


**ANÁLISE DE CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS EM UMA UNIDADE DE
CONSERVAÇÃO DA REGIÃO AMAZÔNICA, EM REGIÃO INSULAR DE BELÉM, PARÁ,
BRASIL**

**ANALYSIS OF HEAVY METAL CONCENTRATIONS IN A CONSERVATION UNIT IN THE
AMAZON REGION, IN THE INSULAR REGION OF BELÉM, PARÁ, BRAZIL**

**ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS EN UNA UNIDAD DE
CONSERVACIÓN DE LA REGIÓN AMAZÓNICA, EN LA REGIÓN INSULAR DE BELÉM,
PARÁ, BRASIL**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n8-126>

Data de submissão: 12/07/2025

Data de publicação: 12/08/2025

Carlos José Capela Bispo

Doutorando em Ciências Ambientais

Instituição: Universidade do Estado do Pará

E-mail: capela@uepa.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2399-3140>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1082753191579268>

Hebe Morganne Campos Ribeiro

Doutora em Engenharia Elétrica

Instituição: Universidade do Estado do Pará

E-mail: hebemcr@uepa.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7154-9947>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2399134205919272>

Eder Silva de Oliveira

Doutor em Agronomia

Instituição: Universidade do Estado do Pará

E-mail: ederso@uepa.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2560-2214>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2581670135236908>

Elane Cristina Melo Lemos

Doutoranda em Ciências Ambientais

Instituição: Universidade do Estado do Pará

E-mail: derriseliptica@yahoo.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4468-7276>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6274223064540335>

Heloiza Santos Borges

Doutoranda em Ciências Ambientais

Instituição: Universidade do Estado do Pará

E-mail: santosheloiza@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6846-419X>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6289753068734772>

Lucas Mateus Coelho Nunes

Doutorando em Ciências Ambientais

Instituição: Universidade do Estado do Pará

E-mail: lucasmateusnunes13@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2978-0624>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9071005514566104>

RESUMO

A ilha do Combú, pertence a capital do estado do Pará, na cidade de Belém, é uma Área de Proteção Ambiental (APA), habitada por comunidades ribeirinhas e sujeita a pressões ambientais urbanas e turísticas. Com o objetivo de analisar as concentrações de metais pesados em águas superficiais do rio Guamá em toda a ilha, as amostras de água foram coletadas em nove pontos distintos, durante os períodos chuvoso (junho/2023) e menos chuvoso (maio/2024), sendo analisadas quanto à concentração de nove metais, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, utilizando espectrometria de emissão atômica com plasma induzido (ICP-OES). A qualidade da água foi avaliada por meio do Índice de Qualidade da Água do CCME (IQA-CCME), adaptado para metais pesados, com base nos limites da Resolução CONAMA n.º 357/2005. Os resultados revelaram que todos os pontos foram classificados como de "qualidade ruins", com predomínio de Al, Fe e Mn acima dos limites legais. Observou-se que as concentrações foram significativamente maiores no período menos chuvoso ($p < 0,05$), indicando influência sazonal. Os fatores naturais, como o pH ácido e a geologia local (latossolos com óxidos de ferro e alumínio), associados à decomposição de matéria orgânica e à maior interação entre sedimento e coluna d'água, explicam parte da contaminação observada. Fatores antrópicos, como o deficiente saneamento básico de Belém, o crescimento urbano desordenado e o turismo não regulamentado, intensificam a degradação ambiental, contribuindo para a contaminação das águas. A presença contínua desses metais, mesmo em concentrações variáveis, indica um quadro preocupante de poluição por metais pesados, representando risco ecológico, comprometendo a fauna aquática e potencialmente afetando a saúde humana, exigindo ações urgentes de gestão ambiental, com fiscalização e monitoramento contínuo para a proteção da biodiversidade local e da saúde das comunidades ribeirinhas.

Palavras-chave: Qualidade da Água. Contaminação. Ilha do Combú. Águas Superficiais.

ABSTRACT

The island of Combú, which belongs to the capital of the state of Pará, in the city of Belém, is an Environmental Protection Area (APA), inhabited by riverside communities and subject to urban and tourist environmental pressures. In order to analyze the concentrations of heavy metals in the surface waters of the Guamá River throughout the island, water samples were collected at nine different points, during the rainy (June/2023) and less rainy (May/2024) periods, and analyzed for the concentration of nine metals, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn, using induced plasma atomic emission spectrometry (ICP-OES). Water quality was assessed using the CCME Water Quality Index (IQA-CCME), adapted for heavy metals, based on the limits of CONAMA Resolution 357/2005. The results showed that all the points were classified as "poor quality", with a predominance of Al, Fe and Mn above the legal limits. It was observed that concentrations were significantly higher in the less rainy period ($p < 0.05$), indicating a seasonal influence. Natural factors, such as the acidic pH and the local geology (latosols with iron and aluminum oxides), associated with the decomposition of organic matter and the greater interaction between sediment and the water column, explain part of the contamination observed. Anthropogenic factors, such as Belém's poor basic sanitation, disorderly urban growth and unregulated tourism, intensify environmental degradation, contributing to water contamination. The

continued presence of these metals, even in varying concentrations, indicates a worrying picture of heavy metal pollution, representing an ecological risk, compromising aquatic fauna and potentially affecting human health, requiring urgent environmental management actions, with inspection and continuous monitoring to protect local biodiversity and the health of riverside communities.

Keywords: Water Quality. Contamination. Combú Island. Surface Water.

RESUMEN

La isla de Combú, perteneciente a la capital del estado de Pará, en la ciudad de Belém, es un Área de Protección Ambiental (APA), habitada por comunidades ribereñas y sometida a presiones ambientales urbanas y turísticas. Para analizar las concentraciones de metales pesados en las aguas superficiales del río Guamá en toda la isla, se recogieron muestras de agua en nueve puntos diferentes, durante los períodos lluvioso (junio/2023) y menos lluvioso (mayo/2024), y se analizaron para la concentración de nueve metales, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn, utilizando espectrometría de emisión atómica de plasma inducido (ICP-OES). La calidad del agua se evaluó mediante el Índice de Calidad del Agua CCME (IQA-CCME), adaptado para metales pesados, basado en los límites de la Resolución 357/2005 de la CONAMA. Los resultados mostraron que todos los puntos fueron clasificados como de "mala calidad", con predominio de Al, Fe y Mn por encima de los límites legales. Las concentraciones fueron significativamente mayores en el período menos lluvioso ($p < 0,05$), indicando una influencia estacional. Factores naturales, como el pH ácido y la geología local (latosoles con óxidos de hierro y aluminio), asociados a la descomposición de la materia orgánica y a una mayor interacción entre el sedimento y la columna de agua, explican parte de la contaminación observada. Factores antropogénicos, como el deficiente saneamiento básico de Belém, el crecimiento urbano desordenado y el turismo no regulado, intensifican la degradación ambiental, contribuyendo a la contaminación del agua. La presencia continua de estos metales, incluso en concentraciones variables, indica un cuadro preocupante de contaminación por metales pesados, representando un riesgo ecológico, comprometiendo la fauna acuática y afectando potencialmente la salud humana, requiriendo acciones urgentes de gestión ambiental, con inspección y monitoreo continuo para proteger la biodiversidad local y la salud de las comunidades ribereñas.

Palabras clave: Calidad del Agua. Contaminación. Isla de Combú. Aguas Superficiales.

1 INTRODUÇÃO

A água doce pode ser definida como um recurso natural vital que deve ser protegido para que esteja disponível em quantidade e qualidade adequada a seus respectivos tipos de uso (Pradinaud *et al.*, 2018). Apesar de essencial à vida, a água doce encontra-se vulnerável à perda de suas características naturais e à degradação de sua qualidade devido a fatores como superexploração, poluição e mudanças no uso da terra (Pereira & Santos, 2021).

Nesse sentido, dada a função de suporte que a água doce fornece na sustentação de ecossistemas, agricultura, indústria, dessedentação de animais e do consumo humano, a gestão sustentável dos recursos hídricos é indispensável tanto para o meio ambiente, quanto para a economia e para a sociedade (Mishra, 2015; Srivastava & Sahgal, 2023).

Entre os instrumentos de gestão sustentável da água, há o monitoramento que permite identificar, entre outros aspectos, os níveis de poluição e a presença de metais pesados nos recursos hídricos (Sbai *et al.*, 2024). O monitoramento da qualidade da água auxilia ainda na avaliação da contaminação causada pela urbanização, industrialização e atividades antrópicas, permitindo a verificação da conformidade com os limites permitidos estabelecidos por legislações ambientais (Roy, Bhunia & Bandyopadhyay, 2024).

As legislações que versam sobre índices e parâmetros de qualidade de água são de grande relevância visto que a poluição dos corpos d'água pode causar sérios riscos aos seres vivos (Singh, 2023). Estudos recentes demonstram que a flora e fauna aquática são significativamente afetadas pelos poluentes presentes na água e que as consequências não se limitam a organismos que habitam nesses ambientes, mas também se estendem aos ecossistemas terrestres o que, consequentemente, afeta toda a cadeia alimentar, incluindo a saúde humana (Shekhar, 2024; Dhanara, 2024; Sahoo, Sahu & Baitharu, 2024).

Entre os poluentes que podem causar alterações na qualidade da água, pode-se destacar os metais pesados que não são facilmente degradáveis, se acumulam no meio ambiente e podem atingir níveis tóxicos nos organismos vivos (Raghav *et al.*, 2022). As fontes de poluição por metais pesados incluem descargas industriais, escoamento agrícola, mineração e esgoto não tratado (Singh, 2022).

Esses metais podem interromper as funções biológicas e causar problemas de saúde, como distúrbios gastrointestinais, problemas neurológicos e câncer (Dhiman, 2024; Ingole *et al.*, 2021). Em países onde não há um gerenciamento sustentável de todas as bacias hidrográficas, como é o caso do Brasil, as comunidades estão mais vulneráveis aos impactos ambientais decorrentes da poluição hídrica, sobretudo àquelas que possuem contato mais próximo com a água, devido à cultura e ao modo de vida, como ocorre com as populações tradicionais da Amazônia (Cardoso, Santos & Lobato, 2023).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar as concentrações de metais pesados em águas superficiais do rio Guamá, em região correspondente à Área de Proteção Ambiental (APA) da Ilha do Combú, no estado do Pará, local onde residem muitas comunidades ribeirinhas.

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

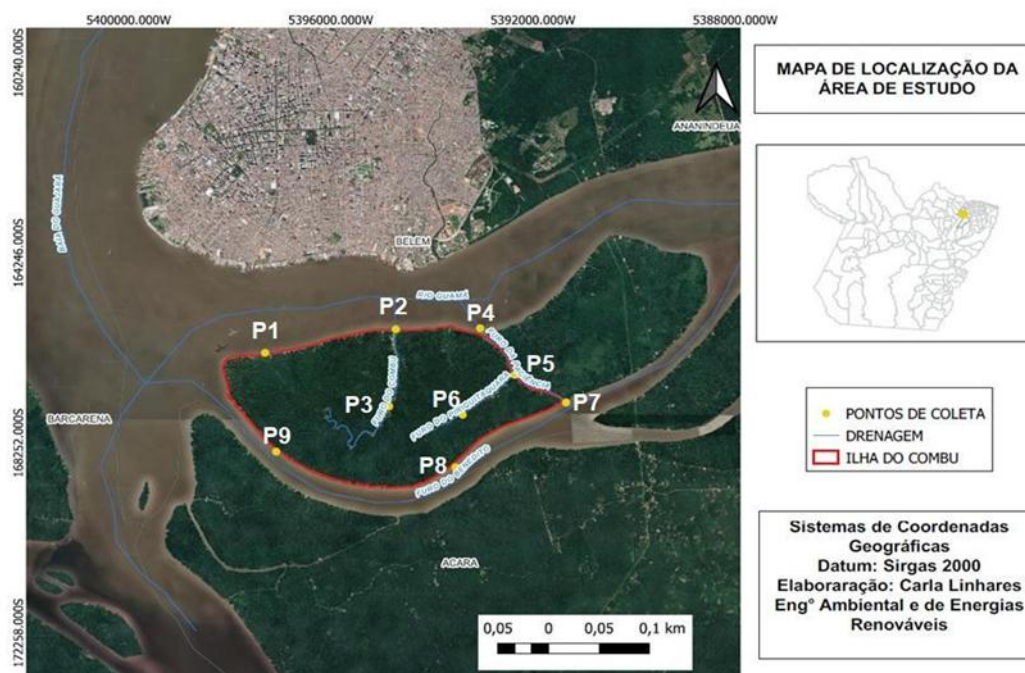
O estudo foi realizado na Área de Proteção Ambiental Ilha do Combú, unidade de conservação de uso sustentável instituída em 1991, situada no município de Belém, capital do Estado do Pará (IBGE, 2019). Localizada a aproximadamente 1,5 km ao sul do centro urbano de Belém, às margens do rio Guamá, a Ilha do Combú constitui a quarta maior ilha do município, com uma extensão territorial estimada em 16 km².

A área é caracterizada por ecossistemas típicos de várzea, apresentando um mosaico ecológico composto por formações florestais e corpos hídricos interligados. A população residente na ilha é estimada em cerca de 1.500 habitantes, distribuídos, em sua maioria, em comunidades ribeirinhas (IDEFLOR-BIO, 2018)

2.2 COLETA DE DADOS

Os locais de amostragem, pontos de coletas (Figura 1), foram posicionados estrategicamente nas águas adjacentes à ilha do Combú, estabelecidos em nove pontos geograficamente distintos e amostrados em triplicata (A, B, C). Os pontos foram georreferenciados através do sistema de posicionamento de satélite Global Position System (GPS) e identificados (Tabela 1) sendo, rio guamá, furo da Paciência, furo do Benedito, igarapé Combu e igarapé Piriquitaquara.

Figura 1- Localização da área de estudo no Área de Proteção Ambiental Ilha do Combú, Belém.



Fonte: Carla Linhares, 2025

Tabela 1- Descrição dos pontos de coleta de águas superficiais na ilha do Combú.

Pontos	Coordenadas Geográficas	Descrição
P1	1°29'38.7"S 48°29'13.5"W	Em frente a cidade de Belém, no rio Guamá
P2	1°29'22.5"S 48°27'41.9"W	Em frente a cidade de Belém, no rio Guamá, entrada do furo do Combú
P3	1°30'15.5"S 48°27'45.9"W	No interior do furo do Combú
P4	1°29'25.9"S 48°26'44.4"W	No rio Guamá, entrada do furo da paciência
P5	1°29'53.9"S 48°26'25.7"W	Furo da paciência, entrada do furo do piriquitaquara
P6	1°30'21.3"S 48°26'59.0"W	No interior do furo do piriquitaquara
P7	1°30'12.0"S 48°25'53.2"W	Na confluência do furo da paciência com furo do benedito
P8	1°30'57.4"S 48°27'04.7"W	Furo do benedito, em frente para o município do Acará
P9	1°30'28.0"S 48°29'14.7"W	Furo do benedito, se aproximando do município de Barcarena

Fonte: Autores, 2025.

As coletas ocorreram em dois períodos sazonais distintos, em junho de 2023 e maio de 2024, correspondendo a períodos de maior e menor precipitação, respectivamente (INMET, 2024). A escolha dos momentos de coleta considerou a Tábua de Marés da Marinha do Brasil, com amostragens realizadas durante a baixa-mar/vazante para considerar a influência das atividades antrópicas na qualidade da água. Os procedimentos seguiram o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da CETESB (2011), com apoio logístico do Corpo de Bombeiros Militar do Pará (CBMPA).

As amostras de água foram coletadas a 20–30 cm da superfície, utilizando balde plástico, e acondicionadas em frascos de 500 mL devidamente identificados. Posteriormente, foram armazenadas em caixas térmicas com gelo reciclável e transportadas ao Laboratório de Qualidade de Água da Amazônia – LabÁgua, da Universidade do Estado do Pará (UEPA), no Parque de Ciência e Tecnologia Guamá, para análise dos metais pesados.

2.3 ANÁLISE DE DADOS

2.3.1 Determinação dos metais pesados

Para a preservação e técnica de amostragem, seguiram-se os procedimentos estabelecidos na norma NBR 9898 (ABNT, 1987). As análises laboratoriais foram conduzidas conforme os padrões internacionais definidos pelo Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater (APHA, 2017). Foram determinados nove elementos metálicos por meio da técnica de espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), utilizando o equipamento Agilent Technologies, modelo ICP OES-5800.

A quantificação dos metais pesados nas amostras de água envolveu a digestão em micro-ondas, realizada no digestor Milestone Easy Ethos, conforme o método EPA 3515A. Para isso, foram retiradas alíquotas de 45 mL de cada amostra, às quais foram adicionados 5 mL de ácido nítrico concentrado (HNO₃) em tubos de Teflon. Após repouso, as amostras passaram pelo processo de digestão completo, com uma rampa térmica programada em três etapas: aquecimento de 0 a 150°C em 10 minutos a 1800 W, aumento de 150°C a 175°C em 15 minutos a 1800 W, manutenção de 175°C por 10 minutos e ventilação por 50 minutos.

A determinação final dos metais pesados foi realizada no espectrômetro ICP-OES, com quantificação baseada em curvas de calibração externas de três pontos, utilizando padrão multielementar contendo todos os analitos a serem quantificados nas amostras (Selmi *et al.*, 2021).

2.3.2 Análise do Índice de Qualidade da Água

A avaliação da qualidade da água com base na presença de metais pesados foi realizada por meio do Índice de Qualidade da Água do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CCME WQI – Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index), metodologia amplamente aceita pela comunidade científica nacional e internacional e que, neste estudo, foi adaptada para avaliar a presença metais no corpo hídrico estudado (Chabuk, *et al.*, 2023; Silveira, 2018; Almeida, 2014).

As concentrações medidas em diferentes pontos de amostragem foram comparadas aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, Classe 2 (Tabela 2), destinada à proteção da biota aquática e à recreação de contato primário, classe a que pertence a porção do Rio Guamá que se encontra nos limites da Área de Proteção Ambiental Ilha do Combú.

A metodologia do IQA-CCME baseia-se em três fatores principais: escopo (F1), que representa a proporção de parâmetros que excedem os padrões de qualidade; frequência (F2), que indica a quantidade de medições que violam os limites; e amplitude (F3), que mensura a severidade das violações em relação ao valor de referência. A equação combinada desses fatores resulta em um valor entre 0 e 100, permitindo classificar a qualidade da água em cinco categorias: excelente, boa, regular, marginal ou ruim (Tabela 2).

Tabela 2- Categorização da qualidade da água de acordo com o IQA - CCME

Classificação	Faixa de Valor	Descrição
Excelente	95-100	Protegida com uma ausência virtual de ameaça ou comprometimento, condições muito próximas dos níveis naturais ou primitivos.
Boa	80-94	Protegida com apenas um menor grau de ameaça ou comprometimento, as condições raramente se afastam dos níveis naturais desejáveis.
Regular	65-79	Protegida, mas ocasionalmente ameaçada ou prejudicada, as condições às vezes se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.
Marginal	45-64	Frequentemente ameaçada ou prejudicada, as condições geralmente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.
Ruim	0-44	Quase sempre ameaçada ou prejudicada, as condições geralmente se afastam de níveis naturais ou desejáveis.

Fonte: Adaptado do CCME, 2001

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os resultados do IQA-CCME indicaram que em todos os pontos de amostragem a água foi classificada como ruim, tanto no período chuvoso, como no menos chuvoso. O menor valor para esse índice foi encontrado no ponto de amostragem 3, IQA-CCME=16,309 no período menos chuvoso. O maior valor do IQA-CCME foi mensurado no ponto 8, durante o período chuvoso, IQA-CCME=22,967. Três parâmetros foram identificados como fora do limite estabelecido pela resolução do CONAMA nº 357/2005: Alumínio, Ferro e Manganês.

A presença destes metais está intimamente relacionada às características geológicas/pedológicas locais, pois o rio Guamá atravessa latossolos amarelo distróficos com presença de caulinita, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Associada presença destes minerais, o pH ácido das águas do rio Guamá, favorece a solubilização e a mobilização desses metais do sedimento para a coluna d'água (Silva *et al.*, 2021). Além das fontes naturais, destaca-se que atividades antrópicas, como o despejo de esgotos urbanos não tratados, o avanço da ocupação desordenada e o turismo não regulamentado, contribuem significativamente para a carga poluente na região (Santos *et al.*, 2012).

De acordo com Saraiva (2007), sedimentos de fundo podem influenciar na contaminação por metais pesados, pois eles podem liberar metais para a coluna d'água em função de mudanças nas condições ambientais, como pH e presença de quelantes orgânicos. O autor também menciona que a matéria orgânica tem capacidade de adsorção para metais pesados e que essa afinidade pode tanto concentrar metais quanto auxiliar na sua remoção, dependendo das condições ambientais.

Do ponto de vista antrópico, o fato da cidade de Belém estar entre as capitais do Brasil que possuem menores índices de saneamento básico, tendo apenas 19,88% do seu esgoto coletado e apenas 2,38% tratado, pode contribuir para a classificação da água como “ruim” quando aplicado o IQA - CCME (Instituto Trata Brasil, 2023). Isso porque, a descarga contínua de esgoto doméstico e resíduos orgânicos oriundos da própria Ilha, como também da cidade de Belém, pode intensificar os processos de redução química no ambiente aquático, liberando manganês e ferro particulados ou adsorvidos no sedimento (Lee, Bennett, 1998; Zhai *et al.*, 2021).

A pressão antrópica associada à ocupação desordenada e à navegação fluvial, que ocorre diariamente no local, também contribui consideravelmente para a ressuspensão de sedimentos contaminados. A intensificação da navegação fluvial, com grande fluxo de lanchas, jet-skis e embarcações turísticas, provoca instabilidade do solo, erosão das margens e assoreamento dos cursos d'água, favorecendo a ressuspensão de sedimentos e potenciais contaminantes (Cirilo, 2013; Roumié, 2023).

A Área de Proteção Ambiental da Ilha do Combú foi criada com o objetivo, entre outros, de conter os efeitos da expansão urbana e da ação antrópica sobre a área, contudo, observa-se que o avanço da atividade turística e o aumento da ocupação sem controle, intensificaram os processos de degradação ambiental e a pressão sobre os recursos naturais que, atualmente, encontram-se ameaçados (Souza, 2020; Roumié, 2023).

Tabela 3- Resultados do IQA-CCME

Período	Ponto de Amostragem	Parâmetros fora do limite	Nº de parâmetros fora do limite	IQA-CCME	Classificação
Chuvoso	Ponto 1	Alumínio e Ferro	2	22,841	Ruim
	Ponto 2	Alumínio e Ferro	2	22,145	Ruim
	Ponto 3	Alumínio, Ferro e Manganês	3	16,910	Ruim
	Ponto 4	Alumínio e Ferro	2	21,753	Ruim
	Ponto 5	Alumínio e Ferro	2	22,182	Ruim
	Ponto 6	Alumínio e Ferro	2	21,673	Ruim
	Ponto 7	Alumínio e Ferro	2	22,693	Ruim
	Ponto 8	Alumínio e Ferro	2	22,967	Ruim
	Ponto 9	Alumínio e Ferro	3	21,907	Ruim
Menos Chuvoso	Ponto 1	Alumínio, Ferro e Manganês	3	16,589	Ruim
	Ponto 2	Alumínio, Ferro e Manganês	3	16,694	Ruim
	Ponto 3	Alumínio, Ferro e Manganês	3	16,309	Ruim
	Ponto 4	Alumínio, Ferro e Manganês	3	16,634	Ruim
	Ponto 5	Alumínio, Ferro e Manganês	3	16,509	Ruim
	Ponto 6	Alumínio, Ferro e Manganês	3	16,518	Ruim
	Ponto 7	Alumínio, Ferro e Manganês	3	16,366	Ruim
	Ponto 8	Alumínio, Ferro e Manganês	3	16,495	Ruim
	Ponto 9	Alumínio, Ferro e Manganês	3	16,578	Ruim

Fonte: Autores, 2025.

Na tabela 3, com exceção do ponto 3, todos os pontos analisados no período chuvoso tiveram dois parâmetros fora do limite: Alumínio e Ferro. No período menos chuvoso, além destes elementos, o Manganês também foi identificado como fora do padrão estabelecido pelo CONAMA.

Conforme destacado por Cirilo (2013) & Roumié (2023); Monjardin, Power & Senoro (2023), destacam que a forma do canal do rio influencia o acúmulo de manganês (Mn) devido ao seu efeito na deposição de sedimentos ao longo do rio e ao seu potencial de adsorver e/ou dissolver metais. Também, relatam que a água ácida promove a liberação de metais dos sedimentos para as águas superficiais.

A presença de Manganês em níveis elevados durante o período menos chuvoso pode ser explicada pela maior interação entre a coluna d'água e o sedimento de fundo, um fenômeno que tende a se intensificar em épocas de seca devido à redução da lâmina d'água. Conforme Lin et al. (2024), os fluxos de Manganês estão diretamente relacionados à decomposição da matéria orgânica, e os processos anaeróbios que ocorrem em sedimentos ricos nesse material favorecem a liberação de Mn

para a coluna d'água, especialmente quando há maior contato e troca entre os sedimentos e o ambiente aquático.

Altos níveis de Manganês na água podem afetar suas propriedades organolépticas, contribuir para sabores desagradáveis, descoloração da água e gerar depósitos escuros em tubulações e reservatórios (Aind & Mukherjee, 2024; Hill & Lemieux, 2022). Metais pesados como ferro e alumínio, são tóxicos mesmo em baixas concentrações, causando estresse oxidativo e danos ao DNA em espécies aquáticas (Banaee, 2024).

A presença de Alumínio (Al) e Ferro (Fe) em todos os pontos e períodos, considerando-se maior do que outros metais, pode ser compreendido como elementos principais na crosta terrestre, podendo vir de processos de intemperismo do material litológico do rio (Balkis et al., 2010). Indicam assim, que eles se originam das mesmas fontes, de origem semelhantes, como fontes naturais como material da crosta terrestre, mostrando uma boa correlação positiva nas amostras de água (Fadlillah et al., 2023).

Ao se acumularem nos organismos aquáticos, esses metais podem provocar efeitos tóxicos que comprometem o crescimento, a reprodução e a sobrevivência das espécies, gerando impactos significativos para o equilíbrio dos ecossistemas e riscos para toda a cadeia alimentar (Wang, 2021; Saravanan, 2024).

Além disso, a presença desses elementos em excesso contribui para alterações nos habitats bentônicos, uma vez que podem se precipitar na forma de compostos insolúveis, modificando as características físico-químicas do sedimento e reduzindo a disponibilidade de micro-habitats indispensáveis para o desenvolvimento fauna aquática (Ngole-Jeme; Ndava, 2023; Paschaliori *et al.*, 2023).

3.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para a comparação estatística entre os períodos chuvoso e menos chuvoso, foi aplicado o teste t pareado exclusivamente para o Alumínio (Al), uma vez que os dados atenderam aos pressupostos de normalidade e homocedasticidade ($p > 0,05$). Para os demais metais, tais premissas não foram verificadas, motivo pelo qual se utilizou o teste de Wilcoxon para amostras pareadas, apropriado para dados não paramétricos.

Conforme apresentado na Tabela 4, a maioria dos metais analisados apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os dois períodos ($p < 0,05$), evidenciando influência da sazonalidade na concentração dos elementos. Apenas o Níquel (Ni) e o Zinco (Zn) não demonstraram variação significativa, com valores de p superiores a 0,05.

Tabela 4- Concentrações de metais no período chuvoso e menos chuvoso.

Metal	Concentração período chuvoso	Concentração período menos chuvoso	Limite Máximo Permitido (mg/L)
Alumínio (Al)*	31,31 ± 12,42	59,64 ± 22,47	0,10
Cádmio (Cd) *	0,00019 (0,00017–0,00031)	0,00000 (0,00000–0,00001)	0,001
Cromo (Cr) *	0,00782 (0,00754–0,00786)	0,03069 (0,02943–0,03313)	0,05
Cobre (Cu) *	0,00670 (0,00653–0,00687)	0,02678 (0,02620–0,02833)	0,009
Ferro (Fe) *	21,90 (21,37–24,60)	178,67 (173,67–183,00)	0,30
Manganês (Mn) *	0,04483 (0,03800–0,05403)	0,55600 (0,54233–0,57333)	0,10
Níquel (Ni) **	0,00066 (0,00044–0,00082)	0,00004 (0,00000–0,00009)	0,025
Chumbo (Pb) *	0,00087 (0,00000–0,00157)	0,00000 (0,00000–0,00000)	0,01
Zinco (Zn)**	0,01537 (0,01463–0,01573)	0,00000 (0,00000–0,00000)	0,18

Fonte: Autores, 2025

Nota: Os valores do Alumínio (Al) são apresentados como média ± desvio padrão, pois os dados apresentaram distribuição normal e foram analisados com teste t pareado. Os demais metais são apresentados como mediana (Q1–Q9), conforme análise pelo teste de Wilcoxon para dados não paramétricos. Diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) são indicadas com * e não significativas com **.

Os resultados estatísticos são semelhantes aos encontrados na literatura, onde as concentrações de metais tendem a ser mais elevadas durante a estação seca, quando há redução do volume de água e, conseqüentemente, menor capacidade de diluição dos elementos presentes na coluna d'água (Gongden&Lohdip, 2015; Gómez-Álvarez et al., 2014; Adejuwon; Odusote, 2023).

Durante os períodos de seca, a redução do fluxo de água pode levar ao acúmulo de metais nos sedimentos, aumentando potencialmente sua biodisponibilidade e impacto ecológico. Isso destaca a necessidade de estratégias abrangentes de monitoramento e gerenciamento que considerem as influências sazonais e antropogênicas na poluição por metais pesados em sistemas fluviais (Mião et al., 2022).

Essa condição hidrológica favorece o aumento relativo das concentrações de metais dissolvidos, intensificando seus potenciais efeitos ecotoxicológicos e os riscos à qualidade da água. Além disso, durante o período de estiagem, a interação entre a coluna d'água e o sedimento de fundo se intensifica, promovendo a liberação de metais anteriormente retidos no sedimento, especialmente sob condições redox favoráveis à solubilização de elementos como manganês (LIN et al., 2024).

A região paraense enfrenta uma problemática histórica que demanda intervenção prioritária, considerando sua ampla extensão e a carência de políticas públicas efetivas voltadas ao desenvolvimento socioambiental e à fiscalização ambiental. A ausência dessas medidas tem contribuído para a intensificação dos impactos negativos sobre os ecossistemas aquáticos. Ademais, o crescimento econômico local tem resultado no aumento da carga de efluentes e resíduos sólidos lançados nos rios do Estado, provenientes de diferentes atividades, como a indústria coureira, o

comércio, a produção industrial, a expansão urbana, entre outras fontes (BISPO et al., 2024; BORGES et al., 2021; BAIA et al., 2021).

4 CONCLUSÃO

A análise das concentrações de metais pesados nas águas superficiais do rio Guamá, no trecho correspondente à Ilha do Combú, revelou níveis elevados de metais pesados, ultrapassando os limites estipulados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para Classe 2, excetuando o Ni e Zn. Essa contaminação refletiu-se na classificação ruim do Índice de Qualidade da Água (IQA-CCME) em todos os pontos e períodos amostrados, demonstrando impacto negativo persistente na qualidade do corpo hídrico. A variação sazonal das concentrações, confirmada por testes estatísticos, indica influência direta das condições climáticas sobre a mobilização e dispersão dos metais.

Fatores antrópicos, como o baixo índice de saneamento básico da cidade de Belém e o descarte inadequado de esgotos domésticos, bem como a ocupação desordenada e a intensa navegação fluvial, podem contribuir para a ressuspensão de sedimentos contaminados e a liberação dos metais para a coluna d'água. Adicionalmente, as características naturais do rio Guamá, incluindo o pH levemente ácido e o perfil geológico da bacia, favorecem a solubilização desses elementos metálicos. Assim, os resultados obtidos podem evidenciar riscos ambientais relevantes para o ecossistema local e para as comunidades ribeirinhas que dependem desses recursos.

Dessa forma, este estudo reforça a urgência da implementação de medidas integradas de gestão e monitoramento ambiental, com ênfase no saneamento básico, controle da ocupação territorial, regulação das atividades humanas e práticas sustentáveis de uso dos recursos hídricos, a fim de conservar a qualidade da água e proteger a biodiversidade da unidade de conservação e a segurança das populações tradicionais da ilha.

REFERÊNCIAS

ADEJUWON, Joseph Omoniyi; ODUSOTE, Ayobami Akintunde. Physicochemical characteristics and heavy metals of groundwater during the wet and dry seasons at the Lafarge cement factory environment, Sagamu, Ogun State, Nigeria. *World Water Policy*, v. 9, n. 2, p. 178-203, 2023.

AIND, David Anand; MUKHERJEE, Abhijit. High Iron and Manganese in Groundwater of Brahmaputra River Plains: concerns for drinking water quality and remediation. *Copernicus Meetings*, 2024.

ALMEIDA, Geane Silva de. Avaliação da aplicação do IQA-CCME na divulgação da qualidade de água de bacias hidrográficas. Estudo de caso: Bacia hidrográfica do Rio Joanes. 2014. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2014.

BANAEE, Mahdi. Perspective Chapter: Exploring the Toxicity Effect of Heavy Metals on Aquatic Organisms—A Comprehensive Analysis. In: *Heavy Metals in the Environment-Contamination, Risk, and Remediation*. IntechOpen, 2024.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT - CCME. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, Technical Report. Canada, 2001. 13f.

BAIA, Raymundo David Pinheiro Fernandes et al. Qualidade de saneamento básico e saúde de moradores do entorno de áreas alagáveis no município de Belém/PA/Quality of sanitation and health of residents around floodable areas in the municipality of Belém/PA. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 4, p. 41267-41280, 2021.

BISPO, Carlos José Capela et al. Heavy Metals in Surface Waters in a State of the Brazilian Amazon: an integrative review. *Revista de Gestão Social e Ambiental – RGSA*, [S.l.], v. 18, n. 6, p. 1-17, 2024. DOI: 10.24857/rgsa.v18n6-102. Disponível em: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/6952/3006>. Acesso em: 1 ago. 2025.

BORGES, Heloiza Santos et al. Diagnóstico Quali-Quantitativo dos Resíduos Sólidos Gerados no Campus V da Universidade do Estado do Pará. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 11, p. e576101119827-e576101119827, 2021.

CARDOSO, Raiane Ribeiro; SANTOS, Pamela Farias; LOBATO, Renan Guimarães. Análise da qualidade de água em comunidades ribeirinhas na Amazônia Paraense e suas implicações para a saúde pública e ambiental. *Contribuciones a las ciencias sociales*, v. 16, n. 7, p. 5709–5730, 2023. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/download/1109/664>. Acesso em: 13 jun. 2025.

CHABUK, Ali; JAHAD, Udai A.; MAJDI, Ali; MAJDI, Hasan SH.; HADI, Aya Alaa; HADI, Hassan; AL-ANSARI, Nadhir; ISAM, Mubeen. Integrating WQI and GIS to assess water quality in Shatt Al-Hillah River, Iraq using physicochemical and heavy metal elements. *Applied Water Science*, [S.l.], v. 13, n. 147, p. 1–15, 2023. DOI: 10.1007/s13201-023-01933-2.

CIRILO, Brenda Batista. O processo de criação e implementação de unidades de conservação e sua influência na gestão local: o estudo de caso da área de proteção ambiental da Ilha do Combu, em Belém/PA. 2013. 197 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido) – Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

DHANARAJ, C. Justin. Harmful effects of water pollution. In: *Handbook of Water Pollution*, 2024. p. 123–148.

DHIMAN, Varun. Heavy metal toxicity and their effects on environment. In: *Heavy metal toxicity: human health impact and mitigation strategies*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 1–23.

GÓMEZ-ÁLVAREZ, A. et al. Behavior of Metals Under Different Seasonal Conditions: Effects on the Quality of a Mexico–USA Border River. *Water Air and Soil Pollution*, v. 225, n. 10, p. 2138, 10 set. 2014.

GONGDEN, J. J.; LOHDIP, Y. N. Seasonal Variation Of The Surface Water Quality Of Two Dams In Plateau State, North Central Nigeria. v. 196, p. 291–298, 15 jun. 2015.

HILL, A.; LEMIEUX, F. Beware of Legacy Manganese Issues in Distribution Systems. *Opflow*, v. 48, n. 1, p. 16–21. 2022.

INGOLE, Akruti Amol; MUKHERJEE, Anirban Goutam; BALGOTE, Piyush Jagdish; et al. A review on carcinogenic heavy metals. *International Journal of Engineering Research and Technology*, v. 10, n. 3, 2021. Disponível em: <https://www.ijert.org/research/a-review-on-carcinogenic-heavy-metals-IJERTV10IS030216.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. 202. Ranking do saneamento do Instituto Trata Brasil de 2024. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento-2024/>. Acesso em: 11 ago. 2025.

LEE, R. W.; BENNETT, P. C. Reductive dissolution and reactive solute transport in a sewage-contaminated glacial outwash aquifer. *Ground Water*, v. 36, n. 4, p. 583–595, 1 jul. 1998.

LIN, Z.; LIU, L.; LIAN, E.; ZHAO, W. Q.; JIANG, X. Regeneration of sedimentary manganese in coastal sediments deciphered by ²²⁴Ra/²²⁸Th disequilibria. *Science of The Total Environment*, p. 172493, 1 abr. 2024.

MISHRA, Santosh Kumar. Strategies for sustainable management of freshwater resources. *Journal of Water Sustainability*, v. 5, n. 2, p. 31, 2015.

NGOLE-JEME, V. M.; NDAVA, J. The Implications of AMD Induced Acidity, High Metal Concentrations and Ochre Precipitation on Aquatic Organisms. *Polish Journal of Environmental Studies*, v. 32, n. 4, p. 2959–2980, 16 maio 2023.

PASCHALIORI, Christina et al. The Biogeochemical Behavior of Heavy Metals in the Aquatic Environment and Their Effects on Health. *Mediterranean Journal of Basic and Applied Sciences (MJBAS)*, v. 7, n. 4, p. 114-126, 2023.

PEREIRA, Laura Amorim; DOS SANTOS, Mariana Rodrigues Ribeiro. Plano de bacias hidrográficas como ferramenta para o delineamento de infraestruturas verdes. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 12, p. 106054–116070, 2021.

PRADINAUD, Charlotte; et al. Definindo a água doce como um recurso natural: uma estrutura que vincula o uso da água à área de proteção de recursos naturais. *Revista Internacional de Avaliação do Ciclo de Vida*, v. 23, n. 1, p. 1–15, 2018. DOI: 10.1007/s11367-018-1543-8.

RAGHAV, Nupur; SHARMA, Shweta; SINGH, Parul; et al. A comprehensive case review of microbial remediation of heavy metals and pesticides in Yamuna River. *The Applied Biology & Chemistry Journal*, p. 11–33, 2022. Disponível em: <http://www.theabcjournal.com/index.php/tabcj/article/download/36/30>. Acesso em: 11 jun. 2025.

ROY, Biplab; BHUNIA, Biswanath; BANDYOPADHYAY, Tarun Kanti; et al. Water pollution by heavy metals and their impact on human health. In: [S.l.: s.n.], 2024. p. 333–352.

ROUMIÉ, Indara Martins Aguilar. Gestão ambiental e o desenvolvimento local na zona costeira paraense: o caso da ilha do Combu/PA. Orientadora: Marise Teles Condurú .2023. 96 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia) - Núcleo de Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará, Belém, 2023. Disponível em: . Acesso em: 11 jul. 2025.

SAHOO, Santosh Kumar; SAHU, Ashish Kumar; BAITHARU, Iswar. Environmental and health risks assessment of chemical pollutants in drinking water and wastewaters. In: [S.l.]: Elsevier BV, 2024. p. 291–311.

SARAIVA, André Luis de Lima. Estudo sedimentológico e geoquímico em sedimentos de fundo na Baía de Guajará-Belém (PA). Orientador: Werner Truckenbrodt. 2007. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

SARAVANAN, Panchamoorthy et al. Comprehensive review on toxic heavy metals in the aquatic system: sources, identification, treatment strategies, and health risk assessment. *Environmental Research*, v. 258, p. 119440, 2024.

SBAI, K.; et al. Assessment of heavy metal pollution in groundwater using a multivariate analysis approach. *Journal of Water and Land Development*, p. 175–182, 12 jun. 2024.

SHEKHAR, C.; et al. A systematic review on health risks of water pollutants: classification, effects and innovative solutions for conservation. *Toxicology Research*, v. 14, n. 1, 31 dez. 2024.

SILVA, Daniel Clemente Vieira Rêgo da; QUEIROZ, Lucas Gonçalves; GOMES, Luiz Eduardo Thans; MARASSI, Rodrigo José; POMPEO, Marcelo Luiz Martins (orgs.). *Recurso água: tecnologias e pesquisas para o uso e a conservação de ecossistemas aquáticos*. 1. ed. São Carlos: Editora Cubo, 2021. E-book. ISBN 978-65-86819-07-6. DOI: <https://doi.org/10.4322/978-65-86819-07-6>.

SILVEIRA, Livia Garcia. *Estudo comparativo da utilização do IQA-NSF e IQA-CCME para análise da qualidade da água no Estado do Rio De Janeiro*. 2018. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

SINGH, Anubhav; et al. Heavy metal contamination of water and their toxic effect on living organisms. In: [S.l.]: IntechOpen eBooks, 2022. Disponível em: <https://www.intechopen.com/citation-pdf-url/82246>. Acesso em: 8 jun. 2025.

SINGH, Vir. Water pollution. In: *Textbook of Environment and Ecology*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. p. 253–266.

SOUZA, Bruna Amaral. *Gestão de áreas protegidas e a conservação da biodiversidade: uma análise da área de proteção ambiental Ilha do Combu, Belém-Pará-Amazônia-Brasil*. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto (Portugal).

SRIVASTAVA, Prem S.; SAHGAL, Manvika. Freshwater pollution: overview, prevention, and control. In: [S.l.: s.n.], 2023. p. 359–365.

ZHAI, Y. et al. Anthropogenic Organic Pollutants in Groundwater Increase Releases of Fe and Mn from Aquifer Sediments: Impacts of Pollution Degree, Mineral Content, and pH. *Water*, v. 13, n. 14, p. 1920. 2021.

WANG, J. A review on the ecotoxicological effects of heavy metals on aquatic organisms-siftdesk. *SDRP journal of Earth sciences & environmental studies*, p. 148–161. 2022.