursos Hídricos, Professor, Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). nazareno.melo@ifpa.edu.br (autor correspondente) Folha 22, Quadra Especial, Lote Especial s/n 2, R. Nova, 68.505-100, Nova Marabá, Marabá, Pará, Brasil - <https://orcid.org/0009-0000-1229-1405>. ²Professor Titular, Faculdades de Oceanografia e Engenharia Naval, Universidade Federal do Pará, Av. Augusto Correa, 1, 6605-110 Guamá, Belém, Pará, Brasil - <https://orcid.org/0000-0001-7850-1217>. ³Professora Titular, Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos, Universidade Federal Rural da Amazônia, Avenida Presidente Tancredo Neves, 2501, 66.077-830, Terra Firme, Belém, Pará, Brasil - <https://orcid.org/0000-0003-2797-6014>. Lourdes.santos@ufra.edu.br. ⁴Pesquisador, Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos, Universidade Federal Rural da Amazônia, pedropesca13@gmail.com. Avenida Presidente Tancredo Neves, 2501, 66.077-830, Terra Firme, Belém, Pará, Brasil - <https://orcid.org/0000-0001-6448-660X>. ⁵Pesquisadora da Universidade Federal do Pará (UFPA), engcassilasimao@yahoo.com.br Avenida Presidente Tancredo Neves, 2501, 66.077-830, Terra Firme, Belém, Pará, Brasil <https://orcid.org/0000-0003-1077-6171>.

Artigo recebido em 20/06/2024 e aceito em 05/11/2024

RESUMO

Este artigo objetiva analisar a influência do índice de chuvas sobre os parâmetros físicos e químicos (temperatura, potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido, sólidos em suspensão, turbidez, nitrogênio amoniacal nitrato, nitrito, fósforo total e silicato) e clorofila a das águas do rio Tocantins (trecho de Marabá e Itupiranga). A metodologia baseou-se na amostragem sazonal (chuvoso-14/03 e seco-28/08/2018) de água, em 12 pontos, para análise das variáveis físico e químicas (temperatura, potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, turbidez, sólidos em suspensão), nutrientes (nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, fosforo total, silicato) e clorofila a. A análise estatística adotou os métodos de estatística descritiva com auxílio do teste de normalidade Shapiro-Wilk e homocedasticidade Levene, de Mann-Whitney e teste t de Student. Os resultados sazonais nas respectivas Áreas 1 (grande influência urbana), 2 (intermediária), 3: área de influência urbana indicam, que, as concentrações médias destas variáveis sofreram pequenas variações, não tendo discrepância na maioria, se comparados com os padrões estabelecidos pela CONAMA nº 357/2005. Entretanto, apenas o fósforo total ($0,82 \pm 1,21$ - $0,60 \pm 1,52$ mg. L⁻¹) e a clorofila a ($2,18 \pm 1,01$ - $72,25 \pm 71,05$ mg. m⁻³) apresentaram resultados fora dos padrões estabelecidos pela referida resolução. Diante da influência do índice de chuvas e, apesar das pressões antrópicas que afetam o rio Tocantins (trecho entre Marabá e Itupiranga), este ainda detém altas capacidades de autodepuração.

Palavras-chave: Comportamento sazonal; recursos hídricos; qualidade da água; nutrientes; clorofila a.

Influence of the rainfall index and human activities on the parameters of the waters of the Tocantins River in the Marabá - Itupiranga section

ABSTRACT

This article aims to analyze the influence of rainfall on physical and chemical parameters (temperature, hydrogen potential, dissolved oxygen, suspended solids, turbidity, ammonia nitrogen, nitrate, nitrite, total phosphorus and silicate) and chlorophyll a of the waters of the Tocantins River (section of Marabá and Itupiranga). The methodology was based on seasonal sampling (rainy-14/03 and dry-28/08/2018) of water, at 12 points, for analysis of physical and chemical variables (temperature, hydrogen potential, dissolved oxygen, electrical conductivity, turbidity, suspended solids), nutrients (ammonium nitrogen, nitrite, nitrate, total phosphorus, silicate) and chlorophyll a. Statistical analysis adopted descriptive statistics methods with the aid of the Shapiro-Wilk normality test and Levene homoscedasticity, Mann-Whitney and Student's t test. The seasonal results in the respective Areas 1 (great urban influence), 2 (intermediate), 3: area of urban influence indicate that the average concentrations of these variables suffered small variations, with no discrepancies in the majority, compared to the standards established by CONAMA nº 357/2005. However, only total phosphorus (0.82 ± 1.21 - 0.60 ± 1.52 mg. L⁻¹) and chlorophyll a (2.18 ± 1.01 - 72.25 ± 71.05 mg. m⁻³) presented results outside the standards established by the aforementioned resolution. Given the influence of the rainfall

Silva, N.M. da; El Robrini, M.; Santos, M.L.S.; Souza, P.H.C, Simão, C. S.

rate and, despite the anthropogenic pressures that affect the Tocantins River (section of Marabá and Itupiranga), it still has high self-purification capabilities.

Keywords: Seasonal behavior; water resources; water quality; nutrients; chlorophyll a.

Introdução

A avaliação de impactos ambientais foi instituída como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938, 1981) em seu artigo 9º, inciso III. A análise qualitativa dos corpos d'água configura-se em uma ferramenta essencial na e para a gestão de recursos hídricos e proteção do bem ambiental, que permite a avaliação sistemática e integrada da realidade ambiental de um determinado curso de água (Larsen et al., 2016; Wang & Yang, 2019). De acordo com Eriksen et al. (2022), os biomas tropicais são cada vez mais impactados por mudanças no uso da terra, poluição e aquecimento global (Habell et al., 2019; Newbold et al., 2020; Tordoff et al., 2020), levando à degradação ambiental de muitos rios e ecossistemas e pressionando ainda mais as comunidades aquáticas necessitadas de oxigênio para sua respiração (Wen et al., 2017). De acordo com Piazza et al. (2018), o monitoramento ambiental de longo prazo possibilita o conhecimento da evolução da qualidade do curso d'água. O enquadramento é um dos meios para assegurar a qualidade dos recursos hídricos adequada aos diferentes usos. A Resolução do CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) para classificação dos corpos de águas superficiais e fixa limites para diversos parâmetros físicos e químicos de água doce, salobra e salina. A variação dos parâmetros físicos e químicos e da qualidade da água nos rios amazônicos ocorre no espaço e no tempo, porque são dependentes de fatores ecológicos, cobertura vegetal, tipo de solo e características climáticas.

As alterações introduzidas por poluições difusas ou pontuais nos rios, produzem resultados indesejáveis, como redução da qualidade das águas, desaparecimento da flora e da fauna aquática. Isso pode comprometer uma das principais funções socioambientais do rio, que é de fornecer condições adequadas para a atividade pesqueira às comunidades ribeirinhas e indígenas, como por exemplo, as existentes nos municípios de Marabá e de Itupiranga, que utilizam o rio Tocantins para diversas atividades. O rio Tocantins foi alvo de alguns trabalhos, sobre os impactos produzidos por empreendimentos (Siqueira et al., 2020; Choueri e Azevedo, 2022); condições hidrológicas (Swanson et al., 2021), Qualidade das águas (Duarte et al., 2022; Oliveira et al., 2021;

Oliveira et al., 2019) Impactos das mudanças climáticas e de uso da terra (Serrão, 2022; Sousa e Moura, 2022), Biodiversidade aquática (Coelho et al., 2021; Silva et al., 2021). O rio Tocantins apresenta uma descarga hídrica de $12.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ano⁻¹ e sedimentar de 10^6 toneladas ano⁻¹ (ANA, 2022), o clima da região é tropical semiúmido (Aw), com temperatura de 27 °C e umidade relativa do ar, e umidade relativa do ar oscilando entre 39 % (estação seco) a 93 % (estação de chuvas), e a média das chuvas é de $2.400 \text{ mm ano}^{-1}$ (INMET, 2024). No trecho compreendido entre Marabá e Itupiranga, com 35 km de comprimento, o rio recorta áreas rochosas: Complexos Bacajá e Bacajá, Formação Couto Magalhães, Grupo Itapecuru e Formação Morrote (Chaves e Benitez, 2006) e a Planície Costeira à margem direita e na região de Marabá, a Depressão de Bacajá e Depressão Médio e Baixo Araguaia. A altura do rio oscila entre os períodos chuvoso (936 cm) e seco (590 cm), entretanto, a vazão atinge um máximo de $185.185,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (cheia) e um mínimo de $14.876,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (seca) (ANA, 2022). Vários usos e ocupação são identificados no rio Tocantins: Hidrelétrica, a exemplo de Tucuruí, com 4.200 MW (ANA, 2022; Siqueira et al., 2020), pesca artesanal (Prysthon et al., 2019), pesca extrativa e aquicultura (Mendes et al., 2022; Mesquita et al., 2021; Almeida e Mendes, 2015), pesca esportiva, geleiras (Cintra et al., 2009), lazer extração de argila (Mello et al., 2017), portos e hidrovias e atividades religiosas (batismo). Alguns trechos do rio Tocantins têm características de Áreas de Preservação Permanente (APPs) segundo (Lourenço et al., 2016) e de mananciais, que são ocupadas por loteamentos irregulares (Scárdua et al., 2012), e ocorrência sazonal de enchentes (Bentes, 2018). Assim, diante das pressões antrópicas na região estudada o índice de chuvas contribui para a alteração dos parâmetros de qualidade das águas do rio Tocantins. Este artigo analisa a influência do índice de chuvas sobre os parâmetros físicos e químicos (temperatura, potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido, sólidos em suspensão, turbidez, nitrogênio amoniacal nitrato, nitrito, fósforo total e silicato), nutrientes e clorofila a nas águas do rio Tocantins, no período chuvoso, no trecho entre Marabá e Itupiranga.

Material e métodos

Amostragem

A pesquisa foi realizada no rio Tocantins, no trecho entre Marabá e Itupiranga, e foi subdividida em: Área 1, P1-P4 (área de Marabá de maior influência antrópica), Área 2, P5-P8 (área

intermediária de menor influência antrópica), Área 3, P9-P12 (área de Itupiranga de maior influência antrópica) (Figura 1). As campanhas de coletas de água foram realizadas durante as estações chuvosa (14/03/2018) e seca (28/08/2018).

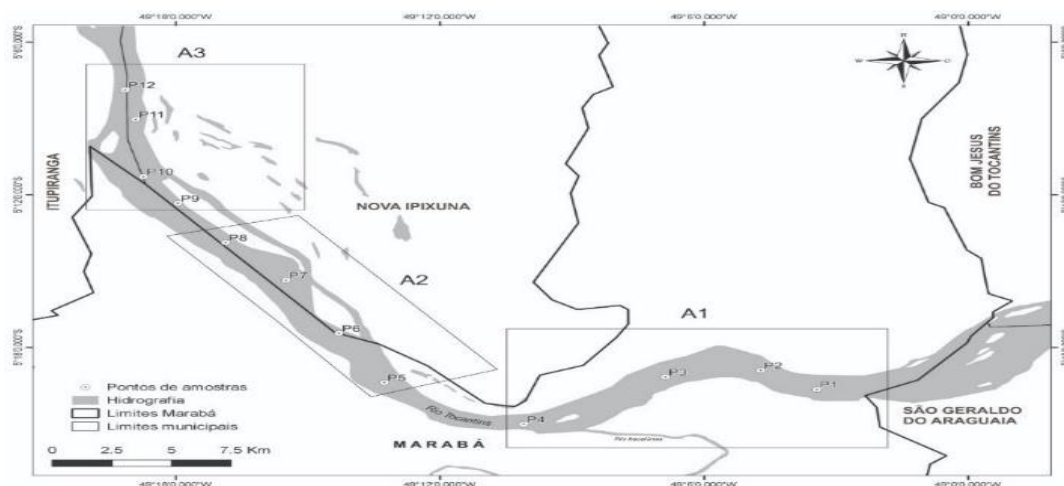


Figura 1 - Mapa de localização dos pontos de amostragem no rio Tocantins, no trecho Marabá - Itupiranga. Área 1, P1-P4 (área de Marabá de maior influência antrópica), Área 2, P5-P8 (área intermediária de menor influência antrópica), Área 3, P9-P12 (área de Itupiranga de maior influência antrópica). Fonte: Autores (2024).

Análises das amostras

As análises das amostras de água foram realizadas nos Laboratórios do Instituto Federal do Pará (Campus - Marabá Industrial) e de Química Ambiental, da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). O potencial hidrogeniônico (pH), temperatura (t°) e oxigênio dissolvido (OD) foram aferidos, mediante uso do método potenciométrico com eletrodo padrão de vidro. Dados de condutividade elétrica (CE) foram obtidos mediante uso do condutivímetro da marca Instrutherm CD-880. Para análise da turbidez (UNT), e sólidos em suspensão (SS), utilizou-se o espectrofotômetro da marca Hach DR/980. A clorofila a foi determinada por extração com acetona e posterior leitura em espectrofotômetro da marca Biochrom, modelo Libra S50. Para análise dos nutrientes, foram utilizadas as seguintes metodologias: a) formação do íon silicomolibdico com mistura redutora (Grasshoff et al., 1999) para o silicato; b) nitrogênio amoniacal foi analisado pelo método da adaptação do Manual of Water e Environmental Technology, D1426-92 (HANNA,

2018); c) nitrito foi determinado pelo método descrito em Grasshoff et al. (1999); d) nitrato foi analisado pela redução por cádmio, pelo método HACH 8171 (APHA, 2017); e) fosfato pelo método de formação do íon fosfomolibdato em meio ácido; e f) o fósforo total pelo método de oxidação com persulfato de potássio (Grasshoff et al., 1999). Para a avaliação do aporte de matéria orgânica (MO) de origem fitoplanctônica, foram analisadas as concentrações de clorofila a através da metodologia de Strickland e Parsons (1972). Após repouso dos filtros na acetona 90 % no congelador por 24 horas, as amostras foram centrifugadas e quantificadas em fluorômetro Turner Designs, modelo AU-10. Os valores relatados pelo fluorômetro antes da acidificação indicam a clorofila a

Análise estatística

A estatística descritiva (máximo, mínimo, média e desvio padrão) foi determinada para todas as variáveis físicas e químicas, e clorofila a. Foram realizados teste de normalidade Shapiro-Wilk e homocedasticidade Levene, os dados que não atenderam as premissas de

Silva, N.M. da; El Robrini, M.; Santos, M.L.S.; Souza, P.H.C, Simão, C. S.

variâncias e normalidade e desta forma foram utilizados o teste de Mann - Whitney (M-W) e para os dados que atenderam as premissas foi utilizado o teste t de Student. O teste não paramétrico de M-W e o paramétrico teste t foram aplicados para verificar se houve diferenças estatisticamente significativas entre as estações seca e de chuvas no rio Tocantins. Para melhorar a detecção de relações não-lineares, os dados foram transformados por raiz cúbica ou log (x + 1) (Legendre & Legendre, 1998). Ambas as análises foram realizadas com o PAST onde também foram feitos gráficos de “violin and box” para melhor observação das variáveis (Hammer et al., 2001).

Localização do trecho de Marabá e Itupiranga

O trecho investigado está localizado no rio Tocantins, no trecho de 35 km entre Marabá e Itupiranga, na região Sudeste do Pará (Figura 2). O acesso a Marabá, ponto inicial de embarque é acessado a partir de Belém, via aéreo, com tempo de 45 min. O acesso pode ser realizado também via rodoviário com um tempo estimado em 8 horas, ou hidroviário (11 horas). Para as atividades de amostragem de água, foi utilizada embarcação regional, com motor.

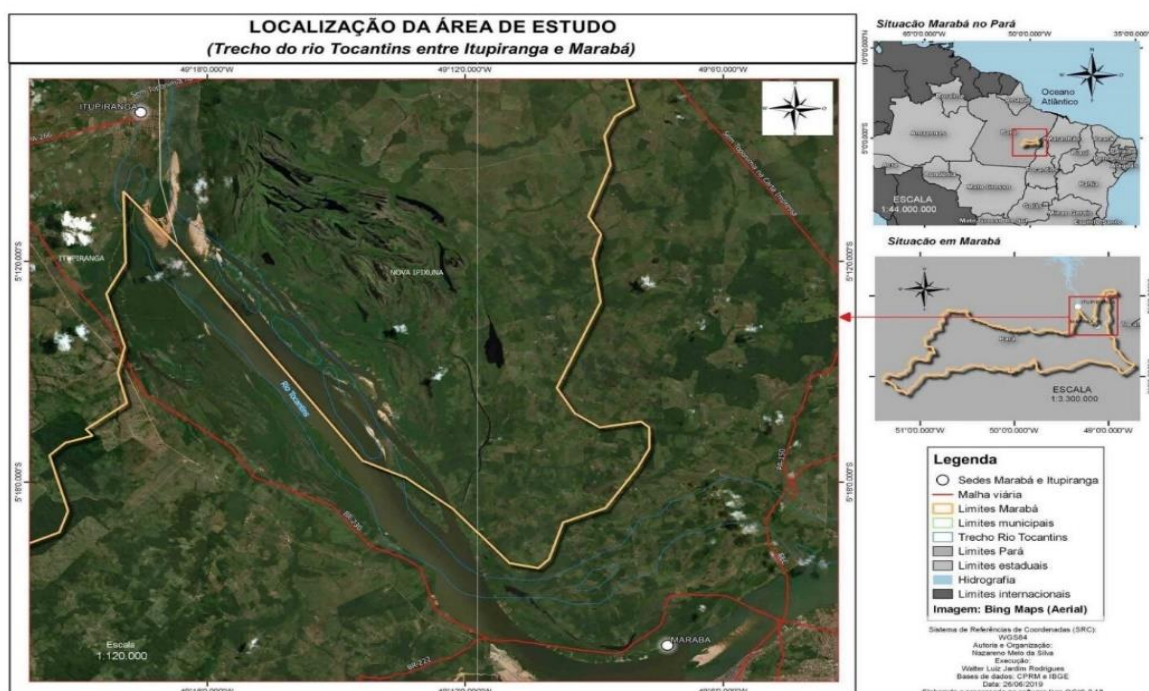


Figura 2 - Mapa de localização do rio Tocantins, no trecho Marabá - Itupiranga. Autores (2024).

Caracterização da região de estudo

O rio Tocantins, tem início nos rios das Almas e Maranhão, as suas nascentes localizam-se na região centro oeste do país, no interior do Distrito Federal (Planalto de Goiás), e percorre 2.400 km até a sua foz na baía do Marajó, próximo a Barcarena (Pará). De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2022), a descarga hídrica média é de $12.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ano⁻¹. Entretanto, a vazão do rio Tocantins na cheia flutua entre $185.185,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (abril) e $76.530,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (maio), e na seca vai de $80.887,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

(novembro) a $14.876,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (setembro) segundo a fonte supracitada (ANA, 2022).

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024), classifica o clima da região como tropical semiúmido (Aw), com temperatura média de 26°C , onde a maior temperatura é de 31°C (mais alta) e 23°C mais baixa (31/12). Define ainda dois períodos climáticos: chuvoso (outubro - abril), com equivalente a 90 % da precipitação, e existência de alguns dias secos entre janeiro e fevereiro, formando o chamado veranico; e seco (maio - setembro), onde a umidade relativa do ar é baixa (INMET, 2024). Entretanto, em 2018, a

umidade relativa do ar, teve o maior pico, no chuvoso, com 93 % e menor índice, no seco com 39 %. A precipitação média, é de 1.600 mm ano⁻¹ (INMET, 2024) e os maiores volumes de chuva, foram nos meses de março (433 mm), fevereiro (426 mm), janeiro (143 mm) e dezembro (129 mm), os meses de abril, junho, outubro e novembro, não apresentaram resultados, enquanto maio, junho, agosto e setembro, tiveram volumes baixos 37 mm, 2 mm, 13 mm e 34 mm, respectivamente. Os ventos, em geral apresentam velocidades médias baixas de 1,30 m s⁻¹ ao longo do ano (INMET, 2024).

No trecho Marabá-Itupiranga, o rio recorta as seguintes rochas: Complexo Bacajá, formado por granulitos migmatíticos e diferentes granitóides (Macambira et al., 2009); Complexo Bacajá (Carneiro, 2010); Formação Couto Magalhães; Formações Grupo Itapeturu e Morrote. Nas margens do rio Tocantins, ocorrem as seguintes unidades geomorfológicas: Planície Aluvial na

margem direita e na região de Marabá; Depressão de Bacajá; Depressão Médio e Baixo Araguaia, segundo a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Geologia de Marabá (CPRM, 2024). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024), o município de Marabá com área de 15.092,268 km² está localizado na região Sudeste do Pará. A população é de 275.086 habitantes, com densidade demográfica de 15,45 hab/km² e índice de desenvolvimento humano (IDH) de 0,668. A captação da água tem como fonte o rio Tocantins (Estação de tratamento de água) e a coleta do esgoto é baixa (31,8 %) conforme dados fornecidos pelo órgão (IBGE, 2024). Foram identificados vários pontos de lançamento de efluentes no rio Tocantins, no trecho entre Marabá e Itupiranga (Figuras 3A, 3C, 3D). No município de Itupiranga, a população é de 53.182 habitantes e densidade demográfica de 6,5 hab/km², com IDH de 0,528 e apenas 8,8 % de rede de coleta de esgoto (IBGE, 2024)(Figura 3).



Figura 03 - A - Lançamento de esgoto na orla de Marabá (A1), B - Extração de areia e seixo dos fundos do rio Tocantins (A1), C - Lançamento de efluentes de áreas agrícolas e industriais (A1), D - Efluentes de atividades pesqueiras em Marabá (A1), E - Comunidade no Lago do Macaco (A2), F - Praia (estiagem) do Tucunaré no rio Tocantins (A1), G - Banco de areia durante a estiagem do rio Tocantins (A3), H - Margem Fluvial de Itupiranga (A3) Autores (2018).

Resultados

Caracterização dos parâmetros físicos e químicos das águas do rio Tocantins

Os parâmetros físicos e químicos, nutrientes e clorofila a das águas do rio Tocantins tiveram variações entre as estações chuvosa e seca nas

Áreas 1 (área de Marabá de maior influência antrópica), 2 (área intermediária de menor influência antrópica) e 3 (área de Itupiranga de maior influência antrópica) (Figura 2), os valores máximos de temperatura, pH e OD, ocorreram durante o período seco, enquanto a turbidez, SS e a CE, foram maiores no chuvoso (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores máximos, mínimos, média e desvio padrão (DP) dos dados obtidos nas águas do rio Tocantins, durante as estações seca (PS) e chuvosa (PC) no trecho Marabá-Itupiranga (2018).

Parâmetros	Máximos		Mínimos		Média ($\pm$) DP	
	PS	PC	PS	C	PS	PC
Temperatura	23,2	20	22,3	18	22,65 $\pm$ 0,28	19,46 $\pm$ 0,50
pH	8,0	6,83	6,01	6,63	6,94 $\pm$ 0,47	6,73 $\pm$ 0,07
OD (mg/L)	9,5	8,92	7,95	5,5	9,04 $\pm$ 0,41	7,84 $\pm$ 1,28
Condutividade (μS/cm)	69,3	45,3	29,9	29	35,12 $\pm$ 1,41	35,89 $\pm$ 5,00
Turbidez (UNT)	8,0	20,0	0,0	9,0	2,58 $\pm$ 2,19	14,17 $\pm$ 3,07
Sólidos em Suspensão (mg/L)	5,00	13,00	0,00	7,00	1,67 $\pm$ 1,83	10,00 $\pm$ 4,24
N-Amoniacal (mg/L)	0,35	1,49	0,14	0,17	0,21 $\pm$ 0,06	0,42 $\pm$ 0,46
Nitrito (mg/L)	0,01	0,49	0,01	0,01	0,01 $\pm$ 0,00	0,12 $\pm$ 0,17
Nitrato (mg/L)	1,0	3,4	0,6	0,7	0,81 $\pm$ 0,14	1,15 $\pm$ 0,72
Fósforo Total (mg/L)	4,0	3,33	0,0	0,13	0,60 $\pm$ 1,52	0,82 $\pm$ 1,21
Silicato (mg/L)	11,7	7,84	0,88	0,54	7,25 $\pm$ 3,96	5,84 $\pm$ 1,88
Clorofila a (mg/m^3)	240,8	4,17	15,7	0,49	72,25 $\pm$ 71,05	2,18 $\pm$ 1,01

A temperatura atingiu o menor índice com 18 °C (estação chuvosa) na Área 2 e 20 °C no seco, oscilou entre 22,3 °C e 23,2 °C na Área 3. A média

foi de 22,65 °C $\pm$ 0,28 (seco), 19,46 °C $\pm$ 0,50 (chuvoso). O pH variou entre 6,63 e 6,83 na estação chuvosa, na Área 3 e entre 6,01 e 8,0 no seco, na

Silva, N.M. da; El Robrini, M.; Santos, M.L.S.; Souza, P.H.C, Simão, C. S.

Área 2, com média de $6,94 \pm 0,47$ (seco) $6,73 \pm 0,07$ (chuvoso). Ressalta-se que apenas no P1/Área 1 (seco), o pH atingiu 8 e os valores estão dentro da faixa estabelecida pelo CONAMA n° 357 (2005) (6,0 - 9,0). A concentração de OD teve valor de $5,5 \text{ mg L}^{-1}$ (chuvoso) na Área 1 e $9,5 \text{ mg L}^{-1}$ (seco) na Área 2, com média de $9,04 \text{ mg L}^{-1} \pm 0,41$ (seco) e $7,84 \text{ mg L}^{-1} \pm 1,2$ (chuvoso). Esses valores estão acima do mínimo estabelecido pelo CONAMA n° 357 (2005). A CE variou entre 29 e $45,3 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$ na Área 1 (chuvoso). Entretanto, durante o seco a CE oscilou entre $69,3$ e $29,9 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$, na Área 1, com média de $35,12 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1} \pm 1,41$ (seco) e $35,89 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1} \pm 5,00$ (chuvoso), destacando o P1, em frente a Marabá (seco), com $69,3 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$, o que confirma anormalidade. A turbidez variou na estação chuvosa, entre 9 UNT (Área 3) e 20 UNT (Área 2). Na estação seca, entretanto a variação foi de 0,00 UNT (Área 2), e 8 UNT (Área 3), tendo a média nas estações chuvosa e seca, respectivamente, de $14,17 \text{ UNT} \pm 3,07$ e $2,58 \text{ UNT} \pm 2,19$. A turbidez está na faixa estabelecida pelo CONAMA n° 357 (2005) (100 UNT). Os Sólidos em Suspensão (SS), na estação chuvosa tiveram variação entre 7 mg L^{-1} e 13 mg L^{-1} na Área 2. Na estação seca, os SS variaram entre $0,00 \text{ mg L}^{-1}$ em dois pontos da Área 1, um da Área 2 e outro da Área 3, e 5 mg L^{-1} em dois pontos da Área 2 e um da Área 3. A média nas estações chuvosa e seca, variou respectivamente de $10 \text{ mg L}^{-1} \pm 4,24$ e $1,67 \text{ mg L}^{-1} \pm 1,83$. No P2, P3, P6 e P11, não houve registro de SS durante o seco, o que comprova que no chuvoso, com a enchente, ocorrem despejos de sólidos através das galerias de águas pluviais e fossas sépticas, além da erosão nas margens do rio Tocantins.

Caracterização dos nutrientes e clorofila a das águas do rio Tocantins

O N-amoniaco variou entre $0,17 \text{ mg L}^{-1}$ (Área 3) e $1,49 \text{ mg L}^{-1}$ (Área 1), na estação chuvosa, no entanto, no seco variou entre $0,14 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,35 \text{ mg L}^{-1}$. A média foi de $0,42 \text{ mg L}^{-1} \pm 0,46$ (chuvoso) e $0,21 \text{ mg L}^{-1} \pm 0,06$ (seco). Esses valores estão abaixo do limite estabelecido pelo CONAMA n° 357 (2005) (2 mg L^{-1}). As concentrações de nitrito tiveram variações sazonais bem acentuadas. Na estação chuvosa ficou entre $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ (Área 1) e $0,49 \text{ mg L}^{-1}$ (Área 1) e no seco, o valor de $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ permaneceu em todo o trecho investigado, demonstrando homogeneidade deste nutriente no rio Tocantins, nessa estação. A média oscilou entre $0,12 \text{ mg L}^{-1} \pm 0,17$ e $0,01 \text{ mg L}^{-1} \pm 0,00$. O nitrato

oscilou entre 0,7 e $3,4 \text{ mg L}^{-1}$ (Área 1), no chuvoso, entretanto no seco foi entre 0,6 e $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ (Área 1). Destaca-se o P2 (Área 1) durante o chuvoso, que teve variação discrepante em relação aos outros valores, $3,4 \text{ mg L}^{-1}$. No restante do rio Tocantins, não houve alterações expressivas. A média foi de $1,15 \text{ mg L}^{-1} \pm 0,72$ (chuvoso) e $0,81 \text{ mg L}^{-1} \pm 0,14$ (seco), sendo abaixo do limite estabelecido (CONAMA n° 357, 2005) (10 mg L^{-1}). O fósforo total sofreu variações na estação chuvosa entre 0,13 (Área 3) e $3,33 \text{ mg L}^{-1}$ (Área 3). No seco, a variação foi de $0,00 \text{ mg L}^{-1}$ (Área 3) e 4 mg L^{-1} (Área 3). A média foi de $0,82 \text{ mg L}^{-1} \pm 1,21$ (chuvoso) e $0,60 \text{ mg L}^{-1} \pm 1,52$ (seco). O silicato oscilou fortemente entre $0,54 \text{ mg L}^{-1}$ e $7,84 \text{ mg L}^{-1}$, na estação chuvosa, e no seco, a discrepância foi maior, $0,88 \text{ mg L}^{-1}$ e $11,7 \text{ mg L}^{-1}$. A média foi de $5,84 \text{ mg L}^{-1} \pm 1,88$ (chuvoso) e $7,25 \text{ mg L}^{-1} \pm 3,96$ (seco). A clorofila a, apresentou variações sazonais discrepantes. Na estação chuvosa, ficou entre $0,49 \text{ mg m}^3$ (Área 2) e $4,17 \text{ mg m}^3$ (Área 1) e no seco $15,7 \text{ mg m}^3$ e $240,7$ (Área 2), com média de $2,18 \text{ mg m}^3 \pm 1,01$ (chuvoso) e $72,25 \text{ mg m}^3 \pm 71,0$ (seco). Os valores ficaram acima do estabelecido pelo CONAMA n° 357 (2005) ($30 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$).

Estatística

A média do pH variou com maior valor na estação chuvosa e menor no seco (Tabela 1), desta forma o pH não mostrou diferença significativa na sazonalidade. A turbidez variou com maior e menor média no chuvoso e seco, respectivamente (Tabela 1). Assim foi constatada uma diferença significativa entre as medianas (M-W; $p < 0,05$) (Figura 4A). A média de OD variou com maior concentração no seco e menor no chuvoso (Tabela 1). Esta variável mostrou diferença significativa entre as estações seca e chuvosa (M-W; $p < 0,05$) (Figura 4B). Com relação aos compostos nitrogenados, o nitrato apresentou maior média no chuvoso e menor no seco, o nitrito obteve maior valor no chuvoso e a menor no seco e, o N-amoniaco teve a maior e menor média representado nas estações chuvosa e seca, respectivamente. Contudo entre os compostos nitrogenados que apresentaram variação significativa entre as medianas foram apenas o nitrito e o nitrato (M-W; $p < 0,05$) (Figuras 4C e 4D). O fósforo total apresentou maior média na estação seca, enquanto o menor valor foi no chuvoso, todavia não foi possível observar variação significativa nesta variável, pois os

Silva, N.M. da; El Robrini, M.; Santos, M.L.S.; Souza, P.H.C, Simão, C. S.

valores permaneceram próximos. A concentração de clorofila a apresentou maior e menor média no seco em seguida no chuvoso (Tabela 1). Desta forma a clorofila a mostrou variação significativa entre as médias (Teste t; $p < 0,05$) (Figura 4E).

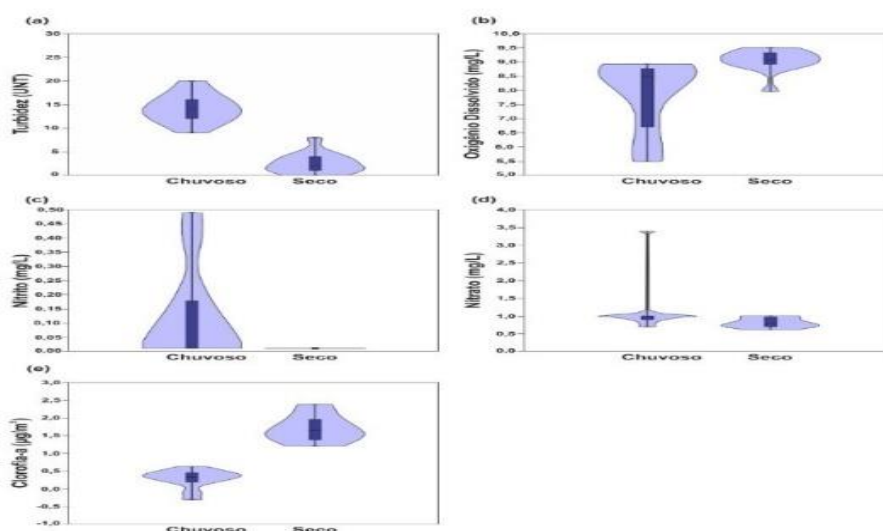


Figura 4 - Gráficos violin e box das variáveis bióticas e abióticas que foram significativas no rio Tocantins (A) turbidez, (B) oxigênio dissolvido, (C) nitrito, (D) nitrato, (E) clorofila a.

Discussão

Parâmetros físico e químicos

A temperatura demonstrou homogeneidade, pelo fato de o rio Tocantins apresentar volume de água considerável, principalmente na estação chuvosa as variações ocorridas no seco, tendem a serem causadas pela diminuição do volume e aumento da temperatura do ar. Ressalta-se, que a temperatura representa uma variável importante, que serve de indicador para parâmetros como pH, CE e OD. Essas pequenas variações entre as duas estações, demonstram que o regime climático está dentro da normalidade.

Os níveis de OD nas águas do rio Tocantins podem ter sido influenciados por diversos fatores relacionados, como: a quantidade de carga orgânica e nutrientes, através de lançamento de esgoto doméstico e/ou industrial, o que é mais intenso na estação chuvosa, contribuindo para o aumento da atividade biológica no ambiente aquático, causando a diminuição no OD disponível. Esse processo pode conduzir a condição de anaerobiose, ocasionando a retardação dos

organismos exigentes e aumentando sua aparição (Braga et al., 2005). Os efeitos da eutrofização nos rios são: ausência de OD, o que provoca a morte de peixes e de invertebrados e liberação de gases tóxicos ou com odores desagradáveis, formação de florações de algas e de cianobactérias e crescimento incontrolável de outras plantas aquáticas (Rocha, 2021). Ressalta-se que a ausência de OD não foi identificada no rio Tocantins, nesta pesquisa. No seco, o índice de OD, foi mais elevado, principalmente em função da diminuição de lançamento de águas residuais no rio Tocantins, o que diminui a proliferação de microrganismos, fator determinante na variação de OD. Os pontos com menores índices de OD foram localizados em frente a Marabá P1 = $6,5 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 1), no entanto, é válido esclarecer que, em águas correntes a baixa concentração de OD em determinados pontos, não indica que a fonte de poluição esteja próxima, mas sim, intermediária. As concentrações de OD aumentam fora da área urbana de Marabá, o que é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais (CETESB, 2024).

O pH está relacionado com os fatores naturais, como dissolução de rochas, absorção de gases atmosféricos, oxidação da MO e fotossíntese,

assim, como a fatores antropogênicos pelo despejo de esgotos domésticos e industriais, devido à oxidação da MO e à lavagem ácida de tanques, respectivamente (Von Sperling, 2017). Nenhum valor de pH, ultrapassou os padrões estabelecidos pelo CONAMA nº 357 (2005), o que significa que as águas do rio Tocantins, estão em condições aceitáveis.

Os SS representam uma variável, de relação direta com a turbidez, pois a presença destes em suspensão ou dissolvidos, contribui para as variações do índice de turbidez, principalmente na estação chuvosa, em decorrência do carreamento de sedimentos para o rio Tocantins. Essa afirmativa é corroborada com a sazonalidade amazônica, pois no inverno, com o aumento do índice pluviométrico, ocorre o alagamento da planície aluvial (cidade pioneira) em Marabá, o que contribui para a descarga de substâncias sólidas. Essas condições foram consideradas também nos resultados de turbidez. Velasco et al. (2006) afirmam que uma das causas frequentes da elevação da turbidez é a erosão do solo nas margens dos rios.

Nesse sentido, a legislação determina (CONAMA nº 357, 2005), que para as classes 2, 3 e 4 o limite seja de 100 UNT, o que de acordo com os resultados, não fora ultrapassada, pois a presença elevada de SS, e consequentemente de turbidez, modifica as condições de iluminação das águas e o alcance da radiação luminosa, influenciando na fotossíntese e no crescimento das plantas aquáticas e plâncton, especialmente em águas paradas ou com baixa velocidade, fatores que não foram identificados no rio Tocantins.

A CE é uma variável relacionada com a concentração de sólidos, principalmente os dissolvidos sendo muito sensível ao lançamento de efluentes o que facilita avaliar a qualidade das águas do rio. Os resultados não foram considerados anormais, apenas o $P1 = 69,3 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Figura 2), acusou valores muito acima da média nos dois períodos sazonais. De acordo com Hermes e Silva (2014), o valor de $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ é utilizado como referência de CE para águas naturais, caracteriza a relação da CE, com o lançamento de substâncias in natura no P1 (Figura 2).

Nutrientes e clorofila a

Os nutrientes tiveram variações sazonais, principalmente o N-amoniacal, nitrito e nitrato, com valores mais elevados nos P1 e P2/Área 1

(Figura 2), no chuvoso, influenciados pela presença dos compostos nitrogenados no rio. Assim, o N-amoniacal, obteve as maiores variações, já o nitrito, não aparece no seco, em decorrência da sua etapa ser de transição e depender da nitrificação do N-amoniacal, o que também diminuiu no seco, e consequentemente o nitrato já mais consolidado aparece de forma mais intensa no seco, pois a sua concentração aumenta, pela diminuição do volume e da profundidade do rio, e contato com os sedimentos de fundo.

O fosfato predomina na Área 1 (Marabá) e Área 3 (Itupiranga) tanto no chuvoso como no seco, com destaque no chuvoso. Nos pontos mais críticos ocorre o lançamento em maior quantidade do fósforo, e aparece em águas de procedências residuais domésticas, e nestas substâncias o principal constituinte é o superfosfato, soma-se a isso, o componente Fecal, que é rico em proteínas (Piveli & Kato, 2006).

Na estação seca, pouca diferença de concentração de nutrientes em relação ao chuvoso, como no N-Amoniacal, no A2 e A3 (Figura 2), Nitrito no A3 (Figura 2), Nitrato no A1, A2, e A3, com exceção do P2 (Figura 2). Isso pode ter sido causado, pela diminuição da vazão de efluentes não tratados. Segundo Lamparelli (2013), Smith e Schindler (2009), o processo de eutrofização pode interferir na alteração, do sabor, do odor, da turbidez, da cor da água, e da redução do OD, provocando crescimento, excessivo de macrófitas, mortandade de organismos aquáticos, e comprometer funções sociais do rio. O fósforo tem origem de fontes naturais (composição de rochas, material particulado na atmosfera e decomposição de organismos alóctonos) e artificiais (dejetos domésticos e industriais, fertilizantes agrícolas).

Sobre o fósforo total, é possível afirmar, que o acúmulo deste na água, favorece o desenvolvimento de algas, e macrófitas, causando eutrofização e aumento da concentração de clorofila a, o que foi identificado neste artigo, pois na maioria dos pontos, nos dois períodos estudados, o fosforo total esteve acima do valor estabelecido pelo CONAMA nº 357 (2005).

O silicato nas águas do rio Tocantins, foi mais elevado na estação seca, devido ao processo de diminuição da diluição do rio, em função da redução do índice pluviométrico. As variações sazonais foram maiores entre os $P1 = 11,4 \text{ mg L}^{-1}$ e $P6 = 11,6 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 2), o que pode ser influenciado pelo lançamento de compostos de sílica no rio Tocantins.

Silva, N.M. da; El Robrini, M.; Santos, M.L.S.; Souza, P.H.C, Simão, C. S.

A clorofila a nas águas do rio Tocantins apresenta-se com concentrações elevadas, acima do estabelecido pelo CONAMA n° 357 (2005), apenas na estação seca, essas variações, podem causar mudanças na qualidade das águas fluviais.

Comparação dos resultados com outras regiões

Para comparar os resultados deste artigo com pesquisas realizadas no rio Tocantins e em outros rios, utilizou-se a média aritmética dos resultados. De acordo com Ferreira et al. (2022), a temperatura das águas do Estuário do rio Pará (29,31 °C) é relativamente mais elevada que na área do artigo (19,92 °C). Nesse caso, não se pode concluir que o valor de temperatura, tenha grande influência no OD, tendo os valores nesse trecho, foram menores do que na área atual.

No Estuário do rio Pará, o fósforo total acusou o valor médio de 0,8 mg L⁻¹ (Ferreira et al., 2022), sensivelmente superior (0,71 mg L⁻¹) a da área de estudo e no rio Corda (0,1 mg L⁻¹), no Maranhã (Cavalcanti et al., 2020). Este fato comprova que a área de Barcarena (Estuário do rio Pará), recebe sensivelmente efluentes. O pH no Estuário do rio Pará (Pará), com 8,54 (Ferreira et al., 2022), e no rio Corda (Maranhão), com 7,5 (Cavalcanti et al., 2020) foi superior ao resultado deste artigo (6,83), demonstrando que a água na área de Barcarena é mais alcalina, do que nos rios Tocantins e Corda. A turbidez com 12,58 UNT (Estuário do rio Pará, Ferreira et al., 2022), ficou um pouco abaixo (13,38 UNT) da concentração deste artigo e 7,47 vezes abaixo da concentração no rio Corda (Cavalcanti et al., 2020). Todos os compostos nitrogenados, nitrito (0,6 mg L⁻¹), nitrato (0,98 mg L⁻¹) e nitrogênio amoniacal (0,31 mg L⁻¹) (Ferreira et al., 2022) foram, relativamente bem superiores a 0,00 mg L⁻¹, 0,15 mg L⁻¹ e 0,99 mg L⁻¹, às concentrações das águas do rio Tocantins (trecho de Marabá-Itupiranga). Entretanto, no rio Corda (Cavalcanti et al., 2020), o nitrito foi e 1 mg L⁻¹ e nitrato de 10 mg L⁻¹. Isso demonstra que as águas no Estuário do rio Pará e no rio Corda, têm maior presença de substâncias ricas em compostos nitrogenados, sendo, mais vulnerável aos esgotos domésticos.

Em comparação com os resultados de Foesch et al. (2020) nos rios Gualaxo do Norte e Carmo, após o rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana (Minas Gerais) em 5/11/2015, pode se observar que o valor da turbidez ficou 26,92 vezes (360,2 UNT) que o do rio Tocantins. Isso se deve em função da alta concentração dos rejeitos de

ferro nestes rios, que apresentaram níveis de contaminação superiores aos estabelecidos pelo CONAMA n° 357 (2005) e afetaram os atributos físico-químicos das águas. De acordo com Borsatto et al. (2010), os compostos nitrogenados das águas do rio Cacao foram altos: nitrito (2,56 mg L⁻¹), nitrato (3,51 mg L⁻¹), nitrogênio amoniacal (86,14 mg L⁻¹), fósforo total (0,196 mg L⁻¹) em relação aos do artigo: nitrito - 0,45 mg L⁻¹, nitrato - 0,525 mg L⁻¹, nitrogênio amoniacal - 0,315 mg L⁻¹, fósforo total - 0,71 mg L⁻¹. O valor de OD no rio Cacao com 8,44 mg L⁻¹ (Borsatto et al., 2010) é quase o dobro no rio Tocantins (4,63 mg L⁻¹), podendo indicar que no rio Cacao, tem-se influência antrópica, e de processos naturais, como a estratificação térmica, densidade de organismos e volume de chuvas.

De acordo com Mata (2010), no rio das Mortes (Bacia Tocantins - Araguaia), apenas o fósforo total (0,196 mg L⁻¹) está em desvantagem em comparação ao do rio Tocantins (0,71 mg L⁻¹). Ressalta-se ainda a ausência de nutrientes, na forma de nitrato e nitrogênio amoniacal na Bacia hidrográfica do Araguaia-Tocantins e nitrogênio amoniacal no rio das Mortes. Neste rio, ainda segundo o mesmo autor, o fósforo 0,01 mg L⁻¹ foi muito abaixo do valor obtido no artigo (0,71 mg L⁻¹). Entretanto, os outros resultados encontram-se em melhores condições, com exceção do OD, que está abaixo dos valores atuais, podendo confirmar que as águas fluviais do rio das Mortes estão em melhores condições de uso.

Influências dos usos das águas na qualidade do rio Tocantins

Ao relacionar os resultados nas áreas de uso e ocupação do rio Tocantins, no trecho de Marabá e Itupiranga, foram identificadas alterações nos parâmetros físicos, químicos e clorofila a. No sítio aquático de extração de areia, houve alteração do fósforo total em Marabá (P1/Área 1 = 3,3mg L⁻¹) e em Itupiranga (P12/Área 3 = 4 mg L⁻¹)(Figura 2) e da clorofila a na Área 2 do rio Tocantins (P5 = 185,55 µg L⁻¹ e P6 = 240,76 µg L⁻¹). Tais valores ficaram acima do estabelecido pelo CONAMA, n° 357 (2005). Entretanto, as alterações do valor do fósforo total no rio Tocantins, não são necessariamente oriundas na sua totalidade da extração de areia, o fósforo total é presente também nos efluentes domésticos e industriais e o seu lançamento em grande quantidade é indicador de proliferação de clorofila a. A mineração em rios

tem efeitos sobre a morfologia dos fundos (aumento do gradiente), erosão, qualidade da água (turbidez, CE), biodiversidade aquática e ribeirinha, solo, paisagem e socioecológicos (Kamboj et al., 2017).

Na região das olarias, houve alteração do valor do fósforo total (P3/Marabá = $0,15 \text{ mg L}^{-1}$ - estação de chuvas). A maior parte dos sítios de extração de argila em Marabá encontra-se degradados, devido ao desmatamento, o que facilita erosão de solos, e liberação de rejeitos, influenciando na microbiota dos solos, responsável na ciclagem de sais nutritivos e mananciais de água, a exemplo das margens do rio Itacaiúnas (Marabá) (Mello et al., 2017).

Em Marabá (Área 1, Figura 2), houve alterações apenas do fósforo total, (P1 = $3,3 \text{ mg L}^{-1}$ - chuvoso, P2 = $0,49 \text{ mg L}^{-1}$ - seco, P3 = $0,15 \text{ mg L}^{-1}$ - chuvoso, P4 = $0,36 \text{ mg L}^{-1}$ - seco) e da clorofila a, P2 = $94,81 \mu\text{g L}^{-1}$ (seco) (Figura 2). A indústria produz compostos, como ácidos e bases, e a descarga deste tipo de efluentes no rio contribuiu na formação de películas superficiais nas águas e depósitos na planície aluvial. A descarga de águas residuárias com elevadas concentrações de MO pode alterar o nível de OD (Carvalho et al., 2007).

Na praia do Tucunaré (Área 1), houve alteração apenas do fósforo total (P4 = $0,36 \text{ mg L}^{-1}$ - seco) (Figura 2), em função de que nesta praia não há estruturas sanitárias. Um dos principais componentes do sabão, o fósforo total, quando em excesso no rio pode provocar alterações da qualidade das águas. eutrofização das águas fluviais é o processo de enriquecimento por sais poluentes como metais pesados. Estes poluentes são caracterizados por sua persistência ambiental. Nesta área, as alterações no nível de clorofila a são em função do lançamento de nutrientes sem tratamento. pode provocar alterações da qualidade das águas.

Na área portuária (Área 1, Figura 2), houve variações de fósforo total (P4/Marabá = $0,36 \text{ mg L}^{-1}$ - seco), em função do lançamento de MO e de resíduos (óleos diesel e lubrificantes), de esgotos sanitários das estruturas flutuantes. Resíduos, efluentes líquidos gerados por embarcações alteram a qualidade da água (Paula et al., 2019).

Na orla dos restaurantes (Área 1), o fósforo total variou (P4/Marabá = $0,36 \text{ mg L}^{-1}$ - seco), em função dos efluentes ricos em MO, que a partir da sua decomposição libera ácido orgânico e, em

seguida, ocorre o processo de liberação de fósforo solúvel.

Considerações finais

O rio Tocantins, pode ser classificado como rio classe 2, pois as suas águas, são destinadas ao consumo humano e proteção das comunidades aquáticas. Os parâmetros físicos, químicos, nutrientes e clorofila a variam em escala de tempo, de acordo com a sazonalidade amazônica e em conformidade com o clima amazônico. Os resultados evidenciaram as variações nos parâmetros das águas durante o período chuvoso, pois há maior descarga de resíduos e efluentes, através do escoamento superficial que carrega a MO e os inorgânicos, lançados sem tratamento no rio, o que tem grande influência nas variações dos resultados.

Os parâmetros de fósforo e clorofila a possui variação em Marabá (Área 1) e Itupiranga (Área 3), sendo um indicador dos efeitos de lançamentos de efluentes a base de detergentes e outros componentes fosfóricos e nitrogenados nessas regiões, além da contribuição do índice pluviométrico e do alagamento nas áreas urbanas.

A análise dos parâmetros físico e químicos, nutrientes e clorofila a mostra que as características da qualidade da água do rio Tocantins sofrem grande influência da pressão antrópica principalmente nas áreas urbanas. No entanto, no período chuvoso, identificou-se o volume de lançamento de substâncias nocivas no rio, como os principais responsáveis da alteração dos padrões de qualidade da água.

O rio Tocantins, no trecho em estudo, passa cada vez mais por pressões antrópicas, na região de Marabá. Entretanto, o rio Tocantins detém grande capacidade de autodepuração, o que lhe garante a capacidade de manutenção de algumas espécies aquáticas, de peixes e de outros animais, além da manutenção da qualidade das suas águas, em níveis aceitáveis.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros (GEMC/CNPQ) e a sua equipe, pelo apoio nas atividades de laboratório; ao Laboratório do Instituto Federal do Pará (Campus - Marabá Industrial) e de Química Ambiental, da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

Referências

- Almeida, E.R.DE, Mendes, S.H.DE, 2015. A Criação de peixe no rio Tocantins: a contribuição da piscicultura para o desenvolvimento local. *Revista São Luis Orione Online*, II (9), 1-14. <https://seer.catolicaorione.edu.br/index.php/revistaorione/article/view/12/10>.
- APHA, AWWA, W.E.F., 2017. Standard methods for examination of water and wastewater. 22nd ed. Washington: American Public Health Association, 1360. <https://www.standardmethods.org/doi/book/10.2105/SMWW.2882>.
- Bentes, K.L.L.M., 2018. Inundações em Marabá: avaliação estratégica para declarar situação de emergência. Dissertação de mestrado em Gestão de riscos e desastres naturais na Amazônia, Programa de Pós-Graduação em Riscos Naturais. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. 63p. https://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/11707/1/Dissertacao_InundacoesMarabaAvaliacao.pdf.
- Agência Nacional de Águas – ANA, 2022. Mapa da Bacia Hidrográfica do rio Tocantins e Araguaia. Disponível em: <http://www.ana.gov.br> Acesso em: 12 de janeiro de 2024.
- Borsatto, J.C.L., Borsatto, M.V., Orlando, J.F.F., Silva, M.F. Da, Silva, D.G.K.C.E., 2010. Análise da qualidade da água nos rios Tocantins e Cacaú no trecho da construção da ponte da Amizade. *Engenharia Ambiental*, 7 (2), 163-177. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:135144743>.
- Braga, B., Hespanhol, I., Conejo, J.G.L., Barros, M.T.L., Spencer, M., Porto, M., Nucci, N., Juliano, N., Eiger, S., 2005. Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável à engenharia Ambiental. 2.ed. Editora Pearson Universidades, 336p. ISBN-108576050412.
- Carneiro, C.De C., 2010. Modelagem espacial de dados aerogeofísicos e interpretação de imagens SAR aplicados ao mapeamento geológico e metalogenético da região central do Domínio Bacajá, Estado do Pará. Tese de Doutorado em Geologia, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, 148p. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1356297>.
- Carvalho, A.P., Cavalcante Silva, D.G.K., Sousa, A.M., Germano, B.C.C., 2007. Diagnóstico da degradação ambiental da bacia do rio Taquari em Araguatins (TO). *Caminhos da Geografia*, 7 (20), 113-129. <https://doi.org/10.14393/RCG82015452>.
- Cavalcanti, K.G. Da S., Silva, D.F. Da, Lima, N.S., Mendonça, R De C., Neto, W.R.N., Silva, R.C., 2020. Quantitative vulnerability assessment of Corda river water basin: impacts of seasonality on water quality in the state of Maranhão. *Ci. e Nat.*, Santa Maria, 42 (2), 1-15. <http://doi:10.5902/2179460X39745>.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo - CETESB, 2024. Manual de implementação de um programa de prevenção a poluição. 2022. Disponível em: <http://www.cetesb.org.br> Acesso em: 24 de fevereiro de 2024.
- Cintra, I.H.A., Juras, A.A., Silva, K.C.A., Tenório, G.S., Ogawa, M., 2009. Apetrechos de pesca utilizados no reservatório da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (Pará, Brasil). *Boletim Técnico-Científico do CEPNOR*, 9, 67-79. <http://doi:10.17080/1676-5664/btcc.v9n1p67-79>.
- Coelho, O.I. Da, Alves, Dos S., Nascimento, L.B., Fernandes, T.V., Oliveira, F. De, 2021. A fauna de peixes do rio Tocantins, Bacia Araguaia-Tocantins: composição, conservação e diversidade. *Acta tecnológica*, [S. l.], 15 (1), 57-80. <http://doi:10.35818/acta.v15i1.897>.
- Chaves, M.L.S.C., Benitez, L.O., 2006. O Certificado do Processo de Kimberley: proposta para subsidiar sua implementação em bases científicas. *Geonomos*, 14, 37-44. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v14i1.120>.
- Choueri, R.B., Azevedo, J.A.R., 2022. Biodiversidade e impacto de grandes empreendimentos hidrelétricos na Bacia Tocantins-Araguaia: uma análise sistêmica. *Soc. nat.*, 29 (3). <https://doi.org/10.14393/sn-v29n3-2017-6>.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, 2005. Resolução nº 357, de 17/03/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e estabelece diretrizes ambientais e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.conama.org.br>. Acesso em: 26 de julho de 2022.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais CPRM, 2024. Geologia de Marabá. Disponível

Silva, N.M. da; El Robrini, M.; Santos, M.L.S.; Souza, P.H.C, Simão, C. S.

- em://http://www.cprm.gov.br/geologia_basica/plgb/maraba Acesso em: 26 de maio de 2024.
- Duarte, V.B.R., Viola, M.R., Giongo, M., Uliana, E.M., Mello, C.R. De, 2022. Streamflow forecasting in Tocantins river basins using machine learning. *Water Supply*, 0 (1), 1-15. <http://doi.org/10.2166/ws.2022.155>.
- Eriksen T.E., Jacobsen, D., Demars, B.O.L., Brittain, J.E., Søli, G., Friberg, N., 2022. Effects of pollution-induced changes in oxygen conditions scaling up from individuals to ecosystems in a tropical river network. *Science of the Total Environment*, 814: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151958>.
- Ferreira, D.P.M., Carneiro, B.S., Marques, L.C.A., El Robrini, M., 2022. Qualidade das águas estuarinas do rio Pará na zona portuária de Vila do Conde (Barcarena/Pará). *Geografia, Rio Claro-SP*, 47 (1), 1-27. ISSN: 1983-8700.
- Foesch, M.D.S., Francelino, M.R., Rocha, P.A., Gomes, A.R.L., 2020. River Water Contamination Resulting from the Mariana Disaster, Brazil. *Floresta e Ambiente*, 27(4), 1-10. <http://doi.org/10.1590/2179-8087.013218>.
- Grasshoff, F.K., Earhart T.M., Kremling, K., 1999. *Methods of seawater analysis*. Nova Iorque: Verlag Chemie. Third, Completely Revised and Extended Edition. 634p. ISBN 3-527-29589-5.
- Habell, J.C., Rasche, L., Schneider, U.A., Engler, J.O., Schmid, E., Rodder, D., 2019. Final countdown for biodiversity hotspots. *Conserv. Lett*, 9p. <https://doi.org/10.1111/conl.12668>.
- Hammer, O., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. Past: Paleontological statistic software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*, 4 (1), 1-9. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf.
- HANNA. Manual of water e environmental technology. Disponível em: <http://www.hanna.com> Acesso em: 24 de outubro de 2018.
- Hermes, L.C., Silva, A.S., 2014. Avaliação da qualidade das águas: manual prático. Embrapa Informação Tecnológica, 55p. https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_analise_agua_2ed.pdf.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2024. Cidades, Informações sociais e econômicas. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/pa/maraba>. Acesso em: 2 de abril de 2024.
- Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de dados Meteorológicos – INMET, 2024. Disponível em: <http://www.inmet.org.br>. Acesso em: 23 de março de 2024.
- Kamboj, V., Kamboj, N., Sharma, S., 2017. Environmental Impact of river Bed Mining - A Review. *International Journal of Scientific Research and Reviews*, 7(1), 504-520. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2024.01.004>.
- Lamparelli, R.A., 2013. Eutrofização em Rios Brasileiros. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia*, 9 (6), 21-65. <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3521>.
- Larsen, T.A., Hoffmann, S., Lüthi, C., Truffer, B., Maurer, M., 2016. Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing. *World Science* (80-), 352, 928-933. <http://doi.org/10.1126/science.aad8641>.
- Legendre, P., Legendre, L.F.J., 1998. *Numerical Ecology*. Elsevier Science, 852p. ISBN: 9780444538680.
- Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 - Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1980-1987/lei-6938-31-agosto-1981-366135>.
- Lourenço, S., Mafra, S., Odali, G., Silva Neto, V., Souza, P., 2016. Diagnóstico ambiental de um fragmento de mata ciliar do rio Tocantins. *Enciclopédia Biosfera*, 13, 1189-1201. <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/1107>.
- Macambira, M.J.B., Vasquez, M.L., Silva, D. C.C., Galarza, M.A., Barros, C.E.M., Camelo, J.F., 2009. Crustal growth of the central-eastern Paleoproterozoic domain, SW Amazonian craton: Juvenile accretion vs. reworking. *Journal of South American Earth Sciences*, 27, 235-246. <http://doi.org/10.1016/j.jsames.2009.02.001>.
- Matta, M.A.S., 2010. Águas superficiais e subterrâneas da bacia Tocantins - Araguaia como subsídio para um estudo de impacto ambiental. *Joint World Congress on Groundwater*, 1-15. <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23912>.
- Mello, A.H., Frota, M.F., Oliveira, G.F., Silva, J.C., 2017. Diagnóstico da degradação ambiental em áreas de extração de argila em Marabá. *Revista Agroecossistemas*, 9 (1), 45-61.

- <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v9i1.4744>.
- Mendes Filho, O.R., Figueiredo, E.S.A., Silva, K.C.A., Cintra, I.H.A., 2022. Characterization of fishermen that integrate the fishing agreement in the middle river Araguaia region, Tocantins, Brazil. *Research, Society and Development*, 9(7): 1-16, <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.45161>.
- Mesquita, E.M.C., Mata, P.A.C., Dasouza, M. DOS S., Souza, M.C.P. DE, Isaac, V., 2021. Fishery regulation or ethnoknowledge? The dilemma of the management of the mapará fisheries on the lower Tocantins river in northern Brazil. *Research, Society and Development*, [S. l.], 10 (11), 1-12. <http://doi:10.33448/rsd-v10i11.18963>.
- Newbold, T., Oppenheimer, P., Etard, A., Williams, J.J., 2020. Tropical and Mediterranean biodiversity is disproportionately sensitive to land-use and climate change. *Nat. Ecol. Evol.*, 19, p. 1630-1630. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-01303-0>.
- Oliveira, G.P., Maia, J.O., Albuquerque, A.R., Junior, A.P., 2019. Influência da urbanização em Área de Preservação Permanente no bairro Filadélfia - Marabá (Brasil). *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 5 (1), 39-54. <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/143/125>.
- Oliveira, V.S. DE, Pantoja, D.A., Mesquita, F.C., 2021. Tocantins river trophic state index on the right margin downstream of the Tucuruí hydroelectric plant/PA. *Brazilian Journal of Development*, 8 (5), 35161-35169. <http://doi:10.34117/bjdv8n5-162>.
- Paula, D.L.M. De, Lima, A.C.De M., Vinagre, M.V. De. A., Pontes, A.N., 2019. Saneamento nas embarcações fluviais de passageiros na Amazônia: uma análise de risco ao meio ambiente e à saúde por meio da lógica fuzzy. *Eng Sanit Ambient*, 24 (2), 283-294. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019150122>.
- Piazza, G.A., Dupas, R., Gascuel-Oudoux, C., Grimaldi, C., Pinheiro, A., Kaufmann, V., 2018. Influence of hydroclimatic variations on solute concentration dynamics in nested subtropical catchments with heterogeneous landscapes. *Science of the total environment*, 635, 1091-1101. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718311549>>.
- Piveli, R.P., Kato, M.T., 2006. Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 285p. ISBN-13: 978-8590589716.
- Prysthon, A., Cunha, C.V. Da, Dias, C.R.G., 2019. The Fishing Productivity Assesment Upstream and Downstream of Tucuruí Hydroelectric Dam, Tocantins-Araguaia basin, Brazil. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 6 (4), 85-92. <http://doi:10.22161/ijaers.6.4.10>.
- Rocha, F.N. da S., 2019. Influência da dinâmica de nutrientes para a eutrofização em corpos hídricos. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente*, 2(2), 91. <https://doi.org/10.51189/rema/1660>.
- Scárdua, M.D., Archanjo, K.M.P.A., Quinto, V.M., Carmo, F.C.A., Louzada, F.L.R.O., Santos, A.R., 2012. Análise comparativa de áreas de preservação permanente de acordo com o código florestal (Lei nº 4771/65) e o substitutivo projeto de Lei nº 1.876/99. *Engenharia Ambiental*, 9 (3), 280-297. <https://www.mundogeomatica.com/Publicacoes/Artigo36.pdf>.
- Serrão, E.A.DE O., 2022. Impactos das mudanças climáticas e do uso da terra na produção hidrelétrica na Amazônia Oriental. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Campina Grande, 143p. <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/25111>.
- Silva C.O. DA, Alves, DOS S., Nascimento, L.B., Fernandes, T.V., Oliveira, F.DE, 2021. A Fauna de peixes do rio Tocantins, Bacia Araguaia-Tocantins: Composição, Conservação e Diversidade. *Acta Tecnológica*, 15 (1), 57-80. <http://doi:10.35818/acta.v15i1.897>.
- Siqueira, E.G.G., Laufger, J., Lolis, S.De F., Marques, E.E., 2020. A Vulnerabilidade das Matas Ripárias diante da construção de grandes empreendimentos hidrelétricos na Bacia do rio Tocantins. *R. Gest. Sust. Ambient*, 9 (1), 375-395. <http://doi:10.19177/rgsa.v9e12020375-395>.
- Smith, V.H., Schindler, D.W., 2009. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends Ecol Evol*, 24(4), 201-207. <http://doi:10.1016/j.tree.2008.11.009>.
- Sousa, F.A.DE, Moura, D.M.B.DE, 2022. Evapotranspiração potencial e sua influência na vazão de rios do Cerrado Brasileiro. *Elisée, Rev.*

- Geo. UEG – Goiás, 11 (1), 1-23. <https://doi.org/10.31668/elisee.v11i1.12475>.
- Strickland, J.D.H., Parsons, T.R., 1972. A Practical Hand Book of Seawater Analysis. Fisheries Research Board of Canada, Bulletin 157, 2nd Edition, 310 p. https://epic.awi.de/id/eprint/39262/1/Strickland-Parsons_1972.pdf.
- Swanson, C., Kaplan, D., Toh, K.B., Marques, E.E., Stephanie A., Bohlman, S.A., 2021. Changes in floodplain hydrology following serial damming of the Tocantins river in the eastern Amazon. Science of the Total Environment, 800, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149494>.
- Tordoff, A.W., Duckworth, J.W., Macfarlane, C., Ravn, M., Tallant, J., 2020. Ecosystem profile. Indo-Burma biodiversity hotspot 2020 update. Critical Ecosystem Partnership Fund, 463p. https://www.iucn.org/sites/default/files/2022-11/indo-burma-wetland-outlook-2022_v4.5_pages-compressed.pdf.
- Velasco, J., Lloret, J., Millan, A., 2006. Nutrient and Particulate Inputs into the Mar Menor Lagoon (SE Spain) from an Intensive Agricultural Watershed. Water Air Soil Pollut, 176, 37-56. <https://doi.org/10.1007/s11270-006-2859-8>.
- Von Sperling, M., 2014. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. 2. ed. Belo Horizonte: DESDA/UFMG, 7, 34p. <https://www.amazon.com.br/Estudos-Modelagem-Qualidade-%C3%A1gua-Rios/dp/8542300807>.
- Von Sperling, M., 2017. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, I, 2º Edição Revisado. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 238p. ISBN-10 854230053.
- Wang, X., Yang, W., 2019. Water quality monitoring and evaluation using remote sensing techniques in China: a systematic review. Ecosystem Health and Sustainability, 47-56. Sociedade & Natureza Print version ISSN 0103-1570 On-line version ISSN 1982-4513.
- Wen, Y.R., Schoups, G., Van De Giesen, N., 2017. Organic pollution of rivers: combined threats of urbanization, livestock farming and global climate change. Sci. Rep. 7, 43289. <https://doi.org/10.1038/srep43289>.