



Avaliação dos parâmetros físico-químicos e determinação de metais potencialmente tóxicos em águas superficiais de Riachão do Jacuípe (Bahia)

Juliane Santos de Melo^{1*}, Ivanice Ferreira dos Santos², Luciana Bagdeve de Oliveira dos Santos³

¹ Licenciada em Química, Universidade Estadual de Feira de Santana, Brasil. (*Autor correspondente: mjuliane639@gmail.com)

² Departamento de exatas, Doutora em Química analítica, Universidade Estadual de Feira de Santana, Brasil.

³ Departamento de exatas, Doutora em Química analítica, Universidade Estadual de Feira de Santana, Brasil

Histórico do Artigo: Submetido em: 19/04/2026 – Revisado em: 30/05/2026 – Aceito em: 19/08/2026

RESUMO

A água é um recurso importante e essencial para a vida de todos os seres humanos, mas, tão pouco bem cuidado. O rio Jacuípe possui uma grande extensão e passa por Riachão do Jacuípe, cidade do estado da Bahia. No local, é evidente a falta de saneamento básico que moradores ribeirinhos carecem, impactando e influenciando na contaminação da água por efluentes domésticos que são descartados. Devido a isso, o presente trabalho visou quantificar e determinar metais potencialmente tóxicos como, As, Cu, Cd, Ni, Mn, Cr e Pb, utilizando a espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). E, para avaliar Índice de Qualidade da Água (IQA) foram levados em consideração nove parâmetros físico-químicos e microbiológicos (pH, temperatura, turbidez, OD, DBO, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total e resíduo total). Os resultados foram comparados com os valores estabelecidos na resolução do CONAMA 357/2005. Em todos os pontos foi observado a presença de Mn em elevadas concentrações, os demais metais apresentaram valores abaixo do limite estabelecido pela legislação vigente. Os valores de coliformes, resíduos totais, fósforo e DBO apresentaram valores acima do limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005. O nitrogênio não foi detectado nas amostras estudadas. É esperado que o presente estudo possa contribuir para o monitoramento da qualidade da água do rio Jacuípe, auxiliando na reflexão da comunidade, bem como dos gestores ambientais para ao menos mitigar os problemas que foram elencados quanto à contaminação da água por efluentes descartados.

Palavras-Chaves: Água; Qualidade da água; Parâmetros; Rio Jacuípe; Metais.

Evaluation of physical-chemical parameters and determination of potentially toxic metals in surface waters of Riachão do Jacuípe (Bahia)

ABSTRACT

Water is an important and essential resource for the life of all human beings, yet it is so poorly cared for. The Jacuípe River is very long and passes through Riachão do Jacuípe, a city in the state of Bahia. In this area, the lack of basic sanitation is evident, impacting and influencing water contamination by discarded domestic effluents. Therefore, this study aimed to quantify and determine potentially toxic metals such as As, Cu, Cd, Ni, Mn, Cr, and Pb using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). To evaluate the Water Quality Index (WQI), nine physicochemical and microbiological parameters were considered (pH, temperature, turbidity, dissolved oxygen, BOD, thermotolerant coliforms, total nitrogen, total phosphorus, and total residue). The results were compared with the values established in CONAMA Resolution 357/2005. High concentrations of Mn were observed at all sampling sites, while the other metals showed concentrations below the limits established by the current legislation. The values for coliforms, total residues, phosphorus, and BOD were above the limit established by CONAMA Resolution 357/2005. Nitrogen was not detected in the samples studied. It is expected that this study can contribute to the monitoring of the water quality of the Jacuípe River, assisting in reflection by the community, as well as environmental managers, to at least mitigate the problems that were listed regarding water contamination by discharged effluents.

Keywords: Water; Water quality; Parameters; Jacuípe River; Metals

Melo, J. S. de, Santos, I. F. dos, & Santos, L. B. de O. dos. (s.d.). Avaliação dos parâmetros físico-químicos e determinação de metais potencialmente tóxicos em águas superficiais de Riachão do Jacuípe (Bahia). *Meio Ambiente (Brasil)*, v.8, n.3, p.15-37.



1. Introdução

Dos direitos pertencentes aos cidadãos, o acesso à água potável é um deles (Klamt *et al.*, 2021). Atualmente, no Brasil, é notório o quanto os temas envolvendo os recursos hídricos vêm sendo debatidos e várias questões são geradas. Entretanto, é comum ainda atualmente, identificar localidades que não dispõem de sistemas de tratamento de água e abastecimento adequado. A água é essencial para a sobrevivência dos seres humanos (Alhagri *et al.*, 2024), e durante muito tempo, a água foi caracterizada como uma fonte natural inesgotável, porém, à medida que a população crescia e as necessidades individuais e coletivas aumentavam, seu consumo aumentou, sendo evidenciado através do crescimento desordenado das cidades ao longo dos rios, ocasionado pela falta de planejamento habitacional.

Apesar da água ser um recurso essencial para os seres vivos, mediante a sua utilização de forma inadequada, inúmeros problemas ambientais surgem, levando a sua contaminação a partir da deposição de resíduos sólidos e efluentes sem tratamento, influenciando no ciclo hidrológico e biológico (Riley *et al.*, 2022). E, por muitas vezes, tornando-o escasso, conforme aponta o relatório da ONU, que relata um aumento global pela procura de água, devido ao crescimento populacional, à urbanização, às mudanças no padrão do consumo, à segurança alimentar e energética (ONU, 2015). Tais fatores influenciam no abastecimento desigual desse elemento vital em determinadas regiões. Alvarenga *et al.* (2012, p. 230), enfatiza que “*A água é um dos elementos mais importantes e fundamentais para a manutenção da vida com qualidade, para o conforto climático, e complementarmente, para o desenvolvimento econômico*”.

A contaminação das águas superficiais se dá através de produtos tóxicos, microrganismos e do despejo de efluentes, seja por meio industrial ou doméstico (Balaram *et al.*, 2023). A geração de resíduos e efluentes em larga escala tem como destinação final o solo, o ar e a água. Quando isso acontece, é possível verificar que algumas das características físico-químicas presentes nas águas vão se modificando, como por exemplo, temperatura, cor, pH, turbidez, entre outras (Silva; Das Virgens, 2009).

Dos parâmetros físico-químicos (turbidez, cor, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos totais (ST), nitrogênio, fósforo total, pH, salinidade, etc) descritos na resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente 357/2005 (CONAMA, 2005), a cor é um fator visual crucial para apontar a qualidade da água, sendo um parâmetro estético de aceitação para o seu uso. Portanto, para auxiliar na caracterização da qualidade da água, índices de qualidade de água (IQA) são usados, expressando as características existentes em cada parâmetro estabelecido por meio de um número (Cetesb, 2017; Klamt *et al.*, 2021). Os IQA são avaliados para determinar a qualidade das águas existentes, sejam elas subterrâneas ou superficiais, verificando a contaminação física, química e biológica (Balaram *et al.*, 2023). O IQA foi elaborado pelo National Sanitation Foundation (NSF) em 1970, nos Estados Unidos, é bastante utilizado em todo o mundo e é baseado em nove parâmetros: OD, coliformes, pH, DBO, temperatura, concentrações totais de fosfato e nitrato, turbidez e conteúdo de sólidos totais (Klamt *et al.*, 2021; Tyagi, 2013).

Para quantificar e delimitar limites para práticas ambientais, valores máximos e mínimos referentes a cada parâmetro físico-químico são estabelecidos por meio da resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, que busca dispor sobre a classificação das águas e estabelece condições e padrões para o lançamento de efluentes no espaço. Além dos parâmetros físico-químicos, pode-se observar também parâmetros microbiológicos e valores para a quantificação de metais.

É importante evidenciar que a contaminação vai além da cor da água. Um dos principais agentes poluidores dos corpos hídricos são os metais potencialmente tóxicos. Da mesma forma, a matéria orgânica e os nutrientes presentes em elevadas concentrações também são preocupantes. Com base nisso, diversas técnicas analíticas são aplicadas para auxiliar na determinação de contaminantes em amostras de água.

A espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) é uma técnica analítica amplamente utilizada para a determinação de metais potencialmente tóxicos em amostras de água, pois permite realizar análises multielementares e simultâneas de forma rápida, além de apresentar baixos limites de detecção

e de quantificação. Nas últimas quatro décadas, técnicas envolvendo a ICP-MS têm sido indispensáveis em todo o mundo devido às suas excelentes características de desempenho (Balarum et al., 2023; Avramescu et al., 2024; Li et al., 2025; Bharat et al., 2024; Zergui et al., 2022).

A determinação de metais potencialmente tóxicos é importante para o monitoramento da poluição ambiental, bem como para a avaliação do papel ecológico e fisiológico de elementos essenciais e tóxicos. O Cu apresenta abundância natural e pode ser encontrado por meio de diversos processos, como os geoquímicos. Já metais como As e Pb podem ser provenientes de fontes antropogênicas, como os efluentes domésticos não tratados (Aly et al., 2013; Carvalho, 2021; Vystavna et al., 2013). O Cr, por exemplo, é naturalmente encontrado na água e no solo, embora também possa ter origem antropogênica. As descargas de efluentes são responsáveis pela introdução desse elemento nos sistemas aquáticos. Níveis de Cr total foram observados em amostras de água para consumo humano (Mataveli et al., 2018). A determinação foi realizada por ICP-MS, e as concentrações obtidas variaram entre valores abaixo do limite de quantificação ($LQ = 0,001 \text{ mg L}^{-1}$) e $0,070 \text{ mg L}^{-1}$. Em outro estudo, Cu, Ni, Pb, Cr, As e Cd, entre outros elementos, foram determinados em amostras de água de nascente (Palmieri et al., 2013).

Menegário e Giné (1998) analisaram amostras de água do rio Piracicaba e de material de referência. Os limites de detecção (LDs) obtidos foram de $0,1 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ para Cd, Ba e Pb; $0,2 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ para Al, Mn e Cu; $0,5 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ para Cr; $0,9 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ para Zn; $2,0 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ para Ni; $60 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ para S; e $200 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ para Cl. Em outro estudo, 25 amostras de água do rio Bogacayi, em Antalya, Turquia, foram analisadas para avaliar contaminantes ambientais, incluindo metais. Foi verificado um risco potencial de poluição por metais, sendo investigadas as concentrações de As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, V (Cengiz et al., 2017). A ICP-MS foi utilizada para a determinação dos elementos, cujas concentrações foram expressas em $\mu\text{g L}^{-1}$. Em algumas amostras, foram observadas concentrações mais elevadas desses metais.

O estudo de Biedunkova e Kuznietsov (2024) abordou a poluição por metais pesados no rio Styr antes e após o descarte de efluentes da usina nuclear. Metais como Zn, Cd, Pb, Cu, Ni, Mn, As e Cr foram analisados. As amostras de água foram coletadas entre 2018 e 2022, e os resultados indicaram baixos níveis de contaminação por metais nos locais de amostragem. Wang et al., (2023) determinaram as concentrações de 11 metais, As, Hg, Ni, Cu, Zn, Pb, Mn, Fe, Cr, Cd, e Co em amostras de água dos lagos Honghu, Liangzi, Daye e East, na China. A concentração total de metais potencialmente tóxicos variou de 5,50 a $56,54 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$, e a ordem das concentrações médias foi: As ($5,47 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$) > Fe ($3,88 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$) > Zn ($3,79 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$) > Mn ($2,20 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$) > Cu ($1,57 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$) > Ni ($0,84 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$) > Mn [Pb] ($0,40 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$) > Cr ($5,47 \text{ } \mu\text{g/L}$) > Hg ($0,10 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$) > Cd ($0,01 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$). O Co não foi detectado nas amostras.

No rio Noyyal, foram encontradas concentrações de Ni, Cu e Zn que excederam os limites aceitáveis para irrigação e para a manutenção da vida aquática em águas superficiais (Abirami; Kadirvelu; Baskar, 2023). No rio Pirapó, no Paraná, também foi avaliada a presença de metais em águas superficiais. As amostras foram coletadas em seis pontos estrategicamente distribuídos de acordo com o grau de interferência antrópica ao longo da bacia (Frimmel et al., 2025). Os resultados revelaram concentrações elevadas de metais potencialmente tóxicos, com destaque para As, Hg, Se, Co e Mn. Elementos como Cu, Zn, Mn e Fe são nutrientes essenciais e podem trazer benefícios quando presentes em concentrações adequadas. Contudo, Pb, Cr, Cd, Ni, Al e Co podem apresentar toxicidade para a fauna e a flora quando encontrados em concentrações elevadas.

Com base nisso, os rios na Bahia constituem importantes locais de estudo para realização de monitoramento ambiental visando a determinação de metais por meio de técnicas analíticas, bem como a avaliação da qualidade da água com base nos parâmetros físico químicos, a exemplo do rio Subaé (Santos; Jesus, 2014; Da Silva Júnio; Oliva; Beretta, 2016), rio Joanes (Carvalho et al., 2021; Almeida et al., 2020), rio São Francisco (Souza; Salviano; Melo, 2016) e rio Jacuípe (Pereira et al., 2012; Santiago; Santos, 2016), entre outros. Na região nordeste da Bahia, temos o rio Jacuípe. O rio Jacuípe passa por várias cidades e perfaz aproximadamente 320 km de extensão ao longo de 39 municípios, entre eles Capim Grosso, Feira de Santana,

Gavião, Ichu, Ipirá, Mairi, Miguel Calmon, Morro do Chapéu, Mundo Novo, Nova Fátima, Pé de Serra, Pintadas, Piritiba, Riachão do Jacuípe, São José do Jacuípe, Serra Preta, Serrinha, Serrolândia, Valente, Várzea da Roça e Várzea do Poço, entre outros. A relação entre o ser humano e a água é bastante antiga. As bacias hidrográficas são amplamente utilizadas pela sociedade e sofrem influência da presença das atividades humanas, embora também estejam sujeitas à ação de processos naturais.

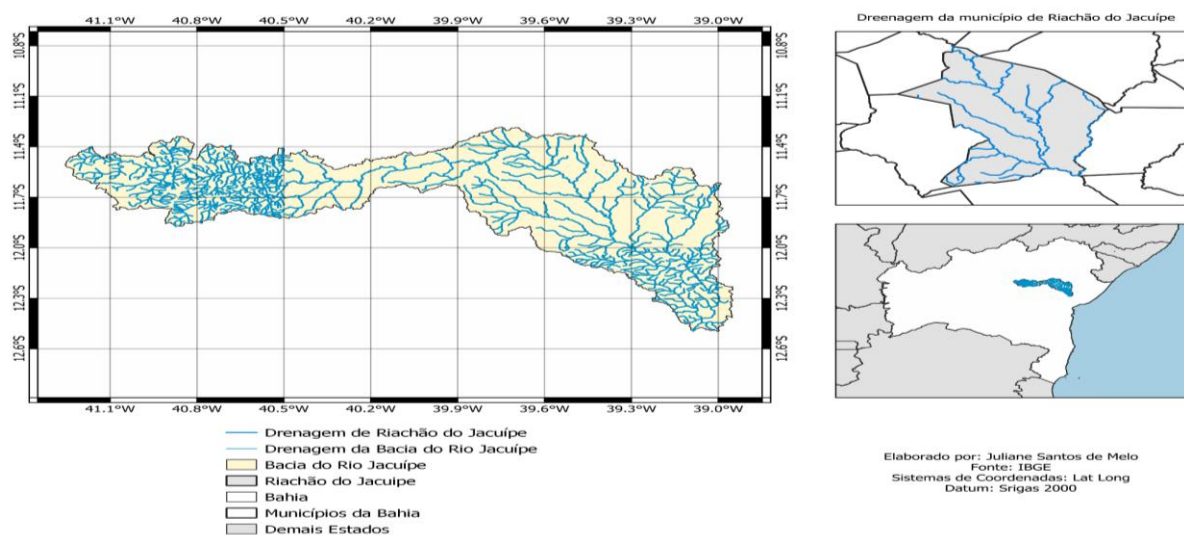
No município de Riachão do Jacuípe, o rio Jacuípe é um recurso importante para a população local, sendo utilizado para atividades recreativas como o banho e a pesca. Além disso, parte da população são moradores ribeirinhos e possuem contato direto com o local. Nesse contexto o monitoramento ambiental é uma ferramenta chave para a manutenção da qualidade das águas naturais, bem como para a proteção da biota aquática e da saúde da população ribeirinha. Diante disso, o presente trabalho tem como finalidade determinar os parâmetros físico-químicos necessários para a avaliação do Índice de Qualidade da Água (IQA) das amostras de águas estudadas e, adicionalmente, quantificar os teores de metais potencialmente tóxicos em águas superficiais do Rio Jacuípe, localizado no perímetro urbano da cidade de Riachão do Jacuípe – BA. Espera-se que os resultados obtidos contribuam para os gestores públicos ampliarem as políticas ambientais voltadas à recuperação do rio e fortaleçam o diálogo com a sociedade para promoção da reflexão crítica acerca do descarte inadequado de resíduos e efluentes no corpo hídrico.

2. Material e Método

2.1 Área de estudo

A área de estudo é situada na cidade de Riachão do Jacuípe-Ba, a 208 metros de altitude, possuindo as seguintes coordenadas geográficas: latitude 11° 48' 42" sul, longitude: 39° 23' 9" oeste. A Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe (BHRJ) é bastante extensa e está localizada na região centro-leste do estado da Bahia, ocupando uma área territorial de 12.099,9 km². De acordo com o censo do IBGE (2022), a cidade de Riachão do Jacuípe possui 33.386 habitantes e área territorial de 1.155,418 km² (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia do Rio Jacuípe
Figure 1 - Location map of the Jacuípe River Basin



Fonte: Própria autoria (2024)
Source: Own authorship (2024)

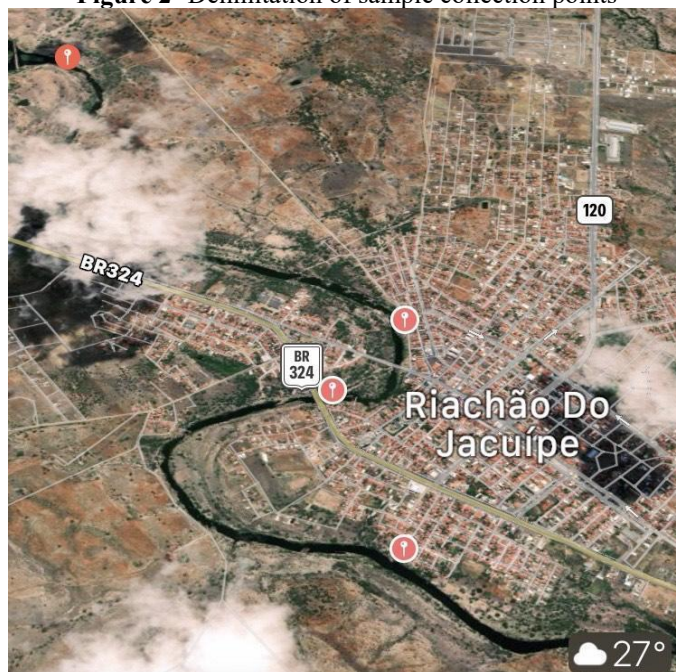
O Rio Jacuípe nasce em uma cidade próxima a Chapada Diamantina, chamada de Morro do Chapéu, tendo altitude de 1.011 metros e abrange até a barragem da pedra do cavalo (Figura 1). A Bacia do Rio Jacuípe, banha inúmeras cidades do estado da Bahia, dentre elas, Riachão do Jacuípe. Além de ser o principal afluente do rio Paraguassu. Em seu curso existem algumas barragens que são utilizadas como fonte de abastecimento de água potável para os moradores, servindo também para a agricultura e pesca na região. Em seu trabalho, Santiago, Jesus e Santos (2016), reforçam que o Rio Jacuípe abastece cidades pertencentes à bacia do Rio Jacuípe, através da Barragem de França e da Barragem de São José do Jacuípe.

2.2 Amostragem

A coleta foi realizada no dia 21 de maio de 2024, no município de Riachão do Jacuípe-Ba, durante o período chuvoso do outono. As amostras foram coletadas em quatro pontos ao longo do rio, de acordo com a Figura 2.

Figura 2 - Delimitação dos pontos da coleta das amostras

Figure 2- Delimitation of sample collection points



Fonte: Google maps

Source: Google maps

Os pontos foram delimitados utilizando um GPS. É possível visualizar as coordenadas referentes a cada ponto, sua localização e suas atividades desenvolvidas, conforme Tabela 1.

Tabela 1- Descrição dos pontos de coleta no Rio Jacuípe, região de Riachão do Jacuípe
Table 1- Description of collection points on the Jacuípe River, Riachão do Jacuípe region

Ponto	Coordenadas	Endereço	Atividades
Ponto 1	S 11° 47' 23.9'' W 39° 24' 00.1''	Barragem de Riachão do Jacuípe, próximo a passagem.	Mergulho, Bar, Lazer e Pesca
Ponto 2	S 11° 48' 16.8'' W 39° 23' 11.2''	Av. Beira Rio, próximo ao Alto do Cruzeiro - Riachão do Jacuípe	Pesca
Ponto 3	S 11° 48' 28.8'' W 39° 23' 20.6''	Bela Vista, próximo a ponte nova - Riachão do Jacuípe	Pesca
Ponto 4	S 11° 48' 53.7'' W 39° 23' 12.0''	Rua Ana Neri, Ranchinho. Entrando na rua de Riachão Pneus.	Banho e Pesca

Fonte: Própria autoria (2024).

Source: Own authorship (2024).

As amostras de água foram coletadas em local com profundidade de até 30 cm e armazenadas em frascos de polietileno de 1L. Para as análises dos parâmetros físico-químicos como fósforo, nitrogênio, DBO e ST, todos os frascos foram previamente lavados com detergente neutro Extran 3%.

Para análise dos metais, as amostras foram coletadas em frascos de plástico que foram previamente lavados com sabão neutro extran 3%, enxaguado com água destilada e colocados em uma solução de ácido nítrico (HNO₃) 10% v v⁻¹ por 12 horas para a sua descontaminação e enxaguados com água deionizada. Para a análise microbiológica dos coliformes, foram utilizados frascos de vidro autoclavados à temperatura de 121°C por 30 minutos. Após a autoclavagem, sucedeu-se a lavagem com sabão neutro no interior do frasco, enxágue com água destilada e secagem na estufa de 80° a 100°C.

A fim de evitar contaminação, todas as amostras foram armazenadas em caixas de isopor, resfriadas a 4°C e transportadas para o laboratório para as posteriores análises. As análises físico-químicas de temperatura, salinidade e pH foram realizadas “*in situ*”, com a utilização de uma sonda multiparâmetros (modelo Akso ak-88). O OD foi determinado empregado um oxímetro da Instrutherm (modelo mo-910). Oxigênio foi medido em porcentagem, e para transformar em mg L⁻¹ foi utilizada a metodologia da EMBRAPA (EMBRAPA, 2011). A turbidez foi avaliada “*in situ*” por meio de um turbidímetro digital da marca DEL LAB (modelo DLT-WV). Todos os aparelhos foram previamente calibrados com soluções padrão fornecidas pelo fabricante.

2.3 Análises realizadas em laboratório

No laboratório de saneantes, localizado no Labotec da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), foram realizadas análises para quantificar os seguintes parâmetros físico-químicos: fosfato, nitrogênio total, DBO, e coliformes termotolerantes. As determinações para as amostras de nitrogênio total e fósforo total, foram realizadas em triplicatas, DBO em duplicata, ST e coliformes termotolerantes analisadas em amostra única. A análise para ST foi realizada no laboratório de química (LABQUIM), também na UEFS.

2.3.1 Determinação de Nitrogênio total

O método utilizado para determinar o nitrogênio total foi o método macro-Kjeldahl 4500-N_{org}

Nitrogênio (orgânico) adaptado (APHA, AWWA, WEF, 2005). Por meio desse método foi realizada a digestão ácida com 5 mL de ácido sulfúrico, 5 mL da amostra e o catalisador (formado por sulfato de cobre, sulfato de potássio e selênio). Nesta etapa ocorre a conversão do nitrogênio orgânico em nitrogênio amoniacal, seguida da posterior destilação e titulação com ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 0.1N. Os cálculos foram feitos como demonstra a equação 1.

$$\text{mgN-NKT/L} = \text{Vol.}_{\text{ac.sulfúrico}} \times 280 / \text{Vol}_{\text{amostra}} \quad (1)$$

Onde: mgN-NKT/L é a fórmula para calcular o Nitrogênio Total Kjeldahl (N-NKT) em mg/L, Vol._{ac. sulfúrico} é o volume do ácido sulfúrico utilizado, Vol_{amostra} é o volume da amostra.

2.3.2 Determinação de Fósforo (ácido ascórbico)

A análise do fósforo foi realizada em duas etapas, na primeira ocorreu a conversão do fósforo em ortofosfato dissolvido, e em seguida, a determinação colorimétrica do ortofosfato dissolvido. A determinação do fósforo solúvel, ocorre em meio ácido. O Molibdato de Amônio e o Antimônio-tartarato de Potássio, reagem com o Orto-fosfato, formando o ácido Fosfomolibdico, reduzido pelo ácido ascórbico para produção do azul ou amarelo de Molibdênio, conforme a reação química $\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40} + \text{Agente Redutor} \rightarrow \text{Azul de molibdênio}$.

Para realização da análise, foram utilizadas soluções de H_2SO_4 com concentração de 2.5 M, solução de antimônio-tartarato de potássio (K(Sb) $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$), solução de molibdato de amônia e solução de ácido ascórbico. O reagente combinado, foi preparado adicionando em um balão de 100 mL, 50 mL de H_2SO_4 , 5 mL da solução de antimônio tartarato de potássio, 15 mL da solução de molibdato de amônio e 30 mL de ácido ascórbico, por fim, o balão foi avolumado com água deionizada.

Para a obtenção da curva analítica e o valor de R^2 foram utilizados padrões de solução. A determinação foi realizada empregando o espectrofotômetro (METASH, modelo V-5000), em 880 nm.

2.3.3 Análise de DBO

O método usado foi de análise de DBO com semente. Um volume de 450 mL da amostra foi acondicionado e sedimentado por 1 hora. Após retirado, o material sobrenadante foi usado como semente. A amostra foi acondicionada em frasco de DBO e realizadas diluições 0-40 e 0- 80 mg $\text{L}^{-1} \text{O}_2$. A leitura do oxigênio inicial foi realizada e a semente foi adicionada ao frasco. Após cinco dias na incubadora, foi feita novamente a leitura do oxigênio (final).

2.3.4 Análise Microbiológica (coliformes termotolerantes e coliformes totais)

Para análise microbiológica, foi utilizado o método de substrato cromogênico pois é um método fácil e de baixo custo comparado ao método de métodos de Tubos Múltiplos (TM) e Membrana Filtrante (MF). Os meios de cultura que são usados propiciam mudança na coloração, indicando a presença de bactérias na amostra. Por meio deste método, é possível obter respostas para as análises de coliformes totais e coliformes termotolerantes. Aliquotas foram retiradas, armazenadas no frasco estéril e adicionado o substrato cromogênico. As amostras foram diluídas entre 10^0 e 10^9 . O frasco foi agitado e posteriormente levado para a incubadora a $35^\circ \text{C} \pm 0,5^\circ \text{C}$, e após 24 horas e feita sua leitura.

2.3.5 Sólidos totais

Uma cápsula de porcelana foi calcinada por 30 min a 550 °C e uma alíquota de 50 mL da amostra foi transferida para a cápsula de porcelana armazenada na estufa por 24 horas, entre 103 a 105 °C. Para eliminar resquícios de líquido, a amostra foi deixada no dessecador por 1 hora. Posteriormente, foi realizada a medida da sua massa na balança analítica. Os cálculos foram realizados utilizando a equação 2.

$$ST \text{ (mg/L)} = P1 - P0 / Vm * 1000 \text{ (2)}$$

Onde, P0 é a massa da cápsula de porcelana após a calcinação; P1 é a massa do sólido total + cápsula; Vm é o volume da amostra.

2.3.5 Metais potencialmente tóxicos

Para a quantificação dos metais no laboratório, as amostras foram filtradas em membrana de acetato de celulose de 0,45 µm e acidificadas com ácido nítrico a 2% v v⁻¹. Foi utilizado um espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) (Thermo Fisher Scientific, modelo Thermo X Series II (Alemanha)). As condições operacionais do ICP-MS estão a seguir: câmara de nebulização, cyclonic; nebulizador, micromist; potência de radiofrequência, 1550W; taxa de fluxo do nebulizador, 1.0 L min⁻¹; taxa de fluxo auxiliar, 0.8 L min⁻¹.

2.4 Cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA)

O Índice Nacional de Qualidade da Água da Fundação Nacional de Saneamento (NSF WQI) é bastante utilizado em todo o mundo, é baseado em nove parâmetros: OD, coliformes, pH, DBO, temperatura, concentrações totais de fosfato e nitrato, turbidez e conteúdo de sólidos totais (Klamt *et al.*, 2021; Tyagi, 2013). Os resultados adquiridos são aplicados numa curva para obtenção do índice de qualidade (IQ) (Tyagi, 2013). Os valores de IQA são classificados em faixas e apresentam variações de acordo com cada estado brasileiro: azul (ótima), verde (boa), amarelo (aceitável) vermelho (ruim) e preto (péssimo). Possibilita a transmissão de informações referente a qualidade da água de determinados trechos do rio na bacia hidrográfica (Santiago; Jesus e Santos, 2016, p.1061).

A técnica utilizada para calcular o índice de qualidade da água é composta por nove variáveis relevantes, onde cada parâmetro possui seu peso, importância e qualidade (Tabela 2). Por meio das equações (3) e (4), é possível calcular o IQA através do produtório dos nove parâmetros (CETESB, 2017; ANA, 2005).

$$IQA = \prod_{i=1}^n q^i w^i \text{ (3)}$$

onde:

IQA = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100;

qi = qualidade do i-ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

wi = peso correspondente ao i-ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \text{ (4)}$$

Sendo n o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA. De acordo com as expressões adotadas acima, calcula-se o IQA utilizando seus respectivos valores e comparando sua qualidade de acordo com cada estado brasileiro. Os 26 resultados variam numa escala de 0 – 100 (Tabela 3).

Tabela 2 - Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e respectivo peso.
Table 2 - Water Quality Parameters of the WQI and their respective weight.

Parâmetros de qualidade da água	Peso (w)
Oxigênio dissolvido (%OD)	0,17
Coliformes Termotolerantes (NPM /100 mL)	0,15
Potencial Hidrogeniônico	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO _{5,20}) (mg L ⁻¹)	0,10
Temperatura da água (°C)	0,10
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	0,10
Fósforo total (mg L ⁻¹)	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
Resíduo total (mg L ⁻¹)	0,08

Fonte: ANA, 2005

Source: ANA, 2005

Tabela 3 - Valores de IQA classificados em faixas referentes a cada estado brasileiro. Adaptado do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade da Água- PNQA-ANA, 2009.

Table 3 - WQI values classified into ranges for each Brazilian state. Adapted from the National Water Quality Assessment Program - PNQA-ANA, 2009.

Faixas de IQA utilizadas nos seguintes estados: AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS	Faixas de IQA utilizadas nos seguintes estados: BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP	Avaliação da Qualidade da Água
91 - 100	80 - 100	Ótima
71 - 90	52 - 79	Boa
51 - 70	37 - 51	Razoável
26 - 50	20 - 36	Ruim
0 - 25	0 - 19	Péssima

Fonte: ANA, 2005.

Source: ANA, 2005.

Além das informações dos cálculos descritas acima, é possível calcular todos os parâmetros através de um software (Know Your H₂O). Os valores encontrados são introduzidos e os cálculos são realizados automaticamente.

3. Resultados e Discussão

3.1 Parâmetros Físico-Químicos

Em cada ponto de coleta foi efetuada apenas uma única análise *in situ* das amostras. Os resultados foram comparados com os valores máximos e mínimos estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces de classe 2. Os dados observados na Tabela 4, permitem a comparação dos resultados com os valores estabelecidos na resolução do CONAMA 357/2005.

Tabela 4 - Comparação entre os valores estabelecidos pela resolução nº 357 do CONAMA e os parâmetros físico-químicos analisados *in situ* nas águas do Rio Jacuípe.

Table 4 - Comparison between the values established by CONAMA Resolution No. 357 and the physical-chemical parameters analyzed *in situ* in the waters of the Jacuípe River.

Parâmetros	Parâmetros Físico-Químicos				
	Água doce classe 2	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
pH	6,0 - 9,0	7,8	7,3	9,2	9,1
Turbidez (NTU)	até 100	6,2	17,6	10,3	11,1
OD (mg L ⁻¹)	≥5	1,8	1,0x10 ⁻¹	0	1
OD (%)	≥5 mg L ⁻¹	23	0,1	0	13
Temp °C	≤ 40	28	28	30	28
Salinidade (‰)	≤ 0,5	0,1	0,1	0,1	0,1

Fonte: Própria autoria (2024).

Source: Own authorship (2024).

De acordo com os valores apresentados na resolução do CONAMA 357/2005, o pH avaliado das águas entre os pontos 1, 2, 3 e 4 estão dentro dos limites estabelecidos, variando entre pH 7,84 e pH 9,13. As amostras analisadas, possuem caráter neutro entre os pontos 1 e 2, e caráter levemente alcalino entre os pontos 3 e 4. Tal resultado pode estar relacionado com a fotossíntese que aumenta o pH tornando-o alcalino devido a diminuição de gás carbônico existente na água. Ademais, os valores de pH não apresentam indícios de irregularidades.

Os valores da turbidez analisados nos quatro pontos de coleta, estão dentro dos limites estabelecidos pela resolução do CONAMA 357/2005. A elevada turbidez reduz a fotossíntese e a concentração de OD (Santos, 2020). Os resultados descritos na Tabela 4 demonstram valores de turbidez bem abaixo do limite estabelecido na resolução do CONAMA.

A resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece padrões para o parâmetro da temperatura, apesar de ser um parâmetro essencial pois exerce bastante influência em outros parâmetros, como o OD por exemplo. Os valores medidos nos quatro pontos se mantêm entre 27,5 e 29,6 e estão em consonância com a temperatura

ambiente. As análises de fósforo total e nitrogênio total foram realizadas em triplicatas, e a DBO foi realizada em duplicata. A análise para coliformes totais e termotolerantes bem como para sólidos totais foi realizada uma única vez.

É possível observar que dentre os resultados apresentados na Tabela 5, os valores da DBO, sólidos totais, fósforo total e coliformes termotolerantes estão acima daqueles recomendados na resolução do CONAMA 357/2005. A DBO apresenta valores acima dos estabelecidos na resolução, para águas doce de classe 2, para os pontos 2 ($14,0 \text{ mg L}^{-1}$), ponto 3 ($7,5 \text{ mg L}^{-1}$) e ponto 4 ($10,0 \text{ mg L}^{-1}$). Valores elevados de DBO indicam uma grande quantidade de matéria orgânica presente, ou seja, ocorre um maior consumo de oxigênio por microrganismos que decompõem a matéria orgânica, indicando um ambiente eutrofizado pelo excesso de nutrientes.

Tabela 5 - Resultados dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos para amostras de água coletadas ao longo do Rio Jacuípe, na cidade de Riachão do Jacuípe, referente ao mês de maio de 2024, e os valores estabelecidos pela Resolução do CONAMA 357/2005.

Table 5 - Results of physicochemical and bacteriological parameters for water samples collected along the Jacuípe River, in the city of Riachão do Jacuípe, referring to the month of May 2024, and the values established by CONAMA Resolution 357/2005.

Parâmetros	Ponto 1 (Barragem)	Ponto 2 (Alto do Cruzeiro)	Ponto 3 (Bela vista)	Ponto 4 (Ranchinho)	Água doce classe 2 - CONAMA
pH	7,8	7,3	9,2	9,1	6,0 - 9,0
Temperatura °C	28,4	28,1	29,6	27,5	Não estabelece
Turbidez (NTU)	6,2	17,6	10,3	11,1	até 100 NTU
OD (mg/L)	1,76	0,01	0	0,98	não inferior a $5 \text{ mg L}^{-1} \text{ O}_2$
DBO (mg/L)	2,0	14	7,5	10	$\leq 5 \text{ mg L}^{-1} \text{ O}_2$
Sólidos totais (mg/L)	1240	1162	1216	1336	$\leq 500 \text{ mg L}^{-1}$
Coliforme termotolerante (NMP / 100 mL)	200	$1,7 \times 10^8$	$1,6 \times 10^6$	$3,4 \times 10^4$	$\leq 1.000/100$ mililitros
Fósforo total (mg/L P)	0,2	0,3	0,4	0,5	$0,030 \text{ mg L}^{-1} \text{ P}$
Nitrogênio total (mg/L N)	<LD*	<LD*	<LD*	<LD*	$3,7 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$, para pH $\leq 7,5$ $2,0 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$, para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$ $1,0 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$,

para $8,0 < \text{pH}$
 £ 8,5

0,5 mg L⁻¹ N,
 para $\text{pH} > 8,5$

Fonte: Própria autoria (2024).

Source: Own authorship (2024).

*LD = Limite de detecção

*LD = Detection limit

A DBO mede apenas a quantidade de oxigênio que foi consumido no período de cinco dias. Por meio dos valores encontrados, é possível quantificar o oxigênio molecular das bactérias para decompor a matéria orgânica que se encontra na água. Normalmente, quando se tem aumento nos valores da DBO, o fator primordial são os despejos orgânicos que são lançados nos corpos d'água. A elevada concentração de matéria orgânica diminui drasticamente o oxigênio presente na água, e a partir desse aumento, ocorre a depuração, que nada mais é do que a neutralização das cargas poluidoras que são lançadas nos corpos hídricos. Ou seja, neste momento ocorre o restabelecimento do ambiente aquático. A DBO é importante para o processo da demanda nitrogenada, pois ocorre um processo chamado de nitrificação, onde as bactérias autotróficas utilizam o OD da água para transformar formas nitrogenadas de matéria orgânica em nitritos (NO_2^-) e nitratos (NO_3^-).

Os resultados para a análise dos sólidos totais, apresentam inconformidades com os valores expostos na resolução. Em todos os pontos, os valores ultrapassam a margem de 500 mg L⁻¹. Tal aumento é devido às concentrações de esgoto que contém os sólidos dissolvidos e suspensos, provocando alteração na luminosidade das águas e interferindo no ambiente aquático. Além de afetar a fotossíntese de plantas subaquáticas.

Em todos os pontos de coleta foram observadas elevadas concentrações de fósforo. Os valores encontrados para esse nutriente podem ser justificados por características e ações antrópicas presentes no local. Levando em consideração a deposição de esgoto doméstico *in natura*, associada ao aporte de matéria orgânica, é esperado um aumento das concentrações de fósforo nos sedimentos e na coluna d'água desses ambientes, uma vez que os efluentes domésticos constituem uma importante fonte desse nutriente para os ecossistemas aquáticos. Cadoná *et al.* (2018), constataram que, em áreas com intensas atividades suínolas, ocorre aumento das concentrações de fósforo e nitrogênio devido ao processo de eutrofização. No Mar Báltico, por exemplo, 97% das águas são afetadas pela eutrofização (Jetoo, 2018). Elevadas concentrações de nutrientes influenciavam diretamente a redução dos níveis de OD no ambiente aquático (Diaz *et al.*, 2024), causando efeitos negativos ao ecossistema e, consequentemente, à vida humana. Esse cenário evidencia a influência dos fosfatos sobre o crescimento de algas e plâncton, sendo esse um dos principais fatores que contribuem para o processo de eutrofização. As maiores ameaças aos ecossistemas aquáticos estão relacionadas às elevadas concentrações de compostos de N e P presentes nas águas residuais brutas (Preisner, 2020).

Os resultados obtidos para coliformes termotolerantes observados na Tabela 5, com exceção da amostra 1 (200 NMP), estão maiores que o máximo estabelecido na resolução CONAMA (1000 NMP). A amostra referente ao ponto 1 foi coletada nas proximidades da barragem pertencente à cidade local, utilizada para recreação e fonte de renda dos moradores, logo, não havia deposição de efluentes. Os demais pontos apresentam resultados acima da resolução devido aos esgotos domésticos que são descartados da vizinhança, nas águas do rio. É importante evidenciar que entre os pontos 3 e 4 foi observada a criação de porcos de subsistência, próximos ao leito do rio. Elevados teores para coliformes indica contaminação fecal e a transmissão de agentes patogênicos para a população ribeirinha.

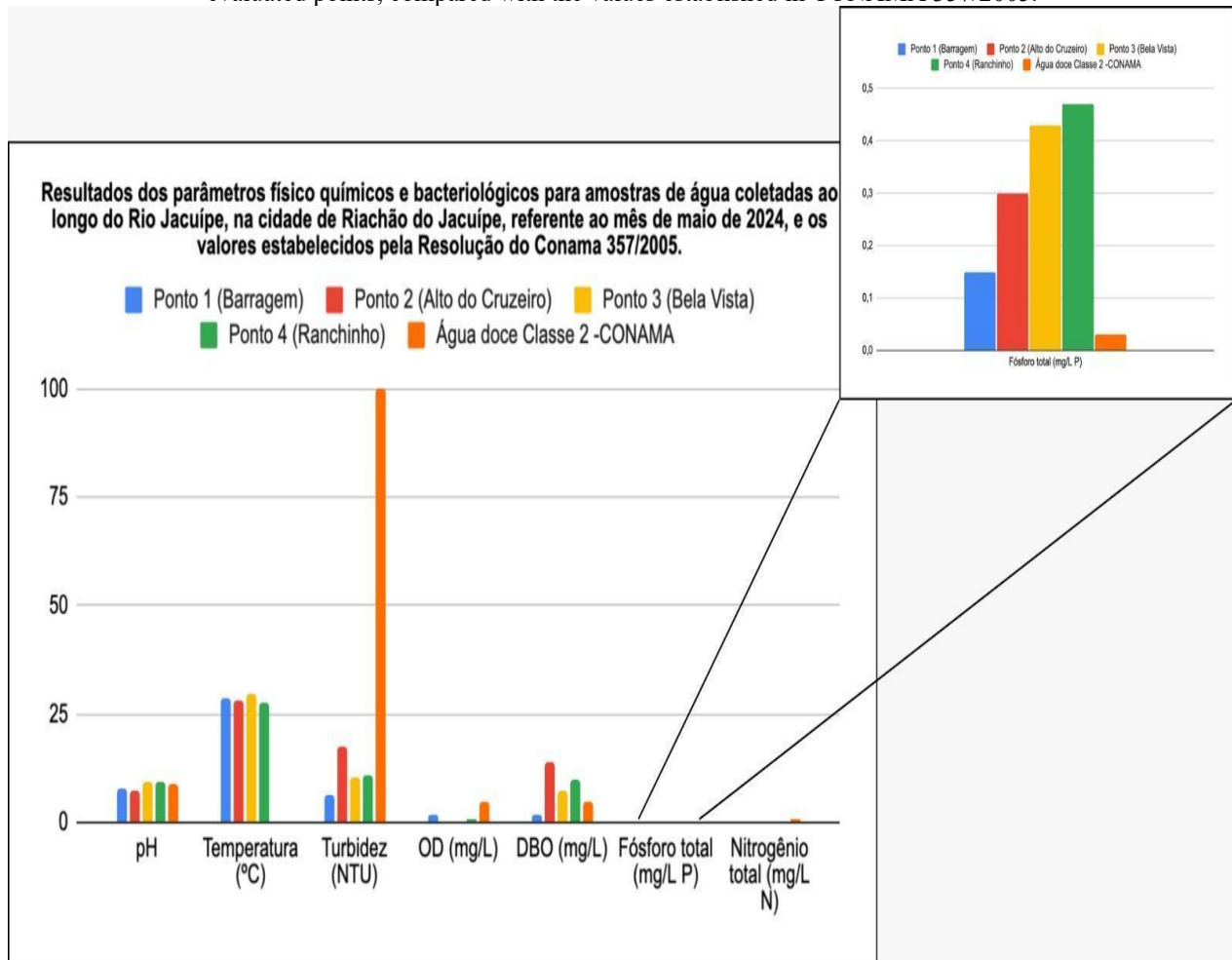
O nitrogênio total apresenta três formas distintas de concentração de nitrogênio, o nitrito, o nitrato e o nitrogênio amoniacal. Foi verificado a partir dos resultados encontrados na Tabela 5 que a concentração para o nitrogênio total foi igual a zero, tais resultados, podem estar relacionados ao limite de detecção do método empregado. Das amostras analisadas, apenas o ponto 1 é distante da cidade e não possui esgoto *in natura* próximo. Porém, entre os pontos 3 e 4 há dejetos de suínos na localidade e isto influencia no potencial de

contaminação. É importante evidenciar que tais concentrações de nitrogênio poderiam ser mais evidentes se as três formas de nitrogênio fossem avaliadas individualmente. Neste sentido, há necessidade de uma segunda coleta para que os resultados possam ser comparados.

Podemos visualizar (Figura 3 e 4) o comparativo dos resultados para os parâmetros de pH, temperatura, OD, DBO, fósforo total, nitrogênio total, turbidez e resíduos. Não foi possível plotar no mesmo gráfico os parâmetros obtidos para os coliformes termotolerantes, uma vez que a escala para estes valores entre os pontos é bem diferente.

Figura 3- Resultado dos parâmetros (pH, temperatura, turbidez, DBO, OD, nitrogênio e fósforo) nos pontos avaliados, comparado com os valores estabelecidos no CONAMA 357/2005.

Figure 3 - Results of the parameters (pH, temperature, turbidity, BOD, DO, nitrogen and phosphorus) at the evaluated points, compared with the values established in CONAMA 357/2005.

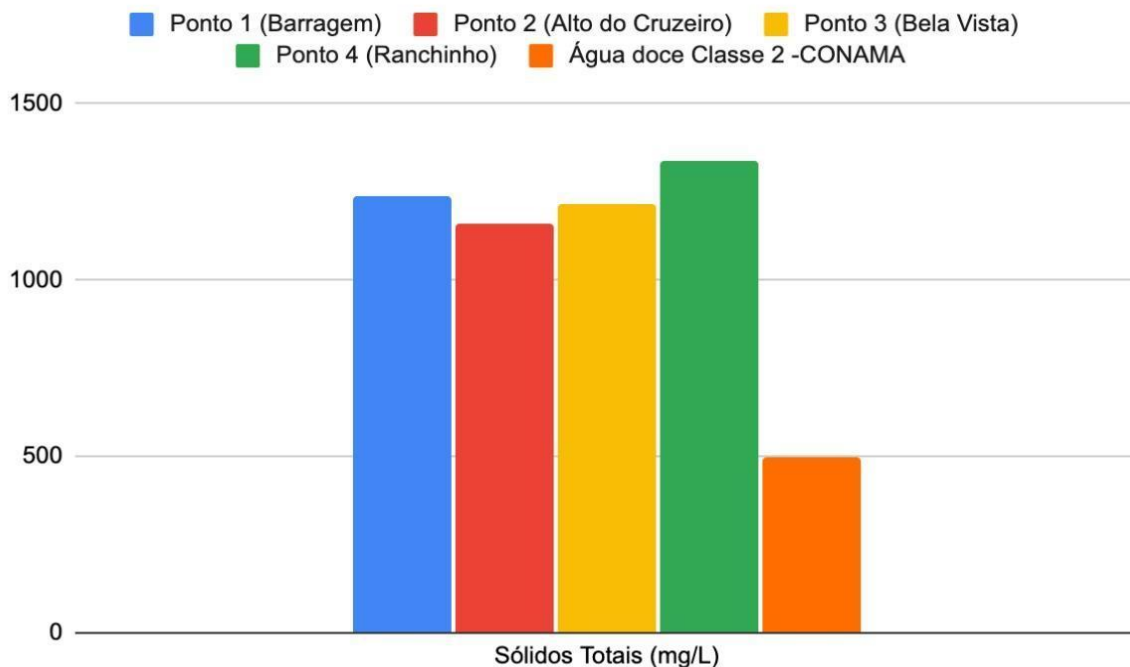


Fonte: Própria autoria (2024).

Source: Own authorship (2024).

Figura 4 - Resultado do parâmetro de sólidos totais descrito nos pontos 1, 2, 3 e 4 comparado com os valores estabelecidos no CONAMA 357/2005.

Figure 4 - Result of the total solids parameter described in points 1, 2, 3 and 4 compared with the values established in CONAMA 357/2005.



Fonte: Própria autoria (2024).

Source: Own authorship (2024).

O OD apresentou valores muito baixos quando comparado às referências explicitadas no CONAMA. O CONAMA utiliza como valor mínimo, a concentração de 5mg L^{-1} de OD, e os resultados apresentados são inferiores aos estabelecidos. Tal resultado pode ter relação com os elevadores teores de sólidos totais, que acabam dificultando a passagem da luz para o interior do ambiente aquático, impedindo a produção de fotossíntese para obtenção de oxigênio, por exemplo.

3.2 Índice de Qualidade da Água

Os cálculos de IQA foram realizados a fim de apresentar os valores obtidos (Tabela 6).

Tabela 6 - Resultados do IQA e sua classificação
Table 6 - IQA results and their classification

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
IQA	55	43	39	38
Classificação	Boa	Razoável	Razoável	Razoável

Fonte: Própria autoria (2024).

Source: Own authorship (2024).

O ponto 1 apresenta um melhor índice de qualidade da água se comparado ao ponto 2, 3 e 4, por se tratar de um local em que não há descarte de esgoto *in natura*. Logo, a qualidade da água é melhor quando comparada aos demais pontos, pois, as concentrações de fósforo e nitrogênio são menos acentuadas na região do ponto 1. Talvez se as formas individuais de nitrogênio fossem avaliadas os valores de IQA poderiam ser mais acentuados.

Os pontos 2, 3 e 4, apresentam índices de qualidade da água razoável, indicando que nos pontos descritos há um comprometimento da água, já que há ocorrência de esgoto doméstico sendo descartado e resíduos sólidos. Como foi observado, houve um alto nível de concentração de fósforo, coliformes termotolerantes, sólidos totais e baixo teor de OD na água.

A qualidade da água no perímetro urbano a partir dos valores da Agência Nacional de Águas (ANA) (Figura 5) e os valores da NSF (Figura 6) são apresentados.

Figura 5 - Mapa da qualidade da água no perímetro urbano de Riachão do Jacuípe – CETESB/ANA
Figure 5 - Water quality map in the urban area of Riachão do Jacuípe – CETESB/ANA

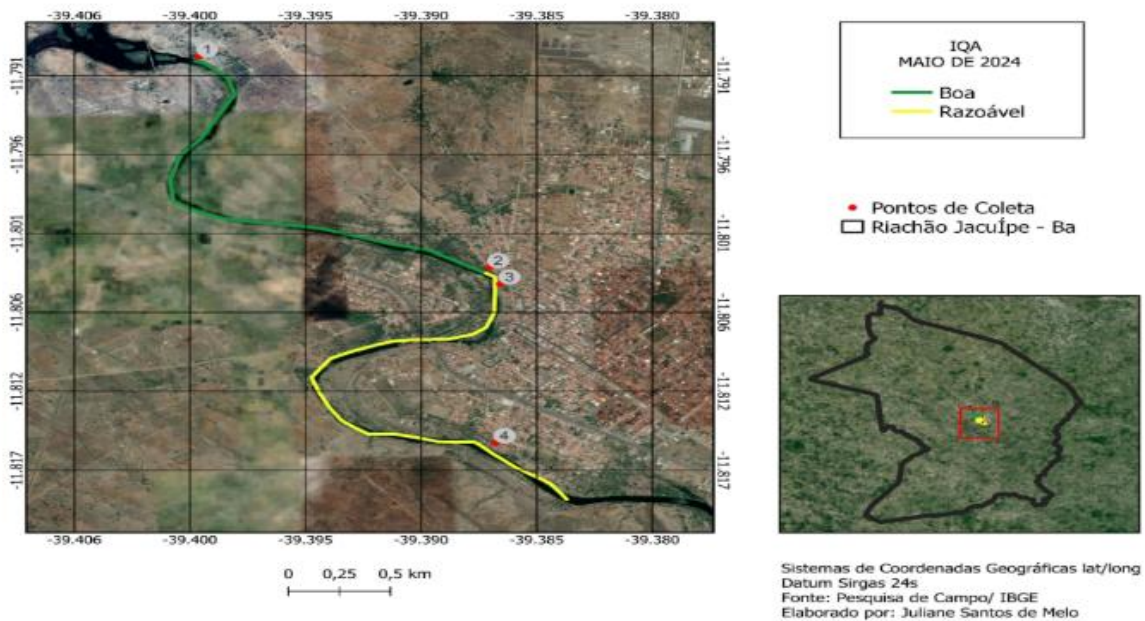
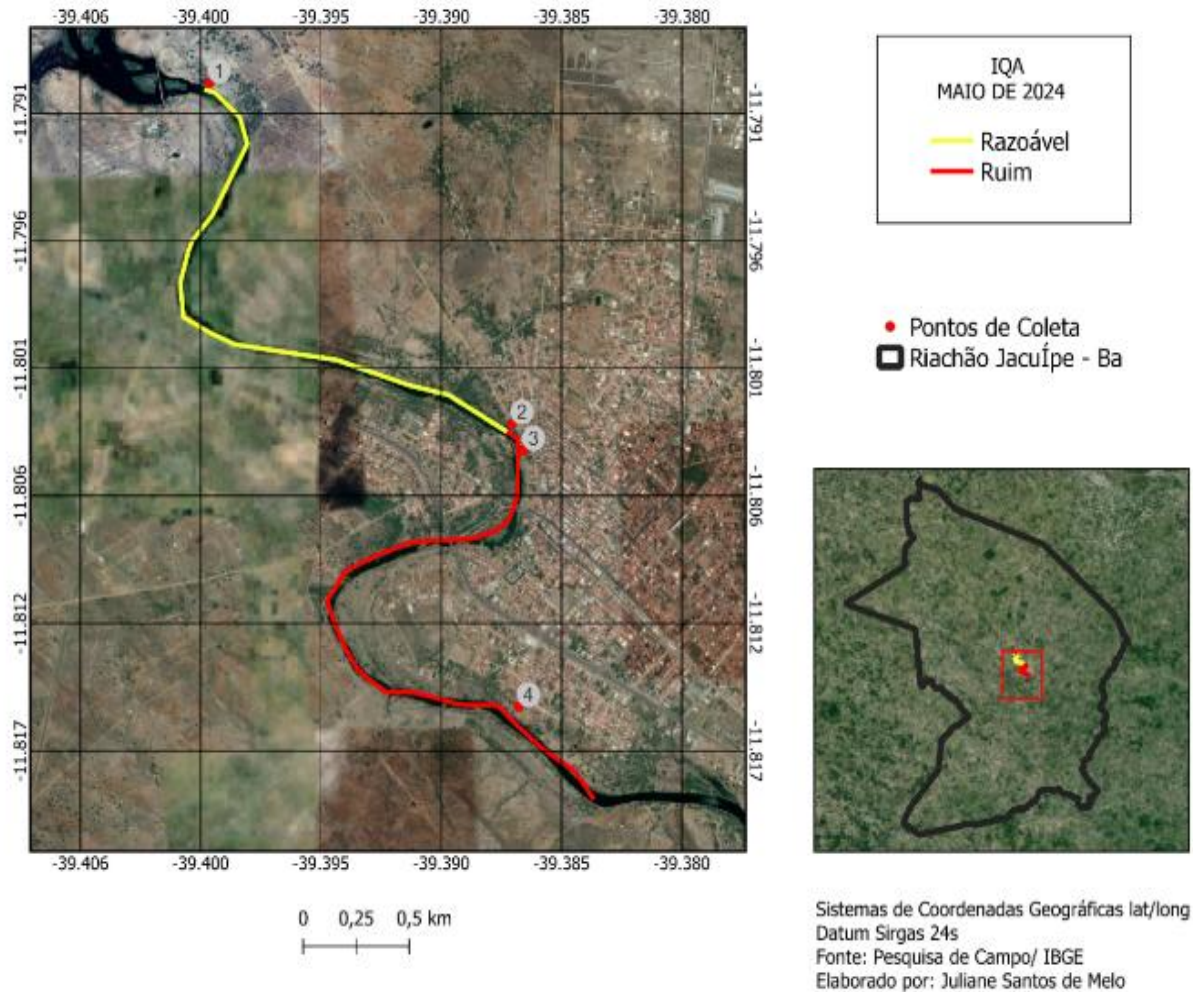


Figura 6 - Mapa da qualidade da água no perímetro urbano de Riachão do Jacuípe – NSF
Figure 6 - Water quality map in the urban area of Riachão do Jacuípe – NSF



Fonte: Própria autoria (2024).

Source: Own authorship (2024).

Observa-se na Figura 6 que as faixas referentes aos índices de qualidade da água são diferentes, agravando ainda mais a situação das águas do rio local. Onde, no ponto 1 a água é razoável e entre os pontos 2, 3 e 4 é considerada ruim. Para calcular o IQA dos pontos 1, 2, 3 e 4 foi utilizado o software Know Your H2O.

3.3 Análises por ICP-MS

Na Tabela 7 observa-se parâmetros obtidos para as curvas analíticas para os cinco metais estudados. O coeficiente de correlação R^2 encontra-se acima de 0,9993, indicando linearidade satisfatória da curva analítica. Além disso, pode-se verificar os limites de detecção (LD), os limites de quantificação (LQ) e o desvio padrão determinados para cada um dos analitos de acordo com as recomendações da IUPAC (2002).

Tabela 7 - Parâmetros analíticos para curva analítica.
Table 7 - Analytical parameters for the analytical curve.

Elemento	Coefficiente angular	R^2	Faixa dinâmica ($\mu\text{g L}^{-1}$)	LD* $\mu\text{g L}^{-1}$	LQ* $\mu\text{g L}^{-1}$
55Mn	441331	0,9997	0 – 100	0,1629	0,5430
65Cu	109500	0,9999	0 – 100	0,0422	0,1408
60Ni	52833	0,9999	0 – 100	0,0951	0,3169
208Pb	254478	0,9993	0 – 100	0,0177	0,3169
53Cr	17920	0,9996	0 – 100	0,3626	0,0591
75As	41785	0,9999	0 – 100	0,0335	0,1117
111Cd	33192	0,9994	0 – 100	0,0274	0,0912

Limite de detecção (LD)*, Limite de quantificação (LQ)**

Fonte: Própria autoria (2024).

Source: Own authorship (2024).

As concentrações médias e os desvios padrões obtidos para os metais determinados por ICP-MS para as quatro amostras de águas coletadas no rio Jacuípe, são apresentados na Tabela 8. As concentrações são expressas em mg L^{-1}

Tabela 8 - Concentração média de metais dissolvidos nas amostras das águas superficiais do rio Jacuípe.
Table 8 - Average concentration of dissolved metals in surface water samples from the Jacuípe River.

Amostra	[55Mn] mg L^{-1}	[65Cu] mg L^{-1}	[60Ni] mg L^{-1}	[208Pb] mg L^{-1}	[53Cr] mg L^{-1}	[75As] mg L^{-1}	[111Cd] mg L^{-1}
RJ1	76,0	0,0034	0,0018	0,0014	0,00111	0,00244	0,00005
Média $\pm \sigma$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	2,6	0,0006	0,0001	0,0003	0,00007	0,00007	0,00003
RJ2	73,1	0,0023	0,0018	0,00162	0,0013	0,0019	0,000022
Média $\pm \sigma$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	1,6	0,0003	0,0001	0,00008	0,0002	0,0002	0,000001
RJ3	72,9	0,0021	0,00207	0,0007	0,00119	0,0012	0,000018
Média $\pm \sigma$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	6,2	0,0002	0,00003	0,0003	0,00001	0,00001	0,000002
RJ4	60,0	0,004	0,0031	0,0011	0,0018	0,00029	0,00003

Média $\pm \sigma$	$\pm$ 0,4	$\pm$ 0,002	$\pm$ 0,0002	$\pm$ 0,0004	$\pm$ 0,0003	$\pm$ 0,00001	$\pm$ 0,00001
Resolução CONAMA 357/2005	0,1 mg L⁻¹	0,009 mg L⁻¹	0,025 mg L⁻¹	0,01 mg L⁻¹	0,05 mg L⁻¹	0,01 mg L⁻¹	0,001 mg L⁻¹

Fonte: Própria autoria (2024).

Source: Own authorship (2024).

Dos metais determinados nas amostras, os valores médios para Cu, Ni, Pb, Cr, As e Cd, apresentaram valores abaixo do limite estabelecido na resolução CONAMA 357/2005 para águas doces de classe 2 (Tabela 8). Apenas o manganês apresentou valores de concentração acima do estabelecido na resolução. O valor máximo permitido pela legislação é de 0,1 mg L⁻¹ de Mn (para águas doces de classe 2), e nos quatro pontos, os valores foram acima do valor máximo permitido.

Nos estudos realizados por Santos e Jesus (2014), o resultado das análises das amostras de água apresentou concentrações elevadas de Mn no rio Subaé, com valores acima do limite estabelecido na resolução CONAMA 357/2005. Os autores ainda enfatizam que locais com deposição de efluentes industriais e domésticos são propensos a apresentar concentrações elevadas de determinados analitos. Apesar do manganês ser um elemento essencial no metabolismo de animais e vegetais, quando presente em elevadas concentrações, pode causar danos ao sistema nervoso central.

O Mn é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre e está presente em todos os organismos vivos. Apesar de sua importância biológica, o Mn é conhecido como uma neurotoxina há pelo menos 150 anos. Hermes *et al.* (2013), encontraram concentrações elevadas de Mn para amostras de água. Os resultados médios de Mn total (0,2 mg L⁻¹) excederam o limite estabelecido pela resolução nº 357 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) para a classificação de águas doces continentais brasileiras (0,1 mg L⁻¹), os autores enfatizam que os níveis observados no rio Pardinho representam um problema para a saúde pública, principalmente porque a água é utilizada para consumo humano.

Embora, nos pontos dois, três e quatro do rio Jacuípe seja possível visualizar a deposição de esgoto *in natura* proveniente das residências ribeirinhas, todos os pontos de coleta das amostras apresentaram concentração dos demais metais estudados inferiores aos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005. Esses resultados indicam que durante o período de amostragem tais elementos não comprometeram a qualidade da água do rio. As baixas concentrações de metais observadas podem estar associadas a capacidade de renovação da água e ausência de fontes pontuais de lançamento desses metais na área de estudo. Ressalta-se, entretanto, que a realização de campanhas de monitoramento em diferentes períodos do ano e em distintos pontos do rio poderá contribuir para uma avaliação mais abrangente da qualidade da água.

As baixas concentrações de metais como Cu, Pb e Cd encontradas neste trabalho estão em consonância com os resultados apresentados por Pereira *et al.*, (2012). Os autores avaliaram a qualidade da água do rio Jacuípe nas proximidades de Camaçari, e verificaram que, mesmo com o crescente aporte das atividades industriais e turísticas na região, as concentrações observadas para os metais permaneceram dentro dos padrões estabelecidos pela legislação ambiental. Diferentemente da área de estudo em Riachão do Jacuípe, os pontos amostrados naquele estudo sofrem influência de atividades industriais e turísticas. Novamente, nos estudos de Santos e Jesus (2014), metais como Cd e o Cr, não foram detectados em nenhum dos pontos ao longo de três amostragens que foram realizadas. A não detecção desses metais pode também estar relacionada aos limites de detecção da técnica analítica empregada, uma vez que, diferentemente do presente estudo, no qual foi utilizada a ICP-MS, os autores empregaram a espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS), técnica que apresenta limites de detecção superiores aos da ICP-MS.

Diversos estudos refletem a presença dos metais em matrizes ambientais, como água, sedimento e biota (Aly *et al.*, 2013; Menegário; Giné, 1998; Palmieri *et al.*, 2013; Vystavna *et al.*, 2013). Atualmente, ainda

existem evidências de contaminação de matrizes ambientais por metais potencialmente tóxicos (Biedunkova; Kuznietsov, 2024; Carvalho, 2021; Cengiz *et al.*, 2017; Frimmel *et al.*, 2025; Mataveli *et al.*, 2018). No presente estudo, apenas o Mn apresentou concentração acima dos valores estabelecidos pela legislação vigente. Os demais metais não foram identificados em concentrações preocupantes nas amostras de água do rio Jacuípe, indicando que, apesar da intensa influência das ações antrópicas na área de estudo, não há evidências de contaminação significativa pelos metais potencialmente tóxicos investigados. Assim, embora seja observada a deposição de efluentes no Rio Jacuípe, as concentrações de metais determinadas durante o período de coleta não representaram risco à saúde da população, sugerindo a ausência de contaminação persistente por esses elementos, com exceção do Mn.

4. Conclusão

O presente trabalho realizou a avaliação da qualidade das águas superficiais do rio Jacuípe com base nos teores de metais potencialmente tóxicos dissolvidos e nos parâmetros físico-químicos estabelecidos pela resolução do CONAMA 357/2005. De acordo com os resultados observados foi constatado que no ambiente fluvial dos pontos P2, P3 e P4 o impacto ambiental é muito evidente, pois a prática do descarte de esgoto *in natura* é rotineira. Tal prática altera o ecossistema local e impacta na vida dos animais aquáticos existentes.

De acordo com o cálculo do IQA, nestes pontos, a água do rio foi classificada como razoável, e no ponto (P1) (barragem) como boa. Os valores de IQA determinados, permitem realizar comparações entre os diversos pontos do perímetro fluvial urbano, o que nos mostra que medidas urgentes são necessárias para a recuperação dos corpos d'água.

Considerando os limites estabelecidos para os metais dissolvidos na Resolução do CONAMA 357/2005, quase todos os metais analisados apresentaram teores abaixo do valor estabelecido na resolução, a exceção do Mn, evidenciando que a concentração de metais potencialmente tóxicos presentes nas águas do rio Jacuípe é muito pequena. O pH levemente alcalino, a temperatura encontrada na água e o elevado teor de sólidos totais podem propiciar a deposição/sedimentação destes poluentes no fundo do rio. Assim, uma análise da água de fundo ou dos sedimentos seria indicada para elucidar estes fatos.

Devido a importância que o rio Jacuípe tem para a sociedade Jacuipense é necessário a realização do monitoramento constante, para avaliar sua qualidade e garantir segurança ambiental para a sociedade visto que muitos convivem próximos ao rio e acabam tendo contato direto.

É indispensável a construção de políticas públicas para a proteção deste recurso ambiental e a sensibilização da sociedade frente ao tema, proporcionando um melhor entendimento sobre os malefícios que o descarte de resíduos ou efluentes podem ocasionar no meio ambiente e na vida dos seres humanos. Cuidar do meio ambiente é responsabilidade de todos.

5. Agradecimentos

Agradeço a Universidade Estadual de Feira de Santana por todo o auxílio durante as análises de água coletada, agradeço também ao laboratório de Espectroscopia do CIENAM/UFBA, ao PPGM-UEFS e também ao LABOTEC-UEFS, por todo auxílio durante a realização das análises.

6. Referências

Abirami, S.; Kadirvelu, K.; Baskar, S. (2023). Trace Metal Based Eco-Biological and Health Risk Status of Surface Water and Sediments of Noyyal River Basin, Tamil Nadu, India. **Soil and Sediment Contamination:**

An International Journal

Alhagri, I. A., Al-Hakimi. A. N., Al-Hazmy. S.M., Albadri. A. E. A. E. (2024). Determination of trace and heavy metals in bottled drinking water in Yemen by ICP-MS. **Results in Chemistry**.

Aly, W.; Williams, I. D.; Hudson, M. D. (2012). Metal contamination in water, sediment and biota from a semi-enclosed coastal área. **Environmental Monitoring and Assessment**.

Almeida, A. M.; Nascimento, A. F.; Silva, F. C. S.; Silveira, P. B.; Hazin, C. A.; E. Valentim. (2013). Determinação de metais em amostras de água dos diferentes estágios de tratamento em ETA's da Região Metropolitana do Recife-PE, Brasil. **SCIENTIA PLENA**

Almeida, L. C.; Da Silva Júnior, J. B.; Dos Santos, I. F.; Carvalho, V. S.; Santos, A. S.; Hadlich, G.M, Ferreira, S. L. C. (2020). Assessment of toxicity of metals in river sediments for human supply: Distribution, evaluation of pollution and sources identification. **Marine Pollution Bulletin**.

Alvarenga, L. A., Martins, M. P. P., Cuartas, L. A., Penteado, V. A., Andrade, A. (2012). Estudo da qualidade e quantidade da água em microbacia, afluente do rio Paraíba do Sul – São Paulo, após ações de preservação ambiental. **AmbiÁgua**,

Ana - **Agência nacional de águas. Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil** / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, SPR, 2005. Disponível em: [https://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA_DA_QUALIDADE_DAS_AGUAS.p df](https://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA_DA_QUALIDADE_DAS_AGUAS.pdf). Acesso em: 29 jan. 2024.

Apha, Awwa, Wef - Standard Methods Committee of the American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation. 4500-norg nitrogen (organic) In: **Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater**. Lipps WC, Baxter TE, Braun-Howland E, editors. Washington DC: APHA Press.

Avramescu, M-L., Casey, K., Levesque, C., Chen, J., Wiseman, Clare., Beauchemin, S. (2024). Identification and quantification of trace metal(loid)s in water-extractable road dust nanoparticles using SP-ICP-MS. **Science of The Total Environment**.

Balaram, V., Copia, L., Kumar, U. S., Miller, J., Chidambaram, S. (2023). Pollution of water resources and application of ICP-MS techniques for monitoring and management—A comprehensive review. **Geosystems and Geoenvironment**.

Batista, P. D. S., Mancini, C. E., Barreto, E. S. (2015). Análise de coliformes totais e termotolerantes em água de irrigação de hortas no município de Sinop -MT, Brasil. **Scientific Electronic Archives**.

Bharat, A. P., Singh, A. K., Mahato, M. K. (2024). Heavy metal geochemistry and toxicity assessment of water environment from Ib valley coalfield, India: Implications to contaminant source apportionment and human health risks. **Chemosphere**.

Biedunkova, O.; Kuznietsov, P. (2024). Dataset on heavy metal pollution assessment in freshwater ecosystems. **Scientific data**

Cadoná, E. A. *et al.* Contaminação por nitrogênio e fósforo de águas destinadas ao consumo humano em região com intensa atividade suinícola. **Geociências**.

Carvalho, V. S; Santos, I. F.; Almeida, L. C.; Souza, C. T.; Da Silva Júnior, J. B; Souza, L. A.; Santos, L. O.; Ferreira, S. L. C. (2021). Spatio-temporal assessment, sources and health risks of water pollutants at trace levels in public supply river using multivariate statistical techniques. **Chemosphere**.

Cengiz, F. M.; Kilic, S.; Yalcin, F.; Kilic, M.; Yalcin, G. M. Evaluation of heavy metal risk potential in Bogacayi River water (Antalya, Turkey). **Environ Monit Assess**.

Cetesb - **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. Apêndice D - Índices de Qualidade das Águas. São Paulo: CETESB, 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wpcontent/uploads/sites/12/2017/11/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>. Acesso em: 02 Fev 2024.

Conama - **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 02 Fev 2024.

Da Silva Júnior, J. B.S.; Oliva, S. T.; Beretta, M. (2016). BIODISPONIBILIDADE DE METAIS TÓXICOS EM SEDIMENTOS DO RIO SUBAÉ, BAHIA, BRASIL. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**.

Díaz, M.A., Blanco, D., Chandia-Jaure, R., Calquin, D. L., Decinti, A., Naranjo, P., Almendro-Candel, M-B. (2024). Excess of Nutrients in Prefabricated or Compact Wastewater Treatment Plants: Review, Solution Alternative, and Modeling for Verification. **Water**.

Frimmel, N.; Reyes, G. B.; Bello, J. R.; Rosa, E. C. S.; Lizama, M. L-A. P.; Gonçalves, J. E. (2025). Avaliação da contaminação por metais e metaloides nas águas superficiais do rio Pirapó, Paraná (PR), Brasil, e seus riscos ambientais e para a saúde humana. **Pesquisa, sociedade e desenvolvimento**

Garcia, C. A. B., Passos, E. A. (2012). Metais potencialmente tóxicos. **Química ambiental**.

Hermes, N.; Schneider, R.; Molin, D. D.; Riegel, G. Z.; Costa, A. B.; Corbellini, V. A.; TORRES, J. P. M.; MALM, O. Environmental pathways and human exposure to manganese in southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**

Ibge - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. **Riachão do Jacuípe (2022)**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/riachao-do-jacuipe/panorama>. Acesso em: 14 Jan. 2024.

Iupac – **International Union of Pure and Applied Chemistry**. Pure and Applied Chemistry.

Jetoo, S. (2018). Multi-level governance innovations of the Baltic Sea and the North American Great Lakes: New actors and their roles in building adaptive capacity for eutrophication Governance. **Marine Policy**.

- Jiang, M., Zhang, C., Chen, Y., Sun, Mingxia., Liu, R., LV, Y. (2025). Inductively coupled plasma mass spectrometry-based immunoassay: An update from 2015 to 2025. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**.
- Klamt, R. A., Da Costa, A. B., Gaedke, M. A., Lobo, E. A. (2021). Drinking water quality indices: a systematic review. **Revista Ambiente & Água**.
- Mataveli, L. R. V.; Buzzo, M. L.; Carvalho, M. F. H.; Arauz, L. J.; Mataveli. G. A. V. (2018). Evaluation of total chromium levels in drinking water. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**.
- Menegário, A. A.; Giné, M. F. (1998). DETERMINAÇÕES MULTI-ELEMENTARES DE METAIS, SULFATO E CLORETO EM AMOSTRAS DE ÁGUAS POR ESPECTROMETRIA DE MASSAS COM FONTE DE PLASMA (ICP-MS). **Química nova**.
- Njuguna. S. M., Onyango, J. A., Githaiga, K. B., Gituru, W. R., Yan, X. (2020). Application of multivariate statistical analysis and water quality index in health risk assessment by domestic use of river water. Case study of Tana River in Kenya. **Process Safety and Environmental Protection**.
- Pereira, M. G.; Andrade, M. V. A. S.; Ornelas, V. C.; Almeida, R. A. N.; Fontes, M. P. F.; Ribeiro, J. N.; Ribeiro, A. V. F. N.; Santos, A. V.; Souza, A. N.; Araújo, C. B.; Araújo, A. C. B.; Onofre, C. R. E.; Korn, M. G. A. (2012). Assessment of Physical-Chemical Characteristics of Water and Sediments from a Brazilian Tropical Estuary: Status and Environmental Implications. **The Scientific World Journal**
- Palmieri, H. E. L.; Knupp, E. A. N.; Ferreira, C. A.; Windmüller, C. C. (2013). Direct quantification of trace element concentrations in spring waters by ICP-MS. **Br J Anal Chem**.
- Pereira, M. G.; Andrade, M. V.; Ornelas, V. C.; Almeida, R. A. N.; Fontes, M. P. F.; Ribeiro, J. N.; Ribeiro, A. V. F. N.; Santos, A. V.; Souza, A. N. S.; Araújo, C. B.; Araújo, A. C. B.; Onofre, C. R. E.; Korn, M. G. A. (2012). Assessment of physical-chemical characteristics of water and sediments from a Brazilian tropical estuary: status and environmental implications. **The scientific World Journal**.
- Preisner, M. (2020). Surface Water Pollution by Untreated Municipal Wastewater Discharge Due to a Sewer Failure. **Environmental Processes**.
- Riley, M. C., Sousa, A. S., Jesus, T. B., Santos, L. T. S. (2022). Análise da qualidade da água superficial das lagoas grande e salgada em feira de santana-ba. **Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente**.
- Santiago, B. E. C., DE Jesus, T. B & Santos, L. B. O. (2016). Avaliação da qualidade da água no perímetro urbano de Riachão do Jacuípe, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**.
- Santos, L. T. S. O & Jesus, T. B. (2014). Caracterização de metais pesados das águas superficiais da bacia do Rio Subaé (Bahia). **Geochimica Brasiliensis**.
- Santos, R. M. S. (2020). **Avaliação da qualidade de água e presença de compostos emergentes em rios no semiárido pernambucano**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental, Universidade federal de Pernambuco, Pernambuco, PE, Brasil.
- Siegel, F. R. (2002). **Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals**. 1. ed. New York: Springer Verlag.

Silva, G. C. das. V. (2009). **Avaliação Crítica da Qualidade das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Joanes**. Tese de Doutorado em Química Analítica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil.

Siste, C. E. (org)., Girão, E. G., (org). Duncan, B. L. (2011). Manual para Formação e Capacitação de Grupos Comunitários em Metodologias Participativas de Monitoramento da Qualidade da Água – módulo III: avaliação físico-química. CE - Fortaleza, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/900819/1/DOC11001.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2024.

Souza, A. M.; Salviano, A. M.; Melo, J. F.B.; Félix, W. P.; ¹, Belém, C. S.; PN Ramos, P. N.; (2016). Seasonal study of concentration of heavy metals in waters from lower São Francisco River basin, Brazil. **Braz. J. Biol.**

Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., Dobhal, R. (2013). Avaliação da qualidade da água em termos de índice de qualidade da água. **American Journal of Water Resources**.

United Nations. United Nations World Water Assessment Programme. (2015). The United Nations World Water Development Report 2015. Water for a sustainable world.

Vystavna Y.; Le Coustumer, P.; Huneau, F. (2013). Monitoring of trace metals and pharmaceuticals as anthropogenic and socio-economic indicators of urban and industrial impact on surface waters. **Géoressources and Environnement**.

Zergui, A., Chebli, A. I., Kerdoun, M. A., Hamitri-guerfi, F., Mayouf, R., Touer, H., Chefirat, B., Boudalia, S. (2025). Metallic contaminants in foodstuff consumed in Algeria and associated health risks: A systematic review. **Journal of Trace Elements and Minerals**.

Wang, C.; Wang, K.; Zhou, W.; Li, K.; Zou, G.; Wang, Z. (2023). Occurrence, Risk, and Source of Heavy Metals in Lake Water Columns and Sediment Cores in Jiangnan Plain, Central China. **Int. J. Environ. Res. Public Health**.