

**SAÚDE E QUALIDADE DA ÁGUA EM UMA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TOCANTINS,
EM IMPERATRIZ - MA**

**HEALTH AND WATER QUALITY IN A SUB-BASIN OF THE TOCANTINS RIVER,
IN IMPERATRIZ - MA**

Aichely Rodrigues da Silva

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Imperatriz, MA, Brasil
aichely.rodrigues@uemasul.edu.br

Marcelo Francisco da Silva

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Imperatriz, MA, Brasil
silvamf@uemasul.edu.br

Ana Carolina de Araújo Mourão

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Imperatriz, MA, Brasil
anamourao.2020000625@uemasul.edu.br

Alana Franco Zanini

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Imperatriz, MA, Brasil
alanazanini.20200009255@uemasul.edu.br

RESUMO

A deficiência em saneamento básico pode resultar em doenças por veiculação hídrica, colocando a saúde da população em risco. O presente estudo objetivou avaliar a qualidade da água pelas variáveis físico, físico-química, nutrientes e biológicas e pela concentração de metais (Fe, Cu e Al) para determinar o grau de contaminação no Riacho Bacuri, bem como o risco para a saúde humana e para a qualidade ambiental. Nesta pesquisa, os pontos de amostragem no Riacho Bacuri foram: nascente (BA1), médio (BA2), foz (BA3) e RM (riacho do Meio – afluente). Para isso, foram realizadas coleta e análise da qualidade da água para determinar parâmetros físicos, físico-químicos e biológicos. O Índice de Qualidade da Água (IQA) classificou esse curso d'água com qualidade ruim em todos os pontos amostrais. Os resultados mostraram que a sub-bacia do Bacuri tem uma característica de qualidade de água ruim, demonstrando que há valores elevados em relação à legislação ambiental e que os metais presentes identificados na água (Al, Fe e Cu) não estavam em limites perigosos para a saúde pública. O Riacho Bacuri não dispõe de saneamento básico, o que é prejudicial para saúde ambiental da população, que está exposta às suas águas pelo contato direto e indireto.

Palavras-chave: Qualidade da Água. Metais. Qualidade ambiental.

ABSTRACT

Poor sanitation can cause water-borne illnesses, which can harm peoples health. The purpose of this study was to look at water quality by physical, physical-chemical, nutrient, and biological variables and the amount of metals (Fe, Cu, and Al) to find out how much the waters of Riacho Bacuri were contaminated. The sampling points in Riacho Bacuri were: source (BA1), middle (BA2), mouth (BA3), and RM (Middle Riacho – tributary) To achieve this, water quality was collected and analyzed to determine physical, physicochemical and biological parameters. The Water Quality Index (WQI) classified this watercourse as poor quality at all sampling points. The results showed that the Bacuri sub-basin has poor water quality characteristics, demonstrating that there are high values in relation to environmental legislation and that the metals present identified in the water (Al, Fe and Cu) are not at dangerous limits for public health. The Bacuri Riacho does not have basic sanitation, which is harmful to the environmental health of the population, which is exposed to its waters through direct and indirect contact.

Keywords: Water Quality. Metals. Environmental quality.

INTRODUÇÃO

A qualidade da água de uma bacia hidrográfica, localizada no estado do Maranhão-Brasil, está associada às condições naturais, existindo fatores com características próprias que são responsáveis por essa qualidade. A extensão dos tecidos urbanos à margem da legislação de uso do solo e associada à especulação imobiliária vem sendo reproduzida por diferentes classes sociais, resultando na ocupação de áreas sem infraestrutura sanitária e causando a degradação da qualidade das águas naturais (MAROTTA; SANTOS; ENRICH-PRAST, 2008). O primeiro fator está relacionado às condições naturais que a bacia hidrográfica apresenta, como o tipo de solo, a existência de vegetação, entre outros. A segunda característica está associada às atividades antrópicas ao longo do percurso do curso d'água: por exemplo, se há centros urbanos, manejo e gestão de resíduos líquidos e sólidos (CEMIN; PERICO; REMPEL, 2009). Muitas vezes, a bacia hidrográfica serve como depósito para o lançamento de fontes poluentes sem tratamento adequado, causadas pela ação antrópica. A presença de elementos na água, como os metais, compromete a qualidade dos corpos hídricos e causa danos à saúde ambiental (ROCHA et al., 2023).

Além disso, a qualidade da água é degradada diariamente pelo lançamento de efluentes domésticos, que contêm contaminantes orgânicos e inorgânicos, nutrientes e microrganismos. Outro fator que contribui para alterar a qualidade da água são os poluentes resultantes do deflúvio superficial agrícola que contaminam as águas através de sedimentos, nutrientes, agroquímicos e dejetos animais. Ressalta-se que a água utilizada para o abastecimento dos centros urbanos possui fatores de qualidade alterados principalmente em locais com falta de saneamento básico. Os fluxos globais de nutrientes de bacias hidrográficas foram estimados em 14,5 Tg ano⁻¹ para nitrogênio (N) e 1,0 Tg ano⁻¹ para fósforo (P), proveniente de atividades humanas, a maioria desses nutrientes são provenientes dos resíduos das atividades antrópicas (TEUBNER JUNIOR; LIMA; BARROSO, 2018).

Já a contaminação dos corpos hídricos pela introdução de metais por meio de atividades humanas no meio urbano altera o equilíbrio ecológico. Os metais pesados apresentam condições naturais muito baixas, destacando-se, por exemplo, o alumínio (Al) e o cobre (Cu) (ALMEIDA et al., 2019). O acúmulo de metal também pode ocorrer pela drenagem urbana, que transporta diversos resíduos para os corpos hídricos. Nesse cenário, cabe mencionar metais que são considerados não biodegradáveis, como é o caso do ferro (Fe), também classificado como um elemento tóxico (ARAÚJO et al., 2015).

A contaminação das águas contribui para a transmissão de doenças de veiculação hídrica que afetam a saúde humana (LIBÂNIO; CHERNICHARO; NASCIMENTO, 2005; ARAÚJO; ZEILHOFER, 2011). Assim, pode-se dizer que cursos d'água contaminados são um dos principais riscos à saúde pública, sendo amplamente conhecida a estreita relação entre a qualidade da água e as inúmeras doenças que afetam a população, especialmente aquelas não atendidas pelo serviço de saneamento básico (MERTEN; MINELLA, 2002; FREITAS et al., 2002). Contudo, a falta de saneamento básico pode levar a doenças transmitidas pela água, colocando em risco a saúde da população.

No que se refere ao conceito de qualidade da água, entende-se que está associada a parâmetros físicos, químicos e biológicos. A qualidade da água é, portanto, determinada pela política regulatória nacional de uso da água, conforme a resolução 357/2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que estabelece parâmetros que definem limites aceitáveis de elementos estranhos com relação aos diferentes usos.

No Brasil, com a crescente demanda populacional, surgiu a necessidade de expansão territorial, e assim foram criadas cidades de grande e médio porte ao longo dos anos. Esta expansão territorial manifesta-se de forma desordenada e traz consequências para o espaço natural, como a poluição dos recursos hídricos, o que modifica a paisagem natural. A cidade de Imperatriz (MA), por exemplo, passou por um processo de urbanização sem planejamento, o que provocou a intensificação da degradação do espaço. Essa realidade de ocupação e mudanças antrópicas se reflete no Riacho Bacuri. Esse corpo hídrico abrange grande parte do perímetro urbano, e a consequência disso é a poluição, pois o riacho recebe diretamente em seu percurso cargas de resíduos domésticos (MENDES NETO; SOARES; LUCENA, 2018).

Considerando os diversos usos e cobertura da terra que ocorrem na bacia hidrográfica do Bacuri, mais de 80% do território é ocupado pela urbanização (SILVA, 2023). Assim, o presente estudo objetivou avaliar a qualidade da água pela variáveis físico, físico-química, nutrientes e biológicas e pela concentração de metais (Fe, Cu e Al), a fim de determinar o grau de contaminação nas águas do Riacho Bacuri, bem como o risco dessas águas à saúde humana e, sobretudo, à qualidade ambiental. Espera-

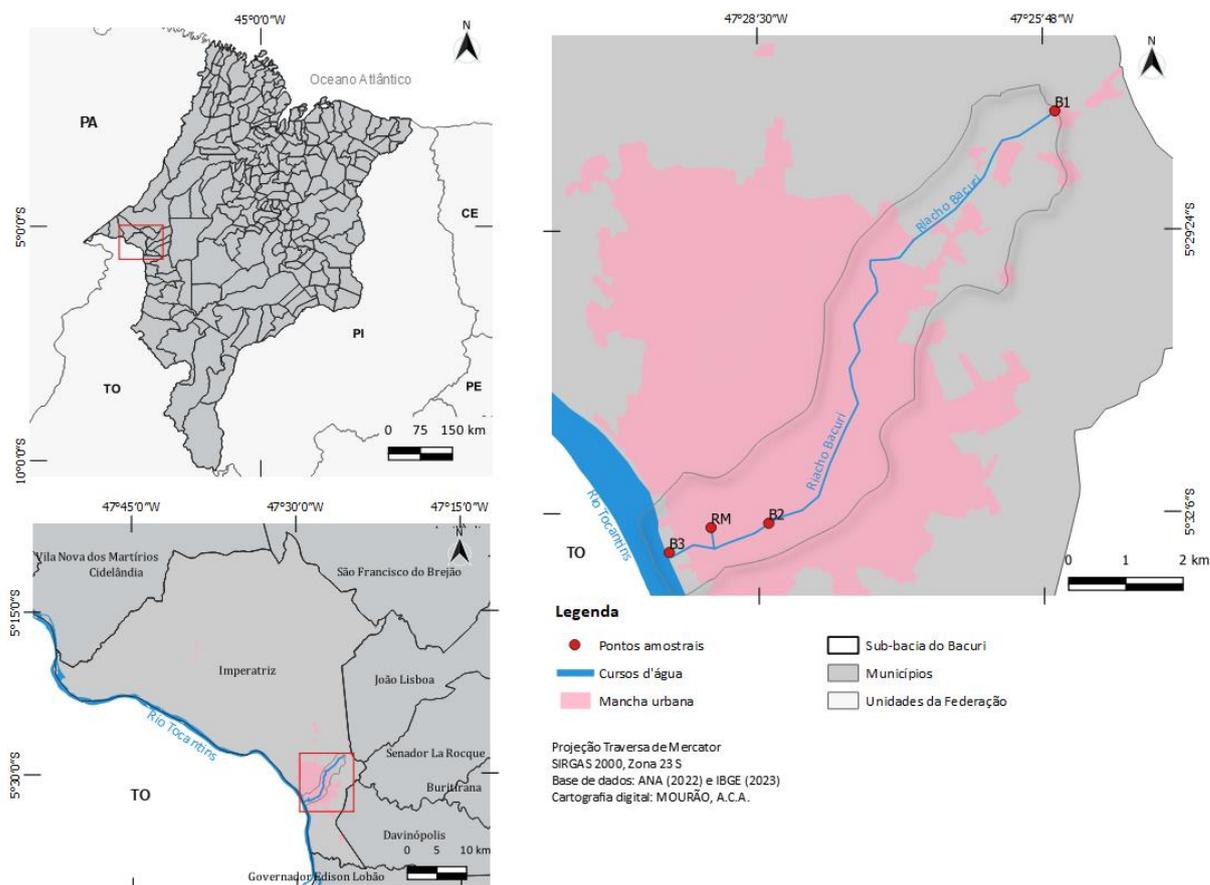
se que essa pesquisa contribua para o progresso do conhecimento sobre a poluição das águas por metais causada pela falta de saneamento adequado em áreas urbanas.

METODOLOGIA

Área de estudo

Nesta pesquisa, foi analisada a sub-bacia do Riacho Bacuri (Figura 1), que possui cerca de 24,9 km². A sub-bacia está inserida no perímetro urbano do município de Imperatriz (MA) e drena cerca de 16 bairros. Esses bairros são densamente povoados, com população de 209.282 pessoas, isto é 77% da população do município (IBGE, 2010), aumentando a degradação da sub-bacia do Bacuri (MENDES NETO, SOARES, LUCENA, 2018; SILVA, 2022). O município é banhado pelo rio Tocantins, no Médio Tocantins, pertencente à bacia Araguaia-Tocantins. O rio Tocantins oferece vários bens e serviços ambientais para a população do município, tais como: provisão (abastecimento urbano, pescado e energia), regulação (clima), suporte (habitat e manutenção da diversidade genética) e cultural (turismo, recreação, beleza cênica e valores espirituais). Em Imperatriz, o rio Tocantins dispõe de nove afluentes: os riachos Cacau, Bacuri, Santa Teresa, Capivara, Barra Grande, Cinzeiro, Angical, Grotão do Basílio e Saranzal.

Figura 1 – Localização da sub-bacia do Riacho Bacuri no município de Imperatriz (MA)



Fonte: Autores (2023).

Além disso, foram avaliados quatro pontos amostrais na sub-bacia hidrográfica do Riacho Bacuri. Na sub-bacia do Riacho Bacuri, foram averiguados quatro pontos de amostragem, sendo eles: B1 (nascente), B2 (médio), B3 (foz) e RM (Riacho do Meio - Afluente), no quadro 1.

Quadro 1 – Pontos amostrais da sub-bacia do Riacho Bacuri, Imperatriz (MA)

| Pontos Amostrais | |
|---|---|
|  <p>O ponto 1 (B1: 5°28'14"S 47°25'28"W, a montante), selecionado na porção superior da bacia hidrográfica, possui menor interferência antrópica, apresenta boas condições de preservação e corresponde ao local da nascente onde a vegetação ciliar e vegetação aquática estão presentes.</p> |  <p>O ponto 2 (B2: 5°32'13"S 47°28'27"W, médio) é a parte intermediária, possui áreas residenciais, especialmente lava-jatos que diariamente despejam produtos químicos no curso d'água. O processo de urbanização nesse local resultou na retirada da mata ciliar, canalização de esgotos domésticos in natura e resíduos sólidos despejados diretamente no corpo hídrico.</p> |
|  <p>O ponto 3 (B3: 5°32'28"S 47°29'20"W, a jusante) está localizado na parte inferior, desaguando no Rio Tocantins, e recebe altas cargas de esgoto doméstico. A espuma branca é do esgoto doméstico.</p> |  <p>O ponto 4, o Riacho do Meio (RM: 5°32'14"S 47°28'57"W), afluente do Riacho Bacuri, possui área impactada pelo recebimento de lançamentos de esgoto <i>in natura</i> e resíduos sólidos devido ao fato de as margens estarem totalmente urbanizadas</p> |

Organização: Autores (2023).

A coleta nos pontos amostrais ocorreu em três momentos: a primeira, em dezembro de 2022; a segunda, em fevereiro de 2023; e a última, em junho de 2023.

Análise e tratamento de dados

A coleta e análise das amostras foram realizadas conforme metodologia de Strickland e Parsons (1972). Os parâmetros analisados foram: temperatura da água (°C), turbidez (NTU), Clorofila-a, com a sonda multiparâmetros Hydrolab DS5 *in loco*. Já em laboratório foram analisadas a demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) pelo método de respirometria; os nutrientes fósforo total pelo método ácido ascórbico (PT); nitrogênio total pelo método brucina (NT); e nitrogênio amoniacal (NH₄) pelo método clorimétrico em espectrofotômetro Nessler. O material foi particulado em suspensão (MPS),

segundo Strickland e Parsons (1972). Já as análises de coliformes termotolerantes e fecais foram realizadas no Laboratório de Limnologia da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) seguindo o método Coli Lerte.

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i} \quad \text{Eq. 1}$$

Quanto ao IQA geral, é calculado pelo produtório das notas individuais de cada parâmetro, escalonadas aos seus respectivos pesos, com valores variando entre 0 e 100 (VON SPERLING, 2009). A classificação do IQA está de acordo com NSF (IGAM-MG), utilizando a equação 1:

Onde: IQA = Índice de Qualidade de Água, variando de 0 a 100; q_i = qualidade do parâmetro i obtido através da curva média específica de qualidade; w_i = peso atribuído ao parâmetro em função de sua importância na qualidade, entre 0 e 1, sendo de: $0 < IQA \leq 25$ (muito ruim); $25 < IQA \leq 50$ (ruim); $50 < IQA \leq 70$ (médio); $70 < IQA \leq 90$ (bom) e $90 < IQA \leq 100$ (excelente).

Para a representação dos resultados da qualidade da água foram utilizados *box-plot* (diagramas de caixa), o que proporcionou a visualização da distribuição dos dados (SCHMULLER, 2019). A seguir é apresentada uma análise descritiva dos dados realizada pelo *software livre RStudio*, esse tipo de software concede liberdade ao usuário para executar, acessar e modificar o código fonte, e redistribuir cópias com ou sem modificações, com o pacote *ggplot2* (WICKHAM, 2018). Essa análise visa representar os dados através de tabelas, gráficos e medidas descritivas de posição, dispersão e distribuição (FERREIRA, 2009). Já o teste Kolmogorov-Smirnov (K-S) foi aplicado para testar a normalidade das amostras com auxílio do pacote *nortest*. Para a análise de correlação, foram utilizados os dados normalizados, representados por correlograma e significância ($p \leq 0,05$) elaborados com os pacotes *Hmisc* e *corrplot* no *RStudio*. A correlação foi testada dado que o coeficiente de correlação (r) varia de -1 a 1. O sinal positivo (azul) ou negativo (vermelho) indica a relação das variáveis, e o valor sugere a força da relação entre as variáveis.

Avaliação de riscos à saúde causados por metais em amostras de água superficial

A análise dos metais foi realizada com a amostra de água superficial bruta, que foi analisada usando a espectrometria de plasma, no aparelho espectrômetro de plasma ICP-EAS 9000 Shimadzu.

A avaliação do risco dos oligoelementos na água para a saúde humana se dá pela quantidade que é absorvida pela digestão e absorvida através da pele (ZENG et al., 2015). A metodologia de Li et al. (2014), Xiao et al (2019), Prasad et al. (2020) e Ustaoğlu, Tepe e Taş (2020) foi utilizada nesta pesquisa nos pontos amostrais da sub-bacia do Bacuri. A concentração da exposição para a média de ingestão direta diária (IDD ingestão) e a média de absorção dérmica diária (ADD dérmica) foram mostradas a seguir, nas equações 2 e 3:

$$IDD \text{ ingestão} = \frac{Cm \times IT \times ABSg \times EF \times ED}{PC \times TM} \quad \text{Eq. 2}$$

$$ADD \text{ dérmica} = \frac{Cm \times Aexp \times Kp \times ET \times ED \times FC}{BW \times AT} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde: $IDD_{\text{ingestão}}$ é a dose de exposição contatada através da ingestão de água, e ADD_{dermal} é a absorção dérmica, $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{dia}$; Cm é a concentração média de metais traço em água, $\mu\text{g}/\text{L}$; IT é a ingestão da taxa (L/dia), sendo 2 para adultos e 0,64 para crianças; EF é a exposição frequência, que, neste estudo, foi de 365 dias/ano; ED é a exposição (anos), que neste estudo foi de 70 para adultos e 6 para crianças; PC é o peso corporal médio (kg), que neste estudo foi de 70 para adultos e 20 para crianças; TM é o tempo médio para não cancerígenos (dias), que neste estudo foi de 25.550 para adultos e 2.190 para crianças; $Aexp$ é a área exposta da pele (cm^2), que neste estudo foi de 18.000

para adultos e 6.600 para crianças; ABSg é o fator de absorção gastrointestinal, que é adimensional. Neste estudo, 20% para Al, 57% para Cu, 1,4% para Fe. Kp é o coeficiente de permeabilidade dérmica na água (cm/h), que neste estudo foi de 0,001 cm/h para Al, Fe, Cu; ET é o tempo de exposição durante o banho, que foi 0,6 h/dia; FC é o fator de conversão da unidade: 1 L/1000 cm³.

Os perigos não cancerígenos são normalmente caracterizados pelo coeficiente de perigo (CP). Já a taxa de perigo é o coeficiente da ingestão diária crônica, ou a dose dividida pelo limiar de toxicidade, que é referido como dose de referência (RfD) de um determinado produto químico. O RfD de ingestão foi conforme descrito por Ustaoglu, Tepe e Taş (2020), sendo: Al (1000 µg/kg/dia), Fe (700 µg/kg/dia) e Cu (40 µg/kg/dia); e RfD dermal como Al (20 µg/kg/dia), 140 (µg/kg/dia) e Cu (8 µg/kg/dia).

$$CP = \frac{IDD}{RfD} \quad \text{Eq. 4}$$

Neste estudo, a possibilidade de efeitos não cancerígenos para um determinado metal foi calculada utilizando um quociente de perigo. Os potenciais riscos não cancerígenos foram avaliados pelo Risco à Saúde (RS). Quando os valores de RS eram maiores que 1, os efeitos não cancerígenos deveriam ser considerados como:

$$\text{Índice de Risco à Saúde (RS)} = \sum_{t=q}^n (IDD_{\text{ingestão}} + ADD_{\text{dermal}}) \quad \text{Eq. 5}$$

Da mesma forma, se o IH fosse maior que 1, o efeito adverso na saúde humana deveria ser considerado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados a seguir incluem parâmetros de qualidade da água e análise de metais em quatro pontos amostrais da sub-bacia do Riacho Bacuri, com os pontos B1 (nascente), B2 (médio), B3 (foz) e RM (Afluente, Riacho do Meio). Os resultados obtidos indicam quais pontos demonstram maior riscos à saúde da população devido às alterações nos parâmetros de qualidade da água.

A qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do Riacho Bacuri e a saúde humana

Nesta pesquisa, o valor do pH, na Figura 2, apresentou resultados entre 7 e 7,5, sendo que apenas B3 (foz) teve valores díspares na amostragem. Para essa variável, o valor máximo encontrado foi no ponto RM, que é afluente, com resultado médio de pH 8,4 na terceira coleta, e mínimo de 6,6 no ponto B1, na primeira coleta. Nos quatro locais de amostragem, o pH apresentou resultados dentro dos valores estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05 para rios de classe 2, que fixa valores entre 6 e 9. O Riacho Bacuri apresentou predomínio da neutralidade com tendência à alcalinidade, com valores para o pH de 7,1 a 8,2 (NASCIMENTO et al., 2015). As melhores condições para a formação de um ecossistema correspondem, portanto, ao pH neutro (CEMIN; PERICO; REMPEL, 2009).

Figura 2 – Diagrama de caixa (*box-plots*) dos valores de pH encontrados nos pontos amostrais da sub-bacia do Riacho Bacuri, Imperatriz (MA)

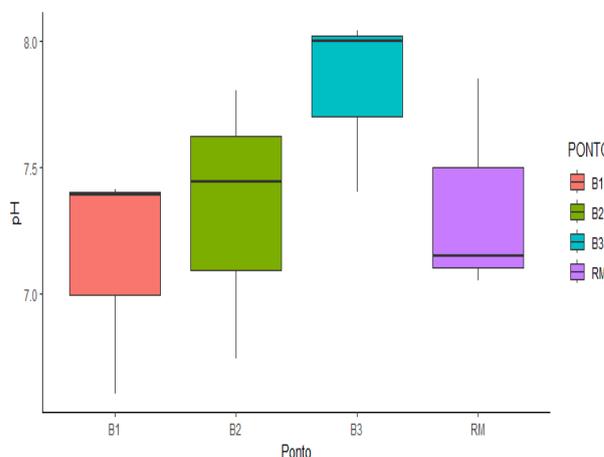
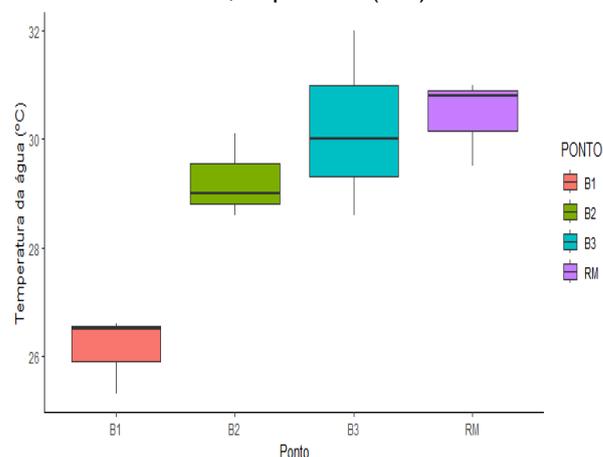


Figura 3 – Diagrama de caixa (*box-plots*) dos valores de temperatura da água (°C) encontrados nos pontos amostrais da sub-bacia do Riacho Bacuri, Imperatriz (MA)



Legenda: B1 (nascente), B2 (médio), B3 (foz) e RM (Riacho do Meio - Afluente).

Fonte: Autores (2023).

A temperatura analisada, na Figura 3, apresentou variações entre os pontos analisados. Nesta pesquisa, a temperatura máxima da água superficial registrada no Bacuri foi de 30°C no ponto B3 (foz), durante o período de estiagem. Nesta pesquisa, o valor mínimo foi de 26°C no ponto B1 (nascente), local onde há a presença da vegetação nativa e mata ciliar, o que corrobora a temperatura mais baixa. A temperatura afeta diretamente a vida aquática porque elevadas temperaturas nos recursos hídricos provocam a dissolução do oxigênio (BRAILE; CAVALCANTI, 1979). A temperatura da água influencia na vida aquática, entre 23°C e 25°C pode causar a mortandade de peixes (HARVEY et al., 2011).

De acordo com a Figura 4, a turbidez no Riacho Bacuri demonstrou valor máximo de 30 NTU no ponto B2. Esse valor pode estar relacionado ao lançamento de efluentes urbanos e à erosão das margens que causam o assoreamento desses cursos d'água. A devastação das matas ciliares contribui para o assoreamento, aumento da turbidez das águas, desequilíbrio no regime das cheias, erosão das margens, além de comprometer a fauna silvestre (OLIVEIRA-FILHO et al., 1994). Vale destacar que o mesmo ponto registrou turbidez de 32,7 UNT na terceira coleta durante o período de veraneio. O valor mínimo foi no B1, com turbidez de 15 UNT. Conforme o CONAMA, resolução 357/05, são permitidas até 100 UNT, os resultados de turbidez dos pontos de amostragem estão dentro do limite aceitável pela legislação.

Outra variável que corrobora para a turbidez foi a concentração de material particulado em suspensão (MPS). Nesta pesquisa, foram encontradas concentrações superiores a 2 mg. L⁻¹, sendo 2,7 ± 0,6 mg. L⁻¹ no B3; seguido de 2,3 ± 1,9 mg. L⁻¹ no B2; e a menor concentração no RM, de 2,0 ± 1,0 mg. L⁻¹. Já o material particulado em suspensão (MPS) inclui sedimentos finos inorgânicos, como a argila e o silte, que são transportados pelos rios (ZALESKI; SCHETTINI, 2006). A concentrações de MPS em águas superficiais variam em de 5 a 50 mg L⁻¹, na sub-bacia do Cacau no município de Imperatriz (MA) (SOUSA et al., 2021).

Figura 4 – Diagrama de caixa (*box-plots*) dos valores de turbidez (UNT) encontrados nos pontos amostrais da sub-bacia do Riacho Bacuri, Imperatriz (MA)

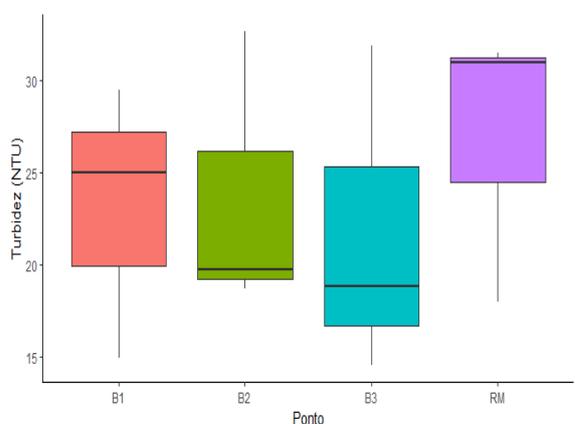
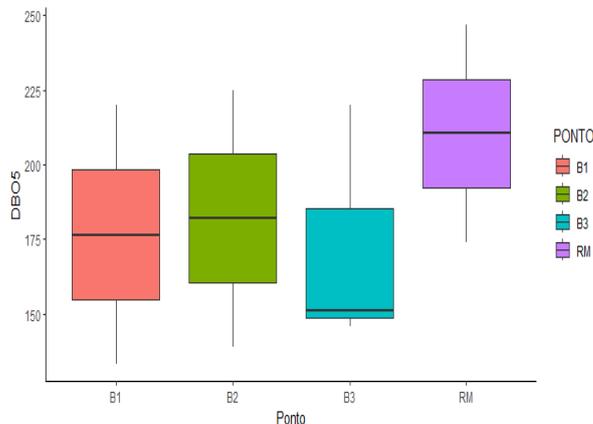


Figura 5 – Diagrama de caixa (*box-plots*) dos valores da demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) encontrados nos pontos amostrais da sub-bacia do Riacho Bacuri, Imperatriz (MA)



Legenda: B1 (nascente), B2 (médio), B3 (foz) e RM (Riacho do Meio - Afluente).
Fonte: Autores (2023).

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) é um parâmetro que indica a quantidade de matéria orgânica biodegradável através da quantidade de oxigênio. Ao analisar a Figura 5, foi possível identificar que o ponto RM obteve valor de DBO₅ de 250 mg/L, enquanto o valor mínimo foi encontrado no B1, com 150 mg/L. Para os limites estabelecidos pelo CONAMA, a DBO₅ dias, a 20°C, até 5 mg/L O₂, isto é, os pontos amostrais estão acima do limite estabelecido. O oxigênio é um dos principais parâmetros para caracterizar os efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos e um dos principais indicadores da qualidade da água, sendo indispensável para a manutenção dos organismos aeróbios e o equilíbrio ambiental (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997; CUNHA; FERREIRA, 2019).

Nas águas residuais domésticas, o fósforo (P) ocorre na forma de compostos minerais, como os polifosfatos e ortofosfatos. Os polifosfatos estão nos detergentes sintéticos, como sabão e detergentes. A análise dos dados de fósforo total (PT) conclui que não estão em conformidade com a resolução 357/05, do CONAMA, que estabelece que o valor do PT deve ser de 0,1 mg. L⁻¹. Observa-se que o PT representado na Figura 8 demonstrou valor máximo no RM (de 21,4 mg. L⁻¹), na segunda coleta. Já o ponto B3 sofreu variação ao longo das três amostragens, e a média de PT foi de 4,6 ± 7,2 mg. L⁻¹.

Quanto aos esgotos domésticos, têm concentração de fósforo de 4 a 50 mg.L⁻¹, com base em uma produção diária de 1 a 3 g por pessoa (QUEVEDO; PAGANIN, 2011). O acúmulo desse nutriente na água favorece o desenvolvimento de algas e macrófitas aquáticas, sendo esse o principal fator limitante da produtividade nos corpos hídricos (BUZELLI; CUNHA-SANTINHO, 2013). A concentração de clorofila-a também foi investigada nesta pesquisa – a maior concentração foi encontrada no ponto B1 (20,2 ± 14,6 µg. L⁻¹), onde são encontradas vitória-régias (macrófitas); e a menor concentração foi no B3, de 2,2 ± 0,7 µg. L⁻¹). A clorofila é considerada o principal indicador de estado trófico, sendo um indicativo da biomassa fitoplânctonica. Vale lembrar que a clorofila-a é o pigmento responsável pela conversão da radiação luminosa em energia e está estreitamente relacionada com a eficiência fotossintética das plantas (CARVALHO et al., 2005). Os efeitos do processo de eutrofização são: anóxia, florescimentos de vegetação aquática, produção de toxinas por algas tóxicas, perda da transparência, alta concentração de matéria orgânica, acesso restrito à pesca e às atividades recreacionais, queda da biodiversidade e complicações para a saúde humana (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

Para o nitrogênio total (NT) nesta pesquisa, conforme mostra a Figura 7, destacam-se valores elevados nos quatro pontos amostrais. O valor máximo no B3 e RM foi de 6 mg. L⁻¹; e mínimo no B1 foi de 2 mg. L⁻¹, indicando contaminação por efluentes domésticos e industriais. Quanto à origem antropogênica do nitrogênio, ele é proveniente de resíduos domésticos e industriais, bem como de excrementos animais e fertilizantes químicos, o que pode indicar o grau de contaminação (VON SPERLING, 1996). A presença de nitrogênio de forma excessiva nos corpos d'água gera crescimento de algas, o que resulta

no processo de eutrofização, que gera o consumo de oxigênio dissolvido no ambiente aquático. Além disso, pode causar doenças ao homem, como a metahemoglobinemia (SCAFF et al., 2020).

Figura 6 – Diagrama de caixa (box-plots), concentração de fósforo total (PT), dos valores encontrados nos pontos amostrais da sub-bacia do Riacho Bacuri, Imperatriz (MA)

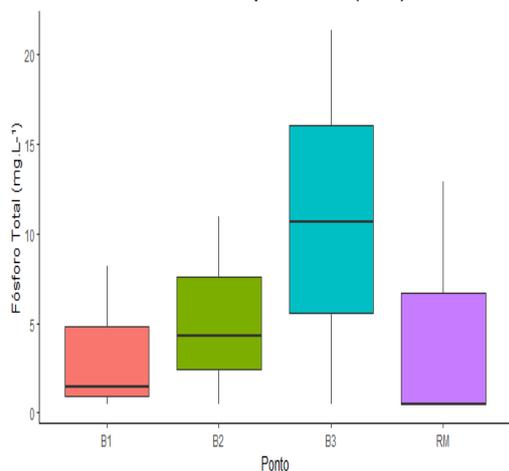
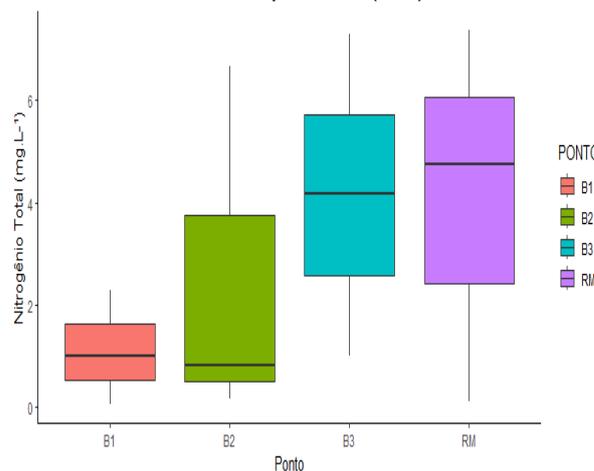


Figura 7 – Diagrama de caixa (box-plots), concentração de nitrogênio total (NT), dos valores encontrados nos pontos amostrais da sub-bacia do Riacho Bacuri, Imperatriz (MA)



Legenda: B1 (nascente), B2 (médio), B3 (foz) e RM (Riacho do Meio - Afluente).
 Fonte: Autores (2023).

Nesta pesquisa, foram realizadas as análises de coliformes fecais e coliformes tolerantes nos três períodos de amostragem. Os valores para coliformes tolerantes foram menores no B1 (366,0 NMP), e os demais pontos tiveram valores superiores a 4.839 NMP. O mesmo cenário foi encontrado para os coliformes fecais, com B1 de 35,8 NMP; e nos demais pontos o valor foi de 4.839 NMP. A *Escherichia coli* pertence ao grupo dos coliformes termotolerantes que são utilizados como indicadores da presença de organismos patogênicos na água (SILVA, 2010). Alguns deles produzem enterotoxinas, que causam a diarreia, uma doença de origem alimentar grave. Os coliformes são indicadores de contaminação fecal, e sua presença nos esgotos domésticos, quando são lançados de forma inadequada, contribui para a contaminação das águas superficiais (MARTINS; SILVA, 2017).

Na sub-bacia do Riacho Bacuri, o IQA foi considerado ruim, com valores entre 30 e 50. Os menores (IQA 30, no período de estiagem) foram encontrados no B2, no médio Bacuri; e a melhor IQA, no B1 (IQA 50, no período chuvoso), corroborando os valores das demais variáveis analisadas nesta pesquisa (Tabela 1). Este resultado demonstra que as águas do Bacuri são impróprias para tratamento convencional, necessitando de tratamentos avançados para o consumo.

Tabela 1 – Índice de Qualidade da Água (IQA) aplicado nos pontos amostrais da sub-bacia do Riacho Bacuri, Imperatriz (MA)

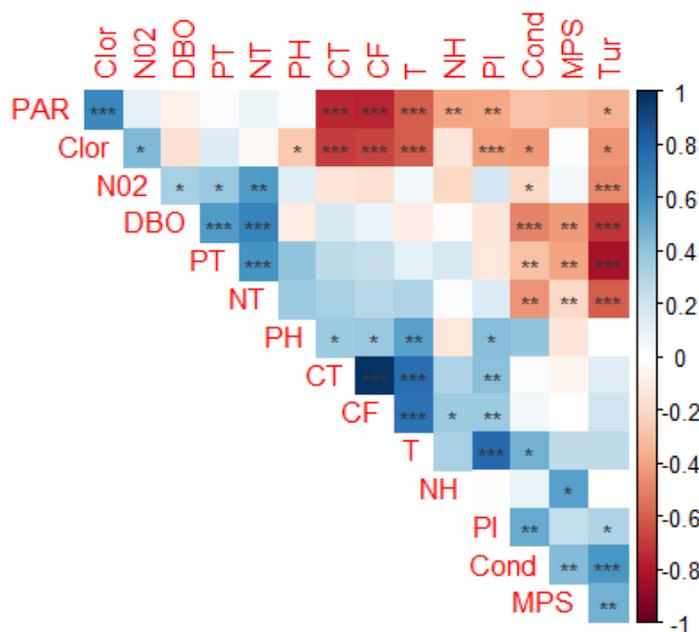
| IQA | B1 (nascente) | B2 (médio) | B3 (foz) | IQA |
|----------|------------------|---------------|-------------|------|
| Chuvoso | 50 | 31 | 33 | ruim |
| Estiagem | 44 | 30 | 32 | ruim |

Fonte: Autores (2023).

Nesta pesquisa, foi aplicado o teste de normalidade para variáveis não paramétricas de qualidade da água, pois o teste de Kolmogorov-Smirnov demonstrou valores de D: 0,102 e P: 0,98. Já as variáveis

que foram positivamente fortes (azul) foram PAR e clorofila-a, além de fósforo total (PT) e nitrogênio total (NT). A correlação positiva do protocolo de avaliação rápida (PAR), que é a análise da condição ambiental do meio e nutrientes e clorofila-a, pode indicar o processo de eutrofização na sub-bacia do Bacuri. O processo de eutrofização é o enriquecimento de nutrientes e matéria orgânica (MO) que resulta na excessiva proliferação de algas em corpos d'água. O processo de eutrofização antropogênica se tornou uma das principais preocupações da atual sociedade, pois, esse estresse avança com o crescimento populacional nas cidades, os usos múltiplos e a falta de saneamento adequada. Esse processo é dominado pelas cianobactérias, que produzem toxinas prejudiciais à saúde humana.

Figura 8 – Correlograma das variáveis de qualidade da água na sub-bacia do riacho Bacuri, Imperatriz (MA)



Nível de significância = *0,001, **0,01, ***0,05

Legenda: Protocolo de avaliação rápida (PAR), clorofila-a (Clor), NO₂ (nitrito), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total (PT), nitrogênio total (NT), pH, coliformes termotolerantes (CT), coliformes fecais (CF), temperatura (T), nitrogênio amoniacal (NH₄), fósforo inorgânico (PI), condutividade (Cond), e material particulado em suspensão (MPS).

Fonte: Autores (2023).

Neste estudo também foi encontrada correlação positiva entre coliformes fecais e temperatura da água superficial, conforme Figura 8, indicando os fatores ambientais que influenciaram na população microbiana (FREITAS et al., 2017). Já a correlação negativa forte aconteceu entre PAR, coliformes fecais, coliformes termotolerantes e temperatura da água, que são variáveis que não integram a avaliação da paisagem ribeirinha.

A presença de metais na água superficial na sub-bacia hidrográfica do Riacho Bacuri e a saúde humana

Nesta pesquisa, a maior concentração de Al foi detectada no RM ($2,79 \pm 0,03 \text{ mg.L}^{-1}$); e a menor, no B1, corroborando as demais variáveis nesses pontos amostrais, conforme demonstrado na Tabela 2. Quanto aos limites estabelecidos pelo CONAMA, o limite máximo para o alumínio em águas doces é de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ no RM. Esse elemento apresenta concentração 27,9 vezes superior ao aceitável pela legislação ambiental. Considerando que o valor máximo exigido pelo CONAMA para Fe é de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ para o padrão de qualidade da água, apenas o B1 e B2 apresentaram concentração superior ao permitido. De acordo com essa mesma legislação, o valor para cobre é de $0,013 \text{ mg.L}^{-1}$.

Tabela 2 – Concentração de metais (mg.L^{-1}), média e desvio padrão, na água superficial na sub-bacia do Riacho Bacuri – Imperatriz (MA)

| | B1 | B2 | B3 | RM |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Al | 0,06±0,00 | 1,37±0,04 | 2,50±0,04 | 2,79±0,03 |
| Fe | 1,37±0,23 | 0,58±0,39 | 0,23±0,11 | 0,30±0,20 |
| Cu | 0,01±0,00 | 0,01±0,00 | 0,01±0,00 | 0,01±0,00 |

Legenda: Al (alumínio), Fe (ferro) e Cu (cobre),
 B1 (nascente), B2 (médio), B3 (foz) e RM (Riacho do Meio - Afluente).
 Fonte: Autores (2023).

A ingestão direta e a absorção dérmica são consideradas vias comuns de exposição humana a metais em água superficial (LI et al., 2010). Nas análises de metais realizadas no Riacho Bacuri, foram encontrados Al, Fe e Cu. Para determinar os efeitos de risco não cancerígenos dos metais pesados para a saúde de adultos e crianças, foi aplicado o coeficiente de perigo (HQ) e índice de perigo (HI). De acordo com a Tabela 3, em relação à ingestão direta, há maior risco em crianças, principalmente para o Al e Fe, nos quatro pontos amostrais. Para a absorção dérmica, neste estudo, os pontos B2 e B3 foram maiores para o Al; e o B2 para Cu. Vale ressaltar que a ingestão diária de água contaminada com excesso de Al pode levar a doenças como o mal de Alzheimer e a Esclerose Lateral Amiotrófica (OLIVEIRA et al., 2005). As pessoas que sofrem com doenças renais têm dificuldade em eliminar o alumínio do corpo, resultando em acúmulo ocasionando danos ósseos e cerebrais (JAISHANKAR et al., 2014).

Tabela 3 – Quociente de perigo causado pela presença de metais na água superficial em adultos e crianças (mg. L^{-1}) na sub-bacia do Riacho Bacuri – Imperatriz (MA)

| Ponto | Al | | Fe | | Cu | |
|--------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| | ADULTO | CRIANÇA | ADULTO | CRIANÇA | ADULTO | CRIANÇA |
| B1 | 2,07E-11 | 2,75E-10 | 1,27E-11 | 1,69E-10 | 1,56E-12 | 3,31E-12 |
| B2 | 3,89E-10 | 5,17E-12 | 5,37E-12 | 3,71E-10 | 1,56E-12 | 8,09E-11 |
| B3 | 3,24E-10 | 4,31E-12 | 2,13E-12 | 2,83E-11 | 1,56E-12 | 2,06E-11 |
| RM | 6,91E-10 | 2,99E-12 | 2,78E-12 | 3,70E-11 | 1,56E-12 | 2,06E-11 |

Legenda: B1 (nascente), B2 (médio), B3 (foz) e RM (Riacho do Meio - Afluente).
 Fonte: Autores (2023).

O risco à saúde humana causado pelo alumínio em adultos foi elevado no RM, afluente do Bacuri, com $6,91\text{E-}10 \text{ mg. L}^{-1}$. Para as crianças, destaca-se o ponto B2, que constatou risco à saúde de $5,17\text{E-}12 \text{ mg. L}^{-1}$ (Tabela 4). O ponto B1, que corresponde à nascente do Bacuri, demonstrou o menor valor em crianças ($2,75\text{E-}10 \text{ mg. L}^{-1}$) e adultos ($2,07\text{E-}11 \text{ mg. L}^{-1}$).

Já o Fe, de acordo com a Tabela 4, apresentou presença mais significativa no B2 para o risco à saúde em adultos, com resultado de $5,37\text{E-}12 \text{ mg. L}^{-1}$. Esse ponto está localizado na área central da cidade de Imperatriz, região onde são descartados diariamente resíduos sólidos, em especial de material de construção e eletrônicos. O risco à saúde causado pelo Fe em crianças foi maior no ponto B2. Diante do exposto, a ingestão de ferro através da água contaminada pode prejudicar a saúde humana. As

crianças são altamente suscetíveis a toxicidade ao Fe podendo provocar problemas gastrointestinais, vômito e diarreia (JAISHANKAR et al, 2014). Quanto ao Fe dissolvido no Riacho Bacuri, estava em desconformidade com a resolução 375 do CONAMA, na pesquisa de Nascimento *et al.* (2015).

Tabela 4 – Risco à saúde (RS) causado pela presença de metais na água superficial em adultos e crianças na sub-bacia do Riacho Bacuri – Imperatriz (MA)

| | Ponto | Al | | Fe | | Cu | |
|--|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | Adulto | Criança | Adulto | Criança | Adulto | Criança |
| Coeficiente de perigo pela ingestão direta | B1 | 1,82E-11 | 2,38E-10 | 1,12E-11 | 1,46E-10 | 1,43E-12 | 1,43E-12 |
| | B2 | 3,43E-13 | 4,48E-12 | 4,73E-12 | 6,19E-11 | 1,43E-12 | 1,87E-11 |
| | B3 | 2,86E-13 | 3,73E-12 | 1,88E-12 | 2,45E-11 | 1,43E-12 | 1,87E-11 |
| | RM | 2,29E-13 | 2,99E-12 | 2,45E-12 | 3,20E-11 | 1,43E-12 | 1,87E-11 |
| Coeficiente de perigo pela média de absorção dérmica | B1 | 2,46E-12 | 3,68E-11 | 1,51E-12 | 2,26E-11 | 1,29E-13 | 1,88E-12 |
| | B2 | 4,63E-14 | 6,93E-13 | 6,39E-13 | 3,09E-10 | 1,29E-13 | 6,22E-11 |
| | B3 | 3,86E-14 | 5,78E-13 | 2,53E-13 | 3,80E-11 | 1,29E-13 | 1,93E-12 |
| | RM | 3,09E-14 | 4,62E-13 | 3,31E-13 | 4,95E-11 | 1,29E-13 | 1,93E-12 |

Legenda: B1 (nascente), B2 (médio), B3 (foz) e RM (Riacho do Meio - Afluente).
Fonte: Autores (2023).

Na tabela 4, fica claro que o risco à saúde causado pela presença do cobre (Cu) na água superficial era maior para as crianças do que para os adultos nos pontos B2, B3 e RM. Nas crianças, a ingestão de Cu poderia ser maior no B2, com 8,09E-11 mg. L⁻¹ em comparação aos adultos. Ambos os pontos amostrais resultaram no mesmo valor de 1,56E-12 mg. L⁻¹. Vale ressaltar que a ingestão de elevadas concentrações de Cu pode levar a doenças como insuficiência hepática (CASALI, 2008). As concentrações dos metais indicam que há contribuição antropogênica associada à litologia da região, o que, juntamente com a sazonalidade e as fontes difusas e pontuais, contribui para a deterioração desses corpos hídricos (NASCIMENTO et al., 2015). A ingestão de metais no corpo humano pode acontecer através do consumo de água ou alimentos contaminados. E, embora alguns metais sejam importantes para a saúde humana, como o cobre e o ferro, deve-se considerar que a ingestão excessiva leva à toxicidade e coloca em risco a saúde.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Perante os resultados obtidos, os parâmetros de qualidade da água mostram que a temperatura no ponto B3 está elevada, o que provocou a dissolução do oxigênio. Essa alta temperatura pode causar anóxia no ambiente aquático, resultando na mortandade da fauna aquática. A turbidez, DBO₅ e o nitrogênio total também apresentaram resultados superiores aos estabelecidos pela resolução 357/2005 do CONAMA. Esses valores elevados são resultados do lançamento de esgoto sem tratamento na sub-bacia do Riacho Bacuri. Esse fato é corroborado com as concentrações de nitrogênio total e nitrogênio amoniacal, que apresentaram elevadas concentrações no Bacuri.

A qualidade da água foi determinada pelo IQA em todos os pontos e foi considerada ruim, sendo uma água imprópria para consumo humano. Contudo, é importante que haja monitoramento dos parâmetros

físico, físico-químicos e biológicos, para que se tenha equilíbrio ambiental e se previnam doenças por veiculação hídrica na população ribeirinha.

Para análise dos metais presentes na água superficial, como alumínio, ferro e cobre, esta pesquisa assumiu que crianças e adultos ingerem a água e têm contato com ela através da pele. Como resultado, os valores de absorção dérmica, ingestão da água e índices HQ e HI ficaram abaixo de 1, portanto, o uso do Riacho Bacuri não representa um potencial perigo à saúde de adultos e crianças em relação aos metais. O Riacho do Meio (RM) foi o ponto que resultaria na maior ingestão de alumínio e ferro em adultos. Nas crianças, os resultados obtidos demonstram os maiores valores na ingestão de cobre. Para esse mesmo elemento, a ingestão em adultos seria relativamente igual em todos os pontos de análise. Por fim, com base nos resultados obtidos, é necessário ter atenção maior à ingestão desses elementos, pois estão presentes nas águas superficiais, como mencionado anteriormente, e o excesso desses metais ameaça a saúde humana.

Sob o viés social, o processo de urbanização na sub-bacia do Riacho Bacuri trouxe consigo problemas socioambientais como a poluição das águas, já que a mata ciliar deste curso d'água foi substituída pela urbanização desordenada e pela ausência de saneamento básico no perímetro urbano de Imperatriz-MA. Essa conjuntura resulta na proliferação de doenças na população ribeirinha que está diariamente exposta à contaminação da água, do solo e do ar.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMA, pela bolsa de iniciação científica e ao Laboratório de Limnologia da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M.; PAPANDREA, P.; CARNEVALI, M.; ANDRADE, A.; CORREA, F.; ANDRADE, M. Destinação do lixo eletrônico: impactos ambientais causados pelos resíduos tecnológicos. **Revista Científica E-Locução**, v.1, n.7, p. 17. 2015.
- ARAUJO, G. C.; ZEILHOFER, P. Padrões espaciais da qualidade da água na bacia do Rio Cuiabá e Rio São Lourenço - Mato Grosso. **Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 7, n. 13, p. 55–70, 2011. <https://doi.org/10.14393/Hygeia717036>
- BRAILE, P. M.; CAVALCANTE, J. E.W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1979, 761p.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 357, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências de 17 de março de 2005. Brasília, 2005.
- BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.8, n.1, p.186-205, 2013. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.930>
- CARVALHO, M. S. de et al. Concentração de metais no rio Doce em Mariana, Minas Gerais, Brasil. **Acta Brasiliensis**, [S.l.], v. 1, n. 3, p. 37-41, 2017. <https://doi.org/10.22571/Actabra13201758>
- CASALI, C. A. et al. **Qualidade da água para consumo humano ofertada em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo. Universidade Federal de Santa Maria – Rio Grande do Sul. 2008. 173p.
- CEMIN, G.; PERICO, E.; REMPEL, C. Composição e configuração da paisagem da sub-bacia do Arroio Jacaré, Vale do Taquari, RS, com ênfase nas áreas de florestas. **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, p. 265-277, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000400013>
- CUNHA, C. de L. da N.; FERREIRA, A. P. Análise crítica por comparação entre modelos de qualidade de água aplicados em rios poluídos: contribuições à saúde, água e saneamento. **Eng Sanit Ambient.**, v.24 n.3, p. 473-480, 2019. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019112332>
- FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. 2 ed.rev. Lavras: Ed. UFLA, 2009. 664p.
- FREITAS, F.; NEIVA, G. S.; CRUZ, E. S. da et al. Qualidade microbiológica e fatores ambientais de áreas estuarinas da Reserva Extrativista Marinha Baía do Iguape (Bahia) destinadas ao cultivo de

ostras nativas. **Eng Sanit Ambient.**, v. 22, n.4, p, 723-729, 2017. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016153707>

FREITAS, V. P.; BRÍGIDO, B. M.; BADOLATO, M. I. C.; ALABURDA, J. Padrão físico-químico da água de abastecimento público da região de Campinas. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 61, n. 1, p. 51–8, 2002. <https://doi.org/10.53393/rial.2002.61.35018>

HARVEY, R.; LYE, L.; KHAN, A.; PATERSON, R. The influence of air temperature on water temperature and concentration of dissolved oxygen in Newfoundland rivers. **Canadian Water Resources Journal**, v. 36, n. 2, p. 171-192, 2011. <https://doi.org/10.4296/cwrj3602849>

IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios** (PNAD). 2010. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br> . Acesso em: 28 set. 2023.

JAISHANKAR, M.; TSETEN, T.; ANBALAGAN, N.; MATHEW, B. B.; BEEREGOWDA, K. N. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. **Interdiscip Toxicol.**, v. 7, n. 2, p. 60–72. 2014. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>

LI, Z.; MA, Z.; KUIJP, T. J. van; YUAN, Z.; HUANG, L. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment. **Science of the total environment.**, v. 468-469, p. 843-853, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.090>

LIBÂNIO, P. A. C.; CHERNICHARO, C. A. de L.; NASCIMENTO, N. de O. A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, p. 219-228, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522005000300006>

MAROTTA, H.; SANTOS, R. O. dos; ENRICH-PRAST, A. Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais. **Ambiente & Sociedade**, v. 11, n.1, p. 67-79, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2008000100006>

MARTINS, J. B.; SILVA, L. M. S.; ANDREANI, D. I. K. Coliformes no rio São Manoel (MG) durante o período chuvoso. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.8, n.3, p.78-87, 2017. <https://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.003.0008>

MENDES NETO, J. Á.; SOARES, Z. T.; LUCENA, V. B. Identificação de pontos de degradação na trajetória do Riacho Bacuri na cidade de Imperatriz – Maranhão. **Revista Educação Ambiental em Ação**, n. 48, p. 1-10, 2018.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável**, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002.

NASCIMENTO, B. L. M. 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. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000113620>

OLIVEIRA, A. J. et al. Coliformes Termotolerantes: bioindicadores da qualidade da água destinada ao consumo humano. **Anais... IV Simpósio em Saúde Ambiental**, São Paulo, 2015. Disponível em: <https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/ASA/article/view/949/880>. Acesso em: 01 nov. 2023.

OLIVEIRA, S. M. R. et al. Nível sérico de alumínio: influência da água e de alimentos ingeridos por pacientes com insuficiência renal crônica mantidos em hemodiálise. **J Bras Nefrol**, v. 27, n. 3, 2005.

OLIVEIRA-FILHO, A.T.; ALMEIDA, R.J. de; MELLO, J.M. de; GAVILANES, M.L. Estrutura fitossociológica e variáveis ambientais em um trecho de mata ciliar do córrego Vilas Boas, Reserva Biológica do Poço Bonito, Lavras (MG). **Revista Brasileira de Botânica**, v.17, n.1, p.67-85, 1994.

PRASAD, S.; SALUJA, R.; JOSHI, V.; GARG, J. K. Heavy metal pollution in surface water of the Upper Ganga River, India: human health risk assessment. **Environ. Monit. Assess**, v. 192, p. 742-757, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08701-8>

QUEVEDO, C. M. G. de; PAGANINI, W. da S. Impactos das atividades humanas sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente e seus reflexos na saúde pública. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, n. 8, p.3529-3539, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232011000900021>

ROCHA, J. S.; GIRÃO, F. A. L.; MENDES, L. S. A. dos S.; GIRÃO, D. de C.; MAGALHÃES, G. V. V.; LIMA, A. C. A. de; BARROSO, P. M. Bioacumulação de metais pesados em peixes: impactos sobre a saúde humana e meio ambiente. **Ciência Animal**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 40–43, 2023.

SCAFF, J. E. R. S. et al. Prevalência e fatores relacionados à metahemoglobinemia em indivíduos da atenção básica de Anápolis-Go. **Braz. J. of Develop.**, v. 6, n. 7, p. 44270-44280, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-153>

SHUMULLER, J. **Análise estatística com R**. Rio de Janeiro: Altas Books, 2019. 448p.

SILVA, A. R. da. Análise da paisagem em um afluente do Rio Tocantins no município de Imperatriz - MA. **Revista Contexto Geográfico**, v. 7, n. 15, p. 134–146, 2023. <https://doi.org/10.28998/contegeo.7115.14441>

SILVA, N. et al. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. 4.ed. São Paulo: Varela, 2010. 624 p.

SOUSA, M. J. A.de; GONÇALVES, M. F.; OLIVEIRA, J. D. de; LOPES, C. K. S. Índice de qualidade da água da sub-bacia do Riacho Cacaú, Portal da Amazônia Imperatriz- MA. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, e45510212631, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12631>

STRICKLAND, J. D. H.; PARSON, A. **A practical handbook of seawater analysis**. Fisheries Research Board of Canada, 1971, 167p.

TEUBNER JUNIOR, F. J.; LIMA, A. T. M.; BARROSO, G. F. Emission rates of nitrogen and phosphorus in a tropical coastal river basin: a strategic management approach. **Environ Monit Assess**, v. 190, n. 741-20, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7101-9>

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

USTAOĞLUA, F.; TEPEA, Y.; TAŞ, B. Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: A combined approach using statistical analysis and water quality index. **Ecological Indicators**, v.113, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105815>

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu-SP. **Eclética Química**, v. 22, p. 49-66, 1997. <https://doi.org/10.1590/S0100-46701997000100005>

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 2009.

WICKAM, H. **Package ggplot2** – create elegante data visualizations using the grammar of graphics, version 3.1. Disponível em: <https://ggplot2.tidyverse.org/reference/ggplot2-package.html>. Acesso: 31 out, 2023.

XIAO, J.; WANG, L.; DENG, L.; JIN, Z. Characteristics, sources, water quality and health risk assessment of trace elements in river water and well water in the Chinese Loess Plateau. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 2004–2012, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.322>

ZALESKI, A. R.; SCHETTINI, C. A. F. Procedimentos para calibração de perfiladores acústicos de corrente por efeito doppler para a determinação da concentração de material particulado em suspensão na água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 3, p. 191-200, 2006. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v11n3.p191-200>

ZENG, X., LIU, Y., YOU, S., ZENG, G., TAN, X., HU, XINJIANG, HU, XI, HUANG, L., LI, F. Spatial distribution, health risk assessment and statistical source identification of the trace elements in surface water from the Xiangjiang River, China. **Environ. Sci. Pollut.**, v. 22, n. 12, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-4064-4>