

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA

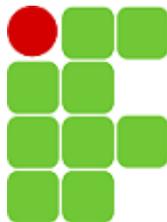
Campus Porto Seguro

Licenciatura em Química

Amanda Schneider Del Pupo

**AVALIAÇÃO DE RISCO AMBIENTAL E HUMANO POR METAIS
POTENCIALMENTE TÓXICOS EM RIOS URBANOS**

Porto Seguro (BA) – 2023



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA

Campus Porto Seguro

Licenciatura em Química

Amanda Schneider Del Pupo

**AVALIAÇÃO DE RISCO AMBIENTAL E HUMANO POR METAIS
POTENCIALMENTE TÓXICOS EM RIOS URBANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Campus Porto Seguro, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Allison Gonçalves Silva

Porto Seguro (BA) - 2023

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO IFBA, COM OS DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

D331a Del Pupo, Amanda Schneider

Avaliação de risco ambiental e humano por metais potencialmente tóxicos em rios urbanos/Amanda Schneider Del Pupo; Orientador Allison Gonçalves Silva -- Porto Seguro: IFBA, 2023.

55 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) -- Instituto Federal da Bahia, 2023.

1.Avaliação de risco. 2.metais e traços. 3.validação de método. I.Silva, Allison Gonçalves, orient. II. TÍTULO.

CDU: 54

Bibliotecária Andréia Ribeiro CRB5/1466

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA

ROD BR 367 KM 57,5 - Bairro Fontana I - CEP 45810-000 - Porto Seguro - BA - www.portal.ifba.edu.br

DEFESA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Amanda Schneider Del Pupo

AVALIAÇÃO DE RISCO AMBIENTAL E HUMANO POR METAIS POTENCIALMENTE TÓXICOS EM RIOS URBANOS

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Química, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Campus Porto Seguro, pela seguinte Banca examinadora:

Professor Orientador: Allison Gonçalves Silva Professor

Avaliador: Wellington Correia de Carvalho

Professor Avaliador: Marcus Luciano Souza de Ferreira Bandeira

Professora Avaliadora: Raquel Viana Quinelato

Porto Seguro, 12 de dezembro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Raquel Viana Quinelato, Usuário Externo**, em 12/12/2023, às 20:26, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **MARCUS LUCIANO SOUZA DE FERREIRA BANDEIRA, Professor Efetivo**, em 12/12/2023, às 20:28, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **ALLISON GONCALVES SILVA, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 12/12/2023, às 21:01, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **WELLINGTON CORREIA DE CARVALHO, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 15/12/2023, às 10:56, conforme decreto nº 8.539/2015.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site http://sei.ifba.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&acao_origem=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **3299027** e o código CRC **845154E5**.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão às minhas mães, Adenilsa Schneider, Zilah Del Pupo e Delmira Canuto, e pai, Sílvio Ferreira Martins, aos meus filhos Isis e Matias, aos meus irmãos, Silvia e Silvio, e à minha tia Iraci Thomaz, e a toda minha família, por todo o apoio e confiança que vocês depositaram em mim ao longo desta jornada acadêmica.

Ao meu orientador, Allison Gonçalves Silva, quero agradecer por aceitar me orientar. Durante quatro anos, trabalhamos juntos, e essa jornada foi repleta de desafios e conquistas. Sei que essa jornada não se encerra aqui. Aprendi não apenas o conhecimento acadêmico, mas também lições valiosas sobre perseverança, comprometimento e excelência em sua orientação.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão à minha banca examinadora, composta por Wellington Correia, Marcus Bandeira e Raquel Quinelato. Agradeço por dedicarem seu tempo na avaliação do meu trabalho, por compartilharem sua sabedoria e apoiarem meu percurso acadêmico. Suas contribuições e orientações foram fundamentais para o desenvolvimento deste projeto.

A todos os meus professores, que são exemplos notáveis de profissionais dedicados, quero expressar minha admiração e gratidão. Cada um de vocês contribuíram para o meu crescimento e fizeram me apaixonar ainda mais pelo curso que escolhi.

Agradeço aos meus colegas do curso e do Laboratório de Análises Ambientais do Extremo Sul da Bahia (LAEEB/IFBA) - Arthur Bahiense, Lázaro Simeão, Queila Niquelen, Gabriela Leite, Juan Sampaio e Everaldo Gonçalves, bem como a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram de maneira significativa. Quero expressar minha gratidão pelas valiosas trocas de ideias, colaboração e apoio mútuo que fortaleceram o percurso acadêmico.

RESUMO

Os impactos ambientais nos ecossistemas aquáticos dos rios dos Mangues e Mundaí, situados no município de Porto Seguro, resultantes da carência de saneamento adequado e do crescimento populacional desordenado são notórios. Frente a essa realidade e a falta de um monitoramento regular da qualidade da água nesses rios, o propósito deste trabalho é desenvolver e validar uma metodologia analítica por meio da técnica de espectrometria de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas (MP-AES) para a avaliação dos níveis de Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni e Zn na água doce, classificada como classe II conforme a Resolução CONAMA 357/2005. Os resultados revelaram concentrações superiores aos padrões regulatórios em ambos os rios, evidenciando a presença significativa de metais como Al, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni e Zn. A análise de risco ambiental, realizada por meio do software HeRisk, destacou níveis extremos de poluição no rio dos Mangues, especialmente para Fe no ponto 1 e para Fe e Ni no ponto 4. Por outro lado, o Rio Mundaí demonstrou baixos riscos gerais, exceto para Cd no ponto 1. Os Índices de Carga de Poluição (PLI) indicaram níveis expressivos de metais no Rio dos Mangues, enquanto o Rio Mundaí manteve valores abaixo de 1. O Índice de Poluição de Limiar Integrado (IPITh) apontou um nível moderado de poluição para o Rio dos Mangues, contrastando com a baixa incidência no Rio Mundaí, em conformidade com a legislação brasileira. A avaliação do Índice de Risco Ecológico Potencial (PERI) revelou riscos moderados para o ecossistema aquático em pontos específicos do Rio dos Mangues, principalmente devido à concentração de cádmio. Já o Rio Mundaí demonstrou ausência significativa de riscos, indicando um ambiente aquático menos impactado. Para o risco humano, a análise considerou a ingestão oral e o contato dérmico, abrangendo crianças e adultos. Os resultados destacaram a ingestão oral como a principal rota de exposição, com Cu e Cd apresentando os maiores riscos não carcinogênicos, embora permanecessem abaixo de 1, indicando um risco insignificante. O Pb também apresentou valores abaixo de 1, sugerindo ausência de risco carcinogênico.

Palavras-chave: avaliação de riscos, metais e traços, química ambiental

ABSTRACT

The environmental impacts on the aquatic ecosystems of the Mangues and Mundaí rivers, located in the municipality of Porto Seguro, resulting from the lack of adequate sanitation and disorderly population growth are notorious. Given this reality and the lack of regular monitoring of water quality in these rivers, the objective of this work is to develop and validate an analytical methodology using the microwave-induced plasma atomic emission spectrometry (MP-AES) technique to the evaluation of the levels of Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni and Zn in fresh water, combination as class II according to CONAMA Resolution 357/2005. The results revealed concentrations higher than regulatory standards in both rivers, highlighting the significant presence of metals such as Al, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni and Zn. The environmental risk analysis, carried out using the HeRisk software, highlighted extreme levels of pollution in the Mangues River, especially for Fe at point 1 and for Fe and Ni at point 4. On the other hand, the Mundaí River presented low overall risks, except for Cd at point 1. The Pollution Load Indices (PLI) indicated significant levels of metals in the Rio dos Mangues, while the Rio Mundaí maintained values below 1. The Integrated Threshold Pollution Index (IPITh) indicated a moderate level of pollution for the Rio dos Mangues, contrasting with the low incidence in the Rio Mundaí, in accordance with Brazilian legislation. The assessment of the Potential Ecological Risk Index (PERI) revealed moderate risks to the aquatic ecosystem in specific points of the Rio dos Mangues, mainly due to the concentration of cadmium. The Mundaí River demonstrated a significant absence of risks, resulting in a less impacted aquatic environment. For human risk, an analysis considering oral consideration and thermal contact, covering children and adults. The results highlight oral participation as the main route of exposure, with Cu and Cd presenting the highest non-carcinogenic risks, although they remain below 1, indicating a negligible risk. Pb also presented values below 1, without absence of carcinogenic risk.

Keywords: risk assessment, metals and traces, environmental chemistry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa das sub-bacias dos Rios dos Mangues e Mundaí	26
Figura 2 - Fluxograma do processo de digestão ácida	27
Figura 3 - Fator de contaminação do rio dos Mangues.....	42
Figura 4 - Fator de contaminação do rio Mundaí	42
Figura 5 - Índices de carga de poluição do rio dos Mangues.....	44
Figura 6 - Índices de carga de poluição do rio Mundaí	44
Figura 7 - Índice de Poluição de Limiar Integrado do rio dos Mangues	45
Figura 8 - Índice de Poluição de Limiar Integrado do rio Mundaí.....	46
Figura 9 - Índice de risco ecológico potencial do rio dos Mangues.....	46
Figura 10 - Índice de risco ecológico potencial do rio Mundaí	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de qualidade relacionados aos metais presentes neste estudo	20
Tabela 2 - Fontes de contaminação e efeitos a saúde humana (CETESB)	21
Tabela 3 - Parâmetros instrumentais e do método no MP-AES Agilent 4210	28
Tabela 4 -Linearidade do método.....	32
Tabela 5 - Limites de detecção (LD) e quantificação (LQ)	33
Tabela 6 - Precisão analítica	34
Tabela 7 - Exatidão do método analítico	35
Tabela 8 - Valores máximos e mínimos dos metais por ponto (mgL^{-1})	37
Tabela 9 - Comparação das concentrações de metais (mgL^{-1}) nos rios do Mundaí e Mangues com outros rios do mundo.	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al – Alumínio

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

BIS – Bureau of Indian Standards

Cd – Cádmio

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CF – Fator de contaminação

CO₂ – Dióxido de Carbono

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

Cr – Cromo

Cu – Cobre

ESPAB – Estação Pau Brasil

Fe – Ferro

H₂O₂ – Peroxido de Hidrogênio

HCl – Ácido Clorídrico

HI – Índice de Risco

HNO₃ – Ácido Nítrico

HQ – Quociente de perigo não carcinogênico, do inglês Hazard Quotient

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPITh – Índice de poluição de limiar integrado, do inglês Integrated Threshold Pollution Index

LD – Limite de Detecção

LQ – Limite de Quantificação

MIP OES – Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Induzido por Microondas

N₂ – Nitrogênio

Ni – Níquel

ONU – Organização da Nações Unidas

Pb – Chumbo

PERI – Índice de risco ecológico potencial, do inglês Potential Ecological Risk Index

PLI – Índice de carga de poluição, do inglês Pollution Load Index

RPPN – Reserva Particular do Patrimonio Natural

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

U.S. EPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, do inglês United States Environmental Protection Agency

WHO – Organização Mundial da Saúde, do inglês World Health Organization

Zn – Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3. REVISÃO DA LITERTURA	19
3.1 RISCO ECOLÓGICO.....	22
3.2 RISCO HUMANO	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
4.2 AMOSTRAGEM.....	26
4.3 DIGESTÃO ÁCIDA EM BLOCO DIGESTOR	27
4.5 INSTRUMENTAÇÃO	28
4.6 VALIDAÇÃO DO MÉTODO ANALÍTICO.....	29
4.6 AVALIAÇÃO DE RISCO ECOLOGICO E HUMANO UTILIZANDO O HeRisk.	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 VALIDAÇÃO DO MÉTODO	32
5.1.1 Linearidade e faixa de trabalho.....	32
5.1.2 Limite de Detecção e Quantificação	33
5.1.3 Precisão	34
5.1.4 Exatidão	34
5.2 QUATIFICAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE TOXICOS	35
5.3 ANALISE DE RISCO ECOLÓGICO E HUMANO.....	41

5.3.1 <i>Risco Ecológico</i>	41
5.3.2 <i>Risco Humano</i>	48
7. REFERÊNCIAS	51
8. APÊNDICE	57

1. INTRODUÇÃO

Embora haja várias leis no Brasil destinadas a garantir a preservação dos recursos hídricos e do uso da terra nas áreas circunvizinhas, e inúmeros órgãos ambientais encarregados de fiscalizar esses ecossistemas, é cada vez mais evidente a deterioração dos rios, das zonas costeiras e das áreas ribeirinhas (BRASIL, 2005; VON SPERLING, 2014; PIAZZA *et al.*, 2017).

A literatura científica atual destaca uma série de estudos que evidenciam como a inúmeras fontes de origem antrópica contribuem para a degradação ambiental, entre as quais se incluem: esgotamento sanitário inadequado, crescimento populacional exacerbado, uso e ocupação desordenado do solo, práticas agrícolas intensivas, desmatamento e descarte inadequado de resíduos sólidos estão contribuindo para a deterioração da qualidade dos corpos d'água.(PANDEY *et al.*, 2019; SETIA *et al.*, 2020; DA SILVA JUNIOR *et al.*, 2022; JABŁOŃSKA-CZAPLA; GRYGOYĆ, 2023).

Essa situação é respaldada pelas informações fornecidas pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), os quais indicam que, até o ano de 2022, apenas 55,8% do esgoto gerado no Brasil estava sendo adequadamente coletado e tratado. Em Porto Seguro, Bahia, esse índice é de 62,01%. A maior parcela desse esgoto era descartada de maneira inadequada em rios, fossas e valas a céu aberto (BRASIL, 2019). A crescente preocupação com a poluição por metais potencialmente tóxicos nos ecossistemas fluviais reflete as implicações sociais e ecológicas significativas desse problema (SOUZA; MORASSUTI; DEUS, 2018). Embora alguns metais sejam necessários em concentrações mínimas como micronutrientes, níveis que excedem essas quantidades mínimas podem induzir toxicidade (JONES & JOHNSON, 2019). Devido aos processos de bioacumulação e biomagnificação, a contaminação por metais pesados na cadeia alimentar resulta em sérios problemas ambientais e de saúde (GARCÍA-ARREDONDO *et al.*, 2021).

Estudos realizados na região indicam a presença de contaminação por metais potencialmente tóxicos, assemelhando-se aos trabalhos conduzidos no estuário do rio

Buranhém, localizado em Porto Seguro, no extremo sul da Bahia. O primeiro estudo, conduzido por SANTOS *et al.* (2018), concentrou-se na utilização de folhas da espécie *Laguncularia racemosa*, encontradas nos manguezais desse estuário, como bioindicadores da presença de metais. Os resultados evidenciaram concentrações elevadas de Cr, Cu, Cd e Pb, alcançando valores de 2.9, 1.9, 36 e 145 mgkg⁻¹, respectivamente, indicando uma presença significativa desses metais no ambiente. PEREIRA *et al.* (2020) realizaram uma análise na porção estuarina do rio Buranhém com o objetivo de avaliar a tolerância dos corais adultos da espécie *Favia gravida*. Os resultados revelaram a presença de Pb e Cd na água do estuário em concentrações variando de 0.21 a 3.4 µgL⁻¹, indicando a degradação da região estuarina devido à presença de metais potencialmente tóxicos.

Com base na problemática apresentada, considerando a classificação dos Rios dos Mangues e Mundaí como Classe II segundo a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 375 de 2005, destinado ao abastecimento de água para consumo humano e para atividades de recreação de contato primário, como natação, esqui aquático e mergulho Resolução CONAMA nº 274, de 2000. Diante dessa classificação e da indicação de contaminação por metais potencialmente tóxicos, o objetivo deste estudo é otimizar e validar um procedimento analítico para quantificar as concentrações de elementos como Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni e Zn, presentes em água nos Rios dos Mangues e Mundaí avaliando o risco ecológico associado à contaminação e seus potenciais impactos na saúde humana, contribuindo para uma compreensão mais abrangente dos efeitos nesse ecossistema aquático e na comunidade local.

Para a avaliação de risco ecológico e humano, o uso de tecnologia e recursos computacionais tem proporcionado o desenvolvimento de soluções inteligentes destinadas à detecção de áreas suscetíveis à poluição e ao mapeamento de regiões estáveis. Dentre essas soluções, destaca-se software HeRisk que permite a avaliação do risco, utilizando critérios toxicológicos. Este software possibilita que os cálculos de risco se ajustem às variações na exposição em uma determinada área, levando em consideração, de modo específico, o envelhecimento da população exposta (NERIS *et al.*, 2021).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver metodologia para a quantificação de metais em águas usando a técnica de espectrometria de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas (MIP OES) visando determinar riscos ecológicos e à saúde humana.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Otimizar método de digestão ácida para quantificação de Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni e Zn utilizando a técnica MIP OES.
- Validar o método analítico para a quantificação precisa de Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni e Zn utilizando a técnica MIP OES.
- Aplicar o método para determinar as concentrações de Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni e Zn em amostras de água dos Rios dos Mangues e Mundaí.
- Analisar o de risco ecológico e humano utilizando o software HeRisk correlacionando a presença desses metais potencialmente tóxicos no ambiente aquático e os impactos na saúde humana e no ecossistema.

3. REVISÃO DA LITERTURA

A água é um recurso vital para a existência da vida. Estima-se que a Terra contenha um volume total de 1,4 bilhões de km³ de água, que inclui água doce, salobra e salgada. No entanto, apenas 0,3% desse total é água doce disponível em fontes superficiais, como lagos e rios, de acordo com a ONU (2013). O Brasil detém cerca de 12% de todas as reservas de água doce do mundo, mas a distribuição não é uniforme, com cerca de 70% desse recurso localizado na Bacia Amazônica, uma região com baixa densidade populacional, enquanto o Nordeste do país possui menos de 5% desse recurso, de acordo com a ANA (2012).

Dessa forma a preservação dos rios desempenha um papel de extrema importância no contexto da saúde pública devido aos diversos usos desse recurso. Desde o abastecimento público até atividades recreativas, as populações humanas ficam expostas a riscos de contaminação através da água. Os poluentes lançados nos corpos d'água acaba sendo incorporados na cadeia alimentar, chegando ao consumidor final, ou seja, os seres humanos, e podem causar uma série de problemas de saúde (MEDEIROS *et al.*, 2012).

A qualidade da água em fontes superficiais, como rios, está ligada aos usos desse recurso e à presença de poluentes despejados nos corpos d'água. No Brasil, o CONAMA desempenha um papel como órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente, estabelecendo normas, critérios e padrões para o controle e manutenção da qualidade do meio ambiente, com um foco especial no uso racional dos recursos hídricos. A ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) assume a responsabilidade, no âmbito federal, de implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos. Além disso, a ANA regula o uso dos recursos hídricos, e estabelece normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico. Ambos os órgãos desempenham funções fundamentais na proteção e gestão da qualidade da água no país, garantindo a segurança do abastecimento de água potável.

No cenário internacional, vários países possuem regulamentações destinadas a garantir a qualidade da água potável. Por exemplo, nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) estabelece diretrizes para a qualidade da água (USEPA, 2015). No contexto da Índia, o Bureau of Indian Standards (BIS) assume a responsabilidade de estabelecer normas para a qualidade da água potável no país (BIS, 2010). Essas diretrizes incluem a fixação de limites máximos permitidos para uma ampla variedade de parâmetros, abrangendo desde concentrações de substâncias químicas até micro-organismos e contaminantes.

Os critérios de qualidade da água estabelecidos pela legislação brasileira com base nas diretrizes do CONAMA, englobam vários parâmetros, incluindo as concentrações máximas permitidas de metais potencialmente tóxicos. Além disso, os padrões de qualidade relevantes para o estudo foram comparados com os encontrados em outros países, como a USEPA, a WHO e o BIS, e essas comparações estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Padrões de qualidade relacionados aos metais presentes neste estudo

Analitos	CONAMA (mgL⁻¹)	USEPA (mgL⁻¹)	W.H.O (mgL⁻¹)	B.I.S (mgL⁻¹)
Alumínio	0,100	-	-	0.030
Cádmio	0,001	0,005	0,003	0.010
Chumbo	0,010	0,000	0,010	0.010
Cobre	0,009	1,300	2,000	0.050
Cromo	0,050	0,100	0,050	0.050
Ferro	0,300	0,300	0,300	0.100
Níquel	0,025	-	0,070	0.020
Zinco	0,180	0,100	0,100	5.000

O monitoramento dos níveis de contaminação por metais em rios desempenha um papel importante na gestão da qualidade da água, abordando os riscos associados à sua presença. Esses metais, introduzidos nos corpos d'água devido a atividades humanas como mineração, indústria, agricultura e descarte inadequado de resíduos, representam

sérios perigos para a saúde humana e o meio ambiente, devido à sua persistência e capacidade de acumulação. O monitoramento constante permite identificar potenciais fontes de contaminação, avaliar a conformidade com regulamentos de qualidade da água (AYOTUNDE *et al.*, 2012; US EPA, 2015)

É notável que a maioria dos metais pode ser altamente tóxica como mostra a Tabela 2 para o organismo humano, e sua introdução no corpo pode ocorrer de diferentes maneiras, incluindo a inalação de contaminantes no ar, a ingestão de água e alimentos contaminados, bem como a absorção dérmica por contato direto. Muitas vezes, uma concentração relativamente baixa desses metais é suficiente para desencadear efeitos tóxicos significativos (ATSDR, 2021). No entanto, é importante observar que alguns metais desempenham um papel crucial na manutenção da saúde humana. Conhecidos como oligoelementos essenciais, esses metais participam em inúmeros processos bioquímicos, como a síntese de enzimas, e são encontrados naturalmente na água, proporcionando benefícios à saúde. (NIKAIDO *et al.*, 2004).

Tabela 2 - Fontes de contaminação e efeitos a saúde humana (CETESB)

Analito	Fontes de contaminação	Efeitos à saúde
Alumínio	Processos naturais; mineração, processos industriais; águas residuais tratadas com alúmen	Alzheimer e doenças neurodegenerativas; vômitos, diarreia, úlceras na boca, úlceras na pele, erupções cutâneas e dores artríticas.
Cádmio	Mineração, produtos (baterias de níquel cádmio, pigmentos e componentes eletrônicos) ligas de zinco, chumbo e cobre, emissões de indústrias de ferro e aço, e fertilizantes fosfatados.	Dano renal, osteomalácia e osteoporose, edema pulmonar, traqueobronquite e pneumonite, e tumores pulmonares
Crômio	Emissões industriais, como produção da liga ferro crômio, refino de minério e seu tratamento químico	Falência renal aguda, dermatites de contato, ulcerações crônicas na pele e perfurações no septo nasal

Cobre	Mineração, fundição, queima de carvão como fonte de energia e, agente antiaderente em pinturas e na agricultura,	Vômito, letargia, anemia hemolítica aguda, dano renal e hepático, em alguns casos morte
Ferro	Efluentes industriais, coagulantes a base de ferro e erosão de solos e rochas	Diarreia, vômito e lesões do trato digestivo. O consumo de longo prazo pode desencadear cirrose, câncer de fígado, diabetes, problemas cardíacos
Chumbo	Emissão de fundições e fábricas de baterias efluentes industriais, tubulações, soldas, acessórios e conexões contendo chumbo	Danos nos sistemas neurológico, hematológico, gastrointestinal, cardiovascular, reprodutor e renal, e tumores.
Zinco	Mineração, produção de zinco, produção de ferro e aço, corrosão de estruturas galvanizadas, combustão de combustíveis, fertilizantes e agrotóxicos contendo zinco.	Desconforto pulmonar, febre, calafrios e gastroenterite, anemia, danos no pâncreas e diminuição do colesterol HDL
Níquel	Erosão de solos e rochas, do lixo municipal e de efluentes industriais	Dermatite de contato, dor de estômago e alterações sanguíneas

Como apresentado apresentados na Tabela 2, torna-se evidente o risco para indivíduos que entram em contato direto com água ou sedimentos contaminados por metais. A exposição, tanto aguda quanto crônica, a esses elementos está associada a uma diversidade de impactos adversos na saúde humana. Esses impactos abrangem desde danos ao sistema nervoso, comprometimento renal, distúrbios respiratórios, desequilíbrios endócrinos e até mesmo o desenvolvimento de câncer, configurando uma situação de extrema preocupação para a saúde pública (MAWARI, 2022).

3.1 RISCO ECOLÓGICO

A metodologia adotada para a avaliação de riscos ecológicos fundamenta-se em diversas referências, destacando-se os estudos, (QINGJIE et al. 2008), (MULLER, 1986) (EMENIKE et al. 2020) e outros trabalhos relevantes. Essas fontes proporcionam ferramentas eficazes para a avaliação da qualidade da água, solo e sedimentos em uma

área específica, permitindo a identificação dos níveis de contaminação e dos riscos associados ao ecossistema.

Os índices de poluição são classificados em dois grupos: individuais, coletivos e, os índices individuais são utilizados para avaliar a poluição proveniente de espécies químicas tóxicas levando em consideração suas concentrações nas matrizes analisadas e os valores de referência do banco de dados. Dentre esses índices, destaca-se o Fator de Contaminação (CF), empregado para avaliar as interferências antrópicas nas concentrações de espécies químicas no meio ambiente. Os níveis de contaminação podem ser categorizados conforme suas intensidades em uma escala que varia de 1 a 6, seguindo a metodologia estabelecida por Muller em 1969. De acordo com essa classificação, valores de CF inferiores a 1 indicam baixa contaminação, enquanto valores entre 3 e 6 refletem contaminação moderada, valores iguais ou superiores a 6 são associados a contaminação extrema.

Os índices coletivos são derivados de índices individuais e visam avaliar o grau de contaminação decorrente da presença simultânea de diversas espécies químicas. O Índice de Carga de Poluição (PLI) é calculado a partir do Fator de Carga (CF) para os elementos considerados, sendo utilizado para avaliar os riscos de contaminação e a carga poluente em uma área específica. Ele indica os níveis de contaminação e os riscos ambientais associados, sendo classificado como não poluído se <1 , moderadamente poluído se igual a 1 e poluído se >1 (SHEN et al., 2019). O Índice de Poluição de Limiar Integrado (IPITh) quantifica o nível de poluição em uma matriz específica, utilizando os limites definidos pela legislação nacional como referência. Nesse caso, a classificação ocorre em uma escala de 1 a 5, onde ≤ 1 indica baixo a moderado poluído, 1-2 é moderadamente poluído, 2-5 é muito poluído e >5 é extremamente poluído (QINGJIE et al. 2008).

Quanto ao Índice de Risco Ecológico Potencial (PERI), ele fornece dados sobre a vulnerabilidade ecológica da área em estudo, permitindo a determinação do risco ecológico com base nos valores dos fatores de resposta tóxica associados a cada espécie química tóxica. Esse índice é categorizado em uma escala de risco de 0 a 600,

sendo considerado de baixo risco se <150 , de risco moderado se entre 150 e 300, de risco alto se entre 300 e 600, e de risco extremo se ≥ 600 . Dessa forma, esses índices fornecem uma abordagem abrangente para a avaliação e classificação dos impactos ambientais em uma determinada área (EMENIKE et al. 2020).

3.2 RISCO HUMANO

A avaliação do risco humano desempenha um papel importante na análise do grau de perigo representado por metais potencialmente tóxicos em seres humanos ao longo dos anos. A metodologia sugerida pela USEPA distingue os resultados da avaliação de risco em duas categorias definidas: riscos não cancerígenos, com efeitos não cumulativos, e riscos cancerígenos, com efeitos cumulativos (USEPA, 2005).

Para o cálculo da dose diária de ingestão e da dose diária absorvida, representando a quantidade dos contaminantes que ingressa no organismo por meio das vias de ingestão e contato dérmico, respectivamente. Essas quantidades dependem de parâmetros químicos intrínsecos das espécies químicas, como concentração, permeabilidade dérmica, fração de absorção dérmica, biodisponibilidade, entre outros. Parâmetros de duração da exposição, como frequência e período de exposição, e parâmetros fisiológicos, como peso corporal e área superficial da pele, também são considerados. Uma vez conhecidas as doses para cada via de exposição e metal, são calculados o risco potencial carcinogênico (CR) e o quociente de perigo não carcinogênico (HQ). Considerando diversas rotas de exposição, é então calculado o índice de risco agregado (HI_{agg}) e o potencial risco agregado de câncer (CR_{agg}). Esses índices representam a soma dos riscos não cancerígenos (HQ) e carcinogênicos (CR) resultantes de múltiplas vias de exposição. Para obter o risco global, incorporando todas as rotas de exposição e todos os metais, são calculados o índice de risco total (HI_{tot}) e o potencial risco carcinogênico cumulativo (CR_{cum}) (USEPA, 2005).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Porto Seguro se localiza no extremo sul do estado da Bahia, fazendo fronteira com Santa Cruz Cabrália, Prado, Itabela, Itamaraju e Eunápolis, e a Leste com o Oceano Atlântico. Com uma extensão territorial de 2.285,734 quilômetros quadrados e população de cerca de 168.326 habitantes, de acordo com as estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 2022.

Em seu território encontram-se 22 sub-bacias hidrográficas. A área de estudo compreende as sub-bacias dos rios dos Mangues e Mundaí que têm suas nascentes situadas na região urbana do município de Porto Seguro e desembocadura na zona costeira (PMMA, 2014). O Plano Municipal da Mata Atlântica do Município de Porto Seguro indica que o Rio dos Mangues, abastece o núcleo urbano e a orla norte do município. Parte das suas nascentes localiza-se na ESPAB (Estação Pau Brasil, da CEPLAC) e outra parte na RPPN Veracel. O Rio Mundaí, é formado por pequenos cursos d'água provenientes dos platôs e da região praiana, sua foz é na praia de Mundaí e ao longo deste rio encontra-se uma grande área urbanizada, devido a estar próximo a praia e com isso maior atração turística (PMMA, 2014).

Figura 1 - Mapa das sub-bacias dos Rios dos Mangues e Mundaí



4.2 AMOSTRAGEM

Os procedimentos de coleta e armazenamento das amostras, seguiram os procedimentos estabelecidos no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011). Foi coletado um volume de 2 litros por ponto, armazenado em frascos de polietileno, a fim de garantir a quantidade necessária para a realização de todas as análises subsequentes. Após a coleta, as amostras foram imediatamente acondicionadas em caixas térmicas contendo gelo, garantindo assim a sua preservação adequada. Para a determinação dos metais dissolvidos, as amostras foram submetidas ao processo de filtração utilizando papel filtro quantitativo de $0,45\mu\text{m}$ após filtrada foram acidificadas até pH 2 com HNO_3 concentrado e armazenar até realização das análises, de acordo com método de 3030 B (APHA, 2017).

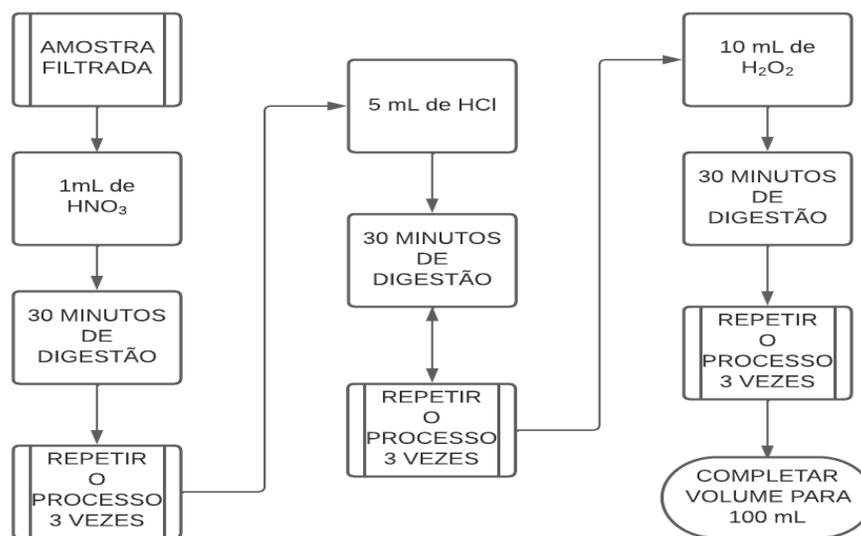
Entre outubro de 2022 e fevereiro de 2023, foram realizadas três campanhas para a coleta de amostras em seis pontos ao longo do rio dos Mangues. Destes, dois são nascentes, nomeadas como P1 e P2. Além disso, foram feitas três amostragens dentro do perímetro urbano, especificamente em P3, P4 e P6, juntamente com P5, localizado no perímetro da estação de tratamento de água. No rio Mundaí, foi feita a coleta de

amostras em três pontos, todos situados no perímetro urbano. O primeiro ponto, P1, desempenha um papel crucial no abastecimento de água à população do bairro. O segundo ponto, P2, está situado no bairro Paraguai, enquanto o terceiro ponto, P3, encontra-se diretamente no curso do rio Mundaí.

4.3 DIGESTÃO ÁCIDA EM BLOCO DIGESTOR

Foram utilizados reagentes com grau de pureza analítica e na preparação das soluções, água ultrapura com uma resistividade de $18,2 \text{ M}\Omega \text{ cm}^{-1}$, obtida de um sistema de purificação da Rephile (modelo Direct Pure Adept). Todos os frascos e vidrarias utilizados na coleta foram previamente descontaminados por imersão em soluções de HNO_3 10% v/v durante 24 horas, seguidas de enxágue com água ultrapura. Para a etapa de digestão ácida em bloco digestor foram utilizados 100 mL da amostra, 3 mL de ácido nítrico, 15 mL de ácido clorídrico (HCl) e 30 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) 30%, mantidos a uma temperatura constante de 130°C , adaptado do método 3030 F da APHA 2017. Conforme mostra a Figura 2 do fluxograma que detalha o procedimento de digestão ácida utilizando bloco digestor.

Figura 2 - Fluxograma do processo de digestão ácida



4.5 INSTRUMENTAÇÃO

A determinação multielementar de metais em amostras de água foi realizada por Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma por Micro-Ondas (MIP OES) no equipamento MP-AES modelo 4210 da Agilent Technologies, Austrália. Equipado com um monocromador do tipo Czerny-Turner, um nebulizador OneNeb, uma câmara de nebulização e uma tocha de quartzo.

Para a geração do plasma, o gás nitrogênio (N₂) foi utilizado, sendo produzido a partir do ar atmosférico através de um gerador de N₂, que é o modelo 4107 da Agilent. O equipamento foi configurado automaticamente pelo software para cada analito, o que permite que o sistema ajuste as condições de análise de acordo com os elementos que foram analisados. Os parâmetros instrumentais e as configurações para cada analito estão listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros instrumentais e do método no MP-AES Agilent 4210

Parâmetro	Especificação							
	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Zn	Ni
Analitos								
Comprimento de onda (nm)	396,152	228,802	425,433	324,754	371,993	405,781	213,854	325,454
Posição de observação do plasma	-20	-30	-30	-20	-20	0	-30	-10
Taxa de fluxo do gás de nebulização (Lmin ⁻¹)	1	0,55	1	0,95	0,85	1	0,55	0,85
Nebulizador	OneNeb Series 2							
Velocidade da bomba (rpm)	15							
Tubulação da bomba da amostra	Orange/Green Solvaflex							
Tubulação da bomba de descarte	Blue/blue Solvaflex							
Tempo de leitura (s)	3							

Nº de réplicas	3
Retardo na captação da amostra (s)	15
Tempo de lavagem (s)	15
Tempo de estabilização (s)	15
Tempo de captação (s)	15
Correção de background	Auto
Câmara de nebulização	Passagem dupla de vidro ciclônica
Tocha de plasma	Tocha Easyfit
Fonte de gás	Nitrogênio

A otimização das condições de análise foi automatizada por meio do software MP Expert (versão 1.5.1.0, Agilent Technologies, Austrália). Nesse processo automatizado, o programa identifica as condições ideais de vazão para a nebulização e determina a posição mais apropriada para o espelho da pré-ótica do equipamento. O objetivo é maximizar o sinal para cada analito, assegurando a obtenção do maior desempenho analítico possível.

4.6 VALIDAÇÃO DO MÉTODO ANALÍTICO

O procedimento analítico foi validado de acordo com as figuras de mérito analíticos determinadas pela Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), na qual estabelece os critérios para validação de métodos analíticos. Entre elas estão, limite de detecção (LD), limite de quantificação (LQ), faixa linear, linearidade, precisão e exatidão analítica.

Para estabelecer a linearidade, foram utilizadas no mínimo cinco concentrações diferentes de soluções padrões, preparadas em triplicata. Todos os cálculos para a avaliação da linearidade foram baseados nas concentrações e respostas analíticas individuais.

O LD é a menor quantidade de um analito em uma amostra que pode ser detectada, embora não necessariamente quantificada, sob as condições experimentais estabelecidas. Em métodos instrumentais, a determinação do limite de detecção geralmente é obtida pela avaliação da razão sinal-ruído, considerando a estimativa do ruído proveniente da análise de um número de dez amostras em branco e a inclinação da curva (IC) de calibração. Conforme a Equação 1 na qual σ corresponde o desvio padrão das medidas do branco e inclinação da curva.

$$LD = \frac{3,3 \times \sigma}{IC} \quad \text{Equação 1}$$

O LQ é a menor quantidade do analito em uma amostra que pode ser determinada com precisão e exatidão aceitáveis, utilizando o mesmo procedimento descrito para a determinação do LD. O LQ pode ser calculado conforme a Equação 2, a qual envolve parâmetros da curva analítica:

$$LQ = \frac{10 \times \sigma}{IC} \quad \text{Equação 2}$$

Os valores do (LD) e do (LQ) foram determinados utilizando as Equações 1 e 2, respectivamente. Para isso, o cálculo foi baseado no desvio padrão de 10 vezes a leitura do branco, juntamente com a inclinação da curva de calibração obtida separadamente para cada analito, conforme determinado pelo INMETRO.

A avaliação da precisão para medir a concordância entre os resultados obtidos por meio de testes realizados em amostras preparada. A precisão pode ser caracterizada através da análise da repetibilidade e precisão intermediária. A demonstração da precisão pode ser realizada pela análise da dispersão dos resultados, utilizando o cálculo do desvio padrão relativo (DPR) da série de medições. Para realizar a avaliação da repetibilidade, é fundamental garantir que as amostras sejam avaliadas sob condições idênticas de operação, com o mesmo analista e a mesma instrumentação, em uma única execução analítica. Realizar, no mínimo, 9 (nove) determinações, abrangendo o intervalo linear estipulado pelo método analítico, o que significa incluir 3 (três) concentrações distintas: baixa, média e alta, com 3 (três) réplicas para cada nível. Para a avaliação da precisão intermediária foi realizada de acordo com os critérios a seguir, refletir a proximidade entre os resultados obtidos da análise de uma mesma amostra no mesmo

laboratório, em 5 (cinco) dias distintos, incluindo as mesmas concentrações e o mesmo número de determinações descritas na avaliação da repetibilidade.

A determinação da exatidão de um método analítico pode ser obtida por meio da avaliação do grau de concordância entre os resultados individuais do método em estudo e um valor considerado como verdadeiro. Para verificar a exatidão, foram necessários realizar no mínimo 9 (nove) determinações, abrangendo o intervalo linear do método analítico, ou seja, 3 (três) concentrações distintas: baixa, média e alta, com 3 (três) réplicas para cada nível. Todos os procedimentos analíticos seguiram as diretrizes do INMETRO.

4.6 AVALIAÇÃO DE RISCO ECOLOGICO E HUMANO UTILIZANDO O HeRisk

Para realizar a avaliação de risco relacionada à bioacumulação e exposição a metais potencialmente tóxicos, foi empregado o software HeRisk, (NERIS et al., 2021). Este programa habilita a efetuar cálculos abrangentes abordando os riscos tanto para a saúde humana quanto para o ecossistema, assim como a avaliação dos impactos ambientais decorrentes da bioacumulação de metais tóxicos e à exposição a essas substâncias.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 VALIDAÇÃO DO MÉTODO

O método adotado foi uma adaptação do método 3030 F Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater de 2017. Para aprimorar o processo de digestão, foram adicionadas 30 mL de peróxido de hidrogênio às amostras. Decompondo a matéria orgânica presente nas amostras, resultando em sua degradação. Esse método eficaz contribuiu para evitar a presença de interferentes na amostra, assegurando a integridade dos resultados analíticos obtidos. (KRUG; ROCHA, 2019).

5.1.1 Linearidade e faixa de trabalho

Os resultados da avaliação incluíram a representação gráfica das respostas em relação à concentração do analito, um gráfico de dispersão e a equação da reta de regressão de y em x, estimada pelo método dos mínimos quadrados. Além disso, a significância do coeficiente angular foi verificada como sendo diferente de zero, e o coeficiente de correlação foi superior a 0,990. Na Tabela 4, os dados da linearidade das curvas analíticas foram dispostos.

Tabela 4 -Linearidade do método

Analito	Linearidade		Regressão
	Faixa linear (mgL ⁻¹)	R ²	y = ax + b (n=3)
Al	0,0058 – 6,25	0,9989	y = 22689x + 1193,8
Cd	0,0037 – 1,25	0,9997	y = 33435x + 47,466
Cr	0,0017 – 1,25	0,9994	y = 30711x - 293,3
Cu	0,0323 – 1,25	0,9996	y = 178295x + 108,95

Fe	0,0683 – 12,5	0,9997	$y = 9625,4x - 230,66$
Pb	0,0048 – 1,25	0,9993	$y = 19798x - 40,596$
Zn	0,0271 – 6,25	0,9989	$y = 19553x + 1682,2$
Ni	0,0043 – 6,25	0,9997	$y = 22326x - 207,45$

As soluções padrão de referência utilizadas para obtenção das curvas de calibração do MP-AES foram preparadas a partir de diluições de soluções estoque de concentração 1000 mgL^{-1} Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn e Ni e. As concentrações das soluções de calibração padrão variaram de $0,03 - 1,25 \text{ mgL}^{-1}$ para Cd, Cr, Cu e Pb, Al, Zn e Ni de $0,25 - 6,25 \text{ mgL}^{-1}$ e para Fe $0,25 - 12,5 \text{ mgL}^{-1}$. A partir das intensidades obtidas na curva de calibração, foram plotados gráficos de dispersão individuais para cada analito em estudo, relacionando as intensidades com as concentrações. Permitindo a obtenção de equações de regressão linear e coeficientes de correlação satisfatórios, todos superiores a 0,990, conforme exigido pelo INMETRO.

5.1.2 Limite de Detecção e Quantificação

Com base nas Equações 1 e 2, os cálculos para os LD e LQ foram executados, como detalhado na Tabela 5.

Tabela 5 - Limites de detecção (LD) e quantificação (LQ)

Analito	LD (mgL^{-1})	LQ (mgL^{-1})
Al	0,0019	0,0058
Cd	0,0012	0,0037
Cr	0,0006	0,0017
Cu	0,0107	0,0323
Fe	0,0226	0,0683
Pb	0,0016	0,0048
Zn	0,0090	0,0271
Ni	0,0014	0,0043

Esses procedimentos permitiram a obtenção de estimativas confiáveis do LD e do LQ, revelando a menor quantidade do analito que pode ser detectada e quantificada com precisão e exatidão nas condições experimentais estabelecidas.

5.1.3 Precisão

Os resultados da precisão estão expressos na Tabela 6.

Tabela 6 - Precisão analítica

Analito	Precisão (RSD%)	
	Repetibilidade (n = 9)	Intermediária (n=15)
Al	0,26 – 1,54	0,37 – 0,91
Cd	0,86 – 2,10	0,21 – 3,01
Cr	0,34 – 2,92	0,46 – 1,74
Cu	0,18 – 1,74	0,24 – 0,80
Fe	0,25 – 1,70	0,04 – 0,91
Pb	0,10 – 1,62	0,51 – 6,81
Zn	0,42 – 0,60	0,13 – 0,70
Ni	0,10 – 1,16	0,55 – 1,01

Em métodos de análise de traços ou impurezas, a aceitabilidade do Desvio Padrão Relativo (DPR) pode variar até 20%, dependendo da complexidade da amostra. No estudo em questão, os valores obtidos para a repetibilidade ficaram na faixa de 0,10 a 2,92%, e para a precisão intermediária, variaram de 0,04 a 6,81%. Esses resultados estão em conformidade com as normas estabelecidas, demonstrando a confiabilidade do método proposto.

5.1.4 Exatidão

As amostras foram preparadas de maneira independente. A exatidão pode ser expressa por meio da relação percentual de recuperação do analito de concentração conhecida, adicionado à amostra, ou pela relação entre a concentração média,

determinada experimentalmente, e a concentração teórica correspondente. Conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Exatidão do método analítico

Analito	Exatidão (Recuperação %)		
	Adição (1)	Adição (2)	Adição (3)
Al	71	105	108
Cd	88	92	85
Cr	80	97	96
Cu	74	80	79
Fe	74	96	94
Pb	75	95	94
Zn	82	88	88
Ni	110	100	99

Para calcular a exatidão foram feitos testes de adição e recuperação, que visam avaliar a precisão das análises, foram utilizadas concentrações baixas, médias e altas. Para os elementos Pb, Cu, Cr e Cd, as concentrações empregadas foram de 0,1; 0,3 e 1,0 mgL⁻¹, enquanto para Ni e Al foram de 0,5; 1,5; e 5 mgL⁻¹, e para o Fe, as concentrações utilizadas foram de 1,0; 3,0; e 10 mgL⁻¹.

Os valores de recuperação obtidos se situaram na faixa de 71% a 108%. Esses resultados estão em conformidade com os intervalos aceitáveis de recuperação para análise de traços, que geralmente se estabelecem entre 70% e 120% segundo o INMETRO. Isso significa que os valores de recuperação estão dentro dos limites aceitáveis, o que indica a confiabilidade do método

5.2 QUANTIFICAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE TOXICOS

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, com base na classificação do corpo hídrico são estabelecidos os níveis de concentração de metais do corpo hídrico, os rios abordados neste estudo foram categorizados como classe 2. As análises realizadas

estão detalhadamente apresentadas na Tabela 8, indicando o rio em que a amostra foi coletada e a faixa das concentrações de cada metal por ponto de coleta.

Tabela 8 - Valores máximos e mínimos dos metais por ponto (mgL⁻¹)

	Pontos	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Zn	Ni
Rio dos Mangues	P1	0,002 – 0,138	0,001 – 0,009	0,001 – 0,008	0,011	0,178 - 6,940	0,002 - 0,009	0,024- 0,135	0,004 - 0,355
	P2	0,002 – 0,273	0,001 – 0,012	0,002 – 0,012	0,011	0,584 - 0,947	0,002 -0,007	0,009 - 0,291	0,007 - 0,026
	P3	0,002 – 0,399	0,001 – 0,014	0,003 – 0,009	0,011	0,303 - 1,792	0,006 - 0,012	0,009 - 0,438	0,009 - 0,022
	P4	0,002 – 0,771	0,001 – 0,002	0,001 – 0,831	0,011 – 0,032	0,952 - 3,182	0,002 – 0,015	0,009 - 0,870	0,040 - 0,453
	P5	0,002 – 0,504	0,001 – 0,005	0,002 – 0,215	0,011 – 0,033	1,068 - 1,393	0,002 – 0,017	0,009 - 0,560	0,034 - 0,097
	P6	0,002 – 0,567	0,001 – 0,002	0,002 – 0,090	0,011 – 0,061	0,581 - 1,621	0,002 – 0,009	0,009 - 0,633	0,003 - 0,056
Rio Mundaí	P1	0,002 – 0,154	0,001	0,001- 0,014	0,011 - 0,013	0,081 - 1,048	0,002 – 0,008	0,009	0,001 – 0,025
	P2	0,002	0,001	0,001- 0,008	0,011	0,023 - 1,190	0,002	0,009	0,001 – 0,006
	P3	0,002	0,001	0,001 – 0,007	0,011	0,337 - 0,845	0,002 -0,006	0,009	0,001 – 0,011
CONAMA		0,100	0,001	0,050	0,009	0,300	0,010	0,180	0,025

Conforme destacado na Tabela 8, no rio dos Mangues, foram detectadas concentrações que excedem os limites regulatórios para diversos elementos. Al, Cd e Fe ultrapassaram esses limites em todos os pontos amostrais, enquanto Cr e Cu excederam nos pontos P4, P5 e P6. O elemento Pb apresentou níveis elevados nos pontos P3, P4 e P5, Ni excedeu em todos os pontos, exceto P1, e Zn ultrapassou os limites em P1, P4, P5 e P6. Da mesma forma, no Rio Mundaí, observaram-se concentrações de Fe em todos os pontos de amostragem que ultrapassam os padrões estabelecidos pelo CONAMA. Além disso, foram registrados níveis elevados de Al, Cu e Zn no ponto de amostragem P1. Os dados apresentados indicam que foram identificadas concentrações acima dos padrões regulatórios estabelecidos pelo CONAMA, nos dois rios presentes nesse estudo. Essa os dados mostram qualidade da água nesses locais e à possível presença de metais potencialmente tóxicos em níveis prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública.

No Rio dos Mangues, os elementos Al, Cr, Cu, Fe e Ni foram identificados como excedendo os padrões regulatórios em diferentes pontos de amostragem. Alumínio é um elemento que pode estar presente naturalmente em corpos d'água, mas concentrações elevadas podem indicar poluição proveniente de fontes industriais ou urbanas. Cromo é conhecido por ser tóxico em suas formas hexavalente e trivalente, podendo causar danos à saúde humana e ao ecossistema aquático. Cobre também é um metal tóxico que pode causar problemas de saúde e impactar a vida aquática. Ferro, embora seja um elemento essencial, em excesso na água pode causar problemas de qualidade e sedimentação. O Níquel é outro metal que, em concentrações elevadas, é considerado tóxico (WHO, 2015). No Rio Mundaí, a concentração de Fe foi identificada como excedendo os padrões regulatórios em todos os pontos de amostragem. O Fe em excesso na água pode causar problemas de turbidez, coloração e sabor desagradável, além de afetar negativamente a vida aquática (CETESB, 2012).

Esses resultados apontam para a possibilidade de contaminação nos dois rios, possivelmente proveniente de fontes diversas, como agricultura, esgotamento doméstico, ou até mesmo processos naturais, dependendo da geologia da região. A presença de metais potencialmente tóxicos acima dos níveis aceitáveis representa um risco tanto para

o ambiente aquático quanto para as comunidades que dependem desses recursos hídricos.

Devido aos potenciais riscos tóxicos mencionados anteriormente, diversos estudos têm sido conduzidos globalmente para avaliar e abordar essa preocupante questão. Países como África do Sul, Paquistão, Nigéria e, em particular, a Índia, têm se destacado nessa pesquisa, motivados pelos desafios associados à recente urbanização e à ausência de sistemas adequados de esgotamento. Os dados referentes às concentrações de metais encontrados no presente estudo, em comparação com pesquisas realizadas em diversos países, estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Comparação das concentrações de metais (mgL⁻¹) nos rios do Mundaí e Mangues com outros rios do mundo.

	Presente estudo	(TALABI et al., 2020)	(SETIA et al., 2020)	(KHAN et al., 2023)	(ISLAM et al., 2020)	(BOTLE et al., 2023)	(EDOKPAYI et al., 2016)
Al	0,002 - 0,771	-	-	-	0,650 - 1,230	-	1,492 - 9,644
Cd	0,001 - 0,014	0,010 - 0,012	0,001 - 0,120	0,011-0,075	0,0006 - 0,002	0,000 - 15,490	0,0003 - 0,0012
Cr	0,001 - 0,831	0,177 - 0,224	0,001 - 0,114	0,012-0,073	0,011 - 0,014	0,000 - 21,798	0,015 - 0,357
Cu	0,011 - 0,061	0,005 - 0,258	0,0007 - 0,087	-	0,006 - 0,092	0,0001 - 27,444	0,024 - 0,185
Fe	0,178 - 6,940	0,704- 2,439	0,022 - 3,50	0,027-0,057	1,940 - 5,230	0,002 - 5447,827	0,702 - 2,161
Pb	0,002 - 0,017	0,119 - 0,150	0,005 - 0,450	0,012-0,054	0,019 - 0,036	0,00004 - 22,000	0,002 - 0,042
Zn	0,009 - 0,870	0,075 - 0,107	0,004 - 1,080	-	0,017 - 0,039	0,00031 - 53,9518	-
Ni	0,003 - 0,453	0,032 - 0,007	0,00016 - 0,059	0,023-0,054	0,088 - 0,010	0,000 - 9,322	0,031 - 0,261
País	Brasil - BA	Nigéria	Índia	Paquistão	Bangladesh	Índia	África do Sul

A Índia, em especial, enfrenta uma situação crítica devido ao rápido processo de urbanização experimentado nas últimas décadas. Esse crescimento acelerado das áreas urbanas tem gerado uma demanda significativa por infraestrutura, incluindo sistemas de saneamento. No entanto, a falta de um adequado sistema de esgotamento tem contribuído para a disseminação de poluentes tóxicos no meio ambiente, apresentando sérios riscos para a saúde pública (RAHAMAN; KALAM; AL-MAMUN, 2023).

5.3 ANALISE DE RISCO ECOLÓGICO E HUMANO

5.3.1 *Risco Ecológico*

Os índices de poluição individuais e coletivos foram determinados a partir das concentrações de metais nas amostras de água, utilizando o software HERisk. Como mencionado anteriormente, esses índices oferecem uma avaliação do nível de poluição, baseando-se nas concentrações encontradas nas águas superficiais. Essa abordagem possibilita a avaliação da qualidade das matrizes ambientais abordadas neste estudo, além de proporcionar compreensão sobre o potencial risco ecológico associado. Os valores do CF para as amostras de águas superficiais estão representados nas Figuras 3 e 4.

Figura 3 - Fator de contaminação do rio dos Mangues

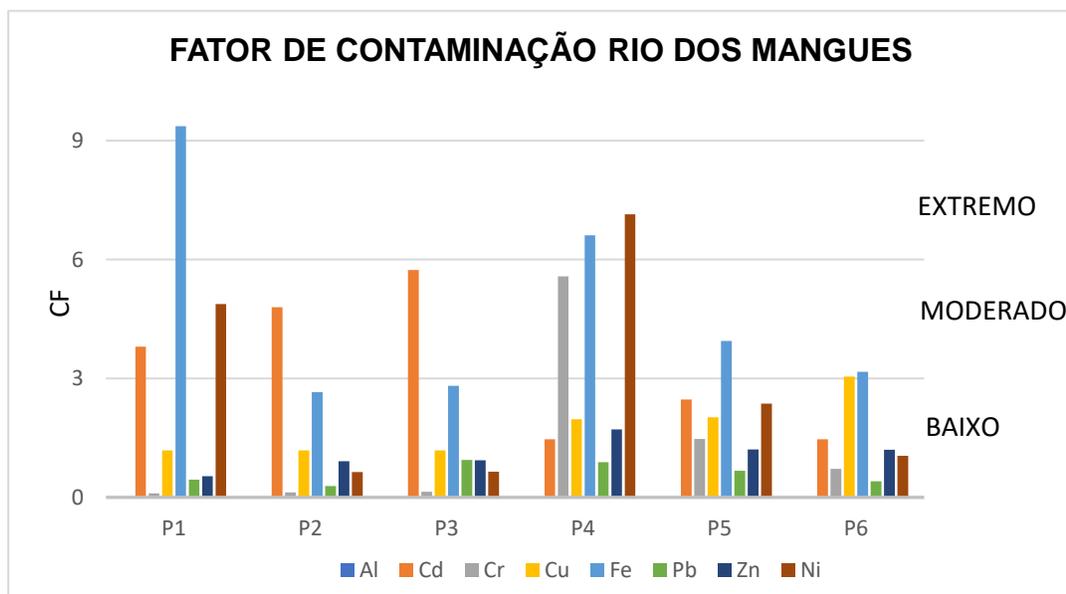
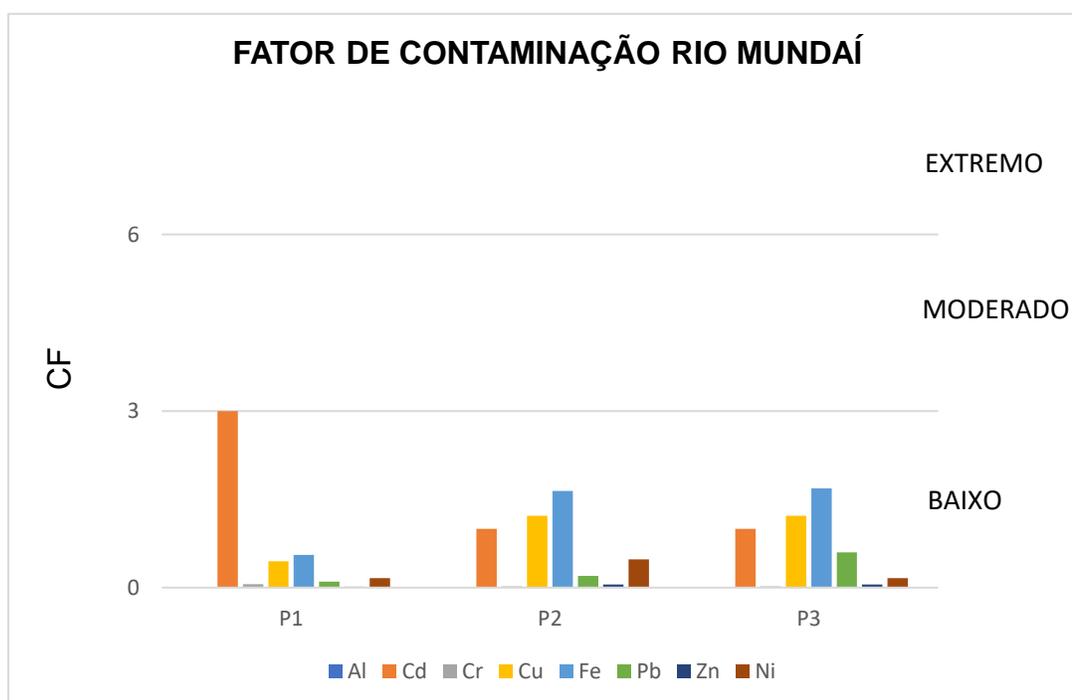


Figura 4 - Fator de contaminação do rio Mundaí



Os CF foram calculados utilizando os valores de referência estipulados pelo CONAMA para os metais em águas doces classe II, e esses resultados estão

apresentados graficamente. Observa-se na Figura 3 que foram identificados níveis extremos de poluição para determinados elementos no rio dos Mangues, com CF superior a 6 no ponto 1 para Fe, bem como nos pontos 4 para Fe e Ni. Além disso, todos os pontos de amostragem exibiram níveis significativos de poluição por algum metal, em 100% dos pontos com valores de CF entre 3 e 6. Observou-se poluição nos pontos P1, P2 e P3 para Cd, no ponto P4 para Cr, no ponto P6 para Cu, nos pontos P5 e P6 para Fe, e no ponto P1 para Ni. Esses resultados sugerem claramente a influência substancial de atividades antropogênicas sobre os recursos hídricos da região.

No Rio Mundaí, os níveis de metais potencialmente tóxicos, representados pelo CF indicam um baixo risco geral como mostra a Figura 4, com exceção do Cd no P1, que se encontra em uma faixa limítrofe. Apesar dessa situação, medidas preventivas são essenciais para preservar a qualidade ambiental do Rio Mundaí e mitigar possíveis impactos adversos à saúde pública e ecossistemas locais.

Para realizar uma avaliação dos níveis de poluição em águas superficiais, levando em conta a presença simultânea de todos os metais presentes no estudo, foram calculados os índices coletivos de poluição para cada ponto de amostragem. Os gráficos correspondentes aos índices PLI, IPth e PERI estão apresentados nas figuras a seguir para ambos os rios.

Figura 5 - Índices de carga de poluição do rio dos Mangues

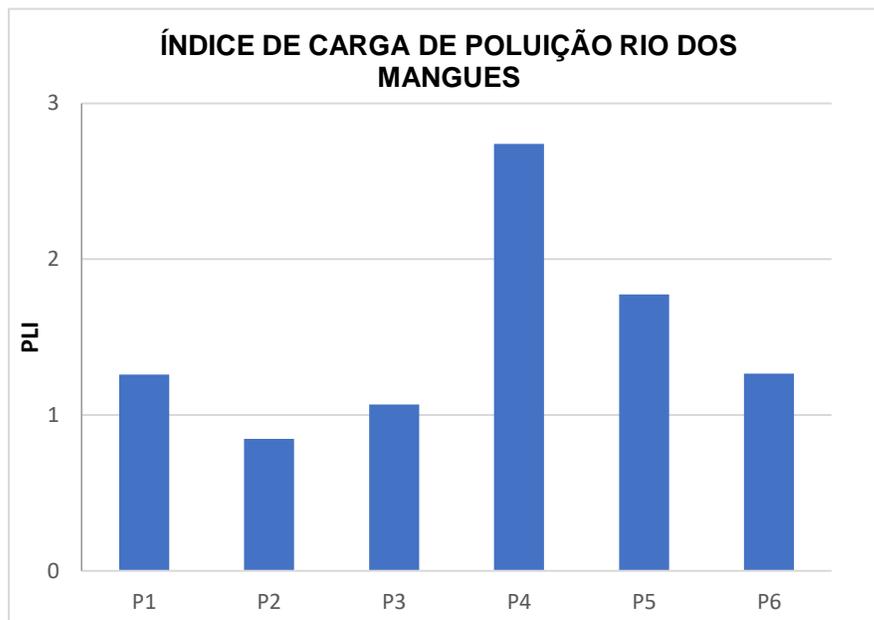
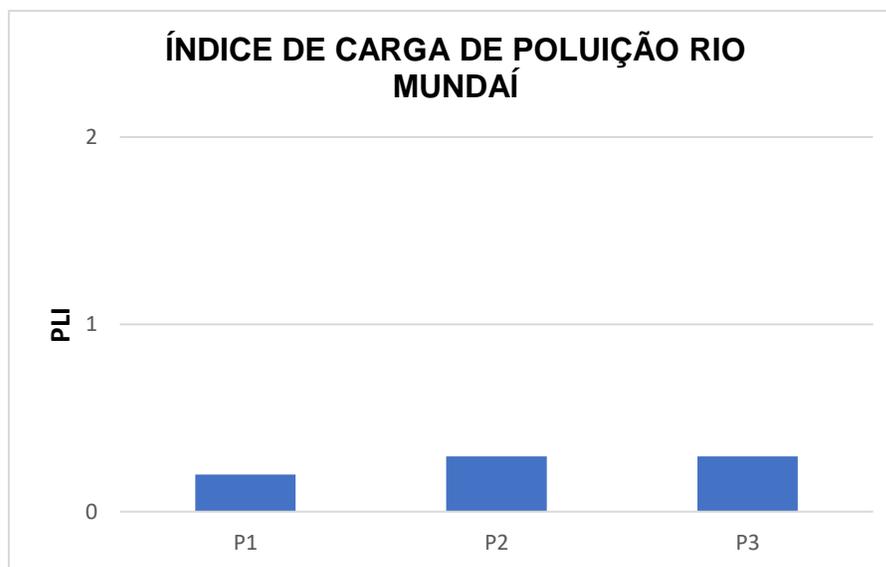


Figura 6 - Índices de carga de poluição do rio Mundaí



A análise dos resultados revelou que os índices de carga de poluição (PLI) no Rio dos Mangues foram superiores a 1 nos pontos examinados, com exceção do ponto P2.

Esses achados indicam uma presença significativa de metais nas águas analisadas, conforme representado na Figura 5. Por outro lado, no Rio Mundaí, todos os valores do PLI permaneceram abaixo de 1, sugerindo uma baixa presença de metais na água, conforme o gráfico na Figura 6.

O Índice de Poluição de Limiar Integrado (IPI_{Th}), fundamentado nos parâmetros estabelecidos pelas diretrizes da legislação nacional, apresentou variação no intervalo de 1,5 a 3,6 para o rio dos Mangues. Conforme ilustrado na Figura 7, esses valores indicam um nível de poluição moderada para esse corpo d'água. Em contrapartida, para o rio Mundaí, todos os registros permaneceram abaixo de 1, conforme evidenciado na Figura 8, apontando uma baixa incidência de poluição em conformidade com as normativas brasileiras.

Figura 7 - Índice de Poluição de Limiar Integrado do rio dos Mangues

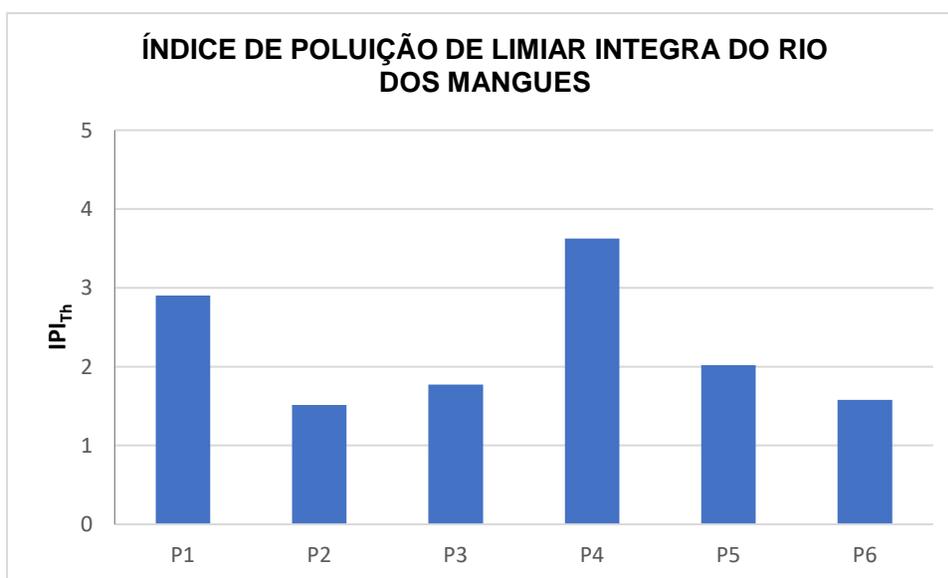
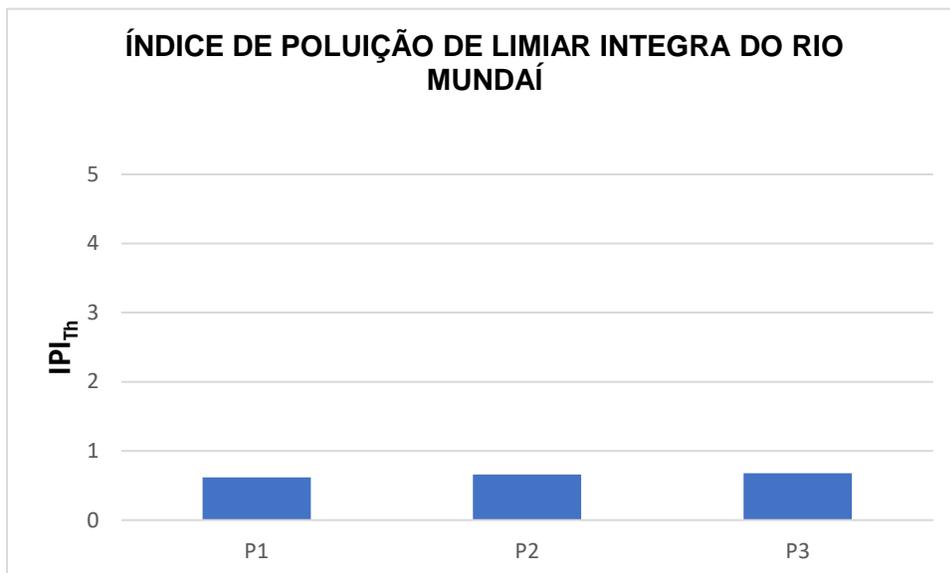


Figura 8 - Índice de Poluição de Limiar Integrado do rio Mundaí



Os índices indicam que os níveis de poluição estão classificados como pouco poluídos a moderadamente poluídos. Para avaliar os riscos ecológicos associados à presença de diversos metais, foi utilizado Índice de Risco Ecológico Potencial (PERI), conforme exemplificado nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 - Índice de risco ecológico potencial do rio dos Mangues

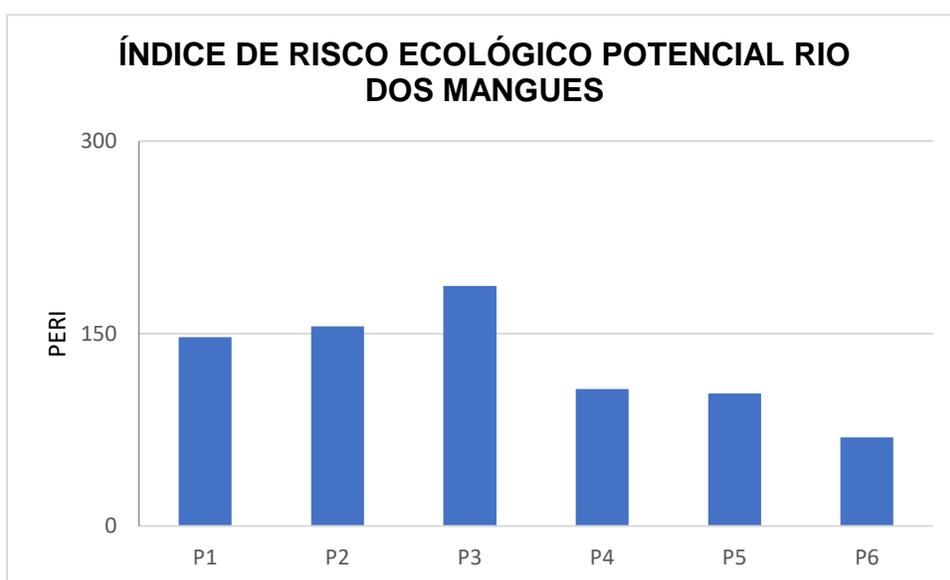
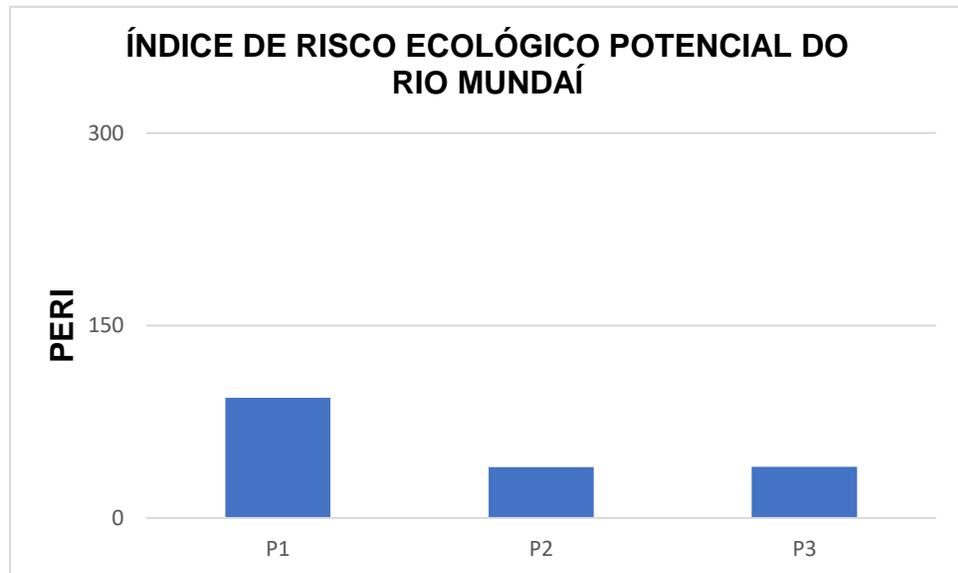


Figura 10 - Índice de risco ecológico potencial do rio Mundaí



Foi observado que os valores do Índice de Risco Ecológico Potencial (PERI) ultrapassaram 150 nos pontos P2 e P3 no rio dos Mangues, conforme evidenciado na Figura 9. Esses resultados indicam a presença de um risco ecológico moderado para o ecossistema aquático nessas áreas específicas. A notável elevação nos valores do PERI nessas localidades pode ser atribuída a uma concentração mais acentuada de cádmio, cujo efeito tóxico representa uma ameaça à saúde do ecossistema aquático. Esse cenário requer preocupações quanto ao possível impacto negativo sobre a fauna e flora aquáticas, assim como as interações ecológicas que ocorrem nesse ambiente. Em contrapartida, para o rio Mundaí, conforme ilustrado na Figura 10, o índice permaneceu abaixo de 150, indicando a ausência de risco significativo para o ecossistema desse rio. Essa constatação sugere um ambiente aquático menos impactado.

5.3.2 Risco Humano

O risco humano foi avaliado por meio de duas vias de exposição distintas: ingestão e contato dérmico. Além disso, levou-se em consideração a faixa etária de idade, categorizando os grupos em crianças e adultos. A partir dessas distintas classificações, foi possível calcular o índice de risco agregado (HI_{agg}) para cada metal e o índice de risco total não carcinogênico (HI_{tot}) e o potencial Risco Carcinogênico Cumulativo (CR_{cum}) de forma a proporcionar uma análise mais abrangente e específica.

A análise dos dados obtidos por meio do He Risk revelou que a principal rota de exposição é a ingestão oral, influenciando em mais de 99% em ambos os rios. Além disso, ao examinar o Índice de Risco Agregado (HI_{agg}), que representa a soma dos quocientes de risco (HQ) calculados para cada substância nociva e cada via de exposição, foi possível identificar uma ordem decrescente nos valores associados aos metais quantificados nos dois rios. Essa ordem foi a seguinte: $Cu > Cd > Fe > Pb > Ni > Zn > Al > Cr$. Para ambos os rios, Cu e Cd apresentaram os maiores valores de risco não carcinogênico. Contudo, é importante ressaltar que esses valores permaneceram abaixo de 1, indicando que não há risco significativo de efeitos adversos não cancerígenos associados a esses metais. De maneira semelhante, o Pb também registrou valores abaixo de 1, sugerindo a ausência de risco carcinogênico.

Embora tanto o HI_{tot} quanto o CR_{cum} revelem valores inferiores a 1, indicando a ausência de risco não carcinogênico e carcinogênico, respectivamente, a análise permite antever um potencial vulnerabilidade da população mais suscetível à exposição, particularmente crianças na faixa etária de 0 a 6 anos. Essa previsão de maior susceptibilidade na faixa etária infantil destaca a necessidade de atenção especial a esse grupo demográfico em relação aos potenciais riscos à saúde associados à exposição a substâncias metais presentes nos rios estudados. Dessa forma, embora os índices gerais indiquem um cenário de baixo risco e a identificação da faixa etária mais vulnerável.

6. CONCLUSÃO

A avaliação da qualidade da água nos rios dos Mangues e Mundaí, baseada em uma metodologia adaptada do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater de 2017, forneceu informações sobre a presença de metais potencialmente tóxicos. O método eficaz empregado, que incluiu a adição de peróxido de hidrogênio para melhorar a digestão, proporcionou resultados analíticos confiáveis. A linearidade do método foi demonstrada em uma faixa de concentração estabelecida, com coeficientes de correlação superiores a 0,990 para todos os analitos. Os limites de detecção e quantificação foram calculados, fornecendo valores úteis para determinar a sensibilidade do método. A precisão e exatidão foram avaliadas, mostrando resultados dentro dos padrões aceitáveis. A comparação com pesquisas internacionais destacou a relevância dos dados obtidos no contexto global.

No entanto, a análise dos resultados de concentrações de metais nos rios dos Mangues e Mundaí revelou níveis preocupantes de poluição, com algumas amostras ultrapassando os limites regulatórios estabelecidos pelo CONAMA. Os índices de poluição ecológica indicaram um risco moderado no rio dos Mangues, enquanto o rio Mundaí mostrou baixa presença de metais. A avaliação do risco humano indicou que a ingestão oral é a principal rota de exposição, com Cu e Cd apresentando os maiores valores de risco não carcinogênico, embora abaixo de 1. O monitoramento contínuo é crucial, especialmente para a faixa etária infantil, que pode ser mais vulnerável aos efeitos adversos à saúde.

7. REFERÊNCIAS

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2021). **Toxicological Profile for Lead. U.S. Department of Health and Human Services**. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.pdf> (acesso em 30 de outubro de 2023).

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. American Water Works Association, 2017.

BAEYENS, W. et al. Arsenic enrichment in sediments and beaches of Brazilian coastal waters: A review. **The Science of the total environment**, v. 681, p. 143–154, 2019.

BOTLE, A. et al. Brief status of contamination in surface water of rivers of India by heavy metals: a review with pollution indices and health risk assessment. **Environmental geochemistry and health**, v. 45, n. 6, p. 2779–2801, 2023.

Orientação sobre validação de métodos de ensaios químicos. Revisão 02. Junho de 2007. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br>. Acesso em: 20 nov. 2023.

BRIX, K. V.; SCHLEKAT, C. E.; GARMAN, E. R. The mechanisms of nickel toxicity in aquatic environments: An adverse outcome pathway analysis. **Environmental toxicology and chemistry**, v. 36, n. 5, p. 1128–1137, 2017.

CAMPOS, É. DE A.; SILVA, I. F. DA; WARDEN, C. F. Exposição a metais em população adulta residente em áreas industriais: revisão sistemática da literatura. **Ciencia & saude coletiva**, v. 26, n. 6, p. 2253–2270, 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas**. Brasília: CETESB; ANA, 2011.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama n.º 357, de 17 de março de 2005**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). 2005.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). 2000.

CÜCE, Hüseyin et al. Integrated Spatial Distribution and Multivariate Statistical Analysis for Assessment of Ecotoxicological and Health Risks of Sediment Metal Contamination, Ömerli Dam (Istanbul, Turkey). **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 233, n. 6, p. 1-21, 2022

CULICOV, O. A. et al. On the geochemistry of the Danube river sediments (Serbian sector). **International journal of environmental research and public health**, v. 19, n. 19, p. 12879, 2022.

DA SILVA JUNIOR, J. B. et al. A risk assessment by metal contamination in a river used for public water supply. **Marine pollution bulletin**, v. 179, n. 113730, p. 113730, 2022.

EDOKPAYI, J. et al. Assessment of trace metals contamination of surface water and sediment: A case study of mvudi river, South Africa. **Sustainability**, v. 8, n. 2, p. 135, 2016.

EXLEY, C. Human exposure to aluminium. **Environmental science. Processes & impacts**, v. 15, n. 10, p. 1807–1816, 2013.

FILELLA, Montserrat; RODRÍGUEZ-MURILLO, Juan-Carlos; TURNER, Andrew. What the presence of regulated chemical elements in beached lacustrine plastics can tell us: the case of Swiss lakes. **Environmental monitoring and assessment**, v. 193, n. 11, p. 1-12, 2021.

GOYER, R. A.; CLARKSON, T. W. Toxic effects of metals. Em: KLAASSEN, C. D.

(Ed.). **Casarett & Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons**. McGraw-Hill, 2001. p. 811–867.

GROTTO, H. Z. W. Metabolismo do ferro: uma revisão sobre os principais mecanismos envolvidos em sua homeostase. **Revista brasileira de hematologia e hemoterapia**, v. 30, n. 5, 2008.

ISLAM, M. A. et al. Heavy metal contamination and ecological risk assessment in water and sediments of the Halda river, Bangladesh: A natural fish breeding ground. **Marine pollution bulletin**, v. 160, n. 111649, p. 111649, 2020.

JABŁOŃSKA-CZAPLA, M.; GRYGOYĆ, K. Elevated urbanization-driven plant accumulation of metal(loid)s including arsenic species and assessment of the Kłodnica River sediment contamination. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v. 84, n. 1, p. 137–152, 2023.

KHAN, M. et al. Monitoring and assessment of heavy metal contamination in surface water of selected rivers. **Geocarto international**, v. 38, n. 1, 2023.

MAWARI, G. et al. Heavy metal accumulation in fruits and vegetables and human health risk assessment: Findings from Maharashtra, India. **Environmental health insights**, v. 16, p. 11786302221119152, 2022.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. A cinética do chumbo no organismo humano e sua importância para a saúde. **Ciencia & saude coletiva**, v. 9, n. 1, p. 167–181, 2004.

MULLER, G. Index of geoaccumulation insediments of the Rhine River. **Geojournal**, 2: 108-118, 1969.

NAICKER, K.; MAHLAMBI, P.; MAHLAMBI, M. Comparison of ultrasonic and microwave assisted digestion methods for the determination of heavy metals in soil and sediment: The effect of seasonal variations on metal concentrations and risk assessment. **Soil & sediment contamination**, v. 32, n. 3, p. 320–336, 2022.

NERIS, J. B. et al. HERisk: An improved spatio-temporal human health risks assessment software. **The Science of the total environment**, v. 772, n. 145044, p. 145044, 2021.

NORDBERG, G. F. **Handbook on the toxicology of metals**. 3. ed. [s.l.] Academic Press, 2014.

PANDEY, L. K. et al. Assessment of metal contamination in water and sediments from major rivers in South Korea from 2008 to 2015. **The Science of the total environment**, v. 651, p. 323–333, 2019.

PEREIRA, C. M. et al. Larvae of the South Atlantic coral *Favia gravida* are tolerant to salinity and nutrient concentrations associated with river discharges. **Marine environmental research**, v. 161, n. 105118, p. 105118, 2020.

PIAZZA, G. A.; GROTT, S. C.; GOULART, J. A. G.; KAUFMANN, V. Caracterização espaço-temporal da qualidade das águas superficiais dos mananciais de abastecimento de Blumenau/SC. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 14, n. 8, 2017.

RAHAMAN, M. A.; KALAM, A.; AL-MAMUN, M. Unplanned urbanization and health risks of Dhaka City in Bangladesh: uncovering the associations between urban environment and public health. **Frontiers in public health**, v. 11, 2023.

PEREIRA, C. M. et al. Larvae of the South Atlantic coral *Favia gravida* are tolerant to salinity and nutrient concentrations associated with river discharges. **Marine environmental research**, v. 161, n. 105118, p. 105118, 2020.

SANTOS, T. A. DOS et al. Determinação de metais em um sistema estuarino: Laguncularia racemosa como um potencial indicador de contaminação. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 49, p. 51–65, 2018.

SETIA, R. et al. Impact assessment of metal contamination in surface water of Sutlej River (India) on human health risks. **Environmental pollution** (Barking, Essex: 1987), v. 265, n. 114907, p. 114907, 2020.

SHEN, F. et al. Contamination evaluation and source identification of heavy metals in the sediments from the Lishui River watershed, southern China. **International journal of environmental research and public health**, v. 16, n. 3, p. 336, 2019.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: 30 set. 2023.

SOUZA, A. K. R.; MORASSUTI, C. Y.; DEUS, W. B. DE. POLUIÇÃO DO AMBIENTE POR METAIS PESADOS E UTILIZAÇÃO DE VEGETAIS COMO BIOINDICADORES. **Acta Biomédica Brasiliensia**, v. 9, n. 3, p. 95, 2018.

TALABI, A. T. et al. Investigation for heavy metals in river waters in the federal capital territory, North Central of Nigeria. **International Journal of Energy and Water Resources**, v. 4, n. 2, p. 213–219, 2020.

USEPA. U. S. Environmental Protection Agency. **Method 3030F**: Nitric and Hydrochloric Acid Digestion. Washington: USEPA, 2017.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2014.

World Health Statistics 2015. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2015.

8. APÊNDICE

ANALITOS (mgL⁻¹) - Rio Mangues 1º Campo

PONTOS	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Zn	Ni
P1	0,138	0,009	0,006	0,011	0,178	0,003	0,135	0,004
P2	0,273	0,012	0,012	0,011	0,859	0,007	0,291	0,007
P3	0,399	0,014	0,009	0,011	0,441	0,012	0,438	0,009
P4	0,771	0,002	0,831	0,032	3,182	0,011	0,870	0,453
P5	0,504	0,005	0,215	0,033	1,068	0,017	0,560	0,097
P6	0,567	0,002	0,090	0,061	0,647	0,009	0,633	0,056

ANALITOS (mgL⁻¹) - Rio Mangues 2º Campo

PONTOS	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Zn	Ni
P1	0,002	0,001	0,008	0,011	1,312	0,009	0,131	0,006
P2	0,002	0,001	0,005	0,011	0,947	0,002	0,193	0,015
P3	0,002	0,002	0,009	0,011	0,303	0,006	0,058	0,018
P4	0,002	0,001	0,004	0,011	0,952	0,002	0,046	0,040
P5	0,002	0,001	0,004	0,011	1,090	0,002	0,083	0,047
P6	0,002	0,001	0,016	0,011	0,581	0,002	0,009	0,003

ANALITOS (mgL⁻¹) - Rio Mangues 3º Campo

PONTOS	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Zn	Ni
P1	0,002	0,001	0,001	0,011	6,940	0,002	0,024	0,355
P2	0,002	0,001	0,002	0,011	0,584	0,002	0,009	0,026
P3	0,002	0,001	0,003	0,011	1,792	0,010	0,009	0,022
P4	0,002	0,001	0,001	0,011	1,815	0,015	0,009	0,042
P5	0,002	0,001	0,002	0,011	1,393	0,002	0,009	0,034
P6	0,002	0,001	0,002	0,011	1,621	0,002	0,009	0,019

ANALITOS (mgL⁻¹) - Rio Mundaí 1º Campo

PONTOS	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Zn	Ni
P1	0,154	0,001	0,001	0,011	0,081	0,008	0,009	0,001
P2	0,002	0,001	0,003	0,011	0,371	0,002	0,009	0,025
P3	0,002	0,024	0,014	0,013	1,048	0,002	0,009	0,006

ANALITOS (mgL⁻¹) - Rio Mundaí 2º Campo

PONTOS	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Zn	Ni
P1	0,065	0,001	0,002	0,011	0,023	0,002	0,009	0,001
P2	0,002	0,001	0,001	0,011	1,190	0,002	0,009	0,030
P3	0,002	0,001	0,008	0,011	0,265	0,002	0,009	0,006

ANALITOS (mgL⁻¹) - Rio Mundaí 3º Campo

PONTOS	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Zn	Ni
P1	0,082	0,001	0,000	0,011	0,337	0,010	0,009	0,001
P2	0,002	0,001	0,007	0,011	0,845	0,002	0,009	0,011
P3	0,002	0,001	0,017	0,011	0,337	0,006	0,009	0,001