**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ / *CAMPUS* DE CASCAVEL**
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

# ANÁLISES DE METAIS PESADOS EM CORPOS HÍDRICOS URBANOS NA CIDADE DE CASCAVEL

**PAULO SÉRGIO WOLFF**

CASCAVEL

2024

PAULO SÉRGIO WOLFF

# ANÁLISES DE METAIS PESADOS EM CORPOS HÍDRICOS URBANOS NA CIDADE DE CASCAVEL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola Universidade Estadual do Oeste do Paraná, em cumprimento parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração: Recursos hídricos e saneamento ambiental – Nível Doutorado, para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Dr. Silvio César Sampaio.
Coorientador: Dr. Márcio Antonio Vilas Boas

CASCAVEL

2024

Wolff, Paulo Sérgio
Análises de metais pesados em corpos hídricos urbanos na cidade de Cascavel / Paulo Sérgio Wolff; orientador Silvio César Sampaio; coorientador Márcio Antonio Vilas Boas. -- Cascavel, 2024.
69 p.

Tese (Doutorado Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2024.

1. Água. 2. Metais Pesados. 3. Sedimento. 4. Urbanização. I. César Sampaio, Silvio, orient. II. Vilas Boas, Márcio Antonio, coorient. III. Título.

Revisões de português, inglês e normas realizadas por Ana Maria Vasconcelos.

unioeste
Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Reitoria
CNPJ 78.680.337/0001-84
Rua Universitária, 1619, Jardim Universitário
Tel.: (45) 3220-3000 - www.unioeste.br
CEP: 85819-110 - Cx. P.: 701
Cascavel - PARANÁ

PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO

**PAULO SÉRGIO WOLFF**

ANÁLISE DE METAIS PESADOS EM CORPOS HÍDRICOS URBANOS NA CIDADE DE CASCAVEL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, linha de pesquisa Recursos Hídricos, APROVADA pela seguinte banca examinadora:

gov.br Documento assinado digitalmente
SILVIO CESAR SAMPAIO
Data: 07/06/2024 11:06:48-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Orientador - Silvio César Sampaio

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

gov.br Documento assinado digitalmente
MARCIO ANTONIO VILAS BOAS
Data: 05/06/2024 10:54:33-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Coorientador - Marcio Antonio Vilas Boas

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

gov.br Documento assinado digitalmente
JONATHAN DIETER
Data: 05/06/2024 15:05:31-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Jonathan Dieter

Universidade Federal do Paraná (UFPR)

gov.br Documento assinado digitalmente
RALPHO RINALDO DOS REIS
Data: 06/06/2024 21:41:48-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Ralpho Rinaldo dos Reis

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

gov.br Documento assinado digitalmente
REGINALDO FERREIRA SANTOS
Data: 05/06/2024 16:18:43-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Reginaldo Ferreira Santos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

gov.br Documento assinado digitalmente
JIAM PIRES FRIGO
Data: 05/06/2024 15:38:02-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Jiam Pires Frigo

Universidade Federal da Integração Latino-Americana (Unila)

Cascavel, 29 de maio de 2024.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me fortalecer a cada dia, levantar-me em todos os tropeços e passos mal dados. E por segurar sempre minhas mãos, mostrando-me a melhor forma de caminhar nos bons e maus momentos;

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE - e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade e disponibilidade de sua estrutura, para que, assim, fosse possível realizar o curso e aprimorar meu conhecimento profissional;

Aos professores da pós-graduação, pela contribuição durante a realização dos créditos. Em especial, ao meu Orientador, Professor Dr. Silvio César Sampaio e ao meu Coorientador Dr. Marcio Antonio Vilas Boas, pelos ensinamentos, tempo dedicado, paciência, amizade e por sempre estarem dispostos a me ajudar;

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

Wolff, Paulo Sérgio. **Análises de metais pesados em corpos hídrigos urbanos na cidade de Cascavel**. Orientador: Silvio César Sampaio; Coorientador: Márcio Antonio Vilas Boas. 2024. 69 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – Paraná, 2024.

## RESUMO

O conhecimento acerca de traços de metais em corpos hídricos urbanos é muito importante para entender o impacto das atividades antrópicas no contexto de poluentes persistentes. Principalmente, quando estes corpos hídricos se caracterizam como a principal fonte de abastecimento devido à proximidade desses com o meio urbano. Neste contexto, este estudo tem como objetivo avaliar o potencial de risco ecológico e as respectivas fontes de contaminação de metais pesados de corpos hídricos urbanos na cidade de Cascavel-PR. Os tratamentos foram pontos espaciais (nascente urbana, talvegue mediano urbano e foz urbana) de seis rios da cidade de Cascavel-PR, são eles: Rio Cascavel, Rio Quati, Córrego Bezerra, Rio das Antas, Lageado Clarito e o Rio Sanga Amambay. As amostras foram coletadas com oito repetições usando coletor Ekman dredger, as quais foram acondicionadas adequadamente para transporte e análise da textura dos sedimentos, do teor de carbono e teor de concentração de metais pesados. Os elementos cádmio (Cd), cobre (Cu), chumbo (Pb), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni) e zinco (Zn) foram quantificados por espectrometria de absorção atômica. Os valores de metais pesados foram comparados com os limites dos determinados pelo CONAMA. As concentrações dos metais pesados estudados ao longo dos rios pesquisados, tanto na nascente, como no talvegue mediano e na foz, foram dependentes da granulometria do solo, da hidrodinâmica, do carbono orgânico total e das ações antrópicas. Os metais pesados cobre e níquel estiveram presentes em todos os rios acima do limite do nível 2, determinados pelo CONAMA, dados que sugerem monitoramento. Enquanto cádmio, chumbo e cromo não ultrapassaram o limite do nível 2 e não geram preocupações. Os níveis observados do elemento químico ferro foram substancialmente elevados em todos os rios, por conseguinte, faz-se necessário o monitoramento regular e minucioso, provavelmente em função de efeitos geogênicos.

**Palavras-chave:** Água; metais pesados; saúde; sedimento; urbanização.

Wolff, Paulo Sérgio. **Analysis of heavy metals in urban water bodies in the city of Cascavel**. Advisor: Silvio César Sampaio; Co-advisor: Márcio Antonio Vilas Boas. 2024. 69 p. Thesis (Doctorate in Agricultural Engineering) – State University of Western Paraná, Cascavel – Paraná, 2024.

## ABSTRACT

Understanding traces of metals in urban water bodies has been crucial to comprehend the impact of anthropogenic activities, mostly in persistent pollutants context. This is especially important when these water bodies serve as the primary water supply due to their proximity to urban environments. Thus, this study aims at evaluating the potential ecological risk and their respective sources of contamination by heavy metals in urban water bodies in the of Cascavel city, Paraná. The treatments included spatial points (urban spring, urban median thalweg, and urban mouth) of six rivers in Cascavel-PR: Cascavel and Quati Rivers, Rio, Bezerra streamlet, River of Antas, Lageado Clarito, and Sanga Amambay. Samples were collected in eight replications using an Ekman dredger collector and well packaged to be transported and analyzed regarding texture, carbon dioxide, and heavy metal concentrations. Chemical elements such as cadmium (Cd), copper (Cu), lead (Pb), chromium (Cr), iron (Fe), manganese (Mn), nickel (Ni), and zinc (Zn) were quantified by atomic absorption spectrometry. While heavy metal values were compared with the ones established as limits by CONAMA. Heavy metals concentrations along the studied rivers at the spring, median thalweg, and at the river mouth were related to soil particle size, hydrodynamics, total organic carbon, and anthropogenic activities. Copper and nickel levels exceeded level-2 limit when compared to the ones established by CONAMA in all rivers, indicating a need for monitoring. In contrast, cadmium, lead, and chromium did not exceed the level 2 limit and are not a cause for concern. While cadmium, lead and chromium did not exceed the level-2 limit, thus, they are not a problem yet. Iron levels were substantially high in all studied rivers, consequently, regular and thorough monitoring must occur, likely due to geogenic effects.

**Keywords:** Heavy metals; health; sediment; urbanization; water.

# SUMÁRIO

**LISTA DE TABELAS** ..... **7**

**LISTA DE FIGURAS** ..... **8**

**1 INTRODUÇÃO** ..... **9**

**2 OBJETIVOS** ..... **11**

*2.1 Objetivo geral* ..... *11*

*2.2 Objetivos específicos* ..... *11*

**3 REVISÃO DE LITERATURA** ..... **12**

*3.1 Metais pesados* ..... *12*

*3.2 Contaminação de rios por metais pesados* ..... *13*

*3.3 Toxicidade dos metais pesados* ..... *16*

**4 MATERIAL E MÉTODOS** ..... **20**

*4.1 Área de estudo* ..... *20*

*4.2 Coleta das amostras* ..... *28*

*4.3 Caracterização e extração dos teores totais de Metais Pesados* ..... *28*

*4.4 Análise dos dados* ..... *29*

**5 RESULTADOS E DISCUSSÃO** ..... **30**

*5.1 Parâmetros físicos – análise granulométrica e hidrodinâmica* ..... *30*

*5.2 Parâmetros químicos - Carbono orgânico total (COT)* ..... *34*

*5.3 Parâmetros químicos - Metais pesados* ..... *35*

5.3.1 Cádmio (Cd) ..... 35
5.3.2 Cobre (Cu) ..... 37
5.3.3 Chumbo (Pb) ..... 39
5.3.4 Cromo (Cr) ..... 41
5.3.5 Ferro (Fe) ..... 43
5.3.6 Manganês (Mn) ..... 45
5.3.7 Níquel (Ni) ..... 47
5.3.8 Zinco (Zn) ..... 49

**6 CONCLUSÕES** ..... **52**

**REFERÊNCIAS** ..... **53**

**ANEXOS** ..... **62**

**LISTA DE TABELAS**

**Tabela 1** Níveis de classificação do material dragado ..... 14
**Tabela 2** Geolocalização (latitude e longitude) dos rios ..... 20
**Tabela 3** Carbono orgânico total (COT) nos Rios Cascavel, Quati, Bezerra, das Antas, Amambay e Lageado Clarito, nas nascentes, pontos medianos e foz urbana de cada meio ..... 34
**Tabela 4** Análise estatística descritiva da concentração de cádmio (Cd) nos Rios Cascavel, Quati, Bezerra, das Antas, Amambay e Lageado Clarito nas nascentes, pontos medianos e foz urbana de cada meio ..... 36
**Tabela 5** Análise estatística descritiva da concentração de cobre (Cu) nos Rios Cascavel, Quati, Bezerra, das Antas, Amambay e Lageado Clarito, nas nascentes, nos pontos medianos e na foz urbana de cada meio ..... 38
**Tabela 6** Análise estatística descritiva da concentração de chumbo (Pb) nos Rios Cascavel, Quati, Bezerra, das Antas, Amambay e Lageado Clarito nas nascentes, pontos medianos e foz urbana de cada Rio ..... 40
**Tabela 7** Análise estatística descritiva da concentração de cromo (Cr) nos Rios Cascavel, Quati, das Antas, Amambay, córrego Bezerra e Lageado Clarito nas nascentes, pontos medianos e foz urbana de cada meio ..... 42
**Tabela 8** Análise estatística descritiva da concentração de ferro (Fe) nos Rios Cascavel, Quati, das Antas, Amambay, córrego Bezerra e Lageado Clarito nas nascentes, pontos medianos e foz urbana destes meios ..... 44
**Tabela 9** Análise estatística descritiva da concentração de manganês (Mn) nos Rios Cascavel, Quati, Bezerra, das Antas, Amambay e Lageado Clarito nas nascentes, pontos medianos e foz urbana destes meios ..... 46
**Tabela 10** Análise estatística descritiva da concentração de níquel (Ni) nos Rios Cascavel, Quati, das Antas, Amambay, Córrego Bezerra e Lageado Clarito nas nascentes, pontos medianos e foz urbana destes meios ..... 48
**Tabela 11** Análise estatística descritiva da concentração de zinco (Zn) nos Rios Cascavel, Quati, Córrego Bezerra, das Antas, Amambay e Lageado Clarito nas nascentes, pontos medianos e foz urbana destes meios ..... 50

**LISTA DE FIGURAS**

**Figura 1** Mapa das Bacias Hidrográficas do Município de Cascavel – PR.....21
**Figura 2** Rio Cascavel e geolocalização dos pontos de coleta.....22
**Figura 3** Rio Quati e geolocalização dos pontos de coleta.....23
**Figura 4** Córrego Bezerra e geolocalização dos pontos de coleta.....24
**Figura 5** Rio das Antas e geolocalização dos pontos de coleta.....25
**Figura 6** Lageado Clarito e geolocalização dos pontos de coleta.....26
**Figura 7** Rio Sanga Amambay e geolocalização dos pontos de coleta .....27
**Figura 8** Precipitação pluviométrica do período de coleta .....28
**Figura 9** Análise granulométrica e hidrodinâmica no Rio Cascavel (A-B) e Rio Quati (C-D) Triângulo textural .....31
**Figura 10** Análise granulométrica e hidrodinâmica no Rio Bezerra (A-B) e Rio das Antas (C-D) Triângulo textural .....32
**Figura 11** Análise granulométrica e hidrodinâmica no Lageado Clarito (A-B) e Rio Amambay (C-D) Triângulo textural.....33
**Figura 12** Concentração de cádmio (Cd) nos rios Cascavel (A), Quati (B), Córrego Bezerra (C), das Antas (D), Clarito (E), Sanga Amambay (F), nas nascentes, pontos medianos e foz urbana de cada meio.....36
**Figura 13** Concentração de cobre (Co) nos Rios Cascavel (A), Quati (B), Córrego Bezerra (C), das Antas (D), Lageado Clarito (E), Sanga Amambay (F), nas nascentes, pontos medianos e foz urbana de cada meio. .....38
**Figura 14** Concentração de chumbo (Pb) nos Rios Cascavel (A), Quati (B), Córrego Bezerra (C), das Antas (D), Clarito (E), Sanga Amambay (F), nas nascentes, pontos medianos e foz urbana de cada meio.....40
**Figura 15** - Concentração de cromo (Cr) nos Rios Cascavel (A), Quati (B), Córrego Bezerra (C), das Antas (D), Lageado Clarito (E), Sanga Amambay (F), nas nascentes, pontos medianos e foz urbana destes meios. .....42
**Figura 16** - Concentração de ferro (Fe) nos Rios Cascavel (A), Quati (B), no Córrego Bezerra (C), das Antas (D), no Lageado Clarito (E) e Sanga Amambay (F) nas nascentes, pontos medianos e foz urbana destes meios. .....44
**Figura 17** - Concentração de manganês (Mn) nos Rios Cascavel (A), Quati (B), Córrego Bezerra (C), das Antas (D), Lageado Clarito (E) e Sanga Amambay (F) nas nascentes, pontos medianos e foz urbana de cada meio.....46
**Figura 18** Concentração de níquel (Ni) nos Rios Cascavel (A), Quati (B), Córrego Bezerra (C), das Antas (D), Lageado Clarito (E) e Sanga Amambay (F) nas nascentes, pontos medianos e foz urbana destes meios. .....48
**Figura 19** Concentração de zinco (Zn) nos Rios Cascavel (A), Quati (B), no Córrego Bezerra (C), das Antas (D), Lageado Clarito (E) e Sanga Amambay (F) nas nascentes, pontos medianos e foz urbana destes meios .....50

# 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso insubstituível para sobrevivência de qualquer ser vivo e apenas pequena porcentagem está disponível e é própria para o consumo humano e animal. Além disso, os corpos hídricos não são distribuídos igualmente entre os países, visto que existem lugares em que esse recurso é de extrema escassez (Santos, 2021). Logo, os rios são considerados os recursos de água doce vitais da Terra. Nesse cenário, vale ressaltar alguns dos principais desafios do nosso século; São eles: garantir a conservação das bacias hidrográficas, minimizar os impactos antrópicos nos compartimentos hídricos e buscar sistemas de produção sustentáveis (Manfrin *et al*., 2019).

O crescente desenvolvimento humano, a industrialização e o crescimento populacional têm exercido pressões sobre recursos hídricos. Com isso, produtos químicos tóxicos e metais pesados são descarregados nos rios por atividades industriais e antropogênicas, como esgoto *in natura* de zonas urbanas ou efluentes de indústrias (Moraes; Jordão, 2002). Nos países em desenvolvimento, o impacto do aumento da poluição é particularmente problemático porque essas populações não têm recursos para tratar eficazmente a água contaminada, nem têm acesso a sistemas de água potável que possam fornecer água para suas casas (Joseph *et al*., 2019).

O metal pesado é um contaminante acumulativo difícil de ser degradado. Com isso, quando o ambiente está poluído por metais pesados, é difícil a restauração destes meios (Cheng *et al*., 2016; Lu *et al.,* 2018). Alguns metais como cromo, chumbo, cádmio, arsênico e mercúrio são conhecidos por serem altamente tóxicos para humanos e para a vida aquática, pois causam problemas hepáticos e renais, além de serem carcinógenos (Nguyen *et al*., 2005). Outros metais como cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e cobalto (Co) são elementos essenciais que desempenham papéis importantes no metabolismo biológico em baixas concentrações (Pacheco *et al*., 2015; Adesiyan *et al*., 2018).

Os metais pesados contaminam tanto as águas superficiais como as subterrâneas, resultando na deterioração da qualidade da água potável e de irrigação, as quais podem entrar na cadeia alimentar humana e animal, e colocar em risco a saúde destas espécies (Ip *et al*., 2007; Varol *et al*., 2012; Naveedullah *et al*., 2013; Lu; Yu, 2018). A toxicidade de uma substância depende de especiação, da via e do tempo de exposição dela no meio. Apesar de variados, os sintomas e danos causados pelos metais pesados são provenientes de dois principais mecanismos de ação, quais sejam: a formação de complexos com grupos funcionais das enzimas e a combinação com as membranas celulares (Pacheco *et al*., 2015; Pratush *et al*., 2018). Assim, a qualidade da água destinada ao consumo humano direto ou indireto é uma variável importante em todo território brasileiro e segue os parâmetros estabelecidos nas diretrizes do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). A poluição por metais pesados também é uma preocupação porque muitas técnicas de tratamento de água potável, aplicadas no mundo em desenvolvimento, incluem cloração, fervura e desinfecção solar, contudo, elas são

ineficazes na remoção de metais pesados (De Kwaadsteniet *et al*., 2013).

Vários estudos mostraram a presença de vestígios de metais pesados em águas nos ambientes aquáticos (Ekramul Mahmud *et al*., 2016; Fakhri *et al*., 2018). Daí a relevância de diversas pesquisas, que têm voltado seu interesse para a quantificação de poluição por metais pesados em bacias hidrográficas a fim de determinar os níveis de metais pesados além de identificar possíveis fontes de poluição (Rios-Arana *et al*., 2004). Espinoza-Quiñones *et al*. (2005) estudaram o Rio Toledo e identificaram a presença dos elementos Cr, Mn, níquel (Ni), Cu e Zn, com altas concentrações de Cu e Mn ao longo deste rio. Os autores atribuem a presença dos metais e as altas concentrações desses à erosão das áreas agrícolas que circundam o Rio Toledo e à atividade suinícola muito intensa. Remor *et al*. (2018) verificaram que os elementos Co, Cr, chumbo (Pb) e Zn apresentaram contaminação moderada ou considerável em todos os pontos amostrais. De acordo com os autores, a urbanização está causando enriquecimento moderado de oligoelementos no Lago Paulo Gorski. Obregón *et al*. (2019) encontraram contaminação por causa provável antrópica de chumbo, arsênio (As), cobre, cromo, mercúrio (Hg), selênio (Se) e vanádio (V) bem acima dos valores máximos recomendados pela legislação ambiental nas águas do córrego São José em Cascavel, PR. Segundo os autores, as possíveis causas antrópicas de contaminação podem ser o chorume não tratado e proveniente das lagoas do aterro sanitário do município de Cascavel, dentre outros. Dados preocupantes e que afetam a saúde de todos.

Os seis rios urbanos avaliados no presente estudo fazem parte da bacia do Paraná 3, bacia do Rio Piquiri e bacia do Rio Iguaçu. Em rios urbanos, a falta de mata ciliar também pode resultar em processos erosivos e assoreamento que afetam o abastecimento de água à população (Crepalli, 2007).

# 2 OBJETIVOS

## 2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial de risco ecológico e respectivas fontes de contaminação de metais pesados como cádmio (Cd), cobre (Cu), chumbo (Pb), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni) e zinco (Zn), de seis rios urbanos na Cidade de Cascavel, no estado do Paraná.

## 2.2 Objetivos específicos

- Quantificar os metais pesados de seis rios escolhidos para este estudo em Cascavel, PR, Brasil (Rio Cascavel, Rio Quati, Córrego Bezerra, Rio das Antas, Lageado Clarito e Sanga Amambay).
- Determinar as possíveis causas da presença ou não de metais pesados nos diferentes rios selecionados para este estudo.

# 3 REVISÃO DE LITERATURA

## 3.1 Metais pesados

Segundo Malavolta (1994), a expressão “metal pesado” se aplica aos elementos que têm densidade maior que 5 g/cm³ ou que possuem número atômico superior a 20. A presença deles no ambiente e nos diversos organismos é de grande preocupação para a saúde pública devido aos efeitos letais destes elementos químicos para inúmeros seres vivos, inclusive para o ser humano (Duruibe *et al*., 2007). Os metais pesados naturalmente presentes na Terra têm quantidades limitadas, mas devido às atividades humanas descontroladas (industriais, mineração, fundição), eles se concentram em um determinado local (Das *et al*., 2014). Alguns metais pesados como Cu, Fe, Cr e Ni são essenciais e necessários para plantas, animais e seres humanos, bem como são necessários para os ecossistemas biológicos. Por outro lado, metais pesados como Cd e Pb não são essenciais e não têm função biológica conhecida, em contrapartida, são prejudiciais à vida mesmo em baixas concentrações (Fernandes *et al*., 2008).

As concentrações desses metais podem ser aumentadas pela introdução de metais pesados no meio ambiente. Existem duas maneiras principais pelas quais os metais pesados são introduzidos no meio ambiente, são elas as fontes naturais e as fontes antropogênicas. As fontes naturais de metais pesados incluem intemperismo de rochas portadoras de metais pesados, poeira levada pelo vento, erupções vulcânicas, chuva ácida e orvalho (Harikumar *et al*., 2009; Bazrafshan *et al*., 2015). Enquanto atividades antropogênicas ligadas à indústria, à agricultura, ao uso de mercúrio como a mineração e ao uso de combustíveis são exemplos explícitos que afetam diretamente o meio ambiente e consequentemente o ser humano.

A poluição por metais pesados é um problema ambiental comum em muitos sistemas fluviais devido ao rápido crescimento populacional, urbanização e industrialização (Staley *et al*., 2015). Os metais pesados não podem ser degradados, posto que eles têm características de alto enriquecimento e baixa migração. Ademais, eles tendem a ser reservados em sedimentos associados à matéria orgânica ou a outros compostos, que ameaçam seriamente o ecossistema natural e a saúde humana devido à toxicidade, à bioacumulação e ao nível de persistência desses no ambiente (Lu; Yu, 2018).

As atividades agrícolas também produzem metais pesados que podem chegar ao meio aquático através de insumos agrícolas como fertilizantes, herbicidas, fungicidas e pesticidas que fazem parte de drenagem agrícola que são levados como escoamentos superficiais para corpos d'água (Marcovecchio *et al*., 2007). Esgotos e efluentes industriais são alguns dos maiores contribuintes de metais pesados para contaminação de rios e lagos (Santos *et al*., 2005). Esses metais pesados, uma vez introduzidos no meio ambiente, eventualmente encontram um caminho para o ecossistema aquático ao serem levados por águas pluviais e escoamentos. Eles, então, podem ser depositados nas águas superficiais e provavelmente se depositam nos sedimentos de fundo.

As mudanças no uso da terra se tornarão mais frequentes e intensas devido às atividades antrópicas, que influenciam significativamente os serviços ecossistêmicos (Huang *et al*., 2019; Talukdar *et al*., 2020). A hidrologia do rio é um fator importante na migração e transformação de metais pesados (Garneau *et al*., 2015). Zhang *et al*. (2001) constataram que o acúmulo de metais pesados no rio estava relacionado à hidrodinâmica do rio. No entanto, na área da rede fluvial plana, os rios estão conectados entre si e a água do rio flui para trás durante o curso da maré alta, cujos resultados são a baixa fluidez e as fracas condições hidrodinâmicas do rio.

Na última década, a investigação de metais pesados em corpos d'água, peixes e sedimentos vem despertando grande preocupação para os cientistas. Isso porque eles podem chegar aos seres humanos pelo consumo de alimentos contaminados por metais pesados em sua cadeia alimentar (Opaluwa *et al*., 2012). Uma vez consumidos, esses metais são normalmente armazenados e acumulados pelo corpo humano, causando desconforto do sistema digestivo, diarreia e problemas crônicos (Dinesh; Kunwar, 2002). Por exemplo, o cádmio pode alterar a função de várias enzimas metabólicas na placenta e causar morte e malformação do embrião. O chumbo pode danificar o sistema nervoso e hematopoiético do corpo humano, e até mesmo levar a danos irreversíveis ao desenvolvimento psicológico, intelectual e comportamental das crianças (Mohsinali *et al*., 2003).

### 3.2 Contaminação de rios por metais pesados

Os rios brasileiros vêm sendo depositários de uma diversidade de subprodutos provenientes da atividade antrópica. A água é a principal via de transporte de metais pesados, que poderá ser realizado de duas formas físicas: como espécies dissolvidas ou como espécies associadas às partículas sólidas (Forstner; Wittmann, 1981). Se tal metal será ou não transportado no sistema aquático é a principal preocupação que se tem. Porém, se o transporte não ocorre, esse metal pode estar precipitado, tornando-se insolúvel em determinadas condições físico-químicas e, assim, sem risco, no momento, para aquele ambiente no qual está presente (Corrêa *et al*., 2014).

Os metais podem ser introduzidos nos ecossistemas aquáticos de maneira natural ou artificial. Naturalmente, por meio do aporte atmosférico e chuvas, pela liberação e transporte a partir da rocha matriz ou outros compartimentos do solo onde estão naturalmente (Seyler; Boaventura, 2008). De modo artificial, por fontes antropogênicas de diversos ramos: esgoto *in natura* de zonas urbanas, efluentes de indústrias, atividades agrícolas, e rejeitos de áreas de mineração e garimpos (Moraes; Jordão, 2002). A agricultura, por exemplo, constitui-se como uma das mais importantes fontes não pontuais de poluição por metais em corpos d’água. As principais fontes liberadoras são os fertilizantes (Cd, Cr, Pb, Zn), os pesticidas (Cu, Pb, Mn, Zn), os tratamentos de madeira (Cu, Cr) e dejetos de produção intensiva de bovinos, suínos e aves (Cu, As e Zn) (Pedrozo; Lima, 2001; Santos *et al*., 2002). Além disso, os metais lançados no solo,

a partir desta atividade, são carreados para os rios por escoamento de águas superficiais, provenientes das chuvas, que persistem no meio aquático por apresentarem forma livre, ou iônica, o que facilita sua acumulação nos tecidos principalmente dos peixes (Queiroz, 2006; Vinodhini; Narayanan, 2008).

A presença de elementos potencialmente tóxicos é responsável por efeitos adversos sobre o ambiente e repercutem tanto na economia como na saúde pública (Santos *et al*., 2014). A introdução de metais pesados nos sistemas aquáticos ocorre naturalmente a partir de efluentes domésticos e industriais, os quais são reflexos principalmente do crescimento de polos urbanos (Yabe; Oliveira, 1998; Ebrahimpour; Mushrifah, 2008), e de precipitação em áreas com poluição atmosférica (Pereira *et al*., 2006).

As atividades antrópicas comuns às áreas urbanas geram uma gama diversificada de cargas poluentes de origens física, química e biológica (Ma *et al*., 2016). Esses poluentes são inicialmente acumulados nas superfícies urbanas durante os períodos secos e são lixiviados pelo escoamento das águas pluviais, e representam uma ameaça aos ambientes receptores de água (Goonetilleke *et al*., 2005). Dentre as diversas atividades antrópicas, o tráfego motorizado e as atividades de uso do solo urbano são as duas principais fontes geradoras de grandes quantidades de poluentes químicos (Brown; Peake, 2006). Poluentes químicos, como metais pesados, são exemplos gerados principalmente por fontes relacionadas ao desgaste de freios, de pneus e escapamento de veículos, juntamente com atividades comerciais e industriais (Gunawardana *et al*., 2012; Parra *et al*., 2006; Wei; Yang, 2010).

Por conseguinte, vários pesquisadores trabalham para quantificar a poluição por metais pesados em bacias hidrográficas, associando dados sobre o impacto ambiental e suas complexas relações com as atividades econômicas. Além disso, a determinação dos níveis de metais pesados, a identificação das possíveis fontes de poluição (Rios-Arana *et al*., 2004) e a comparação com valores limites estabelecidos pelas diretrizes vigentes de qualidade de sedimentos são áreas estudadas para proteger a vida aquática (Tabela 1).

**Tabela 1** Níveis de classificação do material dragado

| Metais | Água doce | |
|---|---|---|
| | Nível 1 | Nível 2 |
| Cd (mg/kg) | 0,6 | 3,5 |
| Cu (mg/kg) | 35,7 | 197 |
| Pb (mg/kg) | 35 | 91,3 |
| Cr (mg/kg) | 37,3 | 90 |
| Ni (mg/kg) | 18 | 35,9 |
| Zn (mg/kg) | 123 | 315 |

Dados: *Environmental Canada. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canadian Environmental Quality Guidelines - Summary Tables*. http://www.ec.gc.ca, atualizado em 2002, sugerido pela Resolução Conama N° 454, de 1º de novembro de 2012. Fonte: Autor (2024)

Jiang *et al*. (2017) investigaram os efeitos do uso da terra em metais-traço dissolvidos na China e descobriram que terras agrícolas e urbanas têm correlações positivas com

concentrações de metais-traço dissolvidos. Em contraste, florestas e pastagens contribuíram positivamente para aliviar o comprometimento da qualidade da água, causados por metais-traço dissolvidos na água. Assim, melhorar as matas ciliares ao longo do rio e adotar práticas de agricultura de conservação podem afetar positivamente para a redução da erosão e do acúmulo de metais nos sedimentos do Rio Ouro-RS.

Espinoza-Quiñones *et al*. (2005) estudaram o Rio Toledo e identificaram a presença dos elementos Cr, Mn, Ni, Cu e Zn, com elevadas concentrações de Cu e Mn ao longo do rio. Os autores atribuem a presença dos metais e as altas concentrações à erosão das áreas agrícolas e à atividade suinícola muito intensa, que circundam este rio.

Rocha *et al*. (2014) obtiveram concentrações de Pb com variações de 0,2132 a 0,2377 mg $L^{-1}$, e atribuíram os elevados valores encontrados às atividades realizadas no entorno do corpo d'água, como o lançamento de efluentes urbanos e industriais, à atividade agropecuária intensiva e aos resíduos de inseticidas, herbicidas, fungicidas e fertilizantes utilizados nesta atividade.

Estudos realizados por Cruz (2012) e Silva (2012), cujo foco são as águas e o sedimento das nascentes do Rio Subaé, apresentaram contaminação pelos metais pesados Cr, Zn, Mn, Ni, Cd, Cu e Pb. Já as elevadas concentrações de Cu e Pb, detectadas acima do valor máximo para consumo humano em peixes coletados em lagoas, que formam as nascentes do Rio Subaé, foram apresentadas por Nunes (2012), e a contaminação por Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em peixes coletados no médio curso do Rio Subaé foi o resultado encontrado por Araújo (2012).

Remor *et al*. (2018) verificaram que os elementos Co, Cr, Pb e Zn apresentaram contaminação moderada ou considerável em todos os pontos amostrais. De acordo com os autores, a urbanização está causando enriquecimento moderado de oligoelementos no sedimento do Lago Paulo Gorski. A fração biodisponível de elementos nos sedimentos seguiu a sequência Pb>Cu>Mn>Zn>Ni>Cr>P.

Leite *et al*. (2013) estudaram a concentração de Cr, Cd, Cu, Ag, Pb e Ni em águas superficiais dos Rios Salgado e Ceará, ambos no Ceará. Os autores constataram a presença de metais pesados em todas as trinta e seis amostras analisadas, e identificados níveis muito elevados de concentração de níquel. Ribeiro *et al*. (2012) avaliaram a qualidade da água na secção do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora. Os resultados mostraram que vários elementos apresentaram elevados níveis de contaminação nas áreas urbano-industriais da área estudada.

Singh *et al*. (2014) avaliaram metais pesados em águas subterrâneas e estudaram a distribuição espacial daqueles em Punjab, Índia. Segundo os autores, a concentração de parâmetros como Cd, Cr, Mn e Pb está acima do limite permitido (OMS). Kadhum *et al*. (2015) avaliaram a concentração de quatro metais: Cd, Ni, Cr e Sn, nas amostras de sedimentos superficiais do Rio Langat, na Malásia.

Dević *et al*. (2016) analisaram os dados de dez variáveis de qualidade da água coletadas

durante 2009 em 75 locais de monitoramento ao longo da rede fluvial da Sérvia. Os resultados foram alarmantes, pois 48% dos locais estudados estão contaminados por Ni, Mn, Pb, As e nutrientes, considerados como os principais fatores que prejudicaram a qualidade da água dos rios da Sérvia.

Remor *et al*. (2018) não encontraram correlação entre as atividades humanas e as concentrações de mercúrio no sedimento da bacia do Rio Pelotas-RS e seus afluentes. De acordo com os autores, as concentrações de mercúrio encontradas no sedimento têm pouca chance de causar efeitos adversos na biota local. Obregón *et al*. (2019) encontraram contaminação por causa provável antrópica de chumbo, arsênio, cobre, cromo, mercúrio, selênio e vanádio bem acima dos valores máximos recomendados pela legislação ambiental nas águas do córrego São José-MG.

Em Bauru (SP), Mondelli *et al*. (2016) verificaram diferentes níveis de contaminação conforme a localização do rio estudado e as características dos resíduos depositados. No município de Três Corações, Minas Gerais, Taveira *et al*. (2016) encontraram fortes indícios de contaminação pelo chorume devido às alterações de algumas características da água subterrânea. Muro Jr *et al*. (2017) identificaram Cd, Ca e Cu, K, Mn e Zn acima dos limites máximos permitidos pelo CONAMA no Córrego da Onça e de solo no Aterro II e na Sucata do Goiânia II na cidade de Goiânia-GO. Em Ribeirão Preto, São Paulo, Celere *et al*. (2016) observaram valores médios de chumbo e zinco acima dos limites especificados pelo CONAMA.

### 3.3 Toxicidade dos metais pesados

A toxicidade de uma substância depende de sua especiação, da via e do tempo de exposição. Apesar de variados, os sintomas e danos causados pelos metais pesados são provenientes de dois principais mecanismos de ação, quais sejam: a formação de complexos com grupos funcionais das enzimas e a combinação com as membranas celulares (Pacheco *et al*., 2015). Os metais pesados têm efeitos adversos sobre os seres vivos e causam danos aos órgãos vitais de animais e humanos (Pratush *et al*., 2018).

A poluição por metais pesados é um dos problemas ambientais mais sérios (Anirudhan; Sreekumari, 2011). Os metais são geralmente tóxicos, mesmo em concentrações muito baixas. Portanto, eles podem degradar seriamente a qualidade dos recursos de água potável. Além de degradar a qualidade das águas naturais, os metais pesados também podem causar diversos problemas graves de saúde em humanos, afetando o sistema nervoso, rins, fígado e funções respiratórias (Li *et al*., 2014; Godwill *et al*., 2019). A seguir, serão apresentados o impacto e a toxicidade de alguns metais pesados importantes.

O cádmio (Cd) é um componente natural na superfície do mundo. Ele é normalmente encontrado com outros elementos como minerais. Todos os solos e as rochas, incluindo carvão e fertilizantes minerais, que contêm alguns traços de cádmio. Na indústria e nos bens de consumo, o cádmio é utilizado para baterias, tintas, revestimentos metálicos e plásticos. Além

disso, este elemento é um constituinte em vários itens diferentes, por exemplo, ligas. Ele entra no ar da indústria de mineração, carvão queimado e resíduos domésticos. As partículas podem viajar por longas distâncias antes de se estabelecerem na água ou no solo (Singh, 2005).

Os efeitos colaterais letais provocados pelo cádmio incluem distúrbios gastrointestinais provocados pela interferência de enzimas dependentes de zinco, por exemplo, carboxipeptidase que causam digestão prejudicada, insuficiência renal e hipertensão (Khan *et al*., 2008). O envenenamento por cádmio contribui para um enorme número de condições de saúde, incluindo as principais doenças cardíacas, doenças malignas e diabetes (Herreros *et al*., 2008).

O cádmio desaloja o zinco em numerosas metaloenzimas e numerosos sintomas de envenenamento por cádmio podem ser atribuídos à deficiência de zinco, induzida por cádmio. O cádmio se acumula nos rins, no fígado e em outros órgãos e é considerado mais letal que o chumbo ou o mercúrio (Yilmaz, 2009). É venenoso em níveis de um décimo do chumbo, mercúrio, alumínio ou níquel. O envenenamento por cádmio está aumentando em frequência hoje por causa da deficiência de zinco em vários alimentos comumente consumidos. O zinco, que é defensivo contra o cádmio, está se tornando cada vez mais insuficiente no solo e, consequentemente, nos alimentos. O processamento de alimentos e o consumo de alimentos refinados diminuem ainda mais a absorção de zinco. A exposição ao cádmio também está aumentando devido à utilização dele como revestimento para ferro, aço e cobre (Kalay; Canli, 2000). É também utilizado em ligas de cobre, estabilizantes em borrachas e plásticos, papéis de cigarro, fungicidas e em diversos itens. Regularmente, essas indústrias nesse ponto contaminam a água, o ar e os alimentos com esse metal (Wilson; Pyatt, 2007).

O cobre (Cu) é geralmente utilizado para a produção de fios e nas indústrias elétricas. Suas principais ligas são o latão (com zinco) e o bronze (com estanho). Outros exemplos de uso são utensílios de cozinha, estruturas de transporte de água e fertilizantes de cobre, como fungicidas e moluscicidas, que têm impacto direto na contaminação da água (Bradl, 2005). O cobre é considerado um constituinte básico das metaloenzimas das formas vivas e é necessário na síntese da hemoglobina e na catálise das reações metabólicas (Moore, 2003). Ele assume papel central em inúmeros sistemas de catalisadores orgânicos que catalisam reações de oxidação/redução. No entanto, quando presente em níveis relativamente altos no meio ambiente, pode ocorrer o envenenamento das formas de vida aquática. Níveis elevados de cobre levam a um aumento na taxa de formação de radicais livres (Gwozdzinski, 1995), teratogenicidade (Stouthart *et al*., 1996).

A maioria dos minerais de cobre é relativamente insolúvel em água e, portanto, pouco é encontrado na água natural. O cobre está disponível em águas superficiais e subterrâneas devido ao uso extensivo de *sprays* de pesticidas contendo compostos de cobre para fins agrícolas. É um elemento essencial no metabolismo humano, mas pode causar anemia, distúrbios do tecido ósseo e conjuntivo e danos no fígado em níveis excessivos (Duruibe *et al*., 2007). O envenenamento por cobre depende da dureza e do pH da água, portanto, é cada vez mais tóxico

em água macia e com baixa alcalinidade (Taha, 2004).

O chumbo (Pb) é o segundo metal pesado mais excessivo encontrado como poluente na Terra. Na natureza, a presença de chumbo nativo é muito rara, principalmente quando o chumbo está associado aos minérios de zinco, prata e cobre e extraído juntamente com a extração desses metais (Davidson *et al*., 2014). Mas, com o desenvolvimento da civilização, a utilização do chumbo aumentou, e hoje ele se torna um grande poluente (Khatri; Tyagi, 2015). A poluição por chumbo é maior nos países em desenvolvimento em comparação com os países desenvolvidos. Vale ressaltar que o chumbo está sendo utilizado na gasolina. Zhang *et al*. (2015) descreveram que a queima de gasolina contendo chumbo em motores de automóveis leva à produção de muitos sais de chumbo, bromo e óxidos. Esses sais de chumbo entram no meio ambiente através dos escapamentos de automóveis. As partículas de maior tamanho caem no solo à medida que se exaurem e poluem o solo ou as águas superficiais, enquanto as partículas menores voam com o ar e permanecem na atmosfera. Algumas partes dessas pequenas partículas voltam a entrar em contato com o solo a partir da água da chuva misturada com as pequenas partículas. O ciclo do chumbo feito pelo homem elevou a concentração de chumbo no meio ambiente a um estágio alarmante, e é muito mais fatal do que o ciclo natural do chumbo (Pratush *et al*., 2018).

O chumbo tem os efeitos mais prejudiciais à saúde humana e entra no corpo humano através da absorção de alimentos (65%), água (20%) e ar (15%) (Mahmood; Malik, 2014). A exposição de seres humanos ao chumbo é conhecida como intoxicação por chumbo. A intoxicação por chumbo pode ser por dois tipos: aguda (por exposição intensa de curta duração) ou crônica (por exposição repetida de baixo nível por um período prolongado). O diagnóstico e o tratamento da intoxicação por chumbo dependem da presença do nível de chumbo no sangue, que é medido em microgramas de chumbo por decilitro de sangue (µg/dL) (Parmar; Thakur, 2013). De acordo com as diretrizes atuais da OMS, a exposição excessiva ao chumbo para uma pessoa saudável deve ser inferior a 25 µg/dL para adultos e deve ser inferior a 5 µg/d em se tratando de crianças (OMS, 2010).

O cromo (Cr) é o elemento mais abundante no manto da Terra (Bhalerao; Sharma, 2015). Outrossim, o intemperismo de rochas contendo cromo, efluentes industriais e lixiviação do solo são as razões medidas de sua deposição no solo ou em corpos d'água (Khatri; Tyagi, 2015). As composições do cromo da água e do solo são diferentes. No solo, a concentração de cromo depende da presença e da quantidade de rochas presentes naquela região, enquanto em corpos d'água, a concentração de cromo depende da quantidade de efluente industrial misturado à água (Ertani *et al*., 2017). O acúmulo excessivo de Cr no solo ou na água causa diversos efeitos na planta, bem como na saúde humana.

O manganês (Mn) é essencial para a saúde humana e atua como cofator nos centros ativos de várias enzimas. Ele é necessário para o desenvolvimento normal, para a manutenção das funções das células nervosas e imunológicas, bem como a regulação do açúcar no sangue

e vitaminas, entre outras funções (Crossgrove; Zheng, 2004). A superexposição a esse metal, no entanto, pode ser tóxica para muitos sistemas orgânicos e em diferentes estágios da vida. A principal fonte de intoxicação por Mn é clinicamente identificada devido à exposição ocupacional. A neurotoxicidade devido à exposição por inalação de Mn no ar foi relatada em mineiros em minas de dióxido de Mn (Couper, 1837).

O ferro (Fe) é considerado um elemento vital. O maior interesse científico e médico dos pesquisadores quanto ao elemento químico ferro é como um metal essencial, mas as considerações toxicológicas são importantes em termos de exposições agudas acidentais e sobrecarga crônica de ferro (Gurzau *et al*., 2003). O excesso de ferro corporal pode ser altamente tóxico. Essa toxicidade envolve muitos órgãos, e leva a uma variedade de condições graves, como doenças hepáticas, cardíacas e pulmonares, bem como diabetes mellitus, anormalidades hormonais e um sistema imunológico disfuncional. Acredita-se que o dano tecidual associado à sobrecarga de ferro resulte principalmente de reações de radicais livres mediadas pelo ferro. O ferro é um catalisador eficaz em reações de radicais livres. As doenças associadas à sobrecarga de ferro podem ser tratadas de forma eficaz ou prevenidas. Portanto, o diagnóstico precoce da sobrecarga de ferro e a terapia apropriada são fundamentais. Ao fornecerem os dados necessários, os laboratórios de química clínica podem desempenhar papel fundamental na gestão desses problemas de saúde (Gutterridge *et al*., 2001; Kelly, 2001).

O níquel (Ni), por sua vez, é um elemento metálico que está naturalmente presente na crosta terrestre. Devido às propriedades físicas e químicas únicas, o níquel metálico e seus compostos são amplamente utilizados na indústria moderna. O consumo elevado de produtos contendo níquel leva inevitavelmente à poluição ambiental pelo níquel e seus subprodutos em todas as etapas de produção, reciclagem e descarte. A exposição humana ao níquel ocorre principalmente por inalação e ingestão. Quantidades significativas de níquel em diferentes formas podem ser depositadas no corpo humano por meio de exposição ocupacional e dieta ao longo da vida. Como o níquel não foi reconhecido como um elemento essencial em humanos, não está claro como os compostos de níquel são metabolizados (Denkhaus; Salnikow, 2002).

O zinco (Zn) possui grave impacto na saúde humana por intoxicação. No entanto, a intoxicação por zinco é considerada um evento raro. Quando comparado a vários outros íons metálicos com propriedades químicas semelhantes, o zinco é relativamente inofensivo. Apenas a exposição a altas doses tem efeitos tóxicos, causando intoxicação aguda por zinco. Além da intoxicação aguda, a suplementação de zinco em altas doses em longo prazo interfere na absorção de cobre. Assim, muitos de seus efeitos tóxicos são de fato devido à deficiência de cobre (Ameixa *et al*., 2010).

# 4 MATERIAL E MÉTODOS

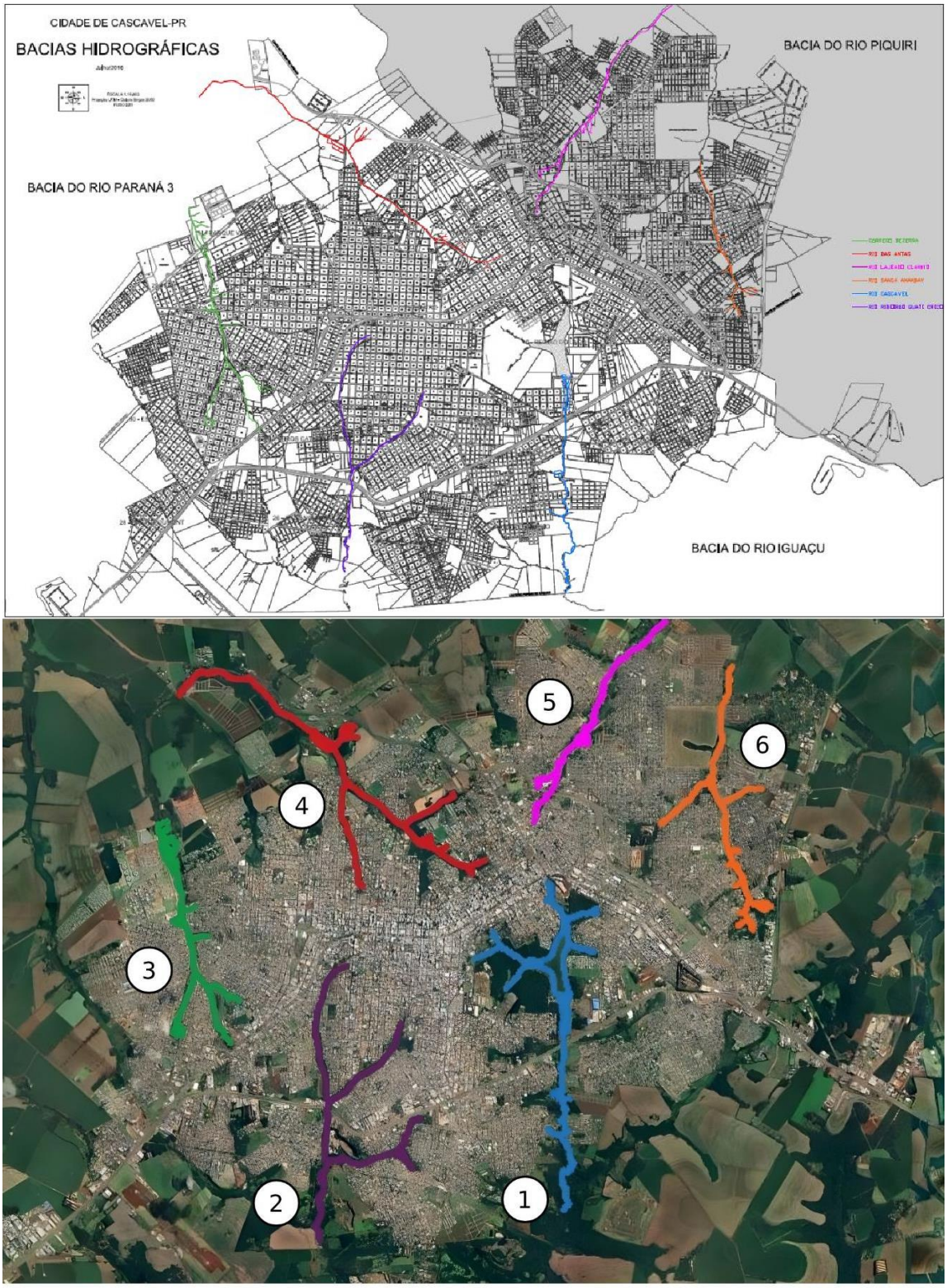
## 4.1 Área de estudo

A cidade de Cascavel, localizada no Oeste do estado do Paraná, conta com uma população de 336.073 habitantes (IBGE, 2021). A altitude média é de 700 m, entre as latitudes de 24°56’25.39’’ S; 24°56’45.39” S e longitudes 53°30'9.89" O; 53°31'17.01"O. O clima é classificado como Cfa (clima subtropical), segundo Koeppen, cuja precipitação média anual é superior a 1800 mm, sem estação seca definida, mas com possibilidade de geadas durante o inverno. A temperatura média anual apresenta importantes diferenças, que variam de 20 a 21 ºC na região de Cascavel-PR. A umidade relativa média anual é de 75 a 80% (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007).

O município abrange três bacias hidrográficas paranaenses: a Bacia do Rio Paraná 3, Bacia do Rio Iguaçu e Bacia do Rio Piquiri. Os rios estudados encontram-se destacados conforme a Tabela 2, sendo detalhados os pontos de coletas (nascente urbana, talvegue mediana urbana e foz urbana) através de sua geolocalização (latitude e longitude), conforme as Figuras 1 a 7.

**Tabela 2** Geolocalização (latitude e longitude) dos rios

| Rios | Nascentes<br>Coordenadas | Altitudes |
|---|---|---|
| Córrego Bezerra | 24°55'51.9"S 53°26'09.4"W | 706,8 m |
| Rio das Antas | 24°56'18.8"S 53°27'43.7"W | 674,7 m |
| Ribeirão Quati Chico | 24°57'33.7"S 53°28'22.8"W | 727,2 m |
| Rio Cascavel | 24°57'13.4"S 53°26'01.1"W | 718,1 m |
| Sanga Amambay | 24°56'39.5"S 53°24'19.8"W | 691,8 m |
| Lageado Clarito | 24°55'51.9"S 53°26'09.3"W | 706,7 m |
| **Rios** | **Medianas<br>Coordenadas** | **Altitudes** |
| Córrego Bezerra | 24°55'28.5"S 53°25'56.3"W | 690,8 m |
| Rio das Antas | 24°55'47.0"S 53°28'24.9"W | 661,3 m |
| Ribeirão Quati Chico | 24°59'02.9"S 53°28'28.6"W | 691,8 m |
| Rio Cascavel | 24°58'30.8"S 53°26'06.4"W | 696,4 m |
| Sanga Amambay | 24°55'45.5"S 53°24'37.2"W | 684,5 m |
| Lageado Clarito | 24°55'28.2"S 53°25'58.2"W | 691,7 m |
| **Rios** | **Foz<br>Coordenadas** | **Altitudes** |
| Córrego Bezerra | 24°55'02.5"S 53°25'38.4"W | 677,2 m |
| Rio das Antas | 24°55'18.5"S 53°28'57.2"W | 653,6 m |
| Ribeirão Quati Chico | 24°59'47.0"S 53°28'34.0"W | 650,23 m |
| Rio Cascavel | 25°00'03.0"S 53°26'01.0"W | 659,2 m |
| Sanga Amambay | 24°54'48.0"S 53°24'21.5"W | 662,0 m |
| Lageado Clarito | 24°55'03.9"S 53°25'36.5"W | 675,9 m |




1 - Rio Cascavel
2 - Rio Quati Chico
3 - Córrego Bezerra
4 - Rio das Antas
5 - Lageado Clarito
6 - Sanga Amambay

**Figura 1** Mapa das Bacias Hidrográficas do Município de Cascavel – PR

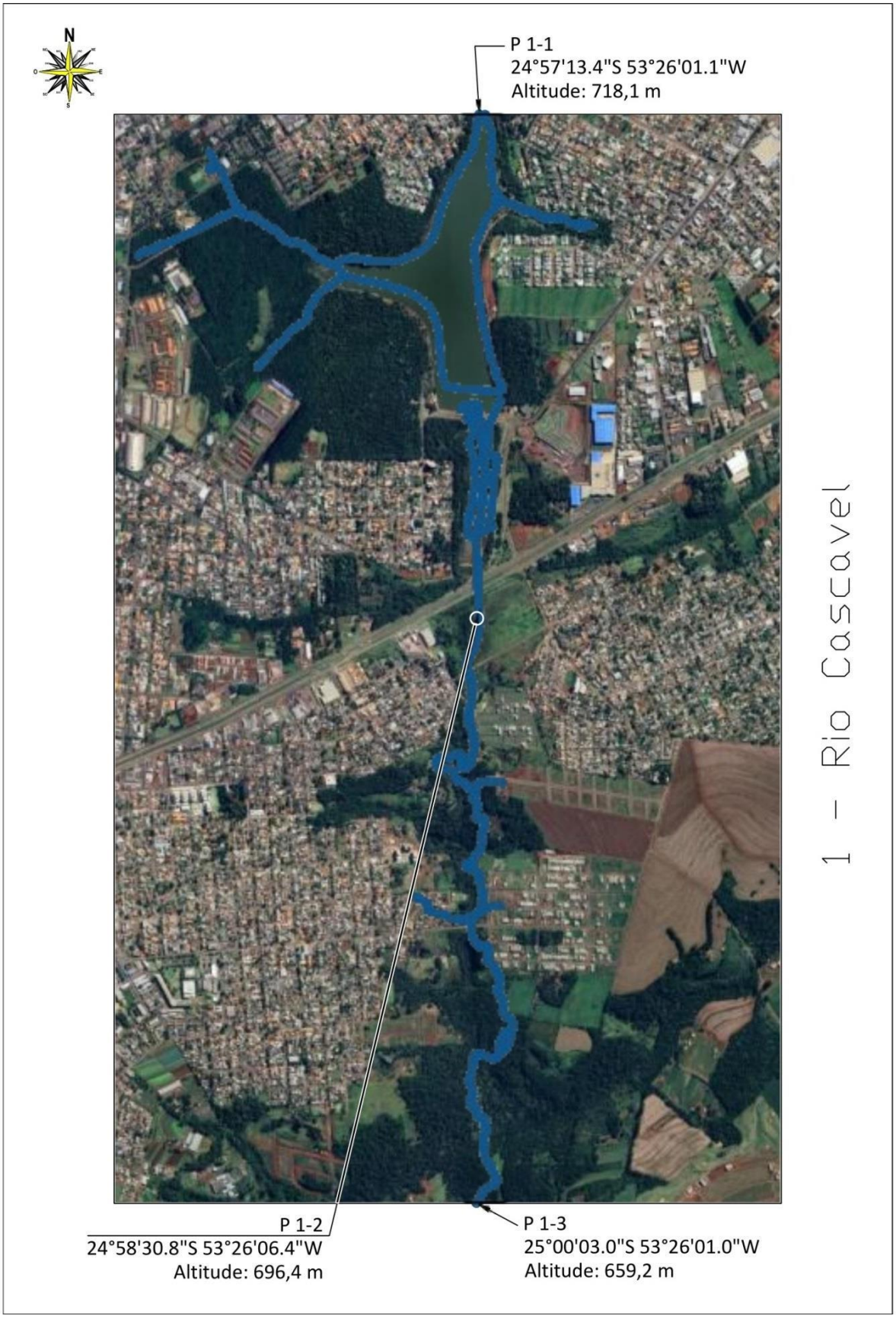



**Figura 2** Rio Cascavel e geolocalização dos pontos de coleta

**Figura 3** Rio Quati e geolocalização dos pontos de coleta

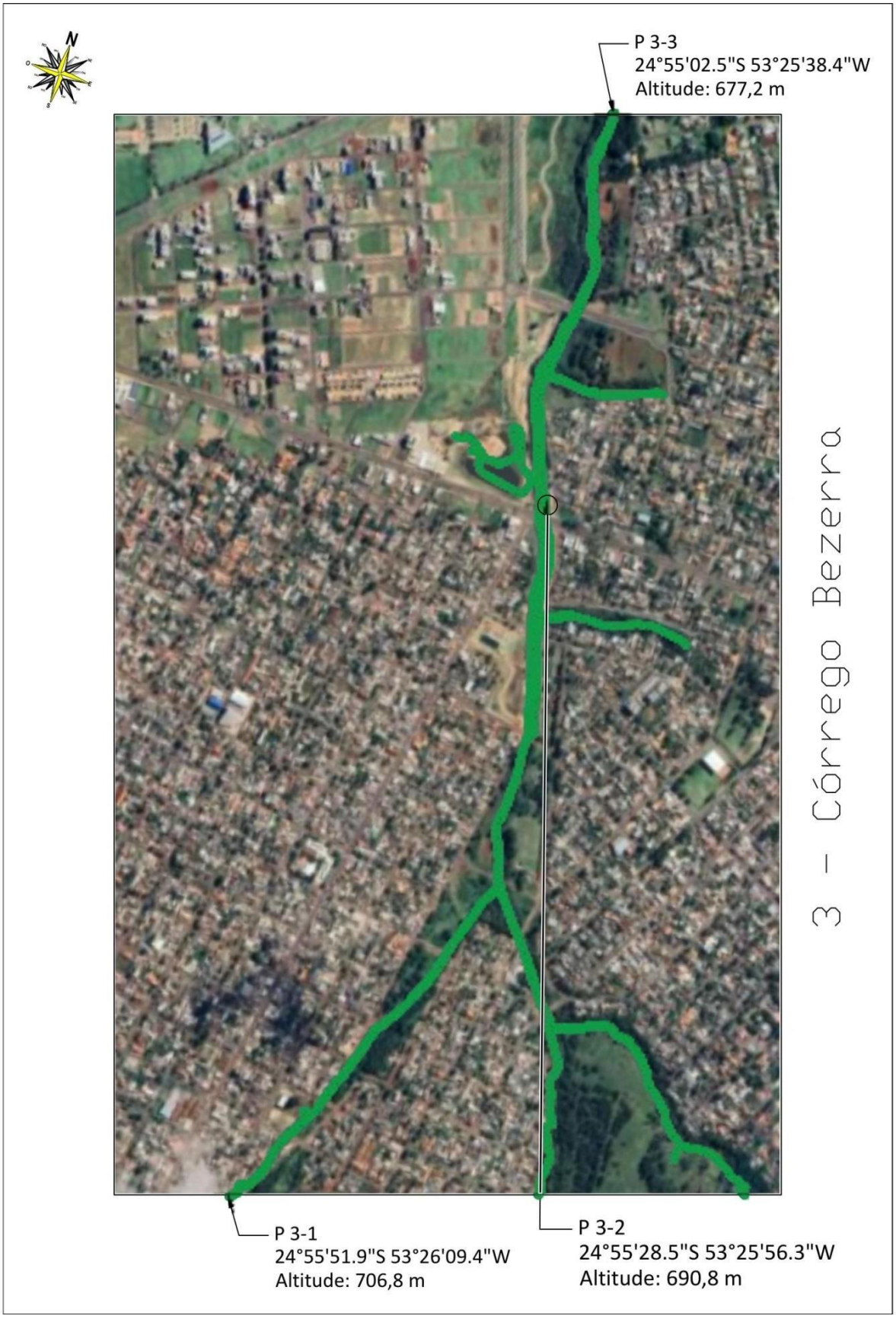



**Figura 4** Córrego Bezerra e geolocalização dos pontos de coleta

**Figura 5** Rio das Antas e geolocalização dos pontos de coleta

**Figura 6** Lageado Clarito e geolocalização dos pontos de coleta

**Figura 7** Rio Sanga Amambay e geolocalização dos pontos de coleta

### 4.2 Coleta das amostras

As amostras de sedimento foram coletadas com o coletor Ekman dredger em três pontos espaciais (nascente urbana, talvegue mediano urbano e foz urbana) de seis rios da cidade de Cascavel-PR. Foram coletados cerca de 2 kg de sedimento, em oito repetições, os quais foram acondicionados adequadamente para transporte e análise (Cembranel *et al*., 2017). As coletas foram realizadas nos meses de julho e agosto de 2022. A precipitação pluviométrica dos referidos encontra-se abaixo (Figura 8).

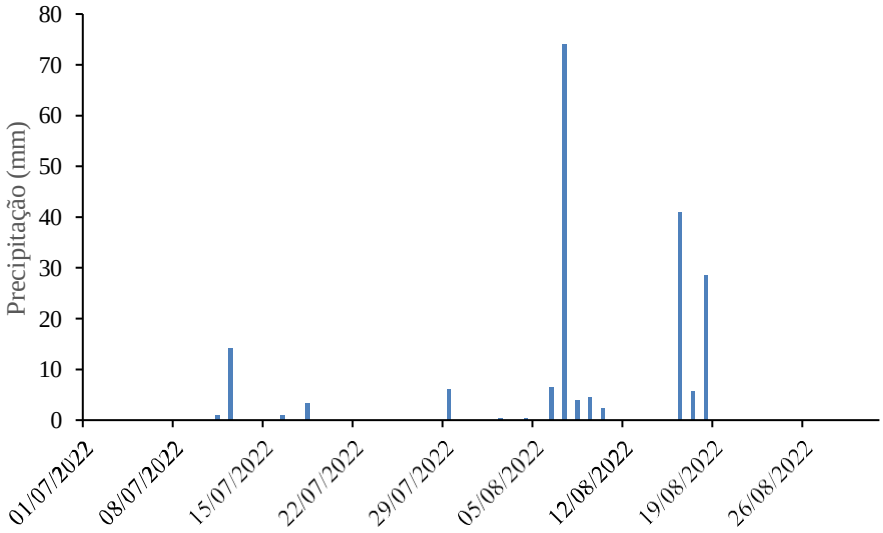



**Figura 8** Precipitação pluviométrica do período de coleta
Fonte: Autor (2024)

As amostras foram secas em estufas. Foi utilizada uma peneira da série Tyler de 63-µm conforme recomendação de Who (1982).

### 4.3 Caracterização e extração dos teores totais de Metais Pesados

As porcentagens de argila, silte e areia foram determinadas através da utilização de 500 g desta dessa amostra que foi encaminhada para o laboratório de biosistemas agrícolas (LABA – Unioeste) para análises granulométricas, conforme metodologia ABNT NBR 7181:1984 Versão Corrigida: 1998, de forma a classificar a textura do sedimento pelos diagramas da Embrapa (2018) e de Pejrup (1958).

Para a análise de elementos-traço e elementos-traço biodisponíveis, foram utilizados 500g da amostra. A análise de elementos-traço é baseada na USEPA 3050B e fornece procedimento de digestão para a preparação de sedimentos, lamas e solos para análise por espectrometria de absorção atômica (FLAA - equipamento Shimadzu, modelo AA-6300). Os elementos selecionados para extração dos teores totais de metais foram cádmio (Cd), cobre

(Cu), chumbo (Pb), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni) e zinco (Zn), de acordo com o método USEPA 3050B (1996), a partir da porção silte/argila (< 63 µm) do sedimento.

Para esta análise, 1 g de amostra foi pesado em um tubo de micro Kjeldahl. Em seguida, foram adicionados 10 mL de $HNO_3$ concentrado, e os tubos foram deixados durante 10 minutos em bloco digestor a 95 °C. Posteriormente, foram adicionados 5 mL de HCl concentrado. Após reduzir o volume até 5 mL, foi adicionado $H_2O_2$ de 1 em 1 mL até parar de borbulhar. Então, foram adicionados 10 mL de HCL concentrado e esperou-se 15 minutos para realizar a filtração em balão volumétrico e completar o volume até 50 mL com água destilada. Após a extração, a leitura foi realizada em espectrômetro de absorção atômica de chama (AAS). O controle de qualidade do método utilizado para obter os teores totais dos elementos nas amostras foi avaliado a partir das taxas de recuperação de uma amostra de referência certificada. A cada bateria com amostras de sedimentos, foi utilizada uma amostra de referência certificada. Foram aprovadas apenas análises que atingiram no mínimo 90% de recuperação para cada elemento analisado.

### 4.4 Análise dos dados

Os dados referentes às análises do sedimento foram submetidos à análise de estatística descritiva e aos gráficos de controle.

# 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 5.1 Parâmetros físicos – análise granulométrica e hidrodinâmica

Os principais tipos de solos do município de Cascavel-PR são Latossolos Vermelho (60%) com textura argilossa, Cambissolo Háplico (20%) com textura arenosa, Nitossolo Háplico (15%), Neossolo Litólico (5%), presentes em áreas com afloramentos rochosos, conforme o plano diretor do município de Cascavel. A distribuição desses diferentes tipos de solos no município é influenciada por fatores como relevo, clima e vegetação original (EMBRAPA, 2021).

Geralmente um solo não é constituído de uma única fração granulométrica. Neste sentido, faz-se necessária a análise das classes de textura para definir as diferentes combinações de areia, silte e argila. A classificação foi realizada com auxílio do diagrama textural e a hidrodinâmica através do diagrama de Pejrup (Rocha *et al*., 2009).

A capacidade de adsorção (interação de natureza química ou física), na qual átomos, moléculas ou íons são retidos na superfície de sólidos foi analisada por análise granulométrica dos sedimentos com base nos tamanhos das partículas. As partículas finas (silte e argila) possuem maior área de superfície disponível e assim aumentam tanto o poder de adsorção como o de retenção e mobilidade de metais pesados no sedimento.

Um estudo relevante que aborda a relação entre a textura do sedimento e a concentração de metais pesados é o trabalho de Wang *et al*. (2018). Neste estudo, os autores investigaram a influência da textura do sedimento na concentração de metais pesados nos sedimentos do estuário do Rio Yangtze, na China. Os resultados demonstraram que a textura do sedimento, especialmente a proporção de partículas finas (silte e argila), desempenhou papel significativo na adsorção e retenção de metais pesados nos sedimentos.

Além disso, o estudo de Li *et al*. (2017) também destacou a importância da textura do sedimento na distribuição e especiação de metais pesados nos sedimentos do estuário do Rio Yangtze. Os autores mostraram que a presença de sedimentos com maior proporção de argila resultou na maior retenção de metais pesados, influenciando a disponibilidade e potencial impacto ambiental. Esses estudos destacam a relevância da classificação textural dos sedimentos por análise granulométrica na avaliação da concentração de metais pesados nos sedimentos de rios e estuários. A compreensão da interação entre a textura do sedimento e os metais pesados é fundamental para o monitoramento ambiental, a avaliação de riscos e a tomada de decisões, relacionadas à gestão de áreas contaminadas por metais pesados.

Essas informações quando combinadas podem ajudar a identificar áreas de maior acumulação de metais pesados no sedimento do rio, bem como podem prever possíveis impactos ambientais e riscos à saúde humana. Além disso, a análise granulométrica e a hidrodinâmica podem auxiliar na elaboração de estratégias de gestão e remediação de áreas contaminadas por metais pesados (Ribeiro *et al*., 2016).

Com relação aos diagramas de Pejrup (Figuras 9, 10 e 11), nos rios Cascavel, Quati,

Bezerra, das Antas, Amambay e Lageado Clarito, tanto nas Nascentes como nos Talvegues e na Foz, apresentaram hidrodinâmica moderada e dentro das faixas de porcentagem de areia entre os quadrantes B e C, em uma faixa de 50% e 90%.

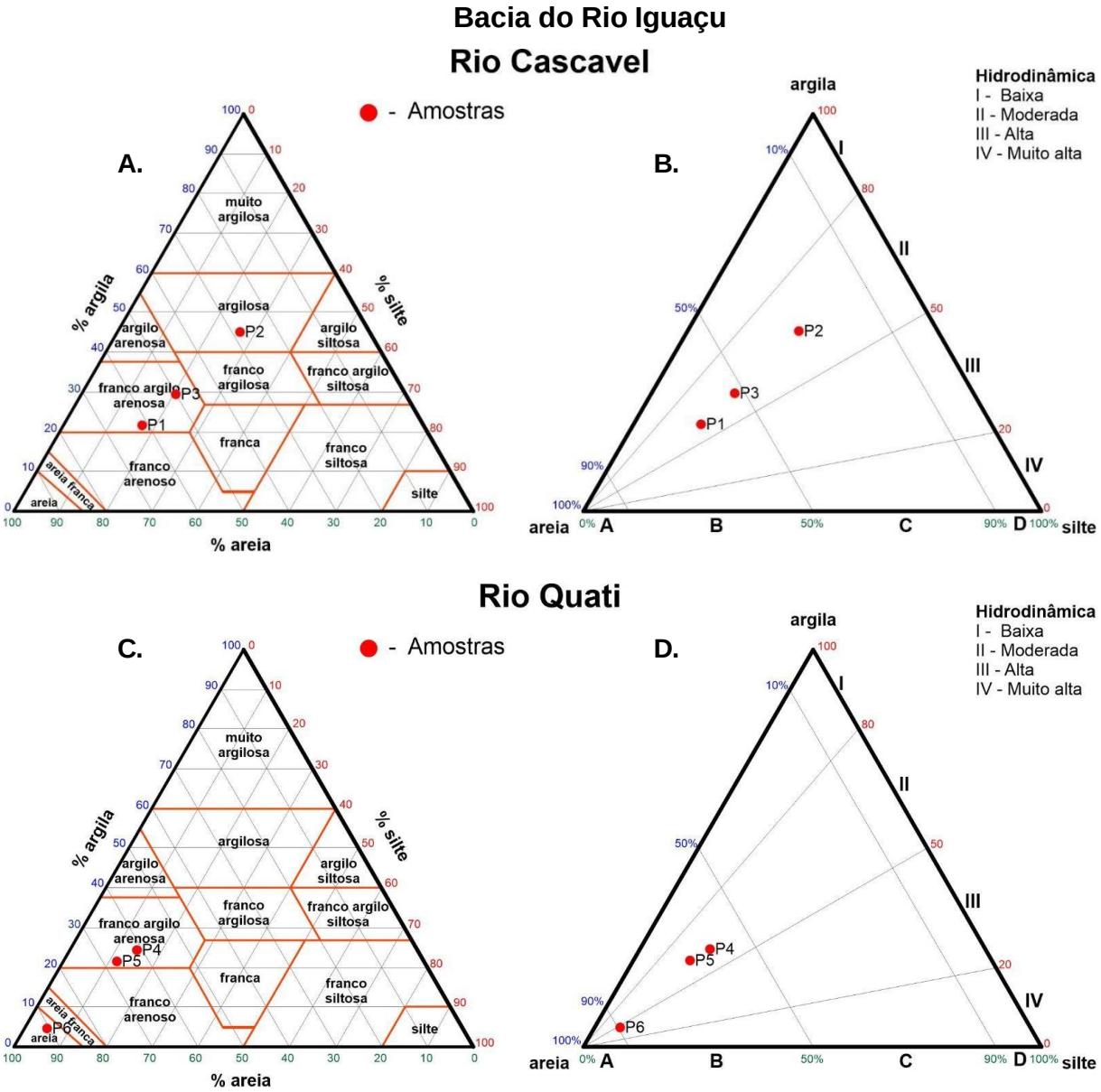



**Figura 9** Análise granulométrica e hidrodinâmica no Rio Cascavel (A-B) e Rio Quati (C-D)
Triângulo textural
Fontes: USDA (2017) e EMBRAPA (2018)

Pontos com classificação argilosa e franco-argilosa arenosa foram observados no Rio Cascavel (Figura 9A). Os valores de areia, silte e argila no solo de textura argilosa foram de 29,69%, 27,92% e 42,39%, respectivamente. Já os valores nos pontos P1 e P3 do Rio Cascavel foram de 60,86% e 47,92% para areia, 18,43% e 27,04% para silte; e 20,71% e 25,05% para argila, respectivamente.

Para o Rio Quati foram observados pontos com classificação areia franca e franco-argilosa arenosa (Figura 9B). Os valores de areia, silte e argila no solo de textura areia franca foram de

91,63%, 3,99% e 4,38%, respectivamente. Já os valores nos pontos P4 e P5 do Rio Quati foram de 60,30% e 64,47% para areia, 17,02% e 14,10% para silte; e 22,68% e 21,42% para argila, respectivamente.

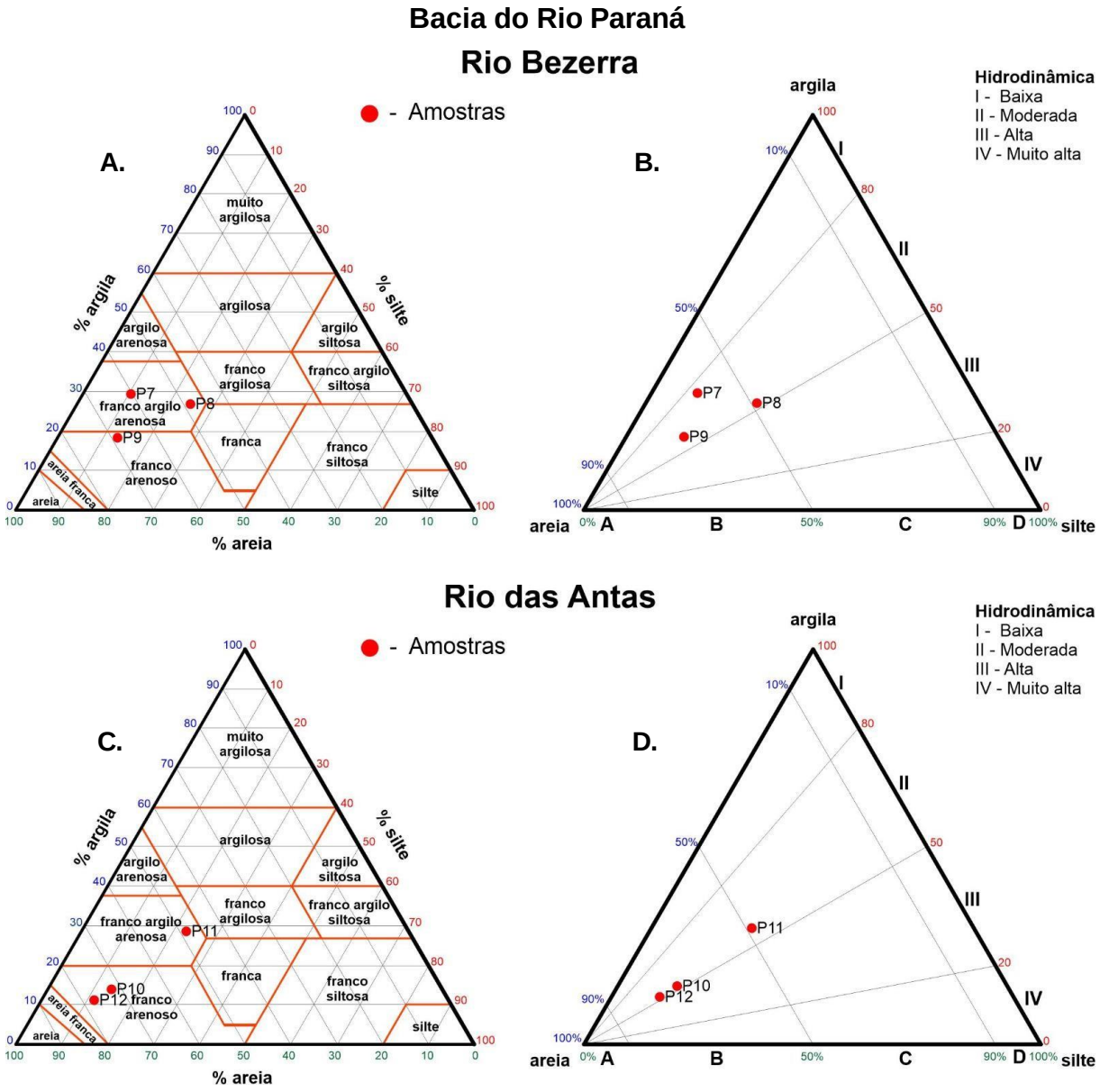



**Figura 10** Análise granulométrica e hidrodinâmica no Rio Bezerra (A-B) e Rio das Antas (C-D) Triângulo textural
Fontes: USDA (2017) e EMBRAPA (2018)

Pontos com classificação franco-arenosa e franco-argilosa arenosa foram observados no Rio Bezerra (Figura 10A). Os valores de areia, silte e argila no solo de franco-arenoso foram de 69,29%, 12,52% e 18,20%, respectivamente. Já os valores nos pontos P7 e P8 com classificação franco-argilosa arenosa do Rio Quati foram de 60,92% e 48,47% para areia, 15,05% e 22,94% para silte; e 24,03% e 28,59% para argila, respectivamente (Figura 10A).

Pontos com classificação franco-arenosa e franco-argilosa arenosa foram verificados no Rio das Antas (Figura 10B). Os valores de areia, silte e argila no solo franco-argiloso arenoso foram de 43,23%, 23,26% e 30,52%, respectivamente. Já os valores nos pontos P10 e P12 com

classificação franco-arenosa do Rio Quati foram de 71,12% e 76,65% para areia, 14,19% e 11,04% para silte; e 14,70% e 12,31% para argila, respectivamente (Figura 10B).

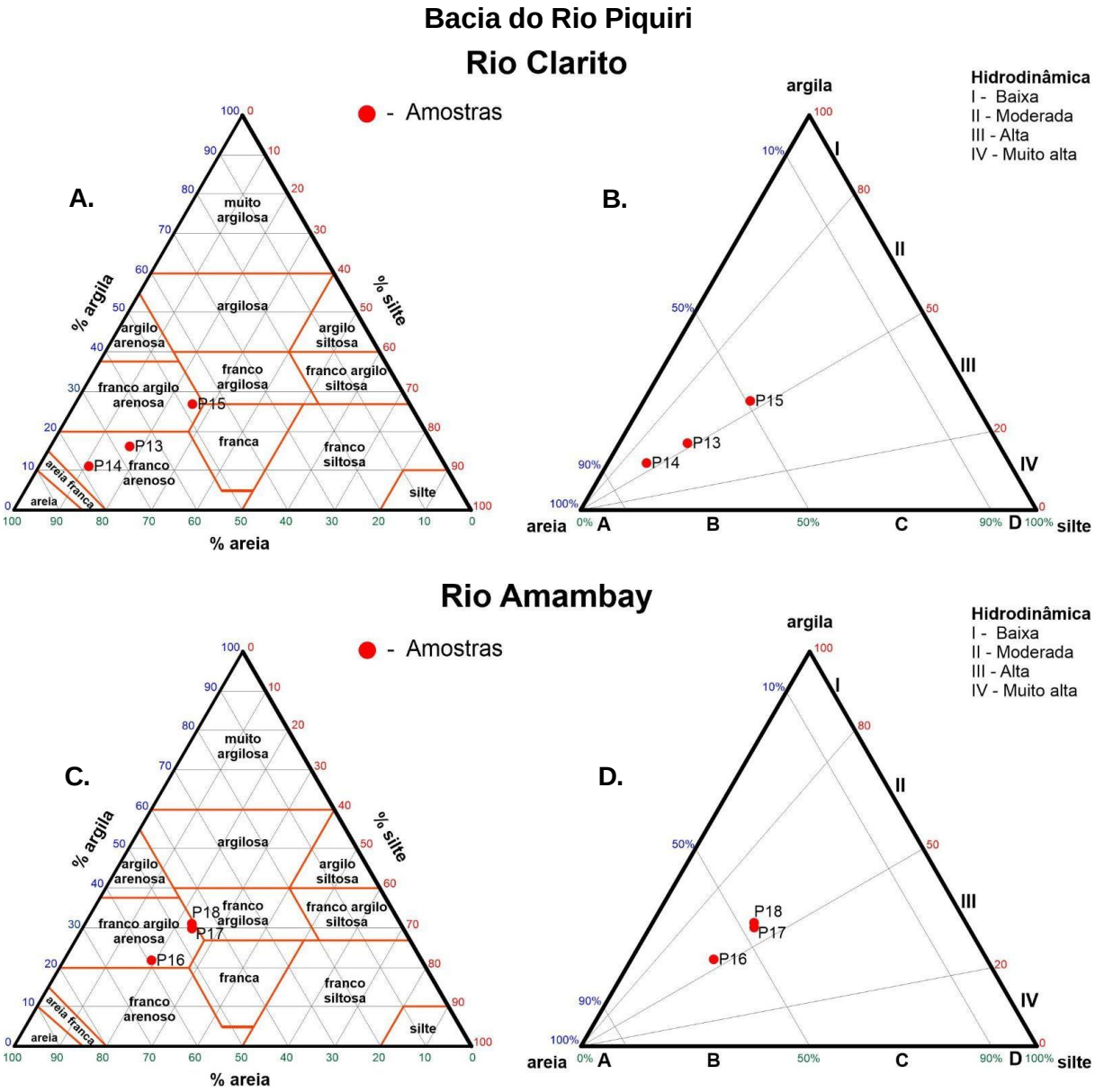



**Figura 11** Análise granulométrica e hidrodinâmica no Lageado Clarito (A-B) e Rio Amambay (C-D) Triângulo textural
Fontes: USDA (2017) e EMBRAPA (2018)

O Lageado Clarito, pertencente à bacia do Rio Piquiri, apresentou solo com classificação franco-arenosa e franco-argilosa arenosa (Figura 11A). Os valores de areia, silte e argila no solo franco-argiloso arenoso (P15) foram de 46,42%, 23,97% e 29,62%, respectivamente. Já os valores nos pontos P13 e P14 com classificação franco-arenosa do Lageado Clarito foram de 67,77% e 75,09% para areia, 14,54% e 11,47% para silte; e 17,69% e 13,45% para argila, respectivamente (Figura 11A).

O Rio Amambay apresentou apenas solo com classificação franco-argilosa arenosa (Figura 11B). Os valores de areia foram 58,92%, 43,35%, e 44,83% para areia; 18,70%, 26,14%

e 25,59% para silte; e 22,38%, 30,51% e 29,58% para argila, respectivamente, para os pontos P16, P17 e P18 (Figura 11B).

### 5.2 Parâmetros químicos - Carbono orgânico total (COT)

A presença de matéria orgânica (MO) e de carbono orgânico total no sedimento de um rio pode influenciar significativamente a concentração e a disponibilidade de metais pesados nesse ambiente. A matéria orgânica pode interagir com os metais pesados de diversas maneiras e atuar como um agente de complexação, adsorção, troca iônica e formação de complexos orgânicos-metal. O carbono orgânico total também desempenha um papel importante nesse processo, uma vez que está diretamente relacionado à quantidade de matéria orgânica presente (Wang *et al*., 2006; Zhang *et al*., 2019; Li *et al*., 2018).

A presença de matéria orgânica no sedimento pode reduzir a biodisponibilidade dos metais pesados, para formar complexos com os íons metálicos e diminuir a mobilidade e a toxicidade dos íons. Além disso, a matéria orgânica pode influenciar a sorção e a retenção dos metais pesados no sedimento, bem como atuar como barreira física e química. Por outro lado, em condições de degradação da matéria orgânica, a liberação de metais pesados ligados à matéria orgânica pode aumentar, tornando-os mais disponíveis para os organismos aquáticos.

Nos Rios Cascavel, Quati e Bezerra, os valores de carbono orgânico total (COT) foram superiores aos valores sugeridos pelo CONAMA de 10 g $kg^{-1}$ (Tabela 3). Além disto, observa-se que os valores de COT nestes três rios foram superiores na Foz Urbana do Rio, o que se deve presumidamente à habitação e à urbanização. A porcentagem de COT em um sedimento do rio que indica preocupação e risco ambiental varia de acordo com diversos fatores, como os mencionados anteriormente. No entanto, em geral, teores de MO acima de 5% já podem ser considerados preocupantes, pois podem indicar a presença de poluição orgânica. Enquanto teores acima de 10% são considerados de alto risco ambiental, pois podem levar à eutrofização do rio, à proliferação de algas nocivas e à morte de peixes (Fontes *et al*., 2018).

**Tabela 3** Carbono orgânico total (COT) nos Rios Cascavel, Quati, Bezerra, das Antas, Amambay e Lageado Clarito, nas nascentes, pontos medianos e foz urbana de cada meio

| Rios | Pontos | COT g $kg^{-1}$ |
|---|---|---|
| Cascavel | Nascente | 11,1 |
| | Mediano | 16,9 |
| | Foz urbana | 17,9 |
| Quati | Nascente | 6,0 |
| | Mediano | 17,2 |
| | Foz urbana | 18,9 |
| Bezerra | Nascente | 14,9 |
| | Mediano | 17,5 |
| | Foz urbana | 26,7 |

| | | |
|---|---|---|
| Antas | Nascente | 3,1 |
| | Mediano | 3,1 |
| | Foz urbana | 1,6 |
| Clarito | Nascente | 2,5 |
| | Mediano | 3,1 |
| | Foz urbana | 5,0 |
| Amambay | Nascente | 3,0 |
| | Mediano | 3,6 |
| | Foz urbana | 4,9 |

Fonte: autor (2024)

## 5.3 Parâmetros químicos - Metais pesados

### 5.3.1 Cádmio (Cd)

Os valores de cádmio nos Rios Cascavel, Quati, córrego Bezerra, das Antas, Lageado Clarito e Amambay estão apresentados nas Figuras 12A-F. Com exceção do Bezerra, os níveis de cadmio estavam abaixo do nível 2, sugeridos pelo CONAMA nos Rios Cascavel, Quati e Amanbay, provavelmente não oferecendo riscos a microbiota. Esse efeito foi presumidamente devido ao adensamento populacional, descarte de pilhas e baterias e baixa hidrodinâmica na foz do rio.

Nos Rios Cascavel, Quati e Amambay não foram detectados níveos de cádmio (Figuras 12A, B e F; Tabela 4). Por outro lado, no córrego Bezerra, das Antas e Lageado Clarito, os valores de cádmio aumentaram na foz urbana em relação à nascente e ao ponto mediano (Figuras 12C, D e E, Tabela 4). Os elevados níveis de cádmio na foz urbana nestes três rios podem estar associados à urbanização e aos efeitos pedogênicos.

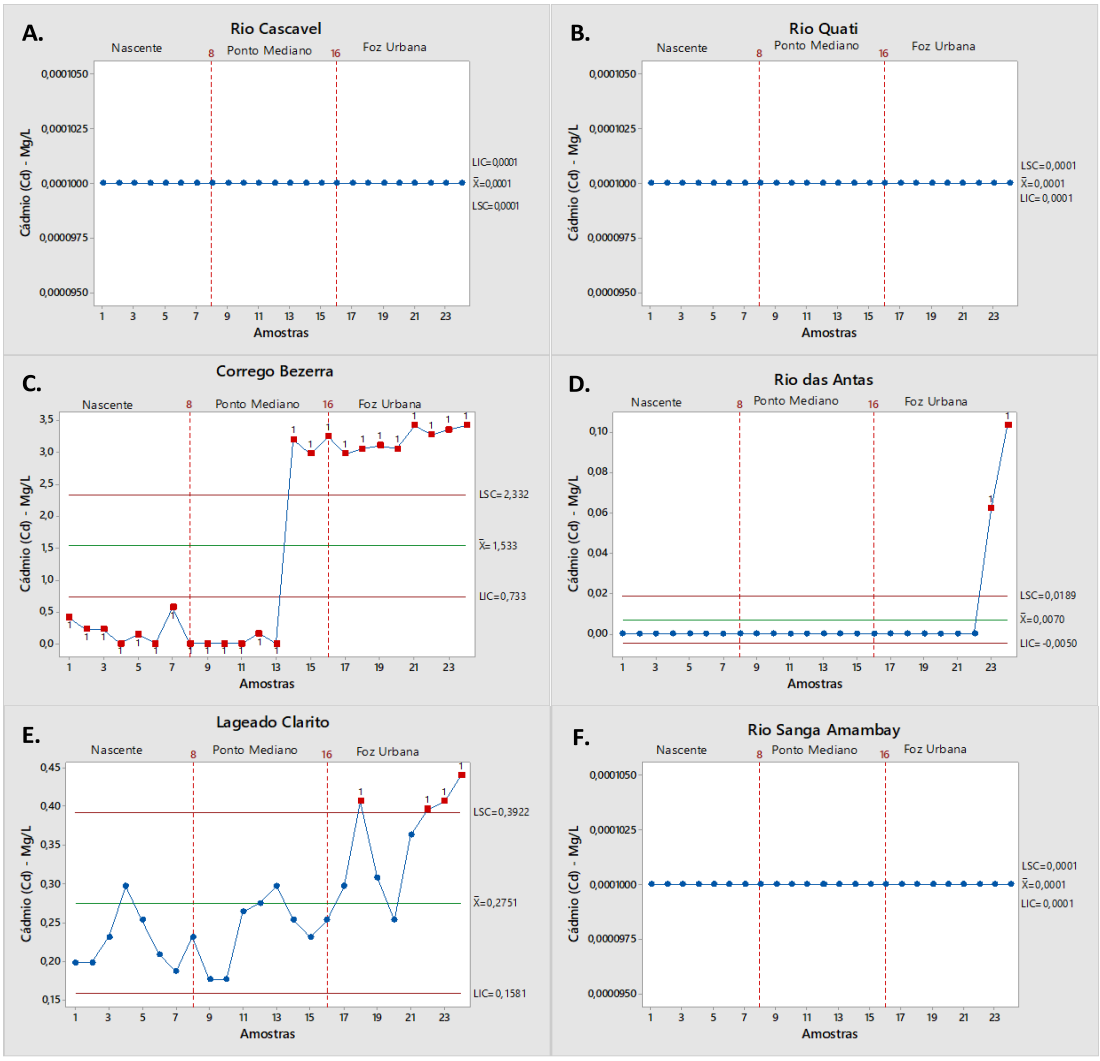



**Figura 12** Concentração de cádmio (Cd) nos rios Cascavel (A), Quati (B), Córrego Bezerra (C), das Antas (D), Clarito (E), Sanga Amambay (F), nas nascentes, pontos medianos e foz urbana de cada meio
Fonte: autor (2024)

**Tabela 4** Análise estatística descritiva da concentração de cádmio (Cd) nos Rios Cascavel, Quati, Bezerra, das Antas, Amambay e Lageado Clarito nas nascentes, pontos medianos e foz urbana de cada meio.

| Rios | Pontos | Médias | DP | Mínimo | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|
| Cascavel | Nascente | 0,000±0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | Mediano | 0,000±0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | Foz urbana | 0,000±0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Quati | Nascente | 0,000±0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | Mediano | 0,000±0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | Foz urbana | 0,000±0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Bezerra | Nascente | 0,194±0,074 | 0,208 | 0,000 | 0,567 |
| | Mediano | 1,197±0,074 | 1,611 | 0,000 | 3,245 |
| | Foz urbana | 3,207±0,074 | 0,180 | 2,975 | 3,419 |
| Antas | Nascente | 0,000±0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | Mediano | 0,000±0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | Foz urbana | 0,021±0,014 | 0,040 | 0,000 | 0,103 |
| Clarito | Nascente | 0,226±0,013 | 0,036 | 0,187 | 0,297 |
| | Mediano | 0,241±0,016 | 0,044 | 0,176 | 0,297 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Foz urbana | 0,359±0,023 | 0,066 | 0,253 | 0,440 |
| Amambay | Nascente | 0,000±0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | Mediano | 0,000±0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | Foz urbana | 0,000±0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

Dados: Nível máximo de Cd de 0,6 mg/kg para nível 1 e 3,5 mg/kg para nível 2 de acordo com as diretrizes canadenses de qualidade de sedimentos para a proteção da vida aquática, sugerido pela Resolução Conama N° 454, de 1º de novembro de 2012.
Fonte: Autor (2024)

### 5.3.2 Cobre (Cu)

Os valores de cobre nos Rios Cascavel, Quati, córrego Bezerra, das Antas, Lageado Clarito e Amambay estão apresentados nas Figuras 13A-F. Com exceção da nascente e da foz do Quati, o níveis de cobre nos rios estavam acima do nível 2 de acordo com as normas do CONAMA. Os baixos níveis de cobre no Rio Quati na foz podem ser explicados pela baixa urbanização e pela mata ciliar nas margens do rio.

Foram observados valores de cobre ligeiramente superiores nas nascentes dos Rios Cascavel, Bezerra e Amambay, em relação aos demais pontos de cada rio citado (Figura 13A, C e F; Tabela 5). Estes resultados podem ser explicados pelo maior adensamento populacional nas nascentes dos três rios, além das rodovias que estão próximas da nascente do rio. Os altos níveis de cobre no ponto mediano do Quati se devem ao relevo do ponto e ao cruzamento da rodovia sobre o Quati. A presença da Rodovia, com tráfego intenso, pode contaminar os rios com os metais provenientes do desgaste dos pneus, das pastilhas de freio, das carrocerias e dos óleos lubrificantes. A contaminação de rios em torno das rodovias ocorre por meio da drenagem da água de chuva e da deposição das partículas atmosféricas de metais até 25 metros de distância da rodovia (Pagotto, 1999).

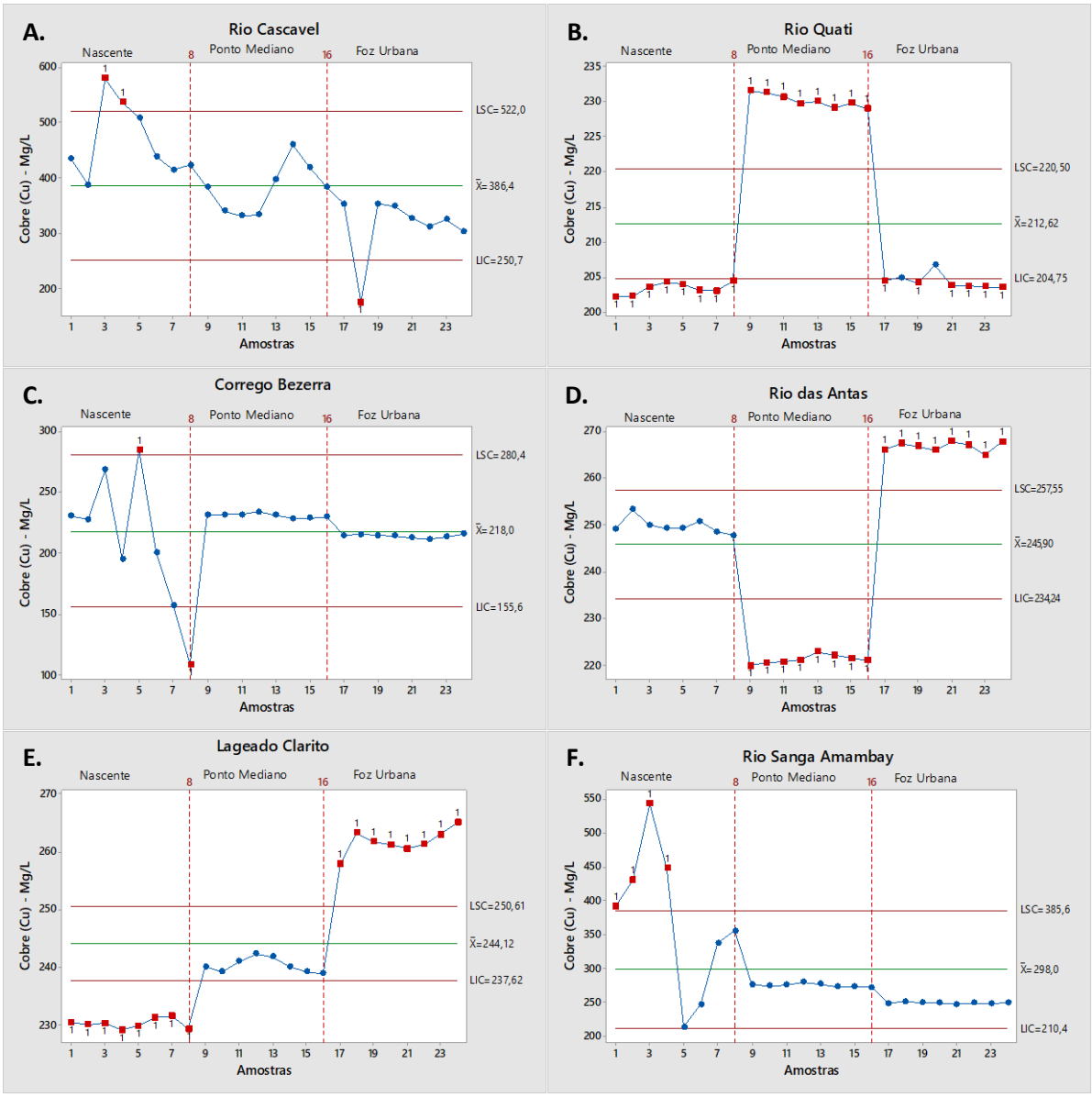



**Figura 13** Concentração de cobre (Co) nos Rios Cascavel (A), Quati (B), Córrego Bezerra (C), das Antas (D), Lageado Clarito (E), Sanga Amambay (F), nas nascentes, pontos medianos e foz urbana de cada meio.
Fonte: Autor (2024)

**Tabela 5** Análise estatística descritiva da concentração de cobre (Cu) nos Rios Cascavel, Quati, Bezerra, das Antas, Amambay e Lageado Clarito, nas nascentes, nos pontos medianos e na foz urbana de cada meio

| Rios | Pontos | Médias | DP | Mínimo | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|
| Cascavel | Nascente | 465,8±24 | 68 | 387,3 | 580,3 |
| | Mediano | 381,1±16 | 45,4 | 331,5 | 460,2 |
| | Foz urbana | 312,2±20,7 | 58,5 | 175 | 353 |
| Quati | Nascente | 203,32±0,302 | 0,853 | 202,19 | 204,4 |
| | Mediano | 230,22±0,333 | 0,941 | 229,07 | 231,64 |
| | Foz urbana | 204,33±0,383 | 1,08 | 203,45 | 206,71 |
| Bezerra | Nascente | 209,1±20,3 | 57,5 | 108,5 | 284,7 |
| | Mediano | 230,8±0,638 | 1,8 | 228,52 | 234,11 |
| | Foz urbana | 213,99±0,501 | 1,42 | 211,44 | 215,84 |
| | Nascente | 249,76±0,598 | 1,69 | 247,75 | 253,33 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Antas | Mediano | 221,15±0,329 | 0,931 | 219,84 | 222,8 |
| | Foz urbana | 266,78±0,352 | 0,996 | 264,98 | 267,83 |
| Clarito | Nascente | 230,22±0,302 | 0,854 | 229,12 | 231,51 |
| | Mediano | 240,34±0,447 | 1,26 | 238,88 | 242,31 |
| | Foz urbana | 261,79±0,756 | 2,14 | 257,86 | 265,07 |
| Amambay | Nascente | 370,8±38,1 | 107,9 | 212,9 | 543,5 |
| | Mediano | 274,73±0,952 | 2,69 | 271,78 | 279,71 |
| | Foz urbana | 248,57±0,485 | 1,37 | 246,47 | 251,04 |

Fonte: Autor (2024)

Dados: Nível máximo de Cu de 35,7 mg/kg para nível 1 e 197 mg/kg para nível 2 de acordo com as diretrizes canadenses de qualidade de sedimentos para a proteção da vida aquática, sugerido pela Resolução Conama N° 454, de 1º de novembro de 2012.
Fonte: Autor (2024)

### 5.3.3 Chumbo (Pb)

Os valores de chumbo nos Rios Cascavel, Quati, das Antas, Amambay, no Lageado Clarito e córrego Bezerra estão apresentados nas Figuras 14A-F e Tabela 6. Em todos os rios, os níveis de chumbo estavam abaixo do nível do CONAMA, ou seja, neste momento, não geram preocupação com possíveis impactos ambientais. Nos rios Cascavel, Quati e Bezerra, os maiores níveis de chumbo foram observados nos trechos medianos dos rios em função do tráfego de rodovias nestes pontos (Figuras 14A, 14B e 14C). Portanto, estes pontos requerem acompanhamento em relação aos níveis de chumbo para possíveis intervenções. Já no das Antas, os elevados valores de chumbo na nascente se justificam pela proximidade deste da BR-467 e da Rua Manaus, que possivelmente estão contaminando este meio (Figura 14D).

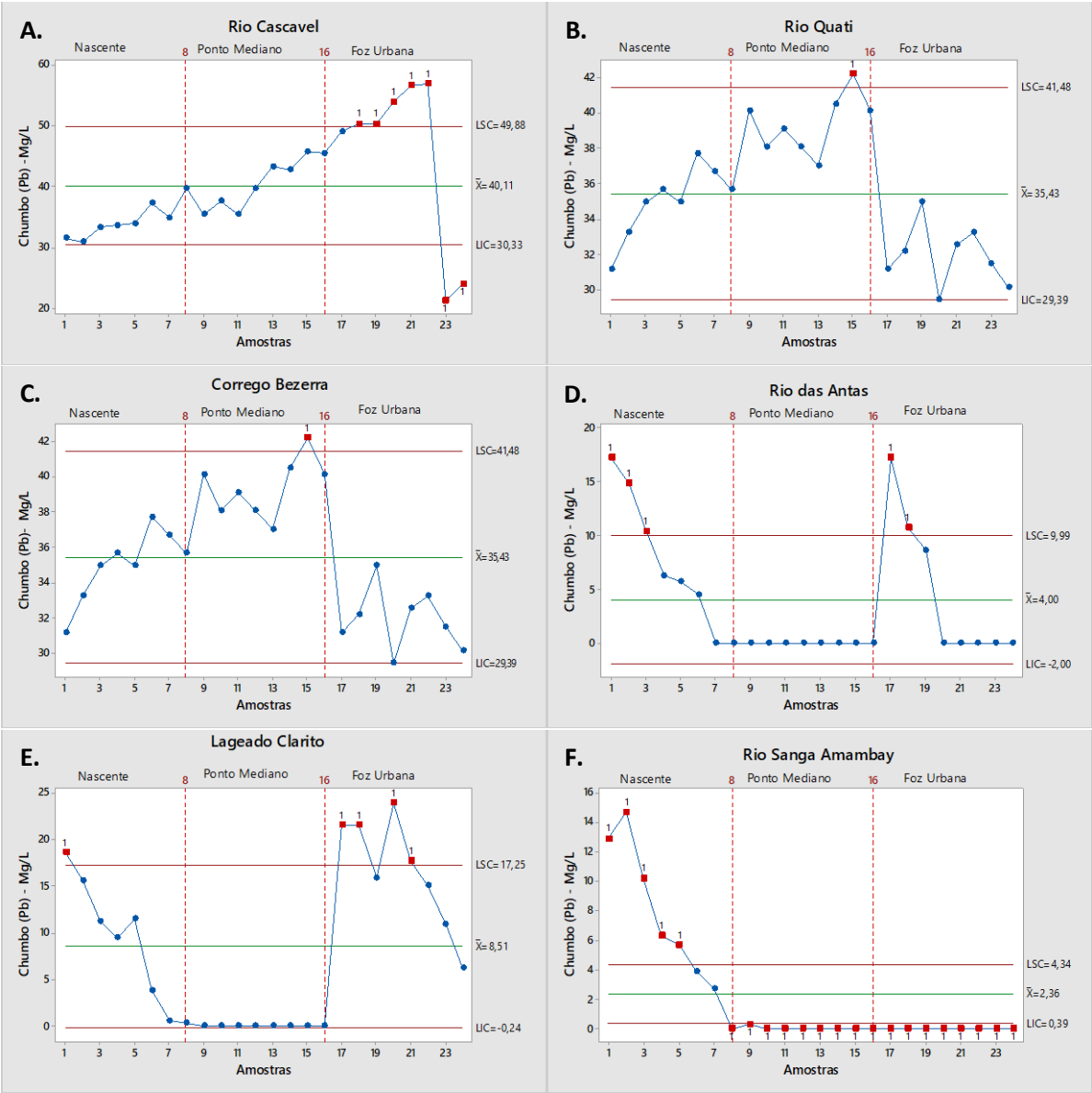



**Figura 14** Concentração de chumbo (Pb) nos Rios Cascavel (A), Quati (B), Córrego Bezerra (C), das Antas (D), Clarito (E), Sanga Amambay (F), nas nascentes, pontos medianos e foz urbana de cada meio.
Fonte: Autor (2024)

**Tabela 6** Análise estatística descritiva da concentração de chumbo (Pb) nos Rios Cascavel, Quati, Bezerra, das Antas, Amambay e Lageado Clarito nas nascentes, pontos medianos e foz urbana de cada Rio

| Rios | Pontos | Médias | DP | Mínimo | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|
| Cascavel | Nascente | 34,38±1,03 | 2,9 | 30,89 | 39,68 |
| | Mediano | 40,66±1,49 | 4,22 | 35,44 | 45,73 |
| | Foz urbana | 45,28±5,07 | 14,34 | 21,2 | 56,94 |
| Quati | Nascente | 35,002±0,721 | 2,039 | 31,151 | 37,727 |
| | Mediano | 39,415±0,59 | 1,67 | 37,035 | 42,227 |
| | Foz urbana | 31,887±0,622 | 1,759 | 29,421 | 34,959 |
| Bezerra | Nascente | 35,002±0,721 | 2,039 | 31,151 | 37,727 |
| | Mediano | 39,415±0,59 | 1,67 | 37,035 | 42,227 |
| | Foz urbana | 31,887±0,622 | 1,759 | 29,421 | 34,959 |
| | Nascente | 7,4±2,26 | 6,38 | 0 | 17,28 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Antas | Mediano | 0,0001±0 | 0 | 0,0001 | 0,0001 |
| | Foz urbana | 4,59±2,39 | 6,77 | 0 | 17,28 |
| | Nascente | 7,4±2,26 | 6,38 | 0 | 17,28 |
| Antas | Mediano | 0,0001±0 | 0 | 0,0001 | 0,0001 |
| | Foz urbana | 4,59±2,39 | 6,77 | 0 | 17,28 |
| | Nascente | 7,05±1,81 | 5,12 | 0 | 14,7 |
| Amambay | Mediano | 0,0376±0,0375 | 0,106 | 0,0001 | 0,3 |
| | Foz urbana | 0,0001±0 | 0 | 0,0001 | 0,0001 |

Dados: Nível máximo de Pb de 35 mg/kg para nível 1 e 91,3 mg/kg para nível 2 de acordo com as diretrizes canadenses de qualidade de sedimentos para a proteção da vida aquática, sugerido pela Resolução Conama N° 454, de 1º de novembro de 2012.
Fonte: Autor (2024)

### 5.3.4 Cromo (Cr)

Os valores de elemento químico cromo nos Rios Cascavel, Quati, das Antas, Amambay, no córrego Bezerra, e Lageado Clarito estão apresentados nas Figuras 15A-F. Em todos os rios, os níveis de cromo não ultrapassaram o nível 2 de acordo com o CONAMA, tendo apenas a necessidade de acompanhamento por monitoramento. Nos Rios Cascavel, das Antas e Lageado Clarito, os níveis de cromo foram elevados na foz urbana em comparação à nascente e ao ponto mediano de cada meio (Figuras 15A, 15D e 15F; Tabela 7). Os níveis elevados de cromo nestes pontos são devido a fatores antrópicos, já comentados anteriormente. No Rio Quati, os valores de cromo foram inferiores na foz em comparação à nascente e ao mediano, o que pode ser explicado pela proteção deste rio pela mata ciliar.

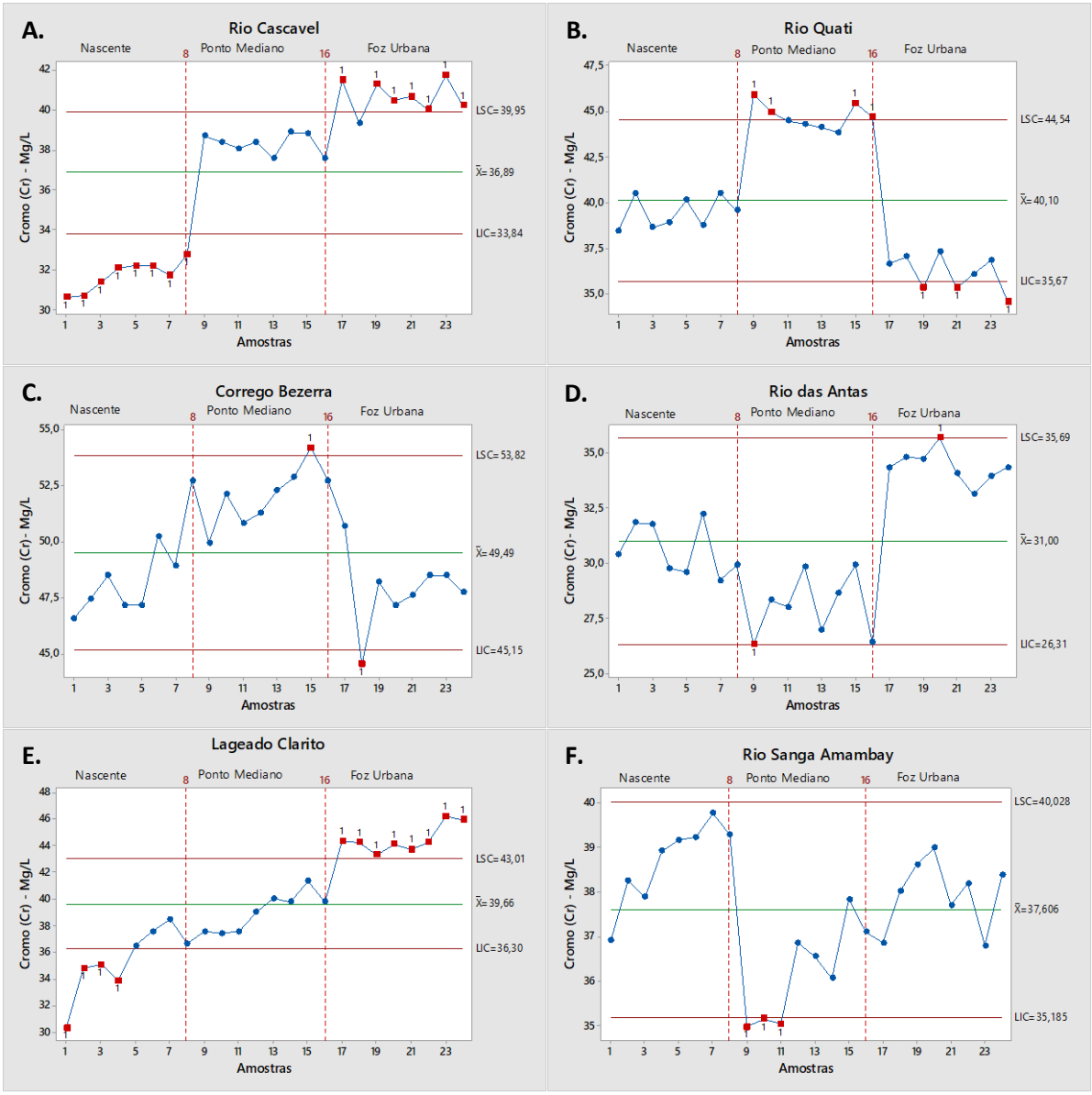



**Figura 15** - Concentração de cromo (Cr) nos Rios Cascavel (A), Quati (B), Córrego Bezerra (C), das Antas (D), Lageado Clarito (E), Sanga Amambay (F), nas nascentes, pontos medianos e foz urbana destes meios.
Fonte: Autor (2024)

**Tabela 7** Análise estatística descritiva da concentração de cromo (Cr) nos Rios Cascavel, Quati, das Antas, Amambay, córrego Bezerra e Lageado Clarito nas nascentes, pontos medianos e foz urbana de cada meio

| Rios | Pontos | Médias | DP | Mínimo | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|
| Cascavel | Nascente | 31,704±0,27 | 0,764 | 30,622 | 32,771 |
| | Mediano | 38,308±0,186 | 0,526 | 37,573 | 38,9 |
| | Foz urbana | 40,662±0,287 | 0,812 | 39,343 | 41,744 |
| Quati | Nascente | 39,439±0,308 | 0,871 | 38,445 | 40,529 |
| | Mediano | 44,733±0,246 | 0,696 | 43,845 | 45,929 |
| | Foz urbana | 36,135±0,347 | 0,981 | 34,56 | 37,308 |
| Bezerra | Nascente | 48,583±0,724 | 2,048 | 46,569 | 52,72 |
| | Mediano | 52,024±0,469 | 1,328 | 49,937 | 54,184 |
| | Foz urbana | 47,85±0,605 | 1,711 | 44,519 | 50,669 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Antas | Nascente | 30,586±0,419 | 1,184 | 29,191 | 32,243 |
| | Mediano | 28,036±0,503 | 1,421 | 26,299 | 29,914 |
| | Foz urbana | 34,382±0,264 | 0,747 | 33,127 | 35,697 |
| Clarito | Nascente | 35,397±0,899 | 2,544 | 30,326 | 38,466 |
| | Mediano | 39,057±0,51 | 1,442 | 37,416 | 41,354 |
| | Foz urbana | 44,521±0,362 | 1,023 | 43,323 | 46,212 |
| Amambay | Nascente | 38,682±0,33 | 0,933 | 36,916 | 39,778 |
| | Mediano | 36,194±0,379 | 1,071 | 34,968 | 37,83 |
| | Foz urbana | 37,944±0,279 | 0,789 | 36,795 | 38,986 |

Dados: Nível máximo de Cr de 37,3 mg/kg para nível 1 e 90 mg/kg para nível 2 de acordo com as diretrizes canadenses de qualidade de sedimentos para a proteção da vida aquática, sugerido pela Resolução Conama N° 454, de 1º de novembro de 2012.
Fonte: Autor (2024)

### 5.3.5 Ferro (Fe)

Os valores do elemento químico ferro nos Rios Cascavel, Quati, das Antas, Amambay, no córrego Bezerra e Lageado Clarito estão apresentados nas Figuras 16A-F e Tabela 8. Em geral, os níveis de ferro nos diferentes rios e pontos (nascente, mediano e foz) se mantiveram constantes. Em todos os rios estudados, foram observados elevados teores de ferro, todavia, em determinados pontos dos rios em estudo, os níveis de ferro apresentaram níveis três vezes superiores aos valores de referências dos órgãos ambientais. No entanto, no córrego Bezerra (Figura 16C), os valores de ferro na foz foram substancialmente menores em relação à nascente e ao mediano. Isso pode ser explicado pelas características do solo, uma vez que Latossolos com altos teores de óxidos de ferro e alumínio predominam na nascente e no mediano do Rio Bezerra.

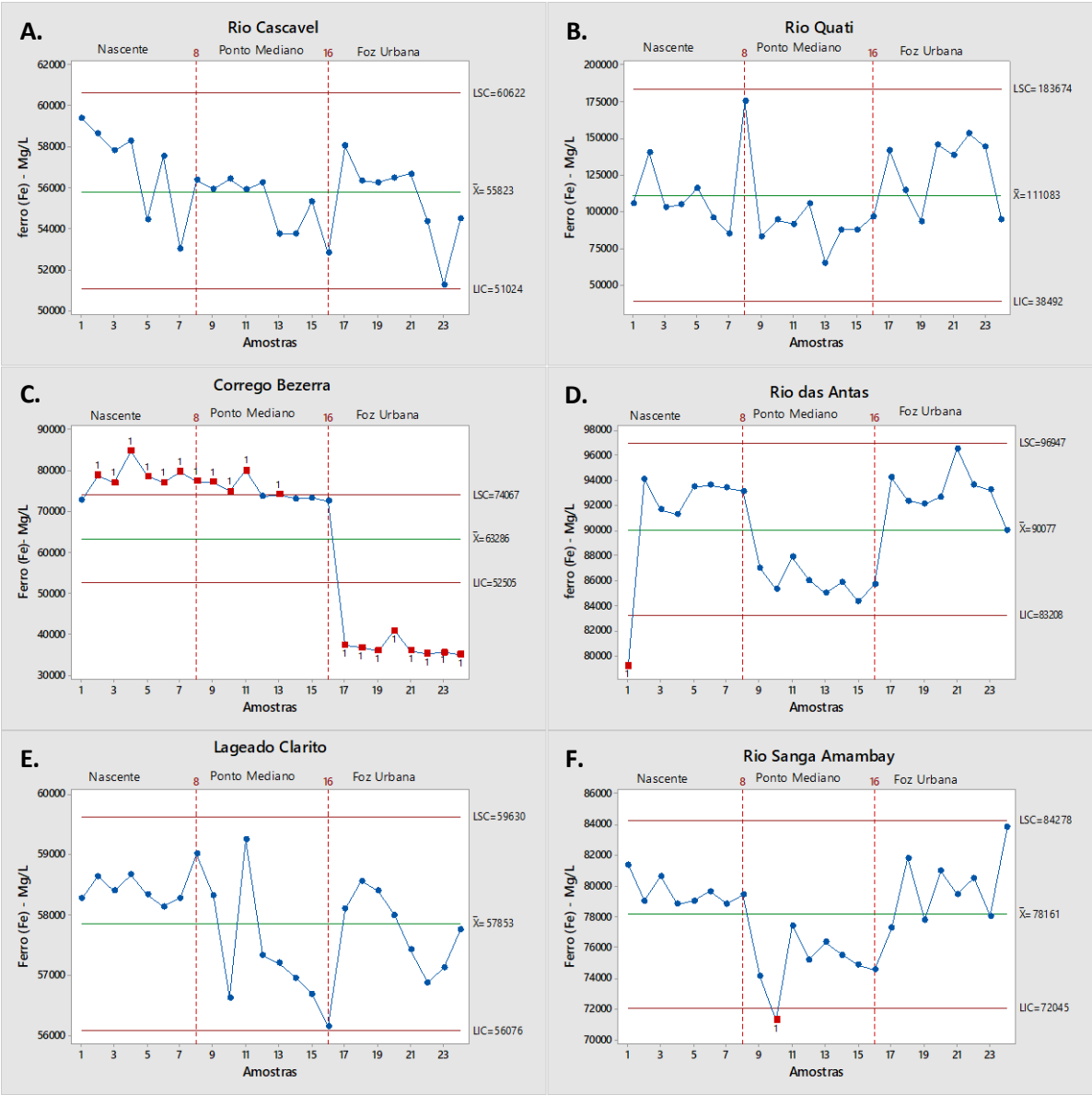



**Figura 16** - Concentração de ferro (Fe) nos Rios Cascavel (A), Quati (B), no Córrego Bezerra (C), das Antas (D), no Lageado Clarito (E) e Sanga Amambay (F) nas nascentes, pontos medianos e foz urbana destes meios.
Fonte: Autor (2024)

**Tabela 8** Análise estatística descritiva da concentração de ferro (Fe) nos Rios Cascavel, Quati, das Antas, Amambay, córrego Bezerra e Lageado Clarito nas nascentes, pontos medianos e foz urbana destes meios

| Rios | Pontos | Médias | DP | Mínimo | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|
| Cascavel | Nascente | 56944±781 | 2209 | 53008 | 59407 |
| | Mediano | 55028±489 | 1384 | 52820 | 56437 |
| | Foz urbana | 55497±739 | 2091 | 51248 | 58062 |
| Quati | Nascente | 115829±10303 | 29140 | 84598 | 175662 |
| | Mediano | 88951±4224 | 11947 | 64802 | 105554 |
| | Foz urbana | 128469±8464 | 23940 | 93365 | 153423 |
| Bezerra | Nascente | 78352±1190 | 3365 | 72799 | 84850 |
| | Mediano | 74957±901 | 2550 | 72642 | 80194 |
| | Foz urbana | 36550±671 | 1898 | 34938 | 40851 |
| | Nascente | 91239±1758 | 4971 | 79179 | 94119 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Antas | Mediano | 85886±399 | 1128 | 84323 | 87882 |
| | Foz urbana | 93108±668 | 1890 | 89985 | 96562 |
| Clarito | Nascente | 58469±101 | 286 | 58140 | 59015 |
| | Mediano | 57313±356 | 1007 | 56153 | 59246 |
| | Foz urbana | 57777±212 | 601 | 56874 | 58560 |
| Amambay | Nascente | 79606±331 | 937 | 78814 | 81385 |
| | Mediano | 74910±637 | 1801 | 71285 | 77424 |
| | Foz urbana | 79968±799 | 2260 | 77279 | 83837 |

Fonte: Autor (2024)

### 5.3.6 Manganês (Mn)

Os valores do elemento químico manganês nos Rios Cascavel, Quati, das Antas, Amambay, córrego Bezerra, e Lageado Clarito estão apresentados nas Figuras 17A-F. Nos Rios Quati, Amanbay e Lageado Clarito, os valores de manganês, na foz, foram superiores numericamente em relação aos valores de manganês nas nascentes e nos medianos destes meios (Figuras 17B, 17E e 17F; Tabela 9). Esses achados podem ser explicados pela erosão do solo das margens, uma vez que a erosão pode levar as partículas de manganês do solo para o rio, e assim, propiciam um aumento na concentração deste metal no sedimento.

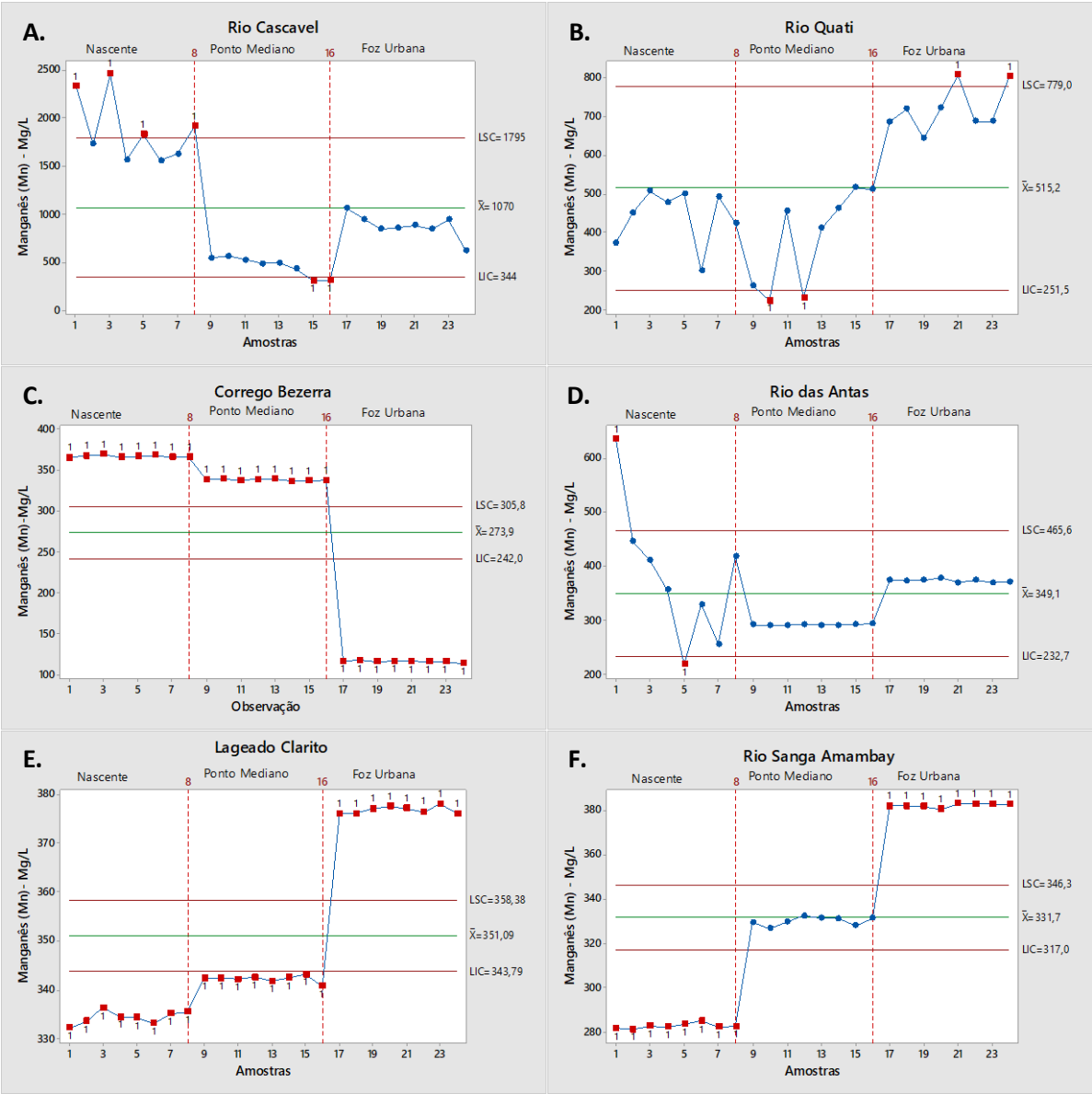



**Figura 17** - Concentração de manganês (Mn) nos Rios Cascavel (A), Quati (B), Córrego Bezerra (C), das Antas (D), Lageado Clarito (E) e Sanga Amambay (F) nas nascentes, pontos medianos e foz urbana de cada meio
Fonte: Autor (2024)

**Tabela 9** Análise estatística descritiva da concentração de manganês (Mn) nos Rios Cascavel, Quati, Bezerra, das Antas, Amambay e Lageado Clarito nas nascentes, pontos medianos e foz urbana destes meios

| Rios | Pontos | Médias | DP | Mínimo | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|
| Cascavel | Nascente | 1879±122 | 346 | 1561 | 2464 |
| | Mediano | 455±35,1 | 99,1 | 305,1 | 560,7 |
| | Foz urbana | 875,3±44,5 | 125,8 | 620,1 | 1058,4 |
| Quati | Nascente | 441±25,6 | 72,4 | 300,2 | 506,2 |
| | Mediano | 384,3±44,3 | 125,4 | 223,8 | 516,1 |
| | Foz urbana | 720,5±20,5 | 58 | 644 | 808,5 |
| Bezerra | Nascente | 367,58±0,508 | 1,44 | 365,98 | 370,15 |
| | Mediano | 338,55±0,363 | 1,03 | 337,05 | 339,93 |
| | Foz urbana | 115,62±0,378 | 1,07 | 113,29 | 117,03 |
| | Nascente | 383,5±45,7 | 129,3 | 217,6 | 635,4 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Antas | Mediano | 291,21±0,489 | 1,38 | 289,21 | 293,99 |
| | Foz urbana | 372,72±1 | 2,83 | 369,16 | 378,03 |
| Clarito | Nascente | 334,26±0,473 | 1,34 | 332,15 | 336,28 |
| | Mediano | 342,17±0,247 | 0,698 | 340,72 | 343,13 |
| | Foz urbana | 376,82±0,264 | 0,747 | 376,08 | 378,03 |
| Amambay | Nascente | 282,57±0,414 | 1,17 | 281,16 | 284,9 |
| | Mediano | 330,09±0,687 | 1,94 | 326,82 | 332,53 |
| | Foz urbana | 382,37±0,302 | 0,854 | 380,62 | 383,2 |

Fonte: Autor (2024)

### 5.3.7 Níquel (Ni)

Os valores do elemento químico níquel nos Rios Cascavel, Quati, das Antas, Amambay, no córrego Bezerra e no Lageado Clarito estão apresentados nas Figuras 18A-F e Tabela 10. Em todos os rios avaliados, os níveis de níquel ultrapassaram os limites determinados pelo CONOMA, em pelo menos algum trecho deles. Nas nascentes do Lageado Clarito e do Rio Amambay (Figuras 18E e F), os níveis de níquel foram numericamente superiores aos pontos medianos e da foz de cada meio. A elevada contaminação dos níveis pode ser devido aos efeitos de tráfego na BRR-277, na BR-467 e na Avenida Brasil de Cascavel-PR. Os efeitos nocivos das rodovias para a contaminação dos rios já foram discutidos anteriormente.

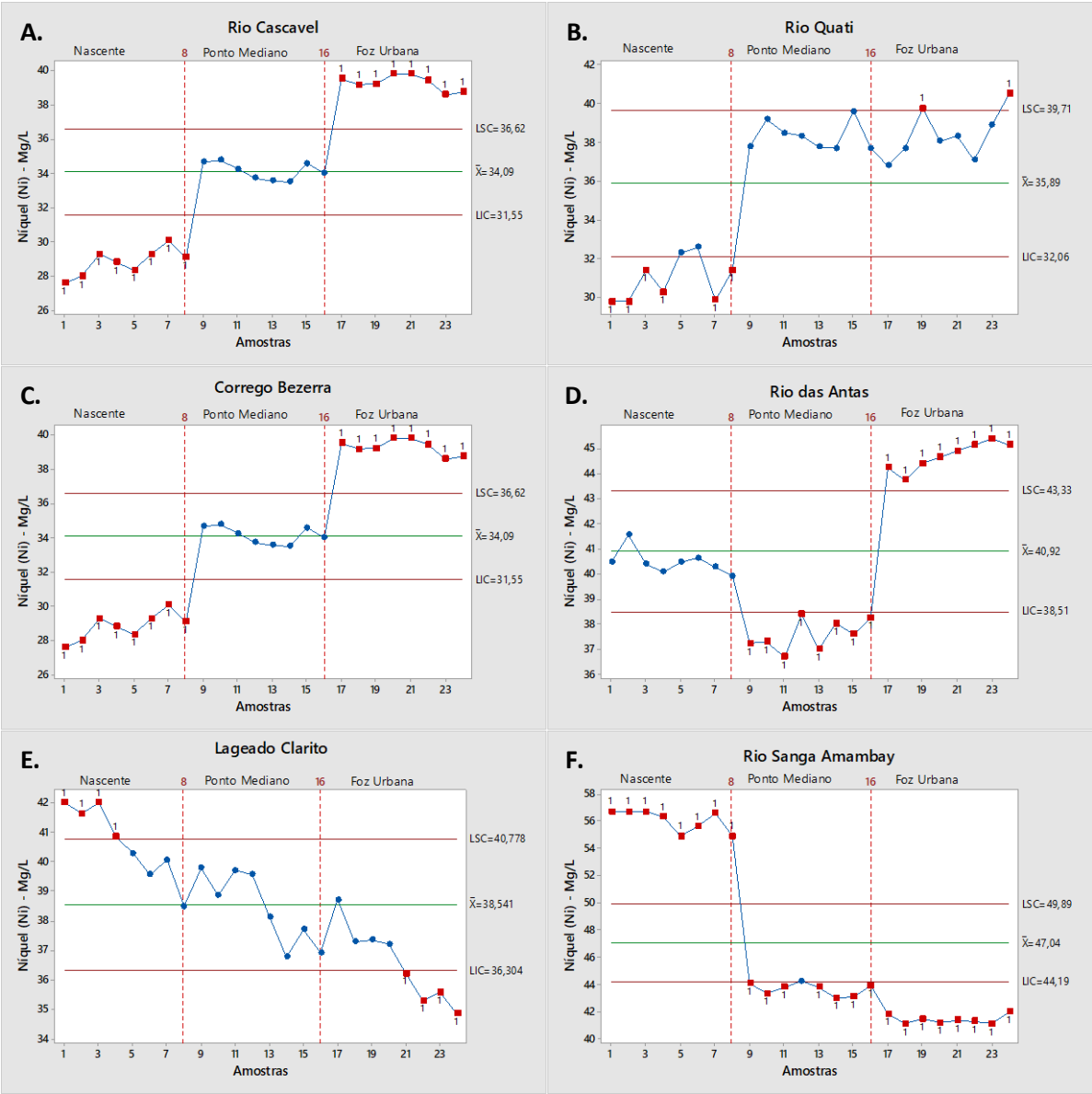



**Figura 18** Concentração de níquel (Ni) nos Rios Cascavel (A), Quati (B), Córrego Bezerra (C), das Antas (D), Lageado Clarito (E) e Sanga Amambay (F) nas nascentes, pontos medianos e foz urbana destes meios.
Fonte: Autor (2024)

**Tabela 10** Análise estatística descritiva da concentração de níquel (Ni) nos Rios Cascavel, Quati, das Antas, Amambay, Córrego Bezerra e Lageado Clarito nas nascentes, pontos medianos e foz urbana destes meios

| Rios | Pontos | Médias | DP | Mínimo | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|
| Cascavel | Nascente | 28,793±0,284 | 0,804 | 27,572 | 30,072 |
| | Mediano | 34,142±0,181 | 0,513 | 33,502 | 34,781 |
| | Foz urbana | 39,324±0,159 | 0,449 | 38,619 | 39,84 |
| Quati | Nascente | 30,904±0,41 | 1,159 | 29,759 | 32,578 |
| | Mediano | 38,34±0,26 | 0,735 | 37,724 | 39,627 |
| | Foz urbana | 38,411±0,454 | 1,285 | 36,807 | 40,543 |
| Bezerra | Nascente | 28,793±0,284 | 0,804 | 27,572 | 30,072 |
| | Mediano | 34,142±0,181 | 0,513 | 33,502 | 34,781 |
| | Foz urbana | 39,324±0,159 | 0,449 | 38,619 | 39,84 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Antas | Nascente | 40,482±0,175 | 0,495 | 39,917 | 41,566 |
| | Mediano | 37,557±0,219 | 0,62 | 36,679 | 38,389 |
| | Foz urbana | 44,727±0,195 | 0,553 | 43,765 | 45,415 |
| Clarito | Nascente | 40,624±0,443 | 1,253 | 38,502 | 42,013 |
| | Mediano | 38,439±0,435 | 1,23 | 36,782 | 39,792 |
| | Foz urbana | 36,559±0,461 | 1,305 | 34,848 | 38,717 |
| Amambay | Nascente | 56,07±0,284 | 0,804 | 54,907 | 56,713 |
| | Mediano | 43,648±0,164 | 0,463 | 42,982 | 44,247 |
| | Foz urbana | 41,401±0,118 | 0,335 | 41,085 | 41,988 |

Dados: Nível máximo de Ni de 18 mg/kg para nível 1 e 35,9 mg/kg para nível 2 de acordo com as diretrizes canadenses de qualidade de sedimentos para a proteção da vida aquática, sugerido pela Resolução Conama N° 454, de 1º de novembro de 2012.
Fonte: Autor (2024)

### 5.3.8 Zinco (Zn)

Os valores do elemento químico zinco nos Rios Cascavel, Quati, das Antas, Amambay córrego Bezerra, e Lageado Clarito estão apresentados nas Figuras 19A-F. Vale ressaltar que nos Rios Quati e Córrego Bezerra, os valores de zinco ultrapassaram os níveis de zinco determinados pelo CONAMA. Os limites foram elevados na nascente do Rio Quati e na foz do Córrego Bezerra (Figuras 19B e C; Tabela 11). Além disto, no Rio das Antas e no Lageado Clarito, os valores de zinco foram superiores na Foz desses, em relação às respectivas nascentes, embora abaixo dos limites estabelecidos pelo CONAMA.

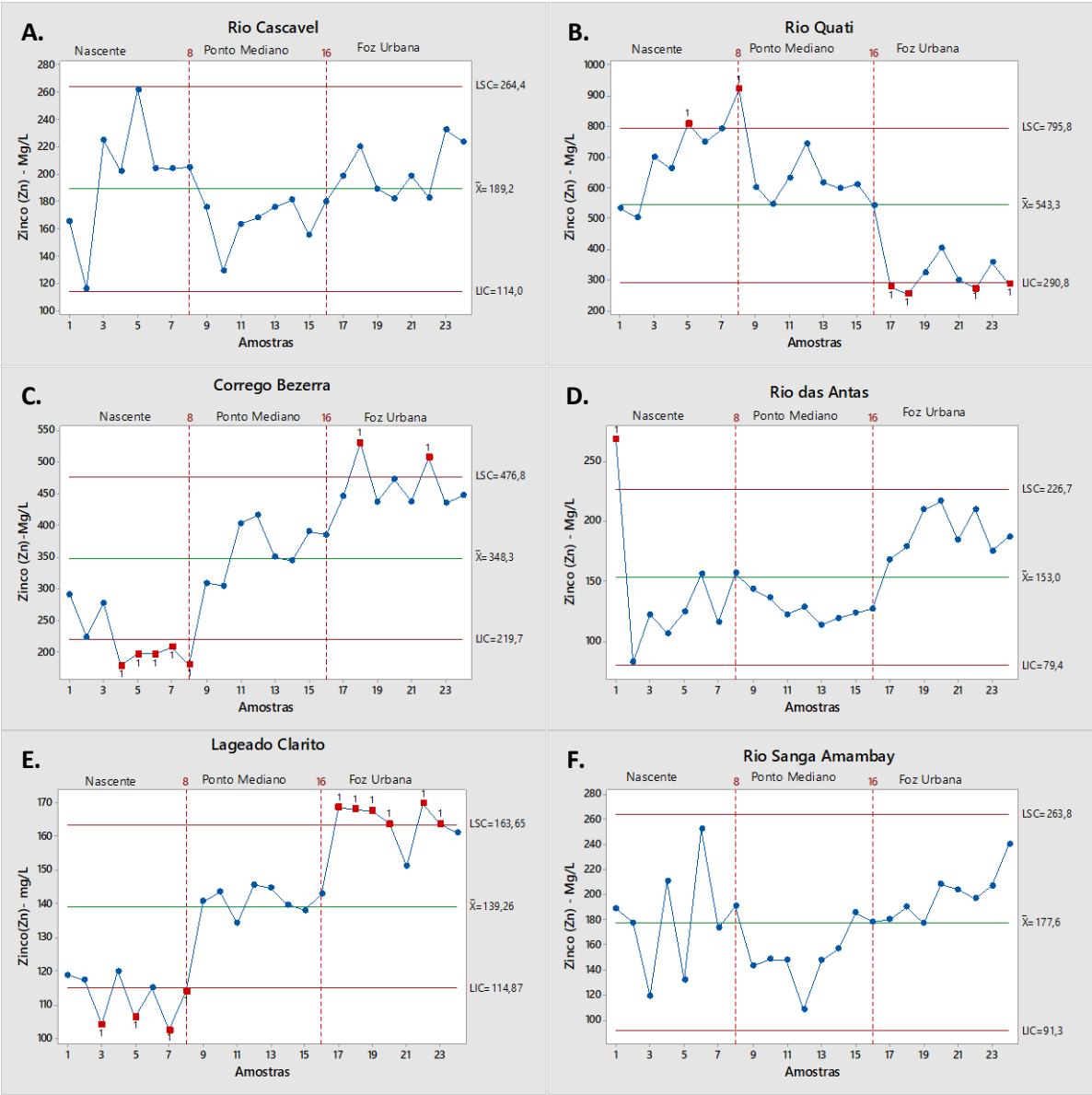



**Figura 19** Concentração de zinco (Zn) nos Rios Cascavel (A), Quati (B), no Córrego Bezerra (C), das Antas (D), Lageado Clarito (E) e Sanga Amambay (F) nas nascentes, pontos medianos e foz urbana destes meios
Fonte: Autor (2024)

**Tabela 11** Análise estatística descritiva da concentração de zinco (Zn) nos Rios Cascavel, Quati, Córrego Bezerra, das Antas, Amambay e Lageado Clarito nas nascentes, pontos medianos e foz urbana destes meios

| Rios | Pontos | Médias | DP | Mínimo | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|
| Cascavel | Nascente | 198±15,2 | 42,9 | 115,7 | 262,4 |
| | Mediano | 166,01±6,15 | 17,39 | 128,92 | 181,05 |
| | Foz urbana | 203,61±6,94 | 19,63 | 182,2 | 232,62 |
| Quati | Nascente | 709,2±50,1 | 141,8 | 501,9 | 922,4 |
| | Mediano | 612,1±22,2 | 62,7 | 542,6 | 744,8 |
| | Foz urbana | 308,6±17,8 | 50,5 | 254 | 404,5 |
| Bezerra | Nascente | 218,2±15,3 | 43,2 | 177,8 | 290,5 |
| | Mediano | 362,4±15 | 42,5 | 303,7 | 415,5 |
| | Foz urbana | 464,1±12,8 | 36,3 | 434,9 | 530,4 |
| | Nascente | 141,3±20,1 | 56,9 | 82 | 268,3 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Antas | Mediano | 126,55±3,37 | 9,52 | 113,39 | 143,26 |
| | Foz urbana | 191,22±6,48 | 18,34 | 168,06 | 216,66 |
| Clarito | Nascente | 112,25±2,46 | 6,95 | 102,46 | 119,99 |
| | Mediano | 141,22±1,35 | 3,82 | 134,24 | 145,74 |
| | Foz urbana | 164,3±2,15 | 6,08 | 151,22 | 169,85 |
| Amambay | Nascente | 180,5±14,9 | 42,2 | 119 | 252,3 |
| | Mediano | 151,84±8,31 | 23,51 | 108,2 | 185,32 |
| | Foz urbana | 200,34±7,06 | 19,98 | 176,95 | 240,32 |

Dados: Nível máximo de Zn de 123 mg/kg para nível 1 e 315 mg/kg para nível 2 de acordo com as diretrizes canadenses de qualidade de sedimentos para a proteção da vida aquática, sugerido pela Resolução Conama N° 454, de 1º de novembro de 2012.
Fonte: Autor (2024)

# 6 CONCLUSÕES

A concentração de metais pesados ao longo dos rios, tanto na nascente, como no talvegue mediano e na foz sofre constantes interferências na granulometria do solo, na hidrodinâmica dos rios, no carbono orgânico total e nas ações antrópicas.

Metais pesados como cobre e níquel estiveram presentes e acima do limite do nível 2, determinado pelo CONAMA em todos os Rios estudados nesta pesquisa, por conseguinte, são necessários monitoramentos regulares destes meios a fim de se controlar o mitigar problemas ambientais e de saúde humana e animal mais graves. Em contrapartida, metais pesados como cádmio, chumbo e cromo, nesta pesquisa, não ultrapassaram o limite do nível 2 e não geram preocupações. Por fim, os níveis do elemento químico ferro foram observados como substancialmente elevados em todos os rios em estudo. Este dado, portanto, necessita de monitoramento rígido, provavelmente em função de efeitos geogênicos.

## REFERÊNCIAS

ALADESANMI, O. T.; ADENIYI, I. F.; ADESIYAN, I. M. Comparative assessment and source identification of heavy metals in selected fishpond water, sediment and fish tissues/organs in Osun State, Nigeria. **Journal of Health Pollution**, v. 4, n. 7, p. 42-53, 2014.

ALI, M. M.; ISHIGA, H.; WAKATSUKI, T. Distribution and changes in heavy metal contents of paddy soils in different physiographic units of Bangladesh. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 49, n. 4, p. 527-538, 2003.

ALI, S. et al. Renal toxicity of heavy metals (cadmium and mercury) and their amelioration with ascorbic acid in rabbits. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 4, p. 3909-3920, 2019.

PLUM, L. M.; RINK, L.; HAASE, H. The essential toxin: impact of zinc on human health. **International journal of environmental research and public health**, v. 7, n. 4, p. 1342-1365, 2010.

ANIRUDHAN, T. S.; SREEKUMARI, S. S. Adsorptive removal of heavy metal ions from industrial effluents using activated carbon derived from waste coconut buttons. **Journal of Environmental Sciences**, v. 23, n. 12, p. 1989-1998, 2011.

BAZRAFSHAN, E. et al. Concentration of heavy metals in surface water and sediments of Chah Nimeh water reservoir in Sistan and Baluchestan province, Iran. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 20, p. 9332-9342, 2016.

BHALERAO, S. A. et al. Chromium: as an environmental pollutant. **I International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 4, n. 4, p. 732-746, 2015.

BRADL, H. et al. Interactions of heavy metals. In: Interface science and technology. **Elsevier**, p. 28-164, 2005.

BROWN, J. N.; PEAKE, Barrie M. Sources of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater runoff. **Science of the total environment**, v. 359, n. 1-3, p. 145-155, 2006.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. **Canadian environmental quality guidelines**. Canadian Council of Ministers of the Environment, 2002.

CELERE, M. S. et al. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 23, p. 939-947, 2007.

CEMBRANEL, A.S. et al. Geochemical background in an oxisol. **Engenharia Agrícola**, v. 37, p. 565-573, 2017.

CHENG, Xi et al. Optimal water resources management and system benefit for the Marcellus shale-gas reservoir in Pennsylvania and West Virginia. **Journal of Hydrology**, v. 540, p. 412-422, 2016.

CHEYNS, K. et al. Arsenic release from foodstuffs upon food preparation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 11, p. 2443-2453, 2017.

CLARKSON, T. W.; MAGOS, L. The toxicology of mercury and its chemical compounds. **Critical reviews in toxicology**, v. 36, n. 8, p. 609-662, 2006.

CORREA, J. M. **Metais pesados em água, sedimentos e peixes no Rio Maranguapinho**, região metropolitana de Fortaleza, Ceará, 2014.

COUPER, J. On the effects of black oxide of manganese when inhaled into the lungs. **British Journal of Pharmacology**, v. 1, p. 41-42, 1837.

CREPALLI, M.S. **Qualidade da água do Cascavel**. 2007. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Cascavel, 2007.

CROSSGROVE, J.; ZHENG, W. Manganese toxicity upon overexposure. **NMR in Biomedicine**: an international journal devoted to the development and application of magnetic resonance *in vivo*, v. 17, n. 8, p. 544-553, 2004.

CRUZ M. A. S. 2012. **Avaliação da geoquímica dos sedimentos superficiais das nascentes do Rio Subaé-BA**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Universidade Estadual de Feira de Santana, 142 p.

DAS, Surajit et al. Heavy metals and hydrocarbons: adverse effects and mechanism of toxicity. **Microbial biodegradation and bioremediation**, p. 23-54, 2014.

DAVIDSON A, RYMAN J, Sutherland CA, Milner EF, Kerby RC, Teindl H, Melin A, Bolt HM **Lead**. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2014.

DE KWAADSTENIET, M. et al. Domestic rainwater harvesting: microbial and chemical water quality and point-of-use treatment systems. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 224, n. 7, p. 1 19, 2013.

DENKHAUS, E.; SALNIKOW, K. Nickel essentiality, toxicity, and carcinogenicity. **Critical reviews in oncology/hematology**, v. 42, n. 1, p. 35-56, 2002.

SANTOS, O., Santana; L, Y. JESUS, T. B. Caracterização de metais pesados das águas superficiais da bacia do Rio Subaé (Bahia). **Geochimica Brasiliensis**, v. 28, n. 2, p. 137-137, 2014.

DEVIĆ, G.; SAKAN, S.; ĐORĐEVIĆ, D. Assessment of the environmental significance of nutrients and heavy metal pollution in the river network of Serbia. **Environmental Science and Pollution**

**Research**, v. 23, n. 1, p. 282-297, 2016.

DURUIBE, J. O. et al. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. **International Journal of physical sciences**, v. 2, n. 5, p. 112-118, 2007.

EAGLES-SMITH, C. A. et al. Mercury in western North America: A synthesis of environmental contamination, fluxes, bioaccumulation, and risk to fish and wildlife. **Science of the Total Environment**, v. 568, p. 1213-1226, 2016.

ENGWA, G. A. et al. Mechanism and health effects of heavy metal toxicity in humans. **Poisoning in the modern world**, v. 10, 2019.

ERTANI, A. et al. Chromium in agricultural soils and crops: a review. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 228, n. 5, p. 1-12, 2017.

ESPINOZA-QUIÑONEs, FR. et al. **Trace elements analysis of water from Toledo river using STXRF**. International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2005.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book.

FAKHRI, Y. et al. Metal concentrations in fillet and gill of parrotfish (*Scarus ghobban*) from the Persian Gulf and implications for human health. **Food and chemical toxicology**, v. 118, p. 348-354, 2018.

FONTES, M. R.; et al. Avaliação da qualidade do sedimento em diferentes tipos de uso do solo na bacia hidrográfica do Itajaí-Açu, Santa Catarina. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 283-294, 2018.

GARNEAU, C. et al. Modelling of trace metal transfer in a large river under different hydrological conditions (the Garonne River in southwest France). **Ecological Modelling**, v. 306, p. 195-204, 2015.

GAUR, V. K. et al. Distribution of heavy metals in sediment and water of river Gomti. **Environmental monitoring and assessment**, v. 102, n. 1, p. 419-433, 2005.

GOONETILLEKE, A. et al. Understanding the role of land use in urban stormwater quality management. **Journal of environmental management**, v. 74, n. 1, p. 31-42, 2005.

GUNAWARDANA, C. et al. Source characterization of road dust based on chemical and mineralogical composition. **Chemosphere**, v. 87, n. 2, p. 163-170, 2012.

GURZAU, E. S.; NEAGU, C.; GURZAU, A. E. Essential metals-case study on iron. **Ecotoxicology and Environmental safety**, v. 56, n. 1, p. 190-200, 2003.

GUTTERIDGE, John MC; QUINLAN, Gregory J.; EVANS, Timothy W. The iron paradox of heart

and lungs and its implications for acute lung injury. **Free Radical Research**, v. 34, n. 5, p. 439-443, 2001.

GWOŹDZIŃSKI, K. Structural changes in erythrocyte components induced by copper and mercury. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 45, n. 6, p. 877-882, 1995.

HARIKUMAR, P. S.; NASIR, U. P.; RAHMAN, M. P. Distribution of heavy metals in the core sediments of a tropical wetland system. **International Journal of Environmental Science & Technology**, v. 6, n. 2, p. 225-232, 2009.

HASHMI, M. Z. et al. Risk assessment of heavy metals pollution in agricultural soils of siling reservoir watershed in Zhejiang province, China. **BioMed research international**, v. 2013, 2013.

HERREROS, M. A. et al. Contribution of fish consumption to heavy metals exposure in women of childbearing age from a Mediterranean country (Spain). **Food and chemical toxicology**, v. 46, n. 5, p. 1591-1595, 2008.

HUANG, An et al. Land use/land cover changes and its impact on ecosystem services in ecologically fragile zone: A case study of Zhangjiakou City, Hebei Province, China. **Ecological Indicators**, v. 104, p. 604-614, 2019.

IP, C. M et al. Trace metal distribution in sediments of the Pearl River Estuary and the surrounding coastal area, South China. **Environmental Pollution**, v. 147, n. 2, p. 311-323, 2007.

JIANG, Y. et al. Effects of land use types on dissolved trace metal concentrations in the Le'an River Basin, China. **Environmental monitoring and assessment**, v. 189, n. 12, p. 1 19, 2017.

JOSEPH, L. et al. Removal of heavy metals from water sources in the developing world using low-cost materials: a review. **Chemosphere**, v. 229, p. 142-159, 2019.

JOUTEY, N. T. et al. Mechanisms of hexavalent chromium resistance and removal by microorganisms. **Reviews of environmental contamination and toxicology,** v. 233, p. 45-69, 2015.

KADHUM, S. A. et al. Evaluation of the status and distributions of heavy metal pollution in surface sediments of the Langat River Basin in Selangor Malaysia. **Marine pollution bulletin**, v. 101, n. 1, p. 391-396, 2015.

KALAY, M.; CANLI, M. Elimination of essential (Cu, Zn) and non-essential (Cd, Pb) metals from tissues of a freshwater fish Tilapia zilli. **Turkish Journal of Zoology**, v. 24, n. 4, p. 429-436, 2000.

KELLY, S. G. Chronic iron overload and toxicity: clinical chemistry perspective. **Clinical Laboratory Science Journal**, v. 14, n. 3, p. 209, 2001.

KHAN, S. et al. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. **Environmental pollution**, v. 152, n. 3, p. 686-692, 2008.

KHATRI, N.; TYAGI, S. Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. **Frontiers in Life Science**, v. 8, n. 1, p. 23-39, 2015.

LALAH, J. O.; OCHIENG, E. Z.; WANDIGA, S. O. Sources of heavy metal input into Winam Gulf, Kenya. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 81, n. 3, p. 277-284, 2008.

LEITE, M. R. M. C.; LIMA, A. C.; SILVA, D. L.; GUIMARÃES, J. L. S.; SABIA, R. J. Estudo da concentração de metais pesados no Salgado e a contribuição da indústria de folheados do Cariri. **In:** ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33., 2013, Salvador. Anais... Salvador: ABEPRO, 2013. p. 1-15.

LI, X., et al. Effects of sediment texture on the distribution and speciation of heavy metals in sediments of the Yangtze Estuary. **Journal of Soils and Sediments**, v. 17, n. 5, p. 1330-1342, 2017.

LI, Z. et al. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment. **Science of the total environment**, v. 468, p. 843-853, 2014.

LIN, Yu-S. et al. Mercury exposure and omega-3 fatty acid intake in relation to renal function in the US population. **International journal of hygiene and environmental health**, v. 217, n. 4-5, p. 465-472, 2014.

LONG, E. R. et al. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. **Environmental management**, v. 19, n. 1, p. 81-97, 1995.

LU, H.; YU, S. Spatio-temporal variational characteristics analysis of heavy metals pollution in water of the typical northern rivers, China. **Journal of Hydrology**, v. 559, p. 787-793, 2018.

LU, H. et al. Optimal groundwater security management policies by control of inexact health risks under dual uncertainty in slope factors. **Chemosphere**, v. 198, p. 161-173, 2018.

MA, Y. et al. Human health risk assessment of heavy metals in urban stormwater. **Science of the Total Environment**, v. 557, p. 764-772, 2016.
MACDONALD, D. D. et al. Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. **Ecotoxicology**, v. 5, n. 4, p. 253-278, 1996.

MAHMOOD, A.; MALIK, R. N. Human health risk assessment of heavy metals via consumption of contaminated vegetables collected from different irrigation sources in Lahore, Pakistan. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 7, n. 1, p. 91-99, 2014.

MAHMUD, H. N, M. E.; HUQ, AK O.; BINTI YAHYA, R. The removal of heavy metal ions from wastewater/aqueous solution using polypyrrole-based adsorbents: a review. **RSC advances**, v.

6, n. 18, p. 14778-14791, 2016.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental**. São Paulo: Prodquímica, 1994. 95p.

MARCOVECCHIO, J. E.; BOTTÉ, S. E.; FREIJE, R. H. Heavy metals, major metals, trace elements. **Handbook Water Anal**, v. 2, p. 275-311, 2007.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Texto, 2007, 206 p.

MOHAN, D.; SINGH, K. P. Single-and multi-component adsorption of cadmium and zinc using activated carbon derived from bagasse- an agricultural waste. **Water research**, v. 36, n. 9, p. 2304-2318, 2002.

MONDELLI, G.; GIACHETI, H. L.; HAMADA, J. Avaliação da contaminação no entorno de um aterro de resíduos sólidos urbanos com base em resultados de poços de monitoramento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 169-182, 2016.

MOORE, J. W., Inorganic **Contaminants of Surface Water**. 2 ed. (New York: Springer Verlag, p. 19, 2003.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista Saúde Pública**, v. 36, n. 3, p. 370-374, 2002.

MURO JR, A. et al. Avaliação da poluição ambiental de aquíferos e solo por metais-traço, provenientes de e-waste em Goiânia/GO. **Tecnia**, v. 2, n. 2, p. 127-151, 2017.

NGUYEN, H. L. et al. Heavy metals in Lake Balaton: water column, suspended matter, sediment and biota. **Science of the Total Environment**, v. 340, n. 1-3, p. 213-230, 2005.

OGUNFOWOKAN, A. O.; AJIBOLA, R. O.; AKANNI, M. S. Physicochemical quality and trace metal levels of municipal water from three reservoirs in Osun State, Nigeria. **Asian Journal of Water, Environment and Pollution**, v. 7, n. 4, p. 49-62, 2010.

ONAKPA, M. M.; NJAN, A. A.; KALU, O. C. A review of heavy metal contamination of food crops in Nigeria. **Annals of global health**, v. 84, n. 3, p. 488, 2018.

PACHECO, A. A. **Avaliação da contaminação em solos e sedimentos da bacia hidrográfica do Doce por metais pesados e sua relação com o fundo geoquímico natural**, 2015. 197f. Doutorado - Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Solos, Viçosa-MG, 2015.

PARMAR, M.; THAKUR, L. S. Heavy metal Cu, Ni and Zn: toxicity, health hazards and their removal techniques by low cost adsorbents: a short overview. **International Journal of plant, animal and environmental sciences**, v. 3, n. 3, p. 143-157, 2013.

PARRA, R.; JIMÉNEZ, P.; BALDASANO, J. M. Development of the high spatial resolution EMICAT2000 emission model for air pollutants from the north-eastern Iberian Peninsula (Catalonia, Spain). **Environmental Pollution**, v. 140, n. 2, p. 200-219, 2006.

PEDROZO; M. F. M.; LIMA, I. V. **Ecotoxicologia do cobre e seus compostos**. Salvador: CRA, 2001, 128p.

PRATUSH, A.; KUMAR, A.; HU, Z. Adverse effect of heavy metals (As, Pb, Hg, and Cr) on health and their bioremediation strategies: a review. **International Microbiology**, v. 21, n. 3, p. 97-106, 2018.

QUEIROZ, M. T. A. **Bioacumulação de metais pesados no Rio Piracicaba, Minas Gerais, aplicando a análise por ativação Neutrônica Instrumental**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, Coronel Fabriciano-MG, 2006.

REMOR, M. B. et al. Mercury in the sediment of Pelotas river basin, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 38, p. 117-123, 2018.

REMOR, M. B. et al. Sediment geochemistry of the urban Lake Paulo Gorski. **International Journal of Sediment Research**, v. 33, n. 4, p. 406-414, 2018.

RIBEIRO, E. V.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; HORN, A. H.; TRINDADE, W. M. Metais pesados e qualidade da água do São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora – MG: Índice de contaminação. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 20, n. 1, p. 49-63, 2012.

RIBEIRO, A. P., et al. Metais pesados em sedimentos de rios urbanos: uma revisão crítica. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 46, n. 3, p. 471-480, 2016.

RIOS-ARANA, J. V.; WALSH, E. J.; GARDEA-TORRESDEY, J. L. Assessment of arsenic and heavy metal concentrations in water and sediments of the Rio Grande at El Paso Juarez metroplex region. **Environment International**, v. 29, n. 7, p. 957-971, 2004.

ROCHA, M. P. et al. The influence of industrial and agricultural waste on water quality in the Água Boa stream (Dourados, Mato Grosso do Sul, Brazil). **Environmental monitoring and assessment**, v. 187, n. 7, p. 1-12, 2015.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à Química Ambiental**, Editora. Bookman, Porto Alegre, 2ª edição, 2009.

SANTOS, A.; ALONSO, E.; CALLEJÓN, M.; JIMÉNEZ, J. C. Distribution of Zn, Cd, Pb and Cu metals in groundwater of the guadiamar river basin. **Water, Air, and Soil Pollution journal**, v. 134, p. 275-286, 2002.

SANTOS, I. R. et al. Heavy metal contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island. **Marine pollution bulletin**, v. 50, n. 2, p. 185-194, 2005.

SANTOS, N. P. **Avaliação do desempenho da Thypha domingensis e Eichhornia crassipes**

**como fitorremediadoras para remoção de Fe e Mn de águas destinadas ao abastecimento das Minas do Camaquã**. Dissertação. 62f. Universidade Federal do Pampa, Rio Grande do Sul, 2021.

SARUBBO, L. A. et al. Some aspects of heavy metals contamination remediation and role of biosurfactants. **Chemistry and Ecology**, v. 31, n. 8, p. 707-723, 2015.

SCHOETERS, G. et al. Cadmium and children: exposure and health effects. **Acta Paediatrica**, v. 95, p. 50-54, 2006.

SEYLER, P. T.; BOAVENTURA, G. R. Distribution and partition of trace metals in the Amazon basin. **Hydrological Processes**, v. 17, p. 1345–1361, 2003.

SILVA P.P. **Concentração de metais pesados nos sedimentos das nascentes do Rio Subaé, Feira de Santana – BA, Brasil**. 76 p. Monografia, Curso de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Feira de Santana, 2012.

SINGH, C. K. et al. Geochemical characterization and heavy metal contamination of groundwater in Satluj River Basin. **Environmental earth sciences**, v. 71, n. 1, p. 201-216, 2014.

SINGH, V. P. **Metal toxicity and tolerance in plants and animals**. Sarup & sons, 2005.

STALEY, C. et al. Frequencies of heavy metal resistance are associated with land cover type in the Upper Mississippi River. **Science of the Total Environment**, v. 511, p. 461-468, 2015.

STOUTHART, X. JHX et al. Effects of water pH on copper toxicity to early life stages of the common carp (*Cyprinus carpio*). **Environmental Toxicology and Chemistry**: an International Journal, v. 15, n. 3, p. 376-383, 1996.

TAHA, A. A.; EL-MAHMOUDI, A. S.; EL-HADDAD, I. M. Pollution sources and related environmental impacts in the new communities southeast Nile Delta, Egypt. **Emirates Journal for Engineering Research**, v. 9, n. 1, p. 35-49, 2004.

TALUKDAR, S. et al. Dynamics of ecosystem services (ESs) in response to land use land cover (LU/LC) changes in the lower Gangetic plain of India. **Ecological Indicators**, v. 112, p. 106-121, 2020.

TAVEIRA, M. M. V.; DA SILVA, A. M.; RODRIGUES, L. S. Impactos do aterro sanitário do município de Três Corações, Minas Gerais, na qualidade da água Subterrânea. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 14, n. 1, p. 764-772, 2016.

VAROL, M.; GÖKOT, B.; BEKLEYEN, A. Assesment of water pollution in the Tigris River in Diyarbakır, Turkey. **Water Practice and Technology**, v. 5, n. 1, 2010.

VINODHINI, R.; NARAYANAN, M. Bioaccumulation of heavy metals in organs of fresh water fish Cyprinus carpio (Common carp). **Institute Journal Environment Science Technology**, v. 5, n. 2, p. 179-182, 2008.

WANG, X., et al. (2018). Effects of sediment texture on heavy metal concentrations in the sediments of the Yangtze River estuary, China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 131, p. 83-90.

WEI, B.; YANG, L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. **Microchemical journal**, v. 94, n. 2, p. 99-107, 2010.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION et al. **Preventing disease through healthy environments**: exposure to lead: a major public health concern. World Health Organization, 2019.

_____. **Micropollutants in river sediments**, 1982.

WILSON, B.; PYATT, F. B. Heavy metal dispersion, persistance, and bioccumulation around an ancient copper mine situated in Anglesey, UK. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 66, n. 2, p. 224-231, 2007.

USEPA [United States Environmental Protection Agency]. Method 3050B. **Acid digestion of sediments sludges and soils**. Revision 2, December, 1996.

USDA. Soil survey manual. **In**: Soil Survey Division Staff; Soil Conservation Service. v. 18 Handbook. U.S. Department of Agriculture, chapter 3, 2017.

YILMAZ, F. The comparison of heavy metal concentrations (Cd, Cu, Mn, Pb, and Zn) in tissues of three economically important fish (Anguilla anguilla, Mugil cephalus and *Oreochromis niloticus*) inhabiting Koycegiz Lake-Mugla (Turkey). **Turkish Journal of Science & Technology**, v. 4, n. 1, 2009.

ZHANG, R. et al. Source of lead pollution, its influence on public health and the countermeasures. **International Journal of Health, Animal Science and Food Safety**, v. 2, n. 1, 2015.

ZHANG, W. et al. China's Yangtze Estuary: I. Geomorphic influence on heavy metal accumulation in intertidal sediments. **Geomorphology**, v. 41, n. 2-3, p. 195-205, 2001.

# ANEXOS

Tabela 1. Metais pesados no Cascavel na nascente, talvegue mediano e foz urbana.

| Pontos | Cádmio (Cd) | Chumbo (Pb) | Cobre (Cu) | Cromo (Cr) | Ferro (Fe) | Manganês (Mn) | Níquel (Ni) | Zinco (Zn) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nascente | 0,0001 | 31,5 | 434,5 | 30,6 | 59407,5 | 2333,1 | 27,6 | 165,0 |
| Nascente | 0,0001 | 30,9 | 387,3 | 30,7 | 58663,3 | 1731,4 | 28,0 | 115,7 |
| Nascente | 0,0001 | 33,3 | 580,3 | 31,4 | 57815,7 | 2463,8 | 29,3 | 225,2 |
| Nascente | 0,0001 | 33,6 | 537,4 | 32,1 | 58313,9 | 1563,5 | 28,8 | 202,3 |
| Nascente | 0,0001 | 33,9 | 509,5 | 32,2 | 54425,0 | 1830,9 | 28,3 | 262,4 |
| Nascente | 0,0001 | 37,3 | 438,7 | 32,2 | 57537,4 | 1560,5 | 29,3 | 204,5 |
| Nascente | 0,0001 | 34,8 | 415,2 | 31,7 | 53007,9 | 1627,4 | 30,1 | 204,0 |
| Nascente | 0,0001 | 39,7 | 423,7 | 32,8 | 56379,2 | 1921,6 | 29,1 | 205,1 |
| Mediano | 0,0001 | 35,4 | 383,0 | 38,7 | 55952,1 | 539,9 | 34,7 | 175,9 |
| Mediano | 0,0001 | 37,6 | 340,1 | 38,4 | 56437,4 | 560,7 | 34,8 | 128,9 |
| Mediano | 0,0001 | 35,4 | 331,5 | 38,1 | 55926,2 | 520,6 | 34,3 | 163,3 |
| Mediano | 0,0001 | 39,7 | 333,7 | 38,4 | 56262,7 | 484,9 | 33,7 | 167,9 |
| Mediano | 0,0001 | 43,3 | 398,0 | 37,6 | 53758,6 | 490,9 | 33,6 | 175,9 |
| Mediano | 0,0001 | 42,7 | 460,2 | 38,9 | 53739,1 | 427,0 | 33,5 | 181,1 |
| Mediano | 0,0001 | 45,7 | 419,4 | 38,8 | 55330,9 | 305,1 | 34,6 | 155,3 |
| Mediano | 0,0001 | 45,4 | 383,0 | 37,6 | 52820,3 | 311,1 | 34,0 | 179,9 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 49,1 | 353,0 | 41,5 | 58061,6 | 1058,4 | 39,5 | 198,8 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 50,3 | 175,0 | 39,3 | 56346,8 | 947,0 | 39,2 | 220,6 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 50,3 | 353,0 | 41,3 | 56275,7 | 844,4 | 39,3 | 189,1 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 53,9 | 348,7 | 40,5 | 56489,2 | 859,3 | 39,8 | 182,2 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 56,6 | 327,2 | 40,7 | 56683,3 | 884,6 | 39,8 | 198,8 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 56,9 | 312,2 | 40,0 | 54366,8 | 844,4 | 39,5 | 182,8 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 21,2 | 325,1 | 41,7 | 51247,9 | 944,0 | 38,6 | 232,6 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 23,9 | 303,6 | 40,2 | 54502,7 | 620,1 | 38,8 | 224,0 |

Tabela 2. Metais pesados no Rio Quati na nascente, talvegue mediano e foz urbana.

| Pontos | Cádmio (Cd) | Chumbo (Pb) | Cobre (Cu) | Cromo (Cr) | Ferro (Fe) | Manganês (Mn) | Níquel (Ni) | Zinco (Zn) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nascente | 0,0001 | 31,2 | 202,2 | 38,4 | 105645,3 | 373,3 | 29,8 | 532,7 |
| Nascente | 0,0001 | 33,2 | 202,2 | 40,5 | 140623,2 | 451,4 | 29,8 | 501,9 |
| Nascente | 0,0001 | 35,0 | 203,5 | 38,6 | 103048,7 | 506,2 | 31,4 | 701,6 |
| Nascente | 0,0001 | 35,7 | 204,3 | 38,9 | 104851,1 | 477,9 | 30,3 | 662,2 |
| Nascente | 0,0001 | 35,0 | 203,9 | 40,2 | 116031,8 | 501,2 | 32,3 | 810,2 |
| Nascente | 0,0001 | 37,7 | 203,0 | 38,7 | 96175,3 | 300,2 | 32,6 | 749,7 |
| Nascente | 0,0001 | 36,7 | 203,0 | 40,5 | 84597,5 | 492,9 | 29,8 | 792,9 |
| Nascente | 0,0001 | 35,7 | 204,4 | 39,6 | 175662,1 | 424,8 | 31,4 | 922,4 |
| Mediano | 0,0001 | 40,2 | 231,6 | 45,9 | 82917,4 | 262,0 | 37,8 | 603,0 |
| Mediano | 0,0001 | 38,1 | 231,3 | 45,0 | 94586,8 | 223,8 | 39,2 | 546,3 |
| Mediano | 0,0001 | 39,1 | 230,7 | 44,5 | 91654,2 | 456,3 | 38,5 | 632,6 |
| Mediano | 0,0001 | 38,1 | 229,8 | 44,3 | 105553,7 | 230,4 | 38,4 | 744,8 |
| Mediano | 0,0001 | 37,0 | 230,1 | 44,1 | 64802,2 | 411,5 | 37,8 | 617,8 |
| Mediano | 0,0001 | 40,5 | 229,2 | 43,8 | 87621,8 | 463,0 | 37,7 | 598,1 |
| Mediano | 0,0001 | 42,2 | 229,9 | 45,5 | 87682,9 | 516,1 | 39,6 | 611,6 |
| Mediano | 0,0001 | 40,2 | 229,1 | 44,7 | 96786,3 | 511,2 | 37,7 | 542,6 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 31,2 | 204,5 | 36,6 | 141722,9 | 687,2 | 36,8 | 275,0 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 32,2 | 204,9 | 37,0 | 114962,6 | 720,5 | 37,7 | 254,0 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 35,0 | 204,1 | 35,3 | 93364,9 | 644,0 | 39,8 | 323,1 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 29,4 | 206,7 | 37,3 | 145908,0 | 722,1 | 38,1 | 404,5 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 32,5 | 203,7 | 35,3 | 138973,6 | 808,5 | 38,4 | 299,6 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 33,2 | 203,6 | 36,1 | 153422,9 | 688,9 | 37,1 | 271,3 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 31,5 | 203,6 | 36,8 | 144502,8 | 688,9 | 38,9 | 356,4 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 30,1 | 203,5 | 34,6 | 94892,3 | 803,5 | 40,5 | 284,9 |

Tabela 3. Metais pesados no Córrego Bezerra na nascente, talvegue mediano e foz urbana.

| Pontos | Cádmio (Cd) | Chumbo (Pb) | Cobre (Cu) | Cromo (Cr) | Ferro (Fe) | Manganês (Mn) | Níquel (Ni) | Zinco (Zn) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nascente | 0,41 | 31,15 | 230,48 | 46,57 | 72799,06 | 365,98 | 27,57 | 290,46 |
| Nascente | 0,22 | 33,23 | 227,77 | 47,45 | 78898,06 | 368,47 | 27,98 | 222,92 |
| Nascente | 0,22 | 34,96 | 268,44 | 48,47 | 77100,77 | 370,15 | 29,26 | 277,26 |
| Nascente | 0,00 | 35,65 | 195,23 | 47,15 | 84849,73 | 366,70 | 28,79 | 177,85 |
| Nascente | 0,14 | 34,96 | 284,71 | 47,15 | 78691,81 | 367,65 | 28,33 | 195,71 |
| Nascente | 0,00 | 37,73 | 200,65 | 50,23 | 77149,87 | 368,71 | 29,26 | 195,71 |
| Nascente | 0,57 | 36,69 | 157,27 | 48,91 | 79801,61 | 366,50 | 30,07 | 207,36 |
| Nascente | 0,00 | 35,65 | 108,46 | 52,72 | 77523,08 | 366,46 | 29,08 | 178,62 |
| Mediano | 0,00 | 40,15 | 231,02 | 49,94 | 77208,80 | 338,97 | 34,67 | 308,32 |
| Mediano | 0,00 | 38,07 | 231,72 | 52,13 | 75048,12 | 339,93 | 34,78 | 303,66 |
| Mediano | 0,00 | 39,11 | 231,45 | 50,82 | 80194,46 | 337,77 | 34,26 | 403,07 |
| Mediano | 0,16 | 38,07 | 234,11 | 51,26 | 73761,54 | 339,35 | 33,73 | 415,50 |
| Mediano | 0,00 | 37,04 | 231,07 | 52,28 | 74262,42 | 339,50 | 33,56 | 349,48 |
| Mediano | 3,20 | 40,50 | 228,52 | 52,87 | 73142,80 | 337,05 | 33,50 | 344,05 |
| Mediano | 2,98 | 42,23 | 228,85 | 54,18 | 73398,15 | 337,68 | 34,61 | 389,87 |
| Mediano | 3,24 | 40,15 | 229,61 | 52,72 | 72641,92 | 338,16 | 34,03 | 385,21 |
| Foz Urbana | 2,98 | 31,15 | 214,43 | 50,67 | 37334,51 | 116,03 | 39,55 | 445,78 |
| Foz Urbana | 3,05 | 32,19 | 215,29 | 44,52 | 36666,67 | 117,03 | 39,20 | 530,44 |
| Foz Urbana | 3,10 | 34,96 | 214,53 | 48,18 | 35871,15 | 115,50 | 39,26 | 437,24 |
| Foz Urbana | 3,05 | 29,42 | 214,21 | 47,15 | 40850,52 | 116,22 | 39,84 | 472,97 |
| Foz Urbana | 3,42 | 32,54 | 212,69 | 47,59 | 35910,43 | 115,79 | 39,84 | 437,24 |
| Foz Urbana | 3,28 | 33,23 | 211,44 | 48,47 | 35262,23 | 115,59 | 39,49 | 507,14 |
| Foz Urbana | 3,36 | 31,50 | 213,50 | 48,47 | 35566,69 | 115,55 | 38,62 | 434,91 |
| Foz Urbana | 3,42 | 30,11 | 215,84 | 47,74 | 34938,13 | 113,29 | 38,79 | 447,34 |

Tabela 4. Metais pesados no Córrego Bezerra na nascente, talvegue mediano e foz urbana.

| Pontos de Coleta | Cádmio (Cd) | Chumbo (Pb) | Cobre (Cu) | Cromo (Cr) | Ferro (Fe) | Manganês (Mn) | Níquel (Ni) | Zinco (Zn) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nascente | 0,0001 | 17,28 | 249,18 | 30,40 | 79179,00 | 635,37 | 40,47 | 268,30 |
| Nascente | 0,0001 | 14,91 | 253,33 | 31,84 | 94119,10 | 445,97 | 41,57 | 82,01 |
| Nascente | 0,0001 | 10,46 | 249,95 | 31,76 | 91664,32 | 411,04 | 40,41 | 122,00 |
| Nascente | 0,0001 | 6,31 | 249,29 | 29,75 | 91288,47 | 355,97 | 40,10 | 106,31 |
| Nascente | 0,0001 | 5,72 | 249,25 | 29,59 | 93496,59 | 217,61 | 40,47 | 124,02 |
| Nascente | 0,0001 | 4,53 | 250,75 | 32,24 | 93625,79 | 329,10 | 40,65 | 155,92 |
| Nascente | 0,0001 | 0,00 | 248,56 | 29,19 | 93402,63 | 255,22 | 40,28 | 115,42 |
| Nascente | 0,0001 | 0,00 | 247,75 | 29,91 | 93132,49 | 417,76 | 39,92 | 156,42 |
| Mediano | 0,0001 | 0,00 | 219,84 | 26,30 | 87013,15 | 291,49 | 37,23 | 143,26 |
| Mediano | 0,0001 | 0,00 | 220,46 | 28,31 | 85298,33 | 289,21 | 37,29 | 136,17 |
| Mediano | 0,0001 | 0,00 | 220,65 | 27,99 | 87882,31 | 290,23 | 36,68 | 122,00 |
| Mediano | 0,0001 | 0,00 | 221,07 | 29,83 | 86026,54 | 291,60 | 38,39 | 128,07 |
| Mediano | 0,0001 | 0,00 | 222,80 | 26,94 | 84981,21 | 290,77 | 36,98 | 113,39 |
| Mediano | 0,0001 | 0,00 | 222,03 | 28,63 | 85850,36 | 290,82 | 38,02 | 118,96 |
| Mediano | 0,0001 | 0,00 | 221,42 | 29,91 | 84323,47 | 291,55 | 37,60 | 123,52 |
| Mediano | 0,0001 | 0,00 | 220,96 | 26,38 | 85709,42 | 293,99 | 38,27 | 127,06 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 17,28 | 266,13 | 34,33 | 94248,30 | 374,08 | 44,25 | 168,06 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 10,76 | 267,44 | 34,81 | 92380,78 | 372,57 | 43,77 | 178,70 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 8,68 | 266,86 | 34,73 | 92110,64 | 373,54 | 44,44 | 209,57 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 0,00 | 266,02 | 35,70 | 92686,16 | 378,03 | 44,68 | 216,66 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 0,00 | 267,83 | 34,09 | 96562,13 | 369,16 | 44,93 | 184,26 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 0,00 | 267,17 | 33,13 | 93649,28 | 373,51 | 45,17 | 210,08 |
| Foz Urbana | 0,0620 | 0,00 | 264,98 | 33,93 | 93238,20 | 369,48 | 45,41 | 175,15 |
| Foz Urbana | 0,1033 | 0,00 | 267,79 | 34,33 | 89984,73 | 371,39 | 45,17 | 187,30 |

Tabela 5. Metais pesados no Lageado Clarito na nascente, talvegue mediano e na foz urbana.

| Pontos de Coleta | Cádmio (Cd) | Chumbo (Pb) | Cobre (Cu) | Cromo (Cr) | Ferro (Fe) | Manganês (Mn) | Níquel (Ni) | Zinco (Zn) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nascente | 0,20 | 18,62 | 230,47 | 30,33 | 58273,16 | 332,15 | 42,01 | 118,89 |
| Nascente | 0,20 | 15,66 | 229,99 | 34,79 | 58644,00 | 333,50 | 41,65 | 117,25 |
| Nascente | 0,23 | 11,23 | 230,31 | 35,05 | 58399,10 | 336,28 | 42,01 | 104,10 |
| Nascente | 0,30 | 9,46 | 229,12 | 33,87 | 58664,99 | 334,37 | 40,87 | 119,99 |
| Nascente | 0,25 | 11,52 | 229,79 | 36,50 | 58336,13 | 334,25 | 40,29 | 106,29 |
| Nascente | 0,21 | 3,84 | 231,27 | 37,55 | 58140,22 | 333,06 | 39,58 | 115,06 |
| Nascente | 0,19 | 0,59 | 231,51 | 38,47 | 58280,16 | 335,09 | 40,08 | 102,46 |
| Nascente | 0,23 | 0,30 | 229,32 | 36,63 | 59014,83 | 335,40 | 38,50 | 113,96 |
| Mediano | 0,18 | 0,00 | 240,08 | 37,55 | 58315,14 | 342,34 | 39,79 | 140,81 |
| Mediano | 0,18 | 0,00 | 239,24 | 37,42 | 56621,89 | 342,30 | 38,86 | 143,55 |
| Mediano | 0,26 | 0,00 | 240,99 | 37,55 | 59245,73 | 342,18 | 39,72 | 134,24 |
| Mediano | 0,28 | 0,00 | 242,31 | 38,99 | 57328,58 | 342,50 | 39,58 | 145,74 |
| Mediano | 0,30 | 0,00 | 241,83 | 40,04 | 57195,63 | 341,79 | 38,14 | 144,65 |
| Mediano | 0,25 | 0,00 | 240,12 | 39,78 | 56957,74 | 342,42 | 36,78 | 139,72 |
| Mediano | 0,23 | 0,00 | 239,24 | 41,35 | 56684,86 | 343,13 | 37,71 | 138,07 |
| Mediano | 0,25 | 0,00 | 238,88 | 39,78 | 56153,09 | 340,72 | 36,93 | 143,00 |
| Foz Urbana | 0,30 | 21,57 | 257,86 | 44,37 | 58098,24 | 376,12 | 38,72 | 168,75 |
| Foz Urbana | 0,41 | 21,57 | 263,28 | 44,24 | 58560,03 | 376,08 | 37,28 | 168,21 |
| Foz Urbana | 0,31 | 15,96 | 261,80 | 43,32 | 58399,10 | 377,11 | 37,36 | 167,66 |
| Foz Urbana | 0,25 | 23,93 | 261,28 | 44,11 | 57993,28 | 377,55 | 37,21 | 163,82 |
| Foz Urbana | 0,36 | 17,73 | 260,61 | 43,72 | 57419,54 | 377,15 | 36,21 | 151,22 |
| Foz Urbana | 0,40 | 15,07 | 261,32 | 44,24 | 56873,78 | 376,44 | 35,28 | 169,85 |
| Foz Urbana | 0,41 | 10,93 | 263,08 | 46,21 | 57118,67 | 378,03 | 35,56 | 163,82 |
| Foz Urbana | 0,44 | 6,21 | 265,07 | 45,95 | 57755,39 | 376,08 | 34,85 | 161,08 |

Tabela 6. Metais pesados no Rio Amambay na nascente, talvegue mediano e foz urbana.

| Pontos de Coleta | Cádmio (Cd) | Chumbo (Pb) | Cobre (Cu) | Cromo (Cr) | Ferro (Fe) | Manganês (Mn) | Níquel (Ni) | Zinco (Zn) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nascente | 0,0001 | 12,90 | 391,76 | 36,92 | 81384,67 | 281,53 | 56,71 | 188,91 |
| Nascente | 0,0001 | 14,70 | 430,25 | 38,26 | 79023,80 | 281,16 | 56,71 | 177,55 |
| Nascente | 0,0001 | 10,20 | 543,48 | 37,89 | 80650,18 | 282,56 | 56,71 | 118,96 |
| Nascente | 0,0001 | 6,30 | 448,37 | 38,93 | 78813,94 | 282,32 | 56,35 | 210,43 |
| Nascente | 0,0001 | 5,70 | 212,86 | 39,17 | 79050,03 | 283,50 | 54,91 | 131,52 |
| Nascente | 0,0001 | 3,90 | 246,83 | 39,23 | 79653,36 | 284,90 | 55,63 | 252,28 |
| Nascente | 0,0001 | 2,70 | 337,41 | 39,78 | 78840,17 | 282,13 | 56,62 | 173,37 |
| Nascente | 0,0001 | 0,00 | 355,53 | 39,29 | 79430,39 | 282,47 | 54,91 | 190,70 |
| Mediano | 0,0001 | 0,30 | 275,82 | 34,97 | 74118,42 | 329,56 | 44,07 | 142,88 |
| Mediano | 0,0001 | 0,00 | 274,14 | 35,15 | 71285,37 | 326,82 | 43,34 | 148,26 |
| Mediano | 0,0001 | 0,00 | 275,27 | 35,03 | 77423,65 | 329,74 | 43,80 | 147,66 |
| Mediano | 0,0001 | 0,00 | 279,71 | 36,86 | 75193,93 | 332,53 | 44,25 | 108,20 |
| Mediano | 0,0001 | 0,00 | 276,59 | 36,55 | 76335,02 | 331,35 | 43,80 | 147,66 |
| Mediano | 0,0001 | 0,00 | 272,37 | 36,06 | 75521,83 | 331,26 | 42,98 | 156,63 |
| Mediano | 0,0001 | 0,00 | 272,19 | 37,83 | 74852,91 | 327,98 | 43,07 | 185,32 |
| Mediano | 0,0001 | 0,00 | 271,78 | 37,10 | 74551,25 | 331,50 | 43,89 | 178,15 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 0,00 | 248,10 | 36,86 | 77279,37 | 382,20 | 41,81 | 179,94 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 0,00 | 251,04 | 38,01 | 81830,62 | 382,08 | 41,09 | 190,10 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 0,00 | 248,60 | 38,62 | 77790,89 | 381,99 | 41,45 | 176,95 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 0,00 | 248,96 | 38,99 | 80991,19 | 380,62 | 41,18 | 208,04 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 0,00 | 246,47 | 37,71 | 79456,62 | 383,20 | 41,36 | 203,85 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 0,00 | 248,78 | 38,19 | 80519,02 | 383,02 | 41,27 | 196,68 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 0,00 | 247,28 | 36,79 | 78040,10 | 383,08 | 41,09 | 206,84 |
| Foz Urbana | 0,0001 | 0,00 | 249,32 | 38,38 | 83837,36 | 382,78 | 41,99 | 240,32 |