



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JULIO DE MESQUITA FILHO"  
INSTITUTO DE QUÍMICA  
UNESP  
ARARAQUARA

JOSIAS DO ESPÍRITO SANTO CORINGA

**Fracionamento Geoquímico de Metais em Sedimentos e  
Avaliação da Qualidade da Água do Rio Bento Gomes,  
Pantanal de Poconé, Mato Grosso**

Araraquara-SP  
2014

JOSIAS DO ESPÍRITO SANTO CORINGA

Fracionamento Geoquímico de Metais em Sedimentos e  
Avaliação da Qualidade da Água do Rio Bento Gomes,  
Pantanal de Poconé, Mato Grosso

Tese apresentada ao Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, no âmbito do Programa DINTER - CAPES com o Instituto Federal do Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Química.

Nome do orientador: Prof.Dr. Leonardo Pezza

Araraquara-SP  
2014

FICHA CATALOGRÁFICA

C798f	<p>Coringa, Josias do Espírito Santo Fracionamento geoquímico de metais em sedimentos e avaliação da qualidade da água do Rio Bento Gomes, Pantanal de Poconé, Mato Grosso / Josias do Espírito Santo Coringa. – Araraquara : [s.n.], 2014 134 f. : il.</p> <p>Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química Orientador: Leonardo Pezza Coorientador: João Vicente Neto</p> <p>1. Química ambiental. 2. Metais. 3. Sedimentos fluviais. 4. Decomposição química. 5. Água-qualidade. I. Título.</p>
-------	--

Elaboração: Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação do Instituto de Química de Araraquara  
Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação

## JOSIAS DO ESPÍRITO SANTO CORINGA


Tese apresentada ao Instituto de Química,  
Universidade Estadual Paulista, no âmbito do  
Programa DINTER – CAPES com o Instituto  
Federal do Mato Grosso, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Doutor  
em Química.

Araraquara, 12 de setembro de 2014.

### BANCA EXAMINADORA



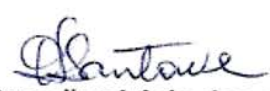
Prof. Dr. Leonardo Pezza (Orientador)  
Instituto de Química – UNESP, Araraquara



Prof. Dr. Massao Ionashiro  
Instituto de Química – UNESP, Araraquara



Prof. Dr. André Henrique Rosa  
Campus Experimental de Sorocaba – UNESP, Sorocaba



Prof. Dr. Oscarlina Lúcia dos Santos Weber  
Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Cuiabá



Prof. Dr. Danilo Luiz Flumignan  
Instituto Federal de São Paulo – IFSP, Matão

## **AGRADECIMENTOS**

---

À minha família, que me deu suporte afetivo e moral ao longo de minha caminhada, me apoiando em todas as minhas decisões, com amor, proteção e muito carinho;

À minha esposa Elaine de Arruda Oliveira Coringa, que sempre me deu forças para lutar contra as desavenças, me incentivando a prosseguir diante das dificuldades. Sou também muito grato pela imensa compreensão, pelo carinho e amor dedicados nos últimos 25 anos da minha vida;

Ao Professor Dr. Leonardo Pezza por ter me recebido como seu orientado, pela atenção dispensada, estímulo para que eu pudesse concluir este trabalho. Agradeço pelo incentivo profissional, pela contínua troca de conhecimento e pelas oportunidades concedidas;

Ao Professor Dr. João Vicente Neto, meu co-orientador, pela atenção dispensada e auxílio na aquisição de insumos para a pesquisa;

À professora Dra. Oscarlina Lucia dos Santos Weber, do Departamento de Solos da UFMT, pelas importantes contribuições durante a realização deste trabalho, e apoio na execução das análises;

À professora Dra. Rubia, do Departamento de Geologia Geral da UFMT, pelas análises de Raios X e Fluorescência, e ao técnico Júlio do Laboratório de Controle Analítico de Combustíveis (CEANC/UFMT), pelas leituras dos metais nas amostras por ICP-OES;

Ao corpo docente que integraram a equipe do programa Dinter IQ/UNESP/UFMT pelo conhecimento adquirido e aos funcionários do IQ/UNESP, que sempre nos atenderam de forma eficiente e profissional, contribuindo com a parte burocrática do trabalho;

Aos colegas integrantes da equipe de campo: Carlos, Osmar, Edvaldo Ferraz, Dirce, Elaine, Jasson, Lúcio e Mauro sem os quais não seria possível todo o planejamento e coleta das amostras;

Aos bolsistas Alisson e Diogo, que me auxiliaram na execução do trabalho laboratorial e de pesquisa no Laboratório de Solos da UFMT.

À Capes pelo apoio financeiro por meio do programa de bolsa de doutoramento e ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT) pelo suporte logístico e financeiro à realização desta pesquisa.

## LISTA DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.</b>	Sub-regiões do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai	23
<b>Figura 2.</b>	Representação esquemática de frações em solos/sedimentos e produtos de intemperismo	26
<b>Figura 3.</b>	Representação esquemática de alguns fatores a serem considerados quando se planeja análise de extração	29
<b>Figura 4.</b>	Diferentes metodologias aplicadas na determinação de metais traços em solos e sedimentos	30
<b>Figura 5.</b>	Região do Rio Bento Gomes, Pantanal de Poconé – MT	43
<b>Figura 6.</b>	Localização dos pontos de coleta ao longo do Rio Bento Gomes	45
<b>Figura 7.</b>	Pontos amostrados ao longo do Rio Bento Gomes: (a) Ponto 1; (b) Ponto 2; (c) Ponto 3; (d) Ponto 4; (e) Ponto 5; (f) Ponto 6; (g) Ponto 7; (h) Ponto 8.	46
<b>Figura 8.</b>	Etapas metodológicas utilizadas no estudo Fracionamento Geoquímico avaliação da qualidade da água do Rio Bento Gomes.	47
<b>Figura 9.</b>	Difratômetro Shimadzu XRD-6000 do LAMUTA/UFMT.	49
<b>Figura 10.</b>	Espectrômetro de raios-X por dispersão em energia Shimadzu EDX700HS do LAMUTA/UFMT.	50
<b>Figura 11.</b>	Espectrômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), marca Thermo Scientific modelo ICP-OES ICAP 6000 )	54
<b>Figura 12.</b>	Material de referência certificado BCR 701 e NIST 8704 Bufalo River Sediment.	55
<b>Figura 13.</b>	Distribuição granulométrica dos sedimentos estudados ao longo Rio Bento Gomes	62
<b>Figura 14.</b>	Difratogramas de raios X dos minerais presentes nos sedimentos do Rio Bento Gomes (Cl: clorita; Qz: quartzo).	63
<b>Figura 15.</b>	Dendrograma da concentração pseudo-total dos elementos traço no sedimento (período seco).	72
<b>Figura 16</b>	Dendrograma da concentração pseudo-total dos elementos traço no sedimento (período chuvoso).	73

<b>Figura 17.</b>	Distribuição porcentual da concentração dos metais nas frações extraíveis: (A) protocolos BCR701; (B) TESSIER dos pontos amostrados na seca e na cheia.	78
<b>Figura 18.</b>	Comparação da mobilidade média dos metais estudados pelos protocolos BCR701 e TESSIER nas amostras do Rio Bento Gomes-Poconé MT	82
<b>Figura 19.</b>	Temperatura da água nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: estação seca; P1C a P8C: estação chuvosa)	85
<b>Figura 20.</b>	Condutividade elétrica da água nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: estação seca; P1C a P8C: estação chuvosa)	86
<b>Figura 21.</b>	Turbidez da água nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: estação seca; P1C a P8C: estação chuvosa)	87
<b>Figura 22.</b>	Teor de sólidos totais na água nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: estação seca; P1C a P8C: estação chuvosa)	88
<b>Figura 23.</b>	Cor da água nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a 8: estação seca; P1C a P8C: estação chuvosa)	89
<b>Figura 24.</b>	pH da água nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: estação seca; P1C a P8C: estação chuvosa)	90
<b>Figura 25.</b>	Teor de cloretos nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: estação seca; P1C a P8C: estação chuvosa)	91
<b>Figura 26.</b>	Oxigênio dissolvido nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: estação seca; P1C a P8C: estação chuvosa)	92
<b>Figura 27.</b>	Ilustração da mortandade de peixes no Rio Bento Gomes devido à baixa concentração de oxigênio dissolvido na estação chuvosa	93
<b>Figura 28.</b>	Demanda bioquímica de oxigênio nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: estação seca; P1C a P8C: estação chuvosa)	94
<b>Figura 29.</b>	Teor de nitrato nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: estação seca; P1C a P8C: estação chuvosa)	95



<b>Figura 30.</b>	Teor de fósforo total nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: estação seca; P1C a P8C: estação chuvosa)	96
<b>Figura 31.</b>	Coliformes fecais (NMP) nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: estação seca; P1C a P8C: estação chuvosa)	97
<b>Figura 32.</b>	Média do IQA dos pontos amostrados do Rio Bento Gomes, na estação seca e chuvosa.	103

## LISTA DE TABELAS

---

<b>Tabela 1.</b>	Classificação dos compartimentos de sedimentos segundo a sua Origem	25
<b>Tabela 2.</b>	Agentes de extração e as fases relacionadas.	31
<b>Tabela 3.</b>	Procedimentos de extração seqüencial comumente utilizados para a extração de vários componentes de solos e sedimentos	33
<b>Tabela 4.</b>	Características dos locais de coleta de amostras de sedimentos	46
<b>Tabela 5.</b>	Protocolo analítico BCR701, adaptado para 1 g de amostra.	52
<b>Tabela 6.</b>	Condições operacionais requeridas no Procedimento de extração sequencial TESSIER, adaptado para 1 g de amostra.	53
<b>Tabela 7.</b>	Parâmetros instrumentais de detecção dos metais por ICP.	55
<b>Tabela 8.</b>	Interpretação do índice de qualidade da água (IQA).	58
<b>Tabela 9.</b>	Características químicas do sedimento do Rio Bento Gomes no período seco	59
<b>Tabela 10.</b>	Características químicas do sedimento do Rio Bento Gomes no período chuvoso.	59
<b>Tabela 11.</b>	Geoquímica dos óxidos totais nos sedimentos do Rio Bento Gomes (período seco).	64
<b>Tabela 12.</b>	Geoquímica dos óxidos totais nos sedimentos do Rio Bento Gomes (período chuvoso).	65
<b>Tabela 13.</b>	Teores pseudo-totais dos metais nos sedimentos do Rio Bento Gomes (período seco).	67
<b>Tabela 14.</b>	Teores pseudo-totais dos metais nos sedimentos do Rio Bento Gomes (período chuvoso).	68
<b>Tabela 15.</b>	Matriz de correlação entre os teores pseudo-total dos metais e as propriedades do solo (período seco)	70
<b>Tabela 16.</b>	<b>Tabela 16</b> – Matriz de correlação entre os teores pseudo-total dos metais e as propriedades do solo (período chuvoso)	70

<b>Tabela 17.</b>	Distribuição da concentração dos metais nas frações pelo protocolo de extração BCR701	76
<b>Tabela 18.</b>	Distribuição dos metais nas frações pelo protocolo de extração TESSIER	77
<b>Tabela 19.</b>	Concentração pseudo-total e taxas de recuperação obtidos para o material de referência Buffalo River Sediment (NIST 8704).	80
<b>Tabela 20.</b>	Concentração pseudo-total e taxas de recuperação obtidos para o material de referência BCR (BCR701).	80
<b>Tabela 21.</b>	Ordem de mobilidade segundo o fator de mobilidade individual de cada metal ( $Fm_1$ ) de acordo com o método de extração sequencial adotado.	81
<b>Tabela 22.</b>	Fator de mobilidade individual ( $fm_i$ ) e fator de mobilidade global ( $fm_g$ ) para os metais nos pontos amostrados(BCR701)	81
<b>Tabela 23.</b>	Resultados médios dos parâmetros de qualidade de água do Rio Bento Gomes, no período seco e chuvoso, e seus respectivos valores máximos permitidos para água doce classe 2 (CONAMA, 2005).	84
<b>Tabela 24.</b>	Matriz de correlação entre os parâmetros de qualidade da água do Rio Bento Gomes (período seco)	99
<b>Tabela 25.</b>	Matriz de correlação entre os parâmetros de qualidade da água do Rio Bento Gomes (período chuvoso)	100
<b>Tabela 26.</b>	Valores do Índice de Qualidade de Águas (IQA) dos pontos amostrados no rio Bento Gomes.	102

## LISTA DE ABREVIATURAS

---

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>AAS</b>	Espectrometria de Absorção Atômica (do inglês, <i>Atomic Absorption Spectrometry</i> )
<b>ASE</b>	Área superficial específica
<b>BCR</b>	<i>Community Bureau of Reference</i> (do francês, <i>Bureau Communautaire de Référence</i> )
<b>CCME</b>	Conselho Canadense do Ministério do Meio Ambiente (do inglês, <i>Canadian Council of Minister of the Environment</i> )
<b>CETESB</b>	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>COT</b>	Carbono orgânico total
<b>CTC</b>	Capacidade de troca de cátions
<b>CSQG</b>	Canadian Sediment Quality Guidelines
<b>DBO</b>	Demanda Bioquímica de Oxigênio
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>EPA</b>	Agência de Proteção Ambiental Americana (do inglês, <i>Environmental Protection Agency</i> )
<b>F AAS</b>	Espectrometria de Absorção Atômica com chama (do inglês, <i>Flame Atomic Absorption Spectrometry</i> )
<b>FEMA</b>	Fundação Estadual do Meio Ambiente
<b>HCA</b>	Análise de Agrupamento Hierárquico (do inglês, <i>Hierarchical Cluster Analysis</i> )
<b>ICP OES</b>	Espectrometria de Emissão Óptica com plasma acoplado indutivamente (do inglês, <i>Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry</i> )
<b>IFMT</b>	Instituto Federal de Mato Grosso
<b>IQA</b>	Índice de Qualidade de Água
<b>IUPAC</b>	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>

<b>LD</b>	Limite de detecção
<b>LQ</b>	Limite de quantificação
<b>MO</b>	Matéria orgânica
<b>MOS</b>	Matéria orgânica do solo
<b>NAPAN</b>	Núcleo Avançado do Pantanal IFMT
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>NIST 8704</b>	Material de Referência Buffalo River Sediment
<b>NMP</b>	Número mais provável
<b>NSF</b>	National Sanitation Foundation
<b>NTU</b>	Unidade Nefelométrica de Turbidez
<b>OD</b>	Oxigênio Dissolvido
<b>OMS</b>	Organização Mundial de Saúde
<b>PEL</b>	Nível de Efeitos Prováveis de Toxicidade (do inglês, <i>Probably Effects Level</i> )
<b>RPPN</b>	Reserva Particular do Patrimônio Natural
<b>SCQA</b>	Sistema de Cálculo da Qualidade da Água
<b>TEL</b>	Nível de Efeitos Limiares de Toxicidade (do inglês, <i>Threshold Effects Level</i> )
<b>TFSA</b>	Terra fina seca ao ar
<b>VGQS</b>	Valores guia de qualidade de sedimento

## LISTA DE SIGLAS

---

%	porcentagem
°C	grau Celsius
A	ampere (unidade de medida de corrente)
cm	centímetro
g	grama
gcm <sup>-3</sup>	grama por centímetro cubico
km	quilometro
L	litro
m	metro
mm <sup>-1</sup>	razão massa do soluto por massa do solvente
mv <sup>-1</sup>	razão massa do soluto por volume do solvente
mA	miliampere (unidade de medida de corrente)
µg g <sup>-1</sup>	micrograma por grama
µg kg <sup>-1</sup>	micrograma por quilograma
µg L <sup>-1</sup>	micrograma por litro (quando densidade = 1,0 g/cm <sup>3</sup> )
mg	miligrama
mg.kg <sup>-1</sup>	<b>ppm</b> – miligrama por quilograma
mg.L <sup>-1</sup>	<b>ppm</b> – miligrama por litro (quando densidade = 1,0 g/cm <sup>3</sup> )
mL	mililitro
mol L <sup>-1</sup>	mol por litro
nm	nanometro
pH	potencial hidrogenionico
ppm	partes por milhão

## RESUMO

---

O sedimento é um dos compartimentos mais importantes dos ecossistemas aquáticos e pode ser utilizado na avaliação do nível de contaminação desses ambientes, porque nele podem ser acumulados compostos orgânicos ou inorgânicos como elementos traços, alcançando concentrações elevadas. A magnitude depende da concentração em que esses metais se encontram nas águas dos rios, além dos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem em sua bacia de drenagem.

Este trabalho teve por objetivo estudar o fracionamento e a disponibilidade de alguns elementos traços em sedimentos do Rio Bento Gomes, no Pantanal de Poconé, Mato Grosso, bem como avaliar a qualidade da água do manancial. Para tanto, foram realizadas amostragens de sedimentos e água em dois períodos distintos: na época da seca (agosto/2012) e chuvosa (abril/2013). Foram demarcados oito pontos de coleta de sedimento, localizados desde o cruzamento do Rio Bento Gomes com a Estrada Parque Poconé-Porto Cercado (MT-370). No laboratório, as amostras de sedimentos foram secas à temperatura controlada de  $45 \pm 5$  °C., maceradas, peneiradas e submetidas à caracterização física, química e mineralógica. Os teores dos metais Cr, Ni, Cu, Fe, Al, Zn e Mn foram obtidos pelas técnicas de extração pseudo-total (pelo método 3050B da Environmental Protection Agency - EPA) e sequencial (pelos métodos BCR e Tessier), e as leituras dos metais por ICP-OES. A água do rio Bento Gomes foi avaliada por meio da determinação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos de acordo com a metodologia proposta no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

A geoquímica dos sedimentos do Rio Bento Gomes é composta predominantemente por  $\text{SiO}_2$ , seguido do  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{MgO}$  (nesta ordem). Os teores elevados de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  geralmente estão relacionados com a presença da clorita e quartzo na composição mineralógica do sedimento.

A concentração pseudo total dos metais Cd, Cr, Cu, Mn, Fe e Zn do sedimento apresentaram níveis baixos, não ultrapassando os valores

orientadores da Resolução CONAMA nº 454, nos dois períodos sazonais, com exceção do Ni, que obteve teores acima do nível-1 permitido no período chuvoso em um dos pontos amostrados.

Pelos procedimentos de fracionamento geoquímico, verificou-se que todos os metais encontram-se presentes em concentrações expressivas em frações potencialmente mobilizáveis (F1+ F2+F3), em ambos protocolos de extração sequencial, especialmente associados aos óxidos de ferro e à matéria orgânica do sedimento. Na avaliação da disponibilidade dos metais no meio aquático, os Fatores de Mobilidade Global (Fmg) calculados para os sedimentos do Rio Bento Gomes mostram um enriquecimento dos metais nas frações mais disponíveis, notadamente no ponto P8; já a análise dos Fatores de Mobilidade Individual dos metais (Fmi), os metais mais móveis no meio e, conseqüentemente, mais biodisponíveis, são o manganês, zinco, níquel, cromo e cobre, enquanto que os menos móveis são o Fe e Al.

A qualidade da água do rio Bento Gomes foi classificada como Boa (no período da seca) e Boa a Regular (no período chuvoso) ao longo dos oito pontos amostrados no curso do rio, sendo que as variáveis coliformes termotolerantes, OD e cor foram as que mais contribuíram negativamente para o IQA.



## ABSTRACT

---

The sediment is a major compartment of aquatic ecosystems and can be used in assessing the level of contamination of those environments, because it accumulates organic compounds, pesticides, herbicides or inorganic trace elements as can be accumulated, reaching high concentrations. Its magnitude depends on the levels at which these metals are found in the river water, beyond the physical, chemical and biological processes that occur in its drainage basin.

This work aimed to study the fractionation and availability of some trace elements in sediments of the Bento Gomes River, in Pantanal Poconé, Mato Grosso, and to evaluate the water quality of the watershed. For this purpose, sediment and water sampling were conducted in two distinct periods: in the dry season (August / 2012) and rainy (April / 2013). In the laboratory, the sediment samples were dried at controlled temperature of  $45 \pm 5$  ° C., grinded, sieved and subjected to physical, chemical and mineralogical characterization. The levels of the metals Cr, Ni, Cu, Fe, Al, Zn and Mn were obtained by pseudo-total extraction techniques (3050B method by the Environmental Protection Agency - EPA) and sequential extraction (BCR and Tessier methods), and readings metals by ICP-OES.

The geochemistry of the sediment of Bento Gomes river is composed mainly of SiO<sub>2</sub>, followed by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O and MgO (in order). The high percentages of SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> are generally related to the presence of chlorite and quartz in the mineralogical composition of the sediment.

The pseudo total concentration of Cd, Cr, Cu, Mn, Fe and Zn in sediment had low levels not exceeding the guideline values of Resolution CONAMA n°. 454, in two seasonal periods, except for Ni, which achieved levels above the level -1 allowed the rainy season in one of the sampled points.

By the procedures geochemical fractionation it was found that all the metals are present in significant concentrations in potentially mobilizable fractions (F1 + F2 + F3), in both protocols of sequential extraction, especially associated with the iron oxides and organic matter sediment. In evaluating of the availability of metals in the aquatic environment, the Global Mobility Factors (F<sub>mg</sub>) calculated for the

sediments of the Bento Gomes river show an enrichment of metals in the fractions more available, especially at point P8; the analysis of Individual Factors Mobility of metals (FMI) shows that the metals more mobile and (bio)available are manganese, zinc, nickel, chromium and copper, while the less mobile is the Fe and Al.

The water quality of the Bento Gomes river was classified as good (during the drought) and good to regular (the rainy season) over the eight sampled points in the course of the river, and the variables thermotolerant coliforms, OD and color were that contributed negatively to the IQA.

## SUMÁRIO

---

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	21
<b>2.</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	24
2.1.	O Pantanal mato-grossense	25
2.2.	Origem e formação dos sedimentos	26
2.3.	Importância dos Sedimentos nos Ambientes Aquáticos	28
2.4.	Geoquímica dos elementos químicos e importância ambiental	29
2.5.	Metodologias para extração de elementos traços em Sedimentos	30
2.5.1.	Técnicas de extração sequencial	32
2.5.1.1	Método BCR	38
2.5.1.2	Método Tessier	39
2.5.2	Técnicas de extração pseudo-total	39
2.6.	Risco ambiental de elementos traços em sedimentos	40
2.7.	Qualidade da água	42
<b>3.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	44
3.1.	Caracterização da área de estudo	44
3.2.	Pontos de amostragem	45
3.3.	Análises laboratoriais	49
3.3.1.	Caracterização do sedimento	49
3.3.1.1.	Análises físicas e químicas	49
3.3.1.2.	Análises mineralógica por difração de raios X (DRX)	49
3.3.1.3.	Análise geoquímica por fluorescência de raios X (FRX)	50
3.3.2.	Análises dos metais nas frações do sedimento	51
3.3.2.1.	Métodos de extração pseudo-total e total	51
3.3.2.2.	Método de extração sequencial BCR	52

3.3.2.3.	Método de extração sequencial TESSIER	54
3.3.3.	Mobilidade dos metais	57
3.3.4.	Análise da água do Rio Bento Gomes	57
3.3.4.1.	Índice de Qualidade de Água (IQA)	58
3.4.	Análise estatística	59
<b>4.</b>	<b>RESULTADO E DISCUSSÃO</b>	<b>60</b>
<b>4.1</b>	<b>Características Químicas e Geoquímica do Sedimento</b>	<b>60</b>
4.1.1.	Caracterização química do sedimento	60
4.1.2.	Mineralogia do sedimento	64
4.1.3.	Geoquímica dos sedimentos	65
<b>4.2</b>	<b>Concentração, Distribuição e disponibilidade dos metais nas Frações do Sedimento</b>	<b>68</b>
4.2.1.	Concentração Pseudo-Total dos metais no sedimento	68
4.2.2.	Fracionamentos químico dos metais	76
4.2.2.1.	Protocolos BCR701 e TESSIER	76
4.2.3.	Mobilidade dos metais no sedimento e o risco ambiental	82
<b>4.3</b>	<b>Avaliação da Qualidade da Água do Rio Bento Gomes</b>	<b>84</b>
4.3.1.	Parâmetros físicos de qualidade de águas	85
4.3.1.1.	Temperatura	85
4.3.1.2.	Condutividade elétrica	86
4.3.1.3.	Turbidez	87
4.3.1.4.	Sólidos Totais	88
4.3.1.5.	Cor	89
4.3.2.	Parâmetros Químicos e Biológicos de qualidade de águas	90
4.3.2.1.	pH	90
4.3.2.2.	Cloretos	91

4.3.2.3.	Oxigênio Dissolvido	92
4.3.2.4.	Demanda Bioquímica de Oxigênio	94
4.3.2.5.	Nitrato	95
4.3.2.6.	Fósforo Total	96
4.3.2.7.	Coliformes Fecais	97
4.3.3.	Índice de Qualidade de Água	102
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>105</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>107</b>
	<b>GLOSSARIO</b>	<b>127</b>
	<b>ANEXO</b>	<b>131</b>

## 1. INTRODUÇÃO

---

Conhecido por sua beleza e exuberância no período chuvoso, o Rio Bento Gomes faz um contraste no mínimo preocupante no período seco, chamado pelo pantaneiro de vazante. É muito frequentado por moradores da Cidade Rosa (Poconé-MT) e por turistas. A maior concentração de visitantes é principalmente nas imediações do antigo parque de exposições e atualmente NAPAN (Núcleo avançado do Pantanal), de propriedade do IFMT que fica distante cerca de 12 Km da cidade.

O Rio Bento Gomes nasce a sudeste da cidade de Cuiabá, nas encostas da Serra Descida do Buriti, entrecobertas por matas de encostas e matas ciliares. A nascente está situada na Fazenda Fortaleza, localizada a 56°36' W e 15°45' S, no município de Nossa Senhora do Livramento, a aproximadamente 330m de altitude e distante 50 km de Cuiabá, no Estado de Mato Grosso. Esta área está localizada na parte sudoeste da Depressão Cuiabana, cujo relevo é modelado em litologias do Grupo Cuiabá, com cobertura detritica constituída de pavimento com blocos de quartzo e quartzito (BRASIL, 1982).

A extração de ouro em Poconé, adjacências da Planície Pantaneira, na década de 80 e o emprego intensivo de mercúrio, desencadeia uma grave ameaça à biodiversidade e sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos do Pantanal. Atualmente, a principal atividade predominante é a pecuária, embora a atividade garimpeira para extração de ouro ter sido propulsor à economia local e regional em seus diversos ciclos (SILVA, 1999), cujo auge produtivo na década de 1980, promoveu alterações ambientais profundas (MIRANDA et al., 1997). O principal impacto da atividade garimpeira relaciona-se às pequenas nascentes e córregos, que foram alterados e até mesmo destruídos pela atividade extrativa.

Tendo em vista a importância desse rio para a cidade e região faz-se necessário um monitoramento ambiental especialmente dos metais. Uma das formas de conduzir esse monitoramento é avaliar os possíveis metais que podem estar fixados nos sedimentos do Rio Bento Gomes.

Os estudos de sedimentos podem fornecer informações sobre a presença de contaminantes que entram no sistema fluvial por diferentes caminhos, em meio rural ou urbano e por meio de fontes pontuais ou difusas. Os sedimentos

possuem um papel importante no transporte e acumulação de contaminantes, e por isso são utilizados na determinação de fontes e formas de dispersão desses contaminantes em sistemas aquáticos. Entretanto, fatores ambientais como variações de pH, potencial redox, presença de matéria orgânica podem influenciar na capacidade de estocagem dos sedimentos ou na disponibilidade dos elementos estocados, mobilizando-os no ambiente, principalmente durante os períodos de inundação.

Em função dessas variações ambientais, metais potencialmente tóxicos presentes como elementos traço podem ser encontrados na forma solúvel ou disponível; adsorvidos eletrostaticamente aos sítios de troca do sedimento; incorporados na superfície de minerais como óxidos de alumínio, ferro e manganês; participando de reações de precipitação e dissolução e ligados a compostos orgânicos.

Para avaliar o papel do sedimento na retenção ou disponibilização de metais para o meio aquoso, são adotados procedimentos de extrações seletivas usando reagentes específicos, a fim de melhor compreender os potenciais de disponibilidade desses elementos.

A extração sequencial, conhecida como fracionamento químico de acordo com a *International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)*, se baseia no uso racional de uma série de reagentes seletivos escolhidos para solubilizar sucessivamente as diferentes frações químicas e mineralógicas do solo/sedimento, simulando as alterações nas condições ambientais do sedimento naquele corpo hídrico. Desta forma a qualidade físico-química do sedimento deve ser entendida como um parâmetro para medir a qualidade do recurso hídrico.

Portanto, ao se avaliar se um determinado corpo d'água apresenta condições satisfatórias para assegurar os seus usos potenciais, conforme a classificação da legislação vigente, é necessário efetuar a caracterização físico-química e bacteriológica da água, avaliando a sua qualidade.

Este trabalho teve como objetivo estudar o fracionamento e disponibilidade de alguns metais traços de interesse ambiental em sedimentos do Rio Bento Gomes, no Pantanal de Poconé, Mato Grosso, bem como avaliar a qualidade da água do manancial.

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Determinar os parâmetros físico-químicos indicadores de qualidade do sedimento do rio Bento Gomes que podem influenciar na disponibilidade/retenção dos metais;
- Determinar a composição geoquímica e mineralógica de sedimentos por meio da técnica de Fluorescência de raios X (EDX) e Difração de Raios X (DRX);
- Realizar o fracionamento geoquímico do Fe, Al, Mn, Ni, Cr, Cu, Cd e Zn nos sedimentos por meio de técnicas de extração sequencial, determinando a concentração dos metais nas frações solúvel, associada à matéria orgânica (oxidável), aos óxidos de ferro (reduzível) e aos silicatos (residual);
- Determinar a concentração pseudo-total (ou biodisponível) dos metais nos sedimentos por meio da digestão ácida (método USEPA 3050) e comparar os resultados obtidos com os valores de referência estabelecidos pela legislação ambiental.
- Avaliar o risco ambiental da área por meio da determinação dos fatores de mobilidade individuais (Fmi) dos metais analisados.
- Avaliar a qualidade da água, segundo as variáveis: Condutividade, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Oxigênio Dissolvido (OD), Oxigênio Consumido (OC); pH; Temperatura; Cor; Turbidez; Teor de cloretos, de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012);

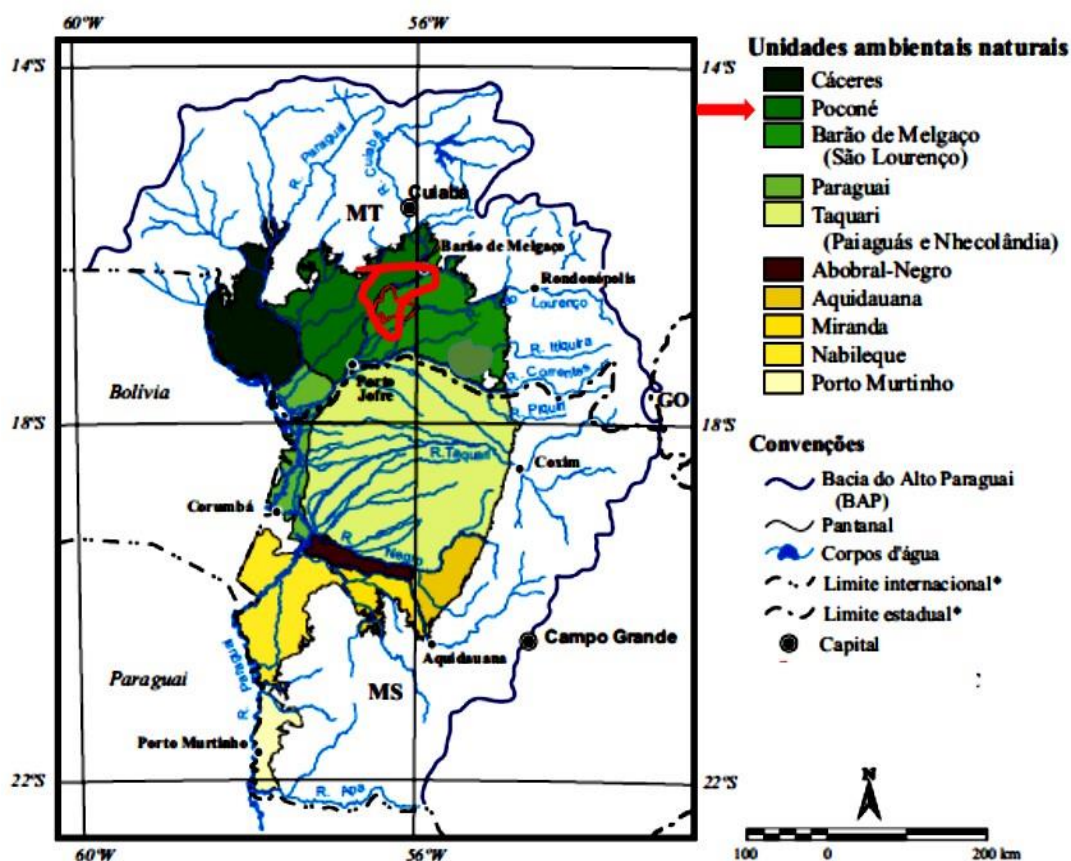


## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. O Pantanal mato-grossense

O Pantanal mato-grossense possui um dos maiores sistemas de áreas alagáveis e considerada a maior planície neotropical inundável do mundo (MACHADO et.al., 2012). A área pertencente ao Brasil, com 138.183 km<sup>2</sup>, está dentro dos Estados de Mato Grosso (35,5%) e Mato Grosso do Sul (65,5%) (EMBRAPA, 2000). Constitui uma planície sedimentar que ocupa uma área de aproximadamente 140.000 km<sup>2</sup> na bacia hidrográfica do rio Paraguai, nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. (SILVA, 2000).

O Pantanal está dividido em onze sub-regiões, e uma delas é a do Pantanal de Poconé (SOUSA; SOUZA, 2013), definidas com base nos critérios de regime hídrico, relevo, fitofisionomias e textura do solo (Figura 4).



**Figura 1** - Sub-regiões do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai (CORDEIRO, 2004).

Notam-se diferenças climáticas de uma sub-região para outra, do ponto de vista da intensidade e da distribuição de chuva e temperatura (SILVA, 1998; ARIEIRA et al., 2006). A sub-região do Pantanal de Poconé cobre 11 % do Pantanal Brasileiro, com uma área de 17.945 Km<sup>2</sup>. É caracterizada por períodos de inundação entre dezembro e maio e de seca entre junho e novembro (FERNANDES et al., 2010). O clima do Pantanal de Poconé é do tipo tropical, com precipitação média anual variando entre 800 a 1.200 mm. As principais atividades econômicas desse ecossistema são a bovinocultura de corte, a pesca, a mineração e o turismo.

Os solos da região são representados por Solos Concrecionários, Latossolos, Cambissolos, Neossolos Regolíticos, Litólicos e Quartzarênicos, Planossolos, Plintossolos, Gleissolos, Argissolos e Organossolos (EMBRAPA, 2006; MOREIRA; VASCONCELOS, 2007).

SOUZA; SOUZA (2013) enfatizam que os tipos de ambientes presentes na sub-região do Pantanal do Poconé são diferenciados pelo relevo, dentre os quais se distinguem: (1) pequenas elevações isoladas conhecidas como cordilheiras; (2) campos de inundação, que são áreas sujeitas a inundações periódicas; (3) baías, que constituem áreas deprimidas, contendo água; (4) vazantes, que são áreas de depressão entre as baías com caráter de curso fluvial intermitente; (5) corixos, que correspondem a pequenos cursos d'água, geralmente perenes, conectados ao rio principal.

Por ser uma planície de inundação, o Pantanal recebe periodicamente o aporte lateral das águas de rios, lagos, da precipitação direta ou de lençóis subterrâneos. Assim, o período de acumulação de substâncias seguido de seu transporte pode ocorrer associado ao ritmo do pulso de inundação. Durante o período de vazante, os corpos d'água caracterizam-se como sistemas acumulativos, e conforme o nível de água do rio sobe estes ambientes assumem a função de reservatórios. Porém, durante o período de cheia podem se tornar canais de transporte de água (JUNK, 1997).

## 2.2. Origem e formação dos sedimentos

Conceitualmente, um sedimento pode ser considerado como uma mistura heterogênea de partículas diferentes (resíduos orgânicos e inorgânicos detríticos, células planctônicas, etc.), constituindo a matéria-prima para a formação das rochas sedimentares (POLETO et al., 2008; LADEIRA,2010).

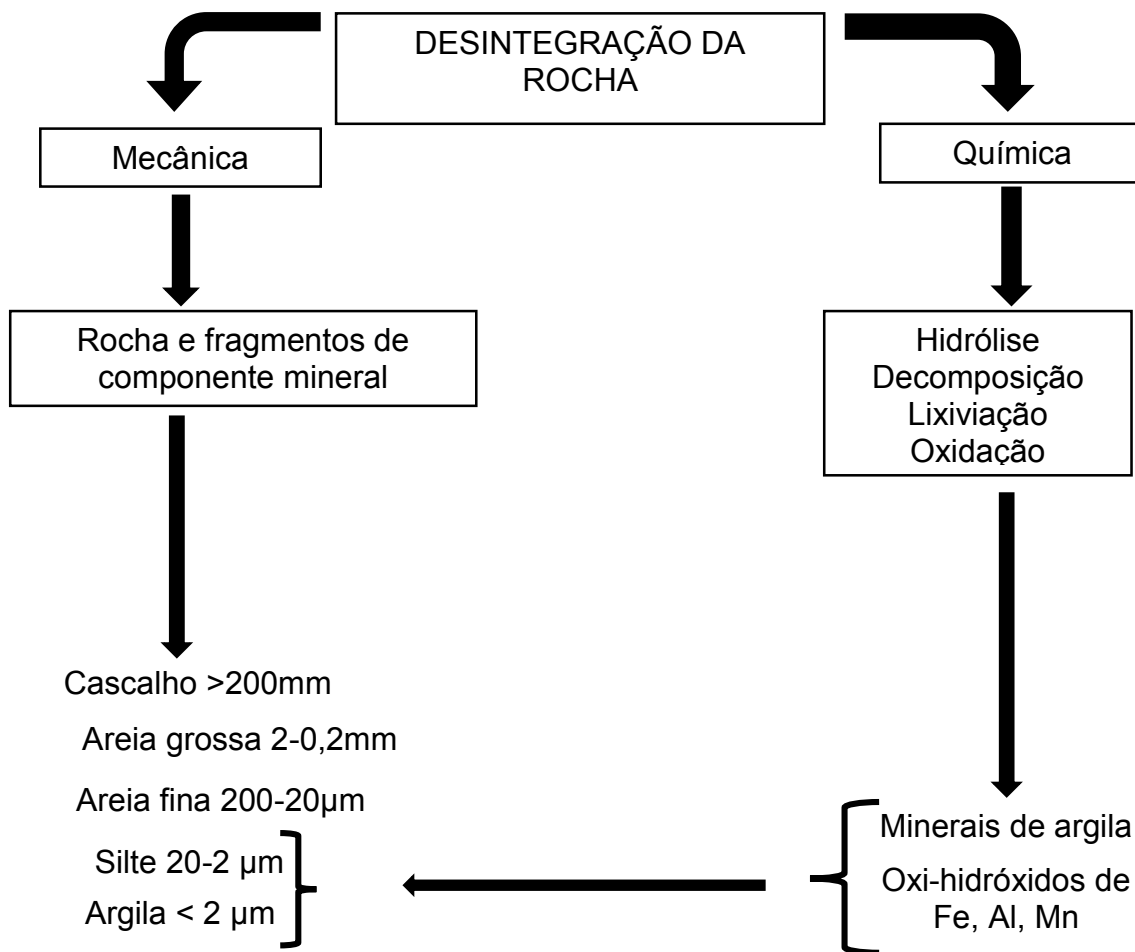
A origem das partículas de sedimentos pode ser sintetizada na Tabela1.

**Tabela1** - Classificação dos compartimentos de sedimentos segundo a sua Origem (Adaptado de POLETO et al., 2008).

Classificação	Exemplo de material	Fórmula Química
Litogênico – gerado no continente	Quartzo e materiais argilosos (caolite, illita, etc.)	$\text{SiO}_2$ ; $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ; $\text{K}_2\text{Al}_4(\text{Si,Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$
Hidrogênico – formado na coluna d'água	Minerais de Fe e Mn (pirita, aragonita, dolomita)	$\text{FeO}(\text{OH})$ ; $\text{MnO}_2$ ; $\text{FeS}_2$ ; $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Biogênico – originado pela fixação de minerais pela biota.	Calcite, opalina, sílica, aragonita, matéria orgânica, etc.	$\text{CaCO}_3$ , $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , $\text{CaCO}_3$ .
Antropogênica – originado dos processos produtivos industriais e agrícolas.	Miscelânea de minerais, argila, areia, matéria orgânica, etc.	Mistura de compostos vários de acordo com a ocupação demográfica e economia local.

Os sedimentos em suspensão nos rios são oriundos de misturas provenientes de diferentes fontes (atmosfera, biosfera e pedosfera), e podem ser definidos como misturas complexas compostas por quatro componentes principais: argilominerais silicatados, matéria orgânica e óxidos de ferro e manganês (FORSTNER; WITTMANN, 1981).

Solos e sedimentos são misturas complexas de fragmentos de minerais e produtos de decomposição, com componentes diferentes, tanto a composição química quanto no tamanho (Figura 1). Eles são derivados de rochas da litosfera, que sob a influência do sol, vento, chuva e temperaturas extremas se desintegram mecanicamente e quimicamente (PICKERING, 1986).



**FIGURA 2.** Representação esquemática de frações em solos/sedimentos e produtos de intemperismo.

Uma vez originado, o sedimento raramente fica onde está sendo produzido; uma proporção significativa de sedimento é transportado por rios, representando o solo erodido, cuja magnitude proporciona uma medida da degradação e da redução associada no recurso global do solo (WALLING; FANG, 2003).

Sedimentos transportados são depositados em baixadas, planícies costeiras, águas rasas ou no oceano, e representa um caminho importante dentro do ciclo geoquímico global especialmente dos elementos P, Mn, Ni, Cr, Pb, Fe e Al (GORE, 2010).

Em ambientes fluviais, são encontrados sedimentos de diferentes tamanhos granulométricos, natureza mineralógica e composição orgânica, em função da variação do ambiente onde se encontram (geologia, relevo, uso do solo, ação antrópica). Geralmente, próximo às nascentes, a calha fluvial é

composta em sua maioria, por sedimentos grosseiros e fragmentos de rochas, enquanto que nos trechos inferiores da bacia, os sedimentos mais finos são predominantes.

### **2.3. Importância dos Sedimentos nos Ambientes Aquáticos**

Nos ambientes aquáticos, os sedimentos refletem a interação entre a água e contaminantes presentes. Deste modo, o sedimento de fundo pode ser considerado um reservatório de nutrientes para os demais compartimentos em função do acúmulo de elementos químicos. Nesse caso, os sedimentos mais finos, argilosos, ricos em nutrientes e matéria orgânica são os principais adsorventes de metais presentes no meio aquático (POLETO et al., 2008).

Em sua maioria, os sedimentos são depositados nos rios, lagos e reservatórios, por vários anos. O tamanho das partículas e sua superfície influenciam na adsorção e retenção de contaminantes e, à medida em que a granulometria diminui, ocorre o aumento nas concentrações de nutrientes e de contaminantes no sedimento (BEVILACQUA, 1996).

As substâncias adsorvidas ou quimicamente ligadas aos sedimentos finos ou na forma de coloides, podem ser transportadas pelas correntes, permitindo que sedimentos poluídos passem a se comportar como uma fonte secundária de poluição (GUEVARA-RIBAS et al., 2004). Devido às condições ambientais e físico-químicas (pH, potencial redox e ação microbiana) a liberação dessas espécies do leito do sedimento podem contaminar a água e outros sistemas ambientais, afetando a sua qualidade e podendo levar à bioacumulação e transferência na cadeia trófica (LOUREIRO et al., 2012).

STUM; MORGAN (1996) destacam que as concentrações dos elementos-traços em sistemas aquáticos é consequência de: (a) geoquímica das rochas de origem e solos da bacia hidrográfica (metais liberados pelo intemperismo); (b) poluição antropogênica (derivada de resíduos ou da deposição de atmosférica); (c) reações químicas (adsorção em partículas e outras superfícies e deposição nos sedimentos).

Como consequência dessas alterações, a fração mineral pode interagir com os contaminantes por atração eletrostática e adsorção, sendo que a fração orgânica é capaz de imobilizá-los por reações de complexação. O contaminante

na fase dissolvida circulará, dependendo do equilíbrio com a fase particulada, podendo receber contribuições importantes de águas intersticiais contaminadas no leito do sedimento (POLETO et al., 2008).

#### **2.4. Geoquímica dos elementos químicos e importância ambiental**

As técnicas de exploração geoquímica contribuem para a compreensão dos processos de migração, dispersão e concentração dos elementos químicos, especialmente de interesse ambiental. O conteúdo dos elementos químicos em solos e sedimentos é controlado por vários fatores, tais como a sua composição mineralógica e química, clima, vegetação, hidrografia e relevo. Estes fatores atuando em conjunto irão modificar a mobilização, a migração, a dispersão e a concentração dos elementos químicos no meio (LICHT et al, 2006).

Os metais podem estar ligados aos componentes do solo de diferentes maneiras, desde aquelas adsorvidas fisicamente e fracamente ligadas, até aquelas fixadas com alta energia, compondo a estrutura do mineral. Como o solo e o sedimento são formados por diferentes componentes (minerais e orgânicos), a concentração total de qualquer elemento poderá estar dispersa e distribuída entre esses componentes e ligados a eles de formas diferentes (FERREIRA et al., 2001).

Em sedimentos, os metais podem existir em diferentes formas: solúvel, trocável, ligado a matéria orgânica, ligado a óxidos/hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, carbonatos, fosfatos, sulfatos (ou outros minerais secundários), ou ligado a silicatos (DEVESA-REY et al., 2010).

Dessa forma, a dinâmica entre as diferentes frações geoquímicas é o alicerce fundamental para o entendimento da biodisponibilidade e facilidade de liberação ao meio ambiente dos diferentes metais, contribuindo para a avaliação ambiental. Assim, a forma que um elemento metálico é encontrado no ambiente é determinante quanto ao efeito que irá exercer sobre a comunidade. Daí a importância de determinar não somente seu teor total, mas sua concentração nas frações geoquímicas do solo ou do sedimento (MORILLO, 2007; KARBASSI et al., 2010).

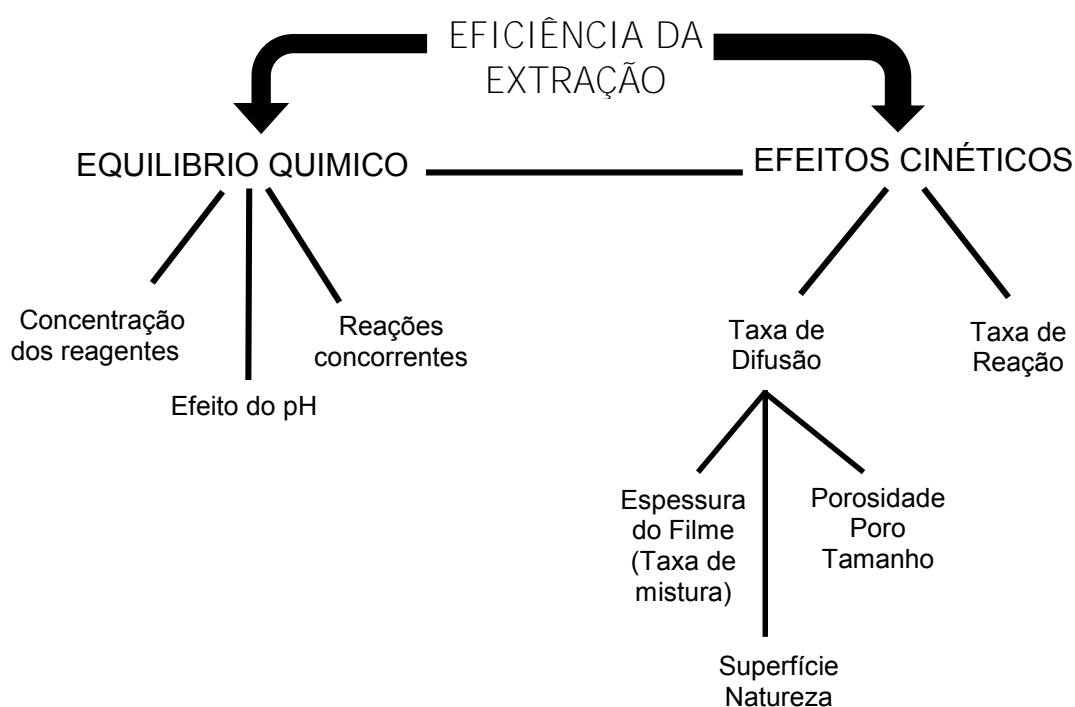
Para a quantificação dos metais nas frações podem ser empregadas técnicas de ataque químico seletivo ou fracionamento geoquímico. A função do

fracionamento geoquímico é auxiliar na identificação das fontes de metais-traço bem como avaliar a ocorrência e remobilização de estoques de contaminantes nos sedimentos e nos solos (SOTO-JIMENEZ; PAEZ-OSUNA, 2001).

## 2.5. Metodologias para extração de elementos-traços em sedimentos

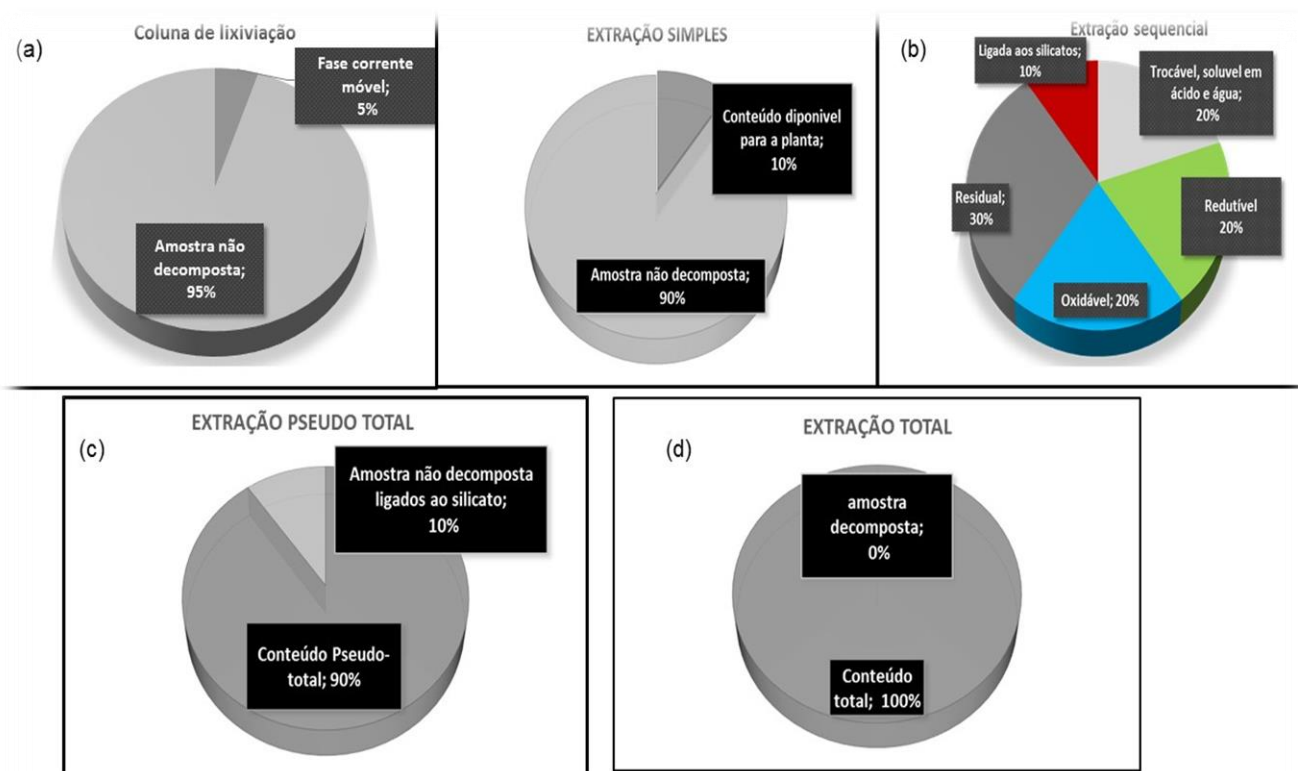
Os métodos de extração têm como princípio usar uma série de reagentes para solubilizar sucessivamente as diferentes substâncias existentes nos sedimentos. Geralmente, os extratores são eletrólitos inertes, ácidos fracos, agentes redutores, agentes oxidantes e ácidos minerais fortes (BACON; DAVIDSON, 2008).

Em muitos procedimentos de extração, alguns fatores devem ser considerados relevantes no planejamento da extração (Figura 2), pois alguns parâmetros experimentais requerem controle (temperatura, tempos de mistura, relação sedimento:extrator utilizado).



**FIGURA 3-** Representação esquemática de alguns fatores a serem considerados quando se planeja extração de elementos-traços (modificado de PICKERING, 1981)

RAO et al., (2008) revisaram os métodos aplicados em geoquímica ambiental para extração de metais em sedimentos e solos, e destacam diferenças entre as principais técnicas disponíveis, tais como: (a) lixiviação/extração simples; (b) extração sequencial; (c) extração pseudo-total e (d) digestão total (Figura 4).



**FIGURA 4-** Diferentes metodologias aplicadas na determinação de metais traços em solo e sedimentos. (Modificado de RAO et. al., 2008)

Cada tipo de extração é utilizado para avaliar o nível de contaminação das águas a partir dos sedimentos, enfatizando as diferentes frações mineralógicas dos compartimentos e simular variações ambientais naturais que possam estar sujeitos (RAO et al., 2008).

Muitos reagentes extratores têm sido propostos na literatura (DEVESAREY et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2011); a Tabela 2 expressa de forma resumida os agentes de extração mais utilizados, indicando a fração extraível com os quais eles estão associados.



**Tabela 2 .** Agentes de extração e as fases relacionadas (SHAUQUILLO et.al., 2003)

Metal traço liberado	Agente extrator	Observações
Solúvel em água	H <sub>2</sub> O	Baixa capacidade tampão
Trocável (ligados eletrostaticamente fraco)	0,01 –0,1 mol L <sup>-1</sup> CaCl <sub>2</sub> 1 mol L <sup>-1</sup> CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> (pH 7) 0,1 mol L <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> 0,1 mol L <sup>-1</sup> de Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 0,1 mol L <sup>-1</sup> NaNO <sub>3</sub> 0,3 mol L <sup>-1</sup> AlCl <sub>3</sub> 0,1 mol L <sup>-1</sup> BaCl <sub>2</sub> 1 mol L <sup>-1</sup> de MgCl <sub>2</sub> 1 mol L <sup>-1</sup> de Mg (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (pH 7)	Soluções tamponada (pH forçado) ou não tamponadas (pH do extrator depende principalmente do pH do solo ou de sedimento)
Sensível aos processos de acidificação (por exemplo, ligados a carbonatos)	0,43 mol L <sup>-1</sup> CH <sub>3</sub> COOH 0,11 mol L <sup>-1</sup> CH <sub>3</sub> COOH 0,1 - 1 mol L <sup>-1</sup> de HCl 1 mol L <sup>-1</sup> CH <sub>3</sub> COONa (pH 5, CH <sub>3</sub> COOH)	Não recomendado para solos calcários
Sensível aos processos de complexação (por exemplo, as fases não-silicato obrigado)	0,01-0,05 mol L <sup>-1</sup> de EDTA 0.005 mol L <sup>-1</sup> DTPA (para solos calcários) CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> -CH <sub>3</sub> COOH/EDTA	De amônio ou de sódio sais de agentes complexantes
Facilmente ou moderadamente redutível	0,1-0,5 mol L <sup>-1</sup> NH <sub>2</sub> OH.HCl (pH 1,5, HNO <sub>3</sub> ) (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Reagentes capazes de diminuir o potencial de redução do sistema
Ligados a matéria orgânica e enxofre	8,8 mol L <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +1 mol L <sup>-1</sup> CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> (pH 2, HNO <sub>3</sub> ) 0,7 mol L <sup>-1</sup> de hipoclorito de sódio (pH 9,5) K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ou Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	

### 2.5.1 Técnicas de extração sequencial

A extração sequencial, conhecida como fracionamento químico segundo a definição recente da *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), se baseia no uso racional de uma série de reagentes seletivos escolhidos para solubilizar sucessivamente as diferentes frações químicas e mineralógicas do solo/sedimento, responsáveis por reterem a maior parte dos elementos metálicos no ambiente (GLEYZES et al., 2002).

No entanto, HASS; FINE, (2010) destacam algumas desvantagens da extração sequencial: (a) A fração total do metal extraído por qualquer técnica de extração parcial irá depender do tipo de amostra utilizada; (b) Readsorção pode ocorrer a um pH neutro possivelmente pela dissolução dos carbonatos; (c) A utilização de único reagente não permite a dissolução de todas as formas lábeis orgânicas e inorgânicas, sem também atacar as formas residuais.

Então, apesar de existir um grande número de procedimentos de extração sequencial, a reprodutibilidade dos resultados não é completamente alcançada, pois eles variam de acordo com a natureza da matriz sólida, seja o solo ou o sedimento. Essas variações podem ser atribuídas à complexidade das matrizes sólidas no que se refere à distribuição de tamanhos de partículas, diferentes níveis de cristalização de minerais, quantidades de cargas positivas e negativas (FERREIRA; SANTANA, 2012).

Além disso, os diferentes procedimentos de extração não são sempre seletivos (HLAVAY et.al., 2004). Isso ocorre porque os reagentes químicos podem alterar a especiação um elemento traço nativo, ou seja, a escolha dos extratores, soluções de lixiviação menos potentes serão, provavelmente mais seletivos para frações específicas do que os reagentes mais severos, podendo atacar outras formas químicas do metal (DEVESA-REY et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2011). Embora o uso de extrações sequenciais, consuma tempo, informações detalhadas são fornecidas sobre origem, modo de ocorrência, disponibilidade biológica e físico-química, mobilização e transporte de metais traço em sedimentos (TOKALIOGLU et al., 2000).

Os extratores parciais dos esquemas de extração sequencial podem ser classificados em concentrados de eletrólitos inertes, ácidos fracos, agentes redutores, agentes complexantes, agentes oxidantes e ácidos minerais fortes, onde cada extrator sequencialmente adicionado tem uma ação química mais drástica e de diferente natureza que o anterior (LIMA et.al., 2001).

Existe uma gama de métodos de extração sequencial na literatura (ROSS; SUTHERLAND, 2010), e os dois protocolos mais utilizados são: o método Tessier (TESSIER et al., 1979) e o método BCR (Comunidade Bureau of Reference of o Europeu Comissão) (RAURET al., 1999).

Os tipos de extratores que podem ser utilizados para matrizes sólidas e suas frações estão na Tabela 3 (DAS et al., 1995, PENG et al., 2009).

**Tabela 3** – Procedimentos de extração seqüencial comumente utilizados para a extração de vários componentes de solos e sedimentos (Adaptado de DAS et al., 1995).

Fração	Extrator	Referência
<b>Trocável</b>	MgCl <sub>2</sub>	Tessier et al. (1979)
	NH <sub>4</sub> Ac / CaCl <sub>2</sub>	Kersten e Forstner (1986) / Hirner et al. (1990)
	KNO <sub>3</sub>	Miller e McFee (1983) / Sposito et al. (1982)
	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Shuman e Hargrove (1985)
<b>Carbonácea</b>	NaOAc e HAc	Tessier et al. (1979)
	NaAc e HAc	Kersten e Forstner (1986)
	EDTA	Miller e McFee (1983)
	HNO <sub>3</sub>	Sposito et al. (1982)
<b>Oxídica (óxidos de Fe e Mn)</b>	NH <sub>2</sub> OH.HCl e HAc (Fe e Mn)	Tessier et al. (1979) / Shuman e Hargrove (1985)
	NH <sub>2</sub> OH.HCl e HNO <sub>3</sub> (Mn)	Kersten e Forstner (1986) / Miller e McFee (1983)
	Tampão de oxalato (Fe)	Kersten e Forstner (1986)
	NaHCO <sub>3</sub> e H <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (Fe cristalino)	Miller e McFee (1983)
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>x</sub> (Fe)	Shuman e Hargrove (1985)
	Tampão de Oxalato e Ácido Ascórbico (Fe cristalino)	Shuman e Hargrove (1985)
<b>Orgânica</b>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / HNO <sub>3</sub> / NH <sub>4</sub> AC	Tessier et al.(1979) / Kersten e Forstner (1986)
	Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Miller e McFee (1983)
	NaOCl	Shuman e Hargrove (1985)
	EDTA	Sposito et al. (1982)
	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> /CH <sub>3</sub> OH	Hirner et al. (1990)
<b>Sulfídrica</b>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / HNO <sub>3</sub> / NH <sub>4</sub> Ac	Tessier et al. (1979) / Kersten e Forstner (1986)
	HNO <sub>3</sub>	Miller e McFee (1983) / Sposito et al. (1982)
<b>Residual</b>	HF e HClO <sub>4</sub>	Tessier et al. (1979) / Kersten e Forstner (1986)
	HF / HClO <sub>4</sub> / HNO <sub>3</sub>	Kersten e Forstner (1986)
	HNO <sub>3</sub> / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Miller e McFee (1983)
	HCl / HF / HNO <sub>3</sub>	Schuman e Hargrove (1985)

As frações extraíveis dos metais podem ser assim identificadas:

- **Fração trocável:**

Essa fração inclui metais fracamente adsorvidos, retidos na superfície sólida por interações eletrostáticas relativamente fracas, metais que podem ser liberados através de processos de troca iônica (LIMA et al., 2001; ALLEONI et al., 2005, RAO et al., 2008). O processo de troca iônica pode ser representado por:  $R-Me^{+2} + Mg^{+2} \leftrightarrow R-Mg^{+2} + Me^{+2}$

O fenômeno da troca iônica é reversível, controlado pela difusão iônica, é estequiométrico e na maioria dos casos, há seletividade ou preferência de um íon pelo outro (ALLEONI et al., 2005).

Os reagentes mais utilizados são as soluções salinas neutras ( $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$ ,  $KNO_3$  ou mesmo  $NH_4OAc$ ) (ALLEONI et al., 2005; ZIMMERMAN; WEINDORF, 2010; HASS; FINE, 2010; KALINA et al., 2013). Estes reagentes não atacam a matéria orgânica, silicatos ou sulfetos metálicos, porém pode ocorrer uma ligeira dissolução dos carbonatos, exceto quando o tempo de extração é curto. O extrator mais popular é o  $MgCl_2$  1 mol  $L^{-1}$ , que combina a forte capacidade do  $Mg^{+2}$  com a fraca complexação do  $Cl^-$ . Entretanto,  $Ca^{+2}$  tem sido mais eficaz que o  $Mg^{+2}$  na remoção dos íons relacionados a fração trocável (GLEYZES et.al, 2002).

- **Fração ligada a carbonatos:**

Nesta fração, os elementos estão ligados por forças covalentes, que por sua vez apresenta uma relação direta com o pH dificultando o deslocamento dos metais como na fração anterior (ALLEONI et al., 2005).

Os metais são precipitados ou co-precipitados com aumento de pH e são solubilizados com a diminuição do pH, onde os carbonatos atuam com adsorvente (BACON; DAVIDSON, 2008; RAO, 2008). Portanto, o uso de soluções-tampão (pH = 5,0) é necessário nesta extração (BEVILACQUA et al., 2009; HASS; FINE, 2010; OKORO et al., 2012).

- **Fração Redutível ou Oxídica:**

Nesta fase ocorre a dissolução dos óxidos e hidróxidos de ferro e manganês (ZIMMERMAN; WEINDORF, 2010) sendo necessário o controle do pH e do potencial de redução (GLEYZES et al., 2002).

Estes óxidos estão em uma grande proporção em solos e sedimentos, são termodinamicamente instáveis em circunstâncias anóxicas, e são atacados por organismos bentônicos (animais que vivem no fundo de lagos e rios). A redução dos óxidos de Fe e Mn sob condições anóxicas e suas subsequentes dissoluções, pode liberar os metais traço adsorvidos.

FERREIRA; SANTANA (2012) enfatizam que a fração redutível pode ser dividida em três: facilmente redutível (óxidos de manganês); moderadamente redutível (óxidos de ferro amorfos); e pobremente redutível (óxidos de ferro cristalinos). Até o momento, esta classificação é abordada em alguns esquemas de extração sequencial, pois permitem diferenciar os metais associados aos óxidos de Fe-Mn (KRISHNAMURTI et al., 1995; FILGUEIRA et al., 2002; PENG et al., 2009).

Cloridrato de hidroxilamina em meio ácido moderado é o reagente mais usado para a extração da fração facilmente redutível, pois é capaz de quebrar as ligações entre os metais e óxidos de ferro mal cristalizados e amorfos, sem atacar os silicatos e nem a matéria orgânica. Outro reagente bastante seletivo para dissolver óxidos de ferro amorfos é o tampão ácido oxálico/oxalato de amônio no pH 3,0. Tal reagente tem sido usado em alguns esquemas para extração da fração moderadamente redutível, sendo vantajoso sobre o cloridrato de hidroxilamina (FERREIRA; SANTANA, 2012).

Já para solubilizar os óxidos de ferro bem cristalizados, o ditionito de sódio é outro agente redutor forte em pH entre 7,0 e 8,0. Para tanto, utiliza-se solução de citrato de sódio/ditionito de sódio, com adição de  $\text{NaHCO}_3$ , ajustando o pH para 7,3 a uma temperatura de extração de 80 °C (GLEYZES et al., 2002).

- **Fração Oxidável ou Orgânica e Sulfídrica:**

Processos de dragagem de sedimentos expõem o material a um ambiente oxidante, propiciando a transformação de sulfetos em sulfatos, num processo que leva à geração de um meio ácido, aumentando a disponibilidade de alguns metais (FAGNANI et al., 2011). Já o processo de degradação da matéria

orgânica, em condições oxidantes, pode levar à liberação de metais solúveis, como os metais ligados a sulfetos (PENG et al., 2009; KALINA et al., 2013).

Simulando essas condições ambientais, nesta fração são utilizados agentes oxidantes, principalmente Peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) em meio ácido moderado (ácido ascórbico), ou em meio alcalino associado ao hipoclorito de sódio (NaOCl) em pH = 9,5 ou com pirofosfato de sódio ou de potássio ( $Na_4P_2O_7/K_4P_2O_7$ ) em pH =10 (SUTHERLAND et al., 2000; RAO et al., 2008; FERREIRA; SANTANA, 2012).

O peróxido de hidrogênio é o reagente mais usado para dissolver a matéria orgânica, pois provoca um ataque efetivo e produz uma alteração mínima nos silicatos quando aquecido. Entretanto, apresenta desvantagem da readsorção de metais na fração residual, requerendo extração adicional com acetato de amônio em pH =2 (FERREIRA; SANTANA, 2012).

- **Fração Residual:**

Constitui a fração composta por minerais silicatados contendo metais no retículo cristalino. Sua extração é alcançada através de digestão com ácidos fortes (HF/HCl/HClO<sub>4</sub>/HNO<sub>3</sub>) para liberar os metais ligados ao mineral (HLAVAY et al., 2004; RAO et al., 2008; PENG et al., 2009; KALINA et al., 2013).

A água régia (HCl/HNO<sub>3</sub>) dissolve vários sulfetos (de As, Se, Te, Bi, Fe e Mo) e ainda decompõe completamente os óxidos de Fe, Mn, Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> e a maioria dos sulfatos, excetuando o de Ba (MUDROCH, 1995). Entretanto, OKORO et al. (2012) destacam que a digestão em ácido forte, tal como água régia (HCl/HNO<sub>3</sub>), não dissolve a matriz dos silicatos tanto quanto a mistura de ácidos HF/HCl/HClO<sub>4</sub>.

A quantidade de metais associados a esta fração é determinada pela a diferença entre a concentração total e o somatório das frações de metais extraídos durante as etapas anteriores (TESSIER et al., 1979; GLEYZES et al., 2002; HLAVAY et al., 2004; RAO et al., 2008; BEVILACQUA et al., 2009; NEMATI et al., 2011). Por isso, a fase residual é utilizada para estimar a quantidade máxima de elementos que são potencialmente mobilizáveis com as mudanças das condições ambientais.

### 2.5.1.1 Método BCR (European Community Bureau of Reference):

A fim de elucidar a técnica de extração sequencial foi introduzido o primeiro procedimento padrão de extração sequencial *Community Bureau of Reference* (BCR) da *European Standards, Measurements and Testing Programme*, em 1993, para investigação de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em sedimentos (URE et al., 1993).

O procedimento BCR foi desenvolvido na tentativa de padronizar procedimentos de extração sequencial entre laboratórios, e disponibilizar um material de referência certificado (KALHORI et al., 2012), sendo empregado principalmente no estudo da mobilidade e da biodisponibilidade de metais em sedimentos (REID et al., 2011).

O procedimento envolve quatro etapas sequenciais (ácido-solúvel, redutível, oxidável e residual) e propõe uma modificação no esquema proposto por TESSIER (1979). Com o propósito de minimizar a readsorção e co-precipitação, o método BCR utiliza baixos valores de pH e alta proporção entre líquido/sólido (URE et al., 1993; GLEYZES et al., 2002; HLAVAY et al., 2004).

A primeira etapa do método BCR é para a determinação dos metais solúveis em água e ácido fraco, metais trocáveis e fracamente retidos na superfície dos sedimentos, pela extração com solução de ácido acético  $0,11 \text{ mol L}^{-1}$ ; a segunda etapa determina os metais ligados aos óxidos de ferro e manganês, instáveis em condições redutoras por mudanças no potencial redox (Eh), utilizando cloridrato de hidroxilamina a pH 2 ao resíduo da 1ª etapa; na terceira etapa ocorre a degradação da matéria orgânica sob condições oxidantes, com o desprendimento dos metais ligados a sulfetos e complexados na matéria orgânica, e para tanto, faz-se uso de agente oxidante como o peróxido de hidrogênio  $8,8 \text{ mol L}^{-1}$  e acetato de amônio  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , pH 2; a quarta e última etapa do procedimento BCR é a digestão total do resíduo das etapas anteriores, com mistura de ácidos fortes  $\text{HNO}_3$  e HF.

### **2.5.1.2 Método Tessier:**

Este método foi criado inicialmente para determinação de metais em sedimentos, mas teve seu uso estendido para solos contaminados. O procedimento de Tessier et al. (1979) foi desenvolvido para separar metais traço em cinco frações operacionalmente definidas: trocável, carbonácea, oxidável, redutível e residual.

Essas frações são obtidas por dissolução da amostra em reagentes sequenciais, em condições operacionalmente definidas. Para extração da fração trocável, emprega-se  $\text{MgCl}_2$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ , à temperatura ambiente; a fração dos metais ligados aos carbonatos é extraída com acetato de sódio 1 mol  $\text{L}^{-1}$  pH = 5; os metais ligados aos óxidos de Fe e Mn na fração redutível são extraídos com cloridrato de hidroxilamina em ácido acético sob aquecimento; a fração orgânica é atacada com peróxido de hidrogênio acidificado com  $\text{HNO}_3$  a pH = 2, sob aquecimento; e por fim, a fração residual dos metais é extraída com uma mistura de ácidos ( $\text{HF}$  e  $\text{HClO}_4$ ) a quente.

### **2.5.2 Técnicas de extração pseudo-total**

A digestão em ácidos fortes como ácido nítrico, ácido clorídrico ou água régia não dissolvem a matriz de silicatos do sedimento, e pode ser uma estimativa dos montantes máximos de elementos que são potencialmente mobilizáveis com as mudanças das condições ambientais (MARINS, 2011; OKORO et al., 2012). Desta forma, a digestão pseudo-total é uma ferramenta útil na avaliação do risco potencial a longo prazo de metais tóxicos na biosfera.

A digestão com água régia é o procedimento mais utilizado (ISO, 1995), e tem sido usada como procedimento de referência na preparação de materiais de referência de solo e sedimento certificados.



## 2.6. Risco ambiental de elementos-traços em sedimentos

Os sedimentos são reservatórios de metais potencialmente tóxicos (MOUNTOURIS et al., 2002), liberando essas substâncias para a coluna d'água, em função de alterações nas condições físico-químicas do meio (pH, oxigênio dissolvido, potencial redox, ação de bactérias entre outros). Dessa forma, em sistemas aquáticos, os metais podem depositar-se no sedimento e atingir concentrações altas o suficiente para tornarem-se um risco à biota. Este risco está diretamente ligado à biodisponibilidade do metal (NASCIMENTO, 2003).

Metais como o Cu, Pb, Zn e Cd constituem sérios risco para a saúde dos ecossistemas aquáticos, devido sua toxicidade a curto e a longo prazo (FORSTNER; WITTMANN, 1983). Essas acumulações têm o potencial de causar impactos ambientais indesejáveis, tais como toxicidade fito e microbiana na cadeia alimentar e contaminação das águas subterrâneas (BOGHAL et al., 2003).

A contaminação por metais em sedimentos é conhecida pelas diversas formas químicas e distribuição nas diferentes fases do sedimento, podendo condicionar sua maior ou menor mobilidade e, portanto, seu impacto sobre o ecossistema (RAO et al., 2008). Segundo OLIVEIRA et al. (2006), dentre os diferentes tipos de formas químicas em que os elementos podem ser encontrados em águas naturais, podemos citar: (a) íons livres (hidratados); (b) complexos inorgânicos dissolvidos; (c) complexos orgânicos dissolvidos; (d) metais adsorvidos em coloides ou material em suspensão.

A mobilidade dos metais está relacionada à sua forma geoquímica, obtida nas diferentes etapas da extração sequencial, em ordem de disponibilidade/mobilidade: metais trocáveis > metais ligados a carbonatos > metais ligados a óxidos de Fe e Mn > metais ligados à matéria orgânica > metais ligados à fração residual silicática.

Essa ordem de mobilidade está ligada às características próprias de cada fração geoquímica: os óxidos de ferro e manganês possuem características importantes para retenção dos metais traço como elevada área superficial e capacidade de troca catiônica; a matéria orgânica dos sistemas aquáticos é em grande parte formada pelas substâncias húmicas e fúlvicas cujos grupos funcionais carboxílicos, fenólicos, alcoólicos e carbonílicos são responsáveis

pela complexação de metais; as argilas exercem importante papel na imobilização de metais em sedimentos; os sulfetos possuem a capacidade de combinar-se com metais, formando precipitados insolúveis (ZAGATTO, 2006). Essas interações entre os metais e as frações geoquímicas do sedimento se dão por meio das reações de adsorção, precipitação, co-precipitação e complexação.

Segundo COSTA et al. (2002), o potencial iônico obtido pelo quociente da carga iônica pelo raio iônico do elemento, é uma variável que influencia na mobilidade química: elementos com baixo potencial iônico (Cu, Pb, Zn, Cd e Ag) são solúveis como simples cátions; elementos com potencial iônico intermediário (Ti e Sn) são imóveis em virtude de sua baixa solubilidade e forte tendência à adsorção em superfícies; já elementos com potenciais iônicos muito elevados combinam-se com o oxigênio e formam oxianions solúveis ( $\text{PO}_4^{-2}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{MoO}_4^{-2}$ ). Diferenças no estado de oxidação também resultam em mobilidades diferentes, influenciando a química de muitos elementos no ambiente superficial.

Diferentes ferramentas são utilizadas para avaliar o risco ambiental dos metais em sedimentos, e uma delas é o índice Fator de Mobilidade Individual do metal (Fmi) utilizado por KABALA; SINGH (2001). Altos valores para o fator de mobilidade têm sido interpretados como indicativos de alta biodisponibilidade de metais pesados em solos e sedimentos (MA; RAO, 1997). Este índice é obtido a partir das concentrações dos metais obtidas nas frações geoquímicas da extração sequencial, sendo calculado através da fórmula:

$$\text{Fmi} = \left[ \frac{\text{fração disponível}}{\Sigma \text{frações}} \right] \times 100 \quad (\text{eq. 1})$$

A fração disponível corresponde à fração trocável ou solúvel em água dos esquemas de extração sequencial. A fração solúvel/trocável presente na maioria dos procedimentos de extração sequencial é considerada a mais móvel e biodisponível.

## 2.7. Qualidade da água

A avaliação da qualidade ambiental está relacionada com a ocupação desordenada urbana e rural, as quais promovem a degradação e poluição dos corpos d'água, ocasionando riscos à saúde e ao ambiente (MARQUES, 2006).

PORTO et al. (1991) destacam que a ação antrópica sobre o meio aquático é a responsável pela maioria das alterações nos recursos hídricos, afetando a qualidade da água. A Resolução nº 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (CONAMA, 2005) dispõe sobre os níveis de qualidade das águas naturais do território brasileiro, determinando os parâmetros de classificação, segundo o uso. Essa Resolução determina que o conjunto de parâmetros de qualidade de água selecionado para subsidiar a avaliação de um corpo hídrico deverá ser monitorado periodicamente, cujos resultados deverão ser analisados estatisticamente e as incertezas de medição devem ser consideradas.

A degradação da qualidade dos recursos hídricos está relacionada a diversas causas, dentre elas: a) áreas de recarga ocupadas por atividades agropecuárias; b) uso da terra de maneira inadequada, proporcionando erosão dos solos; c) eliminação da vegetação nativa nas áreas de preservação permanente e substituição por culturas agrícolas, pastagens ou mesmo construção de casas; d) despejo de efluentes domésticos; e) disposição indevida de resíduos sólidos ou domiciliares nas proximidades ou diretamente nos cursos d'água (DAVIDE et al., 2004).

A complexidade e variedade de ambientes aquáticos, especialmente na sub-região do Pantanal de Poconé, aliada às variações anuais e plurianuais no nível e área de inundação/alagamento são comuns no Pantanal (HAMILTON et al., 1999; MOURÃO et al., 2002). Essa alternância entre anos mais úmidos com anos mais secos influencia a disponibilidade e a qualidade da água dos rios dessa região.

A qualidade da água de um manancial pode ser avaliada em termos numéricos por meio do cálculo de um índice, denominado IQA (Índice de Qualidade de Águas). Em geral, um Índice de Qualidade de Água (IQA) é um número adimensional que varia de 0 a 100, que exprime a qualidade da água para os diversos fins (LIBÂNIO; LOPES, 2009). Esse número é obtido da

agregação de dados físico-químicos, bacteriológicos, químicos por meio de metodologias específicas (DERÍSIO, 1992).

Dentre as aplicações mais relevantes do IQA, estão a redução da quantidade de dados para o estudo de fenômenos ambientais, a identificação de problemas de qualidade de água que demandem estudos especiais e seu uso como instrumento para gestão de recursos hídricos (LEITE; FONSECA, 1993). Dessa forma, o IQA é utilizado para determinar a qualidade da água nos pontos amostrados bem como fazer a comparação entre eles, identificando a variável crítica em cada ponto.

O IQA foi desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF) (BROWN et. al., 1970; MOREIRA; RIBEIRO, 2001; FLORES, 2002) com base no método DELPHI (da *Rand Corporation*), uma técnica de pesquisa de opinião que pode ser utilizada para extrair informações de um grupo de profissionais, buscando uma maior convergência nos dados dos parâmetros (PHILIPPI, 2004).

Esse índice incorpora parâmetros considerados relevantes para a avaliação da qualidade das águas, e é obtido pela seguinte fórmula:

$$IQA = \sum q_i^{w_i} \quad (\text{eq. 2})$$

Sendo:

$q_i$  = qualidade do parâmetro  $i$  obtido através da curva média específica de qualidade.

$w_i$  = peso atribuído ao parâmetro

$i$  = número de ordem do parâmetro (1 a 9)

Os parâmetros selecionados para o cálculo do IQA foram: temperatura, OD, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), pH, turbidez, sólidos totais, coliformes fecais, fosfato total e nitrato. O IQA varia de 0 a 100, sendo que quanto maior o valor do IQA, melhor é a qualidade da água.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

---

#### 3.1 Caracterização da área de Estudo

Este estudo foi realizado no Pantanal de Poconé, sub-região do Pantanal norte mato-grossense, na bacia hidrográfica do rio Bento Gomes, dreno coletor principal das microbacias onde se localizam os garimpos de ouro do município de Poconé.

Várias sub-bacias drenam para o Rio Paraguai, entre elas a do Rio Bento Gomes (Figura 5), que engloba os municípios de Poconé e Nossa Senhora do Livramento. O rio Bento Gomes e seus afluentes drenam toda essa região natural, às vezes, conectados por inúmeros corixos, lagoas e baías entre si, mesmo com as outras regiões naturais.



**Figura 5** – Região do Rio Bento Gomes, Pantanal de Poconé – MT  
(Fonte: arquivo pessoal)

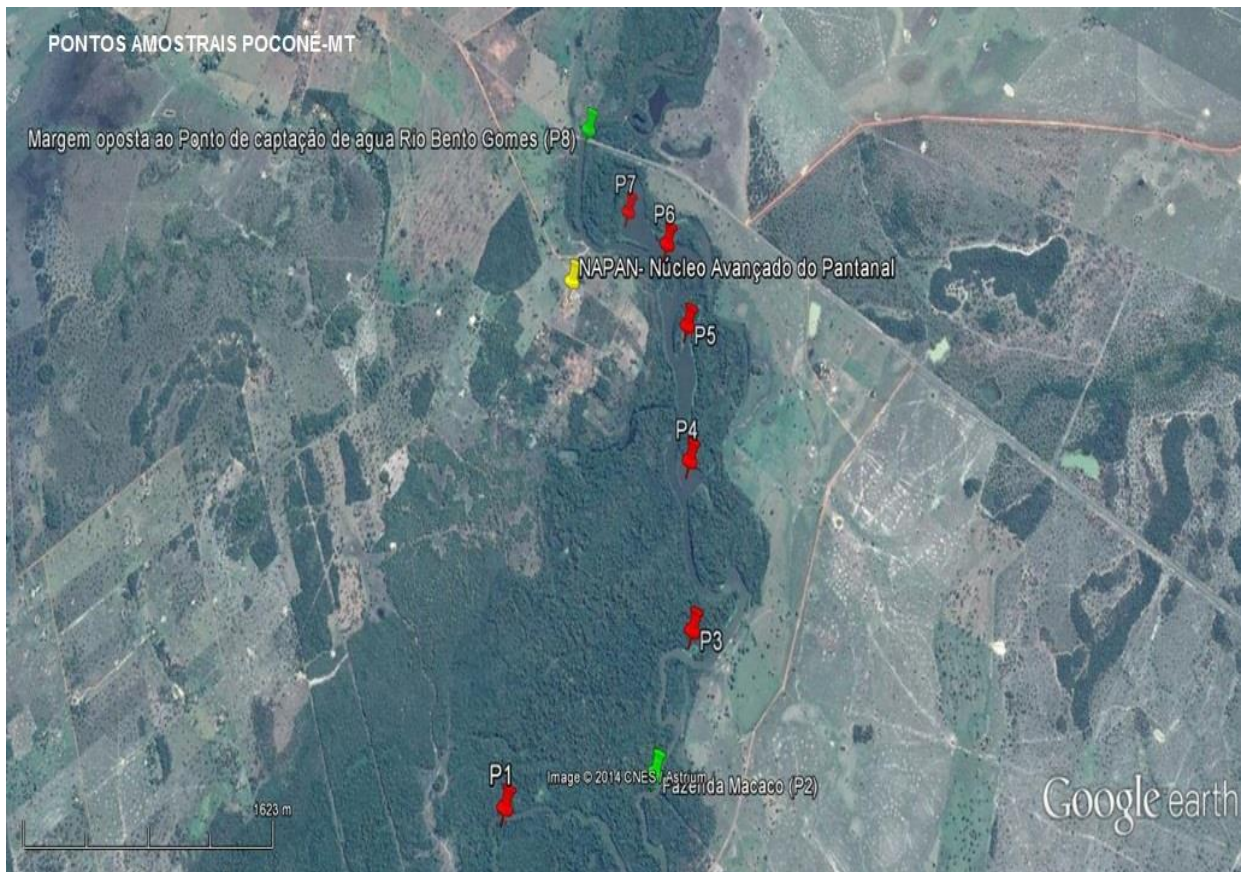
A região de Poconé está inserida numa faixa de transição entre a Depressão Cuiabana e a Planície do Pantanal mato-grossense. O município de Poconé situa-se na região do alto rio Paraguai, borda setentrional do Pantanal mato-grossense, distante 100 km a sudoeste da capital Cuiabá. A ocupação de suas terras remonta há mais de 300 anos, interferindo de forma significativa no estado de conservação e estrutura das vegetações.

As grandes ameaças à integridade do Pantanal remontam-se dos planaltos circundantes: processos erosivos, ou seja, assoreamento de rios pela entrada de sedimentos e a contaminação rios através de defensivos agrícolas e resíduos da extração de ouro (MORAES et.al., 2000).

### **3.2 Pontos de amostragem**

O ponto de partida para a amostragem foi nas dependências do Instituto Federal de Mato Grosso, no Núcleo de Estudos Avançados do Pantanal (NAPAN), a aproximadamente 10 Km do centro de Poconé, onde o rio Bento Gomes passa ao fundo. As coordenadas geográficas do campus nas margens do rio apresentam latitude 16° 19' 22,5" ao sul e longitude 56° 32' 41,5" a oeste, em uma altitude de 140 metros.

Foram demarcados oito pontos de coleta de sedimento, localizadas desde o cruzamento do Rio Bento Gomes com a Estrada Parque Poconé-Porto Cercado (MT-370). A escolha dos pontos de amostragem foi feita por meio de uma caracterização preliminar dos níveis de concentração de elementos químicos nos sedimentos recentemente depositados, uma vez que não há informações prévias sobre a qualidade dos sedimentos no rio (Figura 6).



**Figura 6** - Localização dos pontos de coleta ao longo do Rio Bento Gomes.

Em cada ponto selecionado foram coletadas três amostras de sedimento em áreas de remanso, onde a menor energia do sistema fluvial favorece o depósito de material mais fino e, portanto, de maior interesse para avaliação ambiental do comportamento dos elementos químicos. Nesses pontos, também foram coletadas amostras de água do rio Bento Gomes, para caracterização da sua qualidade.

As coletas foram realizadas nos períodos seco (agosto/2012) e chuvoso (abril/2013) Figura 7. Foram coletados aproximadamente 2 kg de sedimento a 2 metros de profundidade do leito do rio, em locais de baixa energia fluvial e utilizado o amostrador Van-Veen. Durante a coleta, as amostras foram identificadas e georreferenciadas por meio do Sistema de Posicionamento Global (GPS) e acondicionadas em sacos plásticos herméticos.



**Figura 7** – Pontos amostrados ao longo do Rio Bento Gomes: (a) Ponto 1; (b) Ponto 2; (c) Ponto 3; (d) Ponto 4; (e) Ponto 5; (f) Ponto 6; (g) Ponto 7; (h) Ponto 8. (Fonte: arquivo pessoal)

As amostras de sedimentos foram acondicionadas em caixa térmica com gelo e encaminhadas ao laboratório e mantidos em geladeira (4°C) até o momento da análise.

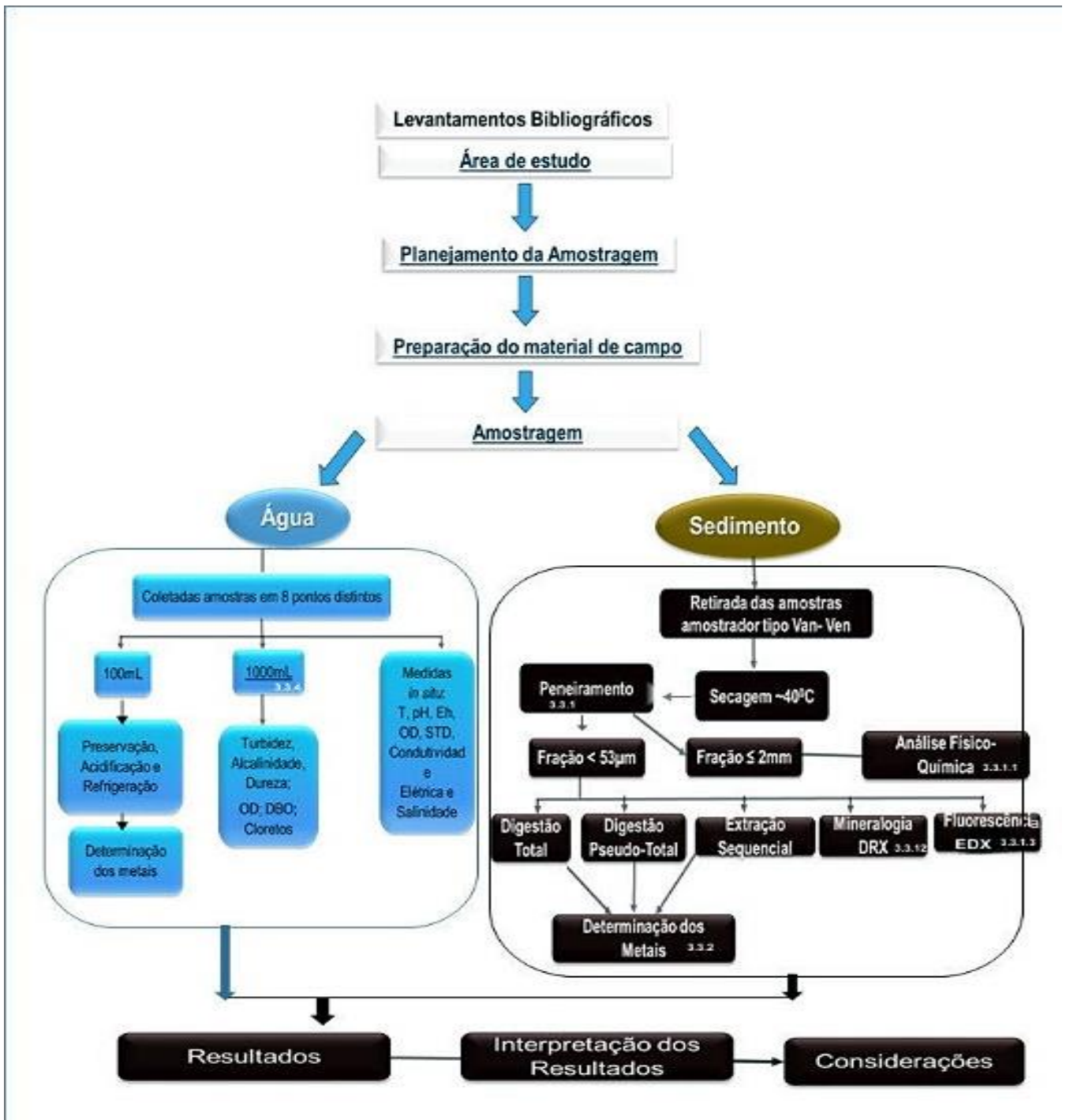
As características dos pontos de amostragem estão listadas na Tabela 4

**Tabela 4-** Características dos locais de coleta de amostras de sedimentos

Pontos de coleta	Características do local	Coordenadas geográficas	
		Latitude	Longitude
<b>P1</b>	Área não inundada, coletada em leito de sedimento seco.	16°20'45.01"	56°32'54.87"
<b>P2</b>	Área em frente a uma fazenda de gado, coletada a 3 m da margem do rio.	16°20'40.11"	56°32'21.81"
<b>P3</b>	Área de remanso, com vegetação de aguapé.	16°20'18.66"	56°32'12.64"
<b>P4</b>	Pequena ilha formada na curva do rio.	16°20'53.40"	56°32'12.84"
<b>P5</b>	Área de remanso próximo ao IFMT.	16°20'30.04"	56°32'13.14"
<b>P6</b>	Área de remanso, com vegetação densa no entorno.	16°20'16.43"	56°32'17.08"
<b>P7</b>	Área de remanso com profundidade média de 7 metros – antiga área de exploração de areia.	16°20'09.89"	56°32'27.10"
<b>P8</b>	Área à jusante da ponte próxima à captação da água da cidade (margem oposta).	16°20'54.94"	56°32'38.67"



O fluxograma das etapas metodológicas está ilustrado na Figura 8.



**Figura 8** – Fluxograma da metodologia do Fracionamento Geoquímico e da avaliação da qualidade da água do Rio Bento Gomes.

### **3.3 Análises laboratoriais**

#### **3.3.1 Caracterização do Sedimento**

No laboratório, as amostras foram transferidas para recipientes plásticos e colocadas em estufa com circulação forçada a 45°C, para obtenção do material seco.

Em seguida, foram peneiradas em malha de nylon para obter a fração fina (<0,063 mm), composta por argila + silte. Essa fração é a mais importante para o estudo da contaminação por metais (EPA, 2001) pois possui maior área superficial específica e, conseqüentemente, maior poder de adsorção dos contaminantes do ambiente, considerando que os elementos metálicos estão preferencialmente associados às frações mais finas (FÖRSTNER, 2004).

##### **3.3.1.1 Análises físicas e químicas**

As análises granulométricas e químicas para a caracterização do sedimento foram realizadas no Laboratório de Solos da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), segundo a metodologia de EMBRAPA (1997).

Os sedimentos foram caracterizados quanto à: classe granulométrica (textura), pH, teor de carbono orgânico total, teor de fósforo total, teor de bases trocáveis (Ca, Mg e K) e teor de alumínio trocável. Com os resultados, foram calculados os índices: Capacidade de Troca Catiônica (CTC), Soma de Bases (SB) e Saturação por Bases (V).

##### **3.3.1.2 Análise mineralógica por difração de raios X (DRX)**

A difração de Raios X (DRX) baseia-se na dispersão de um feixe de raios X pelos átomos que constituem a rede cristalina dos minerais. As posições e intensidades relativas dos picos de Bragg permitem identificar a estrutura, quantificar a(s) fase(s) cristalina(s) presente(s) e a composição mineralógica.

Para a caracterização mineralógica utilizou-se o equipamento Difrátômetro de Raios X marca Shimadzu, modelo XRD 6000 (Figura 10), equipado com tubo de cobalto (Co) e filtro de ferro (Fe). As varreduras foram feitas entre 7 e 70° (2 $\theta$ ) com velocidade de 2°/min.



**Figura 9** – Difratorômetro Shimadzu XRD-6000 do LAMUTA/UFMT (Fonte: <http://fisica.ufmt.br/geociencias/images/001.jpg>)

As análises mineralógicas de oito amostras foram realizadas na fração fina (<0,063 mm), do sedimento, em lâminas orientadas montadas após oxidação da matéria orgânica e desferrificação das amostras com ditionito-citrato-bicarbonato (MEHRA e JACKSON, 1960; MOORE e REYNOLDS, 1989).

A identificação dos minerais foi realizada por comparação dos difratogramas de Raios-X das amostras com a Tabela de dados mineralógicos do ICDD – *International Center for Diffraction Data / Joint Committee on Powder Diffraction Standards* – JCPDS, levando em consideração a intensidade da principal reflexão.

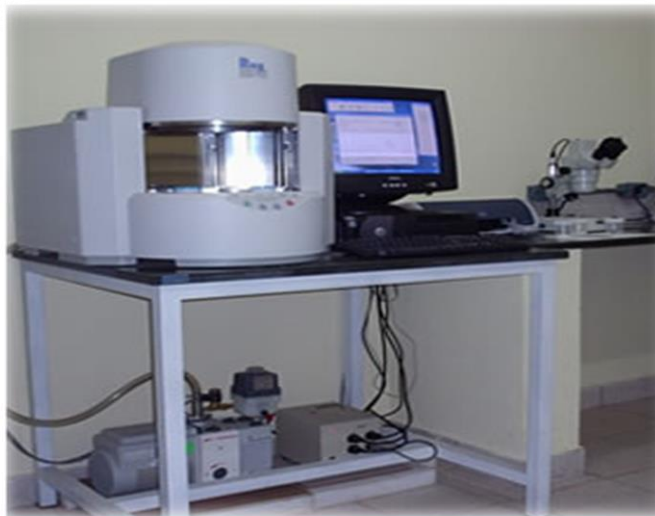
### **3.3.1.3 Análise geoquímica por fluorescência de raios X (FRX)**

Os teores totais dos elementos químicos na forma de óxidos foram determinados por Espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX).

As amostras de sedimento para a determinação dos elementos maiores (Si, Al, Fe, Ca, Mg, K) e menores ou traço (Mn, P, S, Cu, Zn, Ti, Ni, Cr, Zr, V, Sr, Sn, Y, Rb, Ba) foram transformadas em pastilhas fundidas com tetraborato de lítio (Leco ultrapuro). A fusão é feita no pastilhador Claisse (modelo Fluxy) a 1.100 °C.

Após a confecção das pastilhas, as análises foram realizadas no Espectrômetro de Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia (Shimadzu, EDX-700HS) equipado com tubo de ródio (Rh), detector de Si (Li), e rotina de análise quali-quantitativa (por parâmetros internos fundamentais) implementada através do programa EDX-Software (Figura 11). As medidas

foram feitas em vácuo, com tempo de aquisição de 200 s por canal analítico e feixe de 10 mm de diâmetro.



**Figura 10** – Espectrômetro de raios-X por dispersão em energia Shimadzu EDX700HS do LAMUTA/UFMT (Fonte: <http://fisica.ufmt.br/geociencias/images/003.jpg>)

Tanto as análises mineralógicas (DRX) quanto geoquímicas (FRX) foram realizadas no Laboratório Multi-usuário (LAMUTA) do Departamento de Departamento de Recursos Minerais do Instituto de Ciências Exatas e Tecnologias da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

### **3.3.2 Análise dos metais nas frações do sedimento**

#### **3.3.2.1 Método de extração pseudo-total e total**

A digestão Pseudo-total ou dos teores biodisponíveis de metais das amostras de sedimento para foi realizada segundo o método 3050 da *Environmental Protection Agency* (EPA), que consistiu em tratar 0,50 g da amostra de sedimento (fração < 0,063 mm) com HNO<sub>3</sub> concentrado em tubos de digestão por 12 h à temperatura ambiente, e posterior aquecimento a 160°C por 4 horas. A digestão prosseguiu com a adição de peróxido de hidrogênio 30% (v/v), à temperatura de 160°C por 30 min. Posteriormente, as amostras foram diluídas a 100 mL com água destilada.

Na digestão total das amostras de sedimento, foram utilizados cerca de 0,2500 g (fração < 53 µm) e tratados com 3 mL de HCl 10 mol L<sup>-1</sup> e 1 mL de

HNO<sub>3</sub> 10 mol L<sup>-1</sup>. O frasco aberto com a mistura foi colocado na placa aquecedora a cerca de 100°C até a secura. Foram adicionados 2 mL de HF 40% m/m e prosseguiu o aquecimento até a secura (duas vezes). O frasco foi fechado e aquecido a 140°C por cerca de 30 horas. Em frasco aberto, o aquecimento prosseguiu a 110°C até a secura. Foram adicionados 2 mL de HNO<sub>3</sub> 10mol L<sup>-1</sup> e à mesma temperatura, o frasco foi novamente aquecido até a secura (por duas vezes). O frasco foi retirado da placa e foram adicionados 25 mL de HCl 2mol L<sup>-1</sup>, fechado novamente e após agitação, aquecido a 100 °C por 2 horas.

A qualidade dos resultados analíticos foi acompanhada com o uso do branco analítico e de determinações em triplicata. Os extratos obtidos foram transferidos para recipientes de polietileno com tampa, devidamente descontaminados, e guardados sob refrigeração a 4°C, para a determinação dos teores dos metais por ICP-OES.

Para avaliação do grau de poluição ambiental dos sedimentos do Rio Bento Gomes foram adotados os níveis de referência para metais obtidos pela Resolução CONAMA nº 454 e pela CSQG (*Canadian Sediment Quality Guidelines*). Essa legislação canadense estabelece os valores-guias de qualidade dos sedimentos, representados por dois valores: TEL (*threshold effect level*) e PEL (*probable effect level*), respectivamente Nível-1 e Nível- 2 da Resolução CONAMA nº 454 (CONAMA, 2012).

### **3.3.2.2 Métodos de extração sequencial BCR**

O procedimento de extração sequencial (Tabela 5) foi realizado em triplicata em quatro amostras de sedimento com granulometria < 0,063 mm (pontos P2, P2C, P8 e P8C, coletados na período seco e chuvosa) e no material de referência BCR-701, para fins de validação do método.

A metodologia adotada para a extração sequencial BCR701 foi desenvolvida originalmente pelo “*European Community Bureau of Reference*” em 1992 (URE et al., 1993), atualmente “*Standard, Measurements and Testing Program*”. Posteriormente, esse procedimento foi adaptado como resultado de estudos colaborativos (RAURET et al, 1999; SAHUQUILLO et al, 1999.), e validado utilizando um material de referência certificado (BCR-701) com concentrações extraíveis certificadas e indicativas de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn (RAURET et al., 2001).

**Tabela 5.** Protocolo analítico BCR701, adaptado para 1 g de amostra (URE,1993).

Fração	Fase extraível	Reagentes	Volume (mL)	Temp (°C)	Tempo de extração
<b>Fração 1 (troçável)</b>	Cátions troçáveis e carbonatos	0,11 mol L <sup>-1</sup> de ácido acético	20	22 ± 5	Agitação mecânica em agitador do tipo “end-over-end”, por 16 h (“overnight”)
<b>Fração 2 (reduçível)</b>	Óxidos e hidróxidos de Fe e Mn	0,5 mol L <sup>-1</sup> de Cloridrato de Hidroxilamina (NH <sub>2</sub> OH.HCl) acidificado com HNO <sub>3</sub> 2 mol L <sup>-1</sup>	20	22 ± 5	Agitação mecânica em agitador do tipo “end-over-end”, por 16 h (“overnight”)
<b>Fração 3 (oxidável)</b>	Matéria orgânica e sulfetos	8,8 mol L <sup>-1</sup> de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	10	22 ± 5 85 ± 2	Digestão por 1 h com agitação ocasional Digestão por 1 h
<b>Fração 4 (residual)</b>	Minerais silicatados	Água Régia HCl/HNO <sub>3</sub> (3:1)	10	22 ± 5 85 ± 2	Repouso por 16 h Aquecimento por 2 h, com agitação ocasional

Para tal procedimento, foram utilizados 0,5000 g de sedimento em tubo de centrífuga, em triplicata e branco analítico, segundo as etapas de extração abaixo descritas:

- **1ª Etapa:** foram adicionados 20 mL de ácido acético 0,11 mol L<sup>-1</sup> ao sedimento previamente pesado. Os tubos foram submetidos à agitação por 16 horas em temperatura ambiente e conduzidos à centrifugação a 3000 rpm por 30 minutos. O sobrenadante foi transferido para uma seringa acoplada a filtro com membrana de 0,45 µm. O filtrado foi armazenado à 4°C para determinação de metais. O resíduo foi lavado com 20 mL de água deionizada, submetido à agitação por 15 minutos e centrifugação a 3000 rpm por 30 minutos. O sobrenadante obtido na lavagem foi descartado.
- **2ª Etapa:** foram adicionados ao resíduo da 1ª etapa 20 mL de cloridrato de hidroxilamina 0,5 mol L<sup>-1</sup> acidificada com HNO<sub>3</sub>. Para as etapas de agitação, centrifugação e filtração, foi usado o mesmo procedimento anterior.
- **3ª Etapa:** foram adicionados, gota a gota, ao resíduo da 2ª etapa, 5 mL de peróxido de hidrogênio 8,8 molL<sup>-1</sup>. O frasco de centrífuga foi levemente tampado frouxamente e mantido à temperatura ambiente por 1 hora, com

agitação manual ocasional. Em seguida, foi colocado num béquer em banho-maria à temperatura de  $85\pm 2^{\circ}\text{C}$  por 1 hora, com agitação ocasional nos primeiros 30 minutos. Com o frasco aberto, o volume foi reduzido até 1,5 mL. Novamente, foram adicionados 5 mL de peróxido de hidrogênio  $8,8\text{ mol L}^{-1}$  e aquecido à mesma temperatura anterior até que o volume atingisse cerca de 0,5 mL. Após resfriamento, foram adicionados 20 mL de acetato de amônio  $1,0\text{ mol L}^{-1}$  e para separação do extrato foi usado o mesmo procedimento de agitação, centrifugação e filtração da 1ª etapa.

- **Etapa Residual:** o resíduo da 3ª etapa foi transferido para um béquer utilizando o mínimo de água deionizada possível. Foram adicionados 4,65 mL de água régia (3,50 mL de HCl 37% p/p e 1,15 mL de  $\text{HNO}_3$  65% p/p). Para digestão e filtração foi usado o mesmo procedimento da digestão com água régia. O filtrado foi recolhido num balão de 25 mL e diluído com água deionizada até o menisco.

### 3.3.2.3 Método de extração sequencial TESSIER

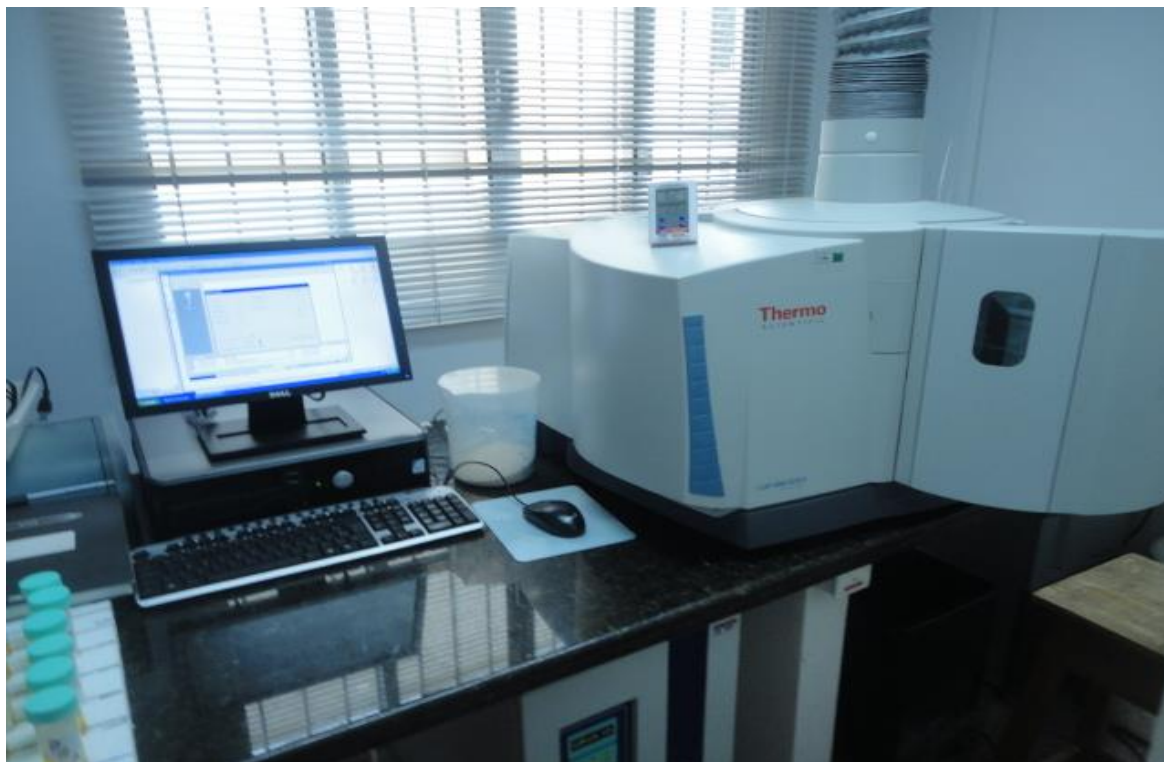
A extração foi conduzida em triplicata em 4 amostras de sedimento de fundo com granulometria  $< 0,063\text{ mm}$  (amostras P2, P2C, P8 e P8C coletadas na período seco e chuvosa) segundo protocolo Tessier (TESSIER et al., 1979) (Tabela 6).

**Tabela 6-** Condições operacionais requeridas no Procedimento de extração sequencial TESSIER, adaptado para 1 g de amostra.

Fração	Descrição	Procedimentos
Fração 1	Cátions trocáveis	8 mL de $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 1M, pH 7, agitação contínua durante 1h
Fração 2	Associado a carbonatos	8 mL de NaOAc 1 M, pH 5, agitação durante 5 h
Fração 3	Óxidos de Fe e Mn	20 mL de $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ 0,04 M em HOAc a 25%(v/v), 6h, $96^{\circ}\text{C}$ , agitação ocasional
Fração 4	Matéria orgânica	20 mL de EDTA 0,05 M, pH 7,3, agitação contínua durante 2 h
Fração 5	Residual	2 X (5 mL de $\text{HNO}_3$ ) até próximo a <i>secura</i> e em seguida 2 mL de HF a 40% e 10 mL de $\text{HClO}_4$ concentrado até próximo à <i>secura</i> . Repetir a adição da mistura HF/ $\text{HClO}_4$ até à abertura total da amostra

Após a realização dos protocolos de extração sequencial e digestão, as concentrações dos elementos químicos foram determinadas em Espectrômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES),

marca Thermo Scientific modelo ICAP 6000 Series, do Laboratório de Controle Analítico de Combustível (CEANC) na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) (Figura 14).



**Figura 11** – Espectrômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), marca Thermo Scientific modelo ICP-OES ICAP 6300 Duo )

As condições de operações para a realização das análises estão descritas a seguir (Tabela 7):



**Tabela 7 – Parâmetros instrumentais de detecção dos metais por ICP.**

Condições operacionais:	Condições de Quantificação
Plasma axial Fluxo da bomba amostral: 100 rpm Fluxo da bomba em análise: 50 rpm Tempo de estabilização da bomba: 5s Potência da fonte: 1150 W Fluxo do gás auxiliar : 0,5 L/min Gás: Argônio 5.0	Calibração externa Ensaios em triplicata Padrão multielementar de 100 mg/kg rastreado ao NIST, Quimlab Concentrações dos padrões diluídos em ácido nítrico 5%V/V : 0, 1,0 mg/kg; 5,0 mg/kg; 10,0 mg/kg; 25,0 mg/kg; 50,0 mg/kg -Alumínio 167,079 nm ( $r^2 = 0,996489$ ) e 236,705nm ( $r^2=0,996117$ ) -Cádmio 226,502nm ( $r^2=0,998266$ ) e 228,802nm ( $r^2=0,998326$ ) -Cromo 267,716nm ( $r^2=0,999455$ ) e 283,563nm ( $r^2=0,999591$ ) -Cobre 204,379nm ( $r^2=0,999461$ ) e 324,754nm ( $r^2=0,999094$ ) -Ferro 238,204nm ( $r^2=0,999242$ ) e 261,187nm ( $r^2=0,999272$ ) -Chumbo 182,205nm ( $r^2=0,999349$ ) e 220,353nm ( $r^2=0,999662$ ) -Zinco 206,200nm ( $r^2=0,999676$ ) e 213,856nm ( $r^2=0,999493$ )

Para fins de validação do método, foram analisados os materiais de referência certificados (MRC) NIST 8704 (Buffalo River Sediment) e o BCR701 (Community Bureau Reference nº 0318), com concentrações certificadas para metais (Figura 12).



**Figura 12 – Material de referência certificado BCR 701 e NIST 8704 Bufalo River Sediment (Fonte: arquivo pessoal).**

O processo de validação por meio de MRC consiste em analisar número suficiente de replicatas desse material e comparar os resultados obtidos com o

valor certificado. O ensaio de recuperação constitui o método mais utilizado para validação de processos analíticos, e está relacionado com a exatidão, pois reflete a quantidade de determinado analito recuperado no processo, em relação à quantidade real presente na amostra. O resultado é expresso como erro sistemático percentual, inerente ao processo, que pode ocorrer pela perda da substância devido à baixa recuperação da extração, medidas volumétricas imprecisas ou substâncias interferentes na amostra.

### 3.3.3. Mobilidade dos metais

A mobilidade geoquímica de um elemento indica a maior ou menor facilidade com que ele se move em um meio natural específico, ou seja, sua capacidade de trânsito no sistema litosfera, biosfera, atmosfera (OLIVEIRA; NASCIMENTO, 2006).

Aos dados do fracionamento foi aplicado o índice fator de mobilidade (FM) proposto por (SAHUQUILLO et.al.,2004), para avaliar o comportamento dos metais em sedimentos cujo cálculo consiste na divisão das concentrações da primeira fração (F1) pela somatória de todas as demais frações ( $\sum [F1 + F2 + F3 + F4]$ ), expresso em percentagem, conforme as equações 3 e 4:

$$FM (BCR) = \left[ \frac{F1}{\sum(F1+F2+F3+F4)} \right] X100 \quad (\text{eq. 3})$$

$$FM (Tessier) = \left[ \frac{F1+F2}{\sum(F1+F2+F3+F4+F5)} \right] X100 \quad (\text{eq. 4})$$

O fator de mobilidade individual (Fmi) para cada amostra foi calculado a partir das equações citadas e o fator de mobilidade global (Fmg) foi obtido a partir da soma dos valores da mobilidade individual (FERNANDES, 1997).

### 3.3.4. Análise da água do Rio Bento Gomes

As amostras de água do rio Bento Gomes foram coletadas em triplicatas e analisadas quanto aos parâmetros: Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez, Alcalinidade Total, Teor de Cloretos, Acidez, Sólidos totais, fósforo e nitrogênio total, coliforme fecal, DBO, Oxigênio dissolvido, Dureza Total, de acordo com a metodologia proposta no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Em cada ponto foram avaliados *in situ* os parâmetros: pH, condutividade elétrica, temperatura e oxigênio dissolvido, com o auxílio de uma sonda multiparamétrica.

Os resultados obtidos foram comparados com os valores máximos permitidos pela Resolução 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005), para avaliar a qualidade da água do Rio Bento Gomes, enquadrada como água doce classe 2.

#### 3.3.4.1. Índice de Qualidade de Água (IQA)

O índice de qualidade das águas é obtido a partir da aplicação dos parâmetros temperatura, turbidez, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes fecais, nitrogênio total e fósforo total na seguinte fórmula:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (\text{eq. 5})$$

O IQA é um produtório do  $q_i$  (qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro obtida a partir de sua concentração ou medida) e  $w_i$  (peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro). O IQA é determinado através do Sistema de Cálculo da Qualidade da Água – SCQA, baseado nas curvas obtidas pela National Sanitation Foundation e estudos correlatos, através de regressões polinomiais e com o auxílio do programa Excel (PNMA, 2003).

Este índice classifica a qualidade da água em 5 níveis de qualidade: Ótima, Boa, Média, Ruim e Muito Ruim, de acordo com o resultado do produto ponderado dos parâmetros citados (Tabela 8).

**Tabela 8** - Interpretação do índice de qualidade da água (IQA) (CETESB, 2005b).

Faixas de IQA	Classificação da qualidade da água
0 – 25	Muito Ruim
26 – 50	Ruim
51 – 70	Regular
71 – 90	Bom
91 – 100	Excelente

Para cada amostra, o IQA calculado permite enquadrar a qualidade de água em uma escala de classes que vai de péssima a ótima.

### 3.4 Análise estatística:

A estatística descritiva dos resultados (média, desvio padrão, coeficiente de variação) foi utilizada como uma primeira abordagem na análise geoquímica dos sedimentos.

Devido à existência de diferentes fatores que podem afetar a mobilidade dos metais nos ambientes aquáticos, aplicaram-se os procedimentos de agrupamento nos resultados das análises das amostras de sedimento.

Na avaliação da relação entre os elementos estudados, utilizaram-se correlações de Pearson e Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA), para a identificação dos componentes responsáveis pela variação total dos dados e as variáveis explicativas dessas variações.

A Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA) é usada para reconhecer padrões (similaridades) de amostras a partir de um conjunto de dados, e de acordo com as variáveis escolhidas essa técnica agrupa as amostras entre si. A interpretação se baseia em quanto menor for a distância entre os pontos, maior a semelhança entre as amostras, e na prática isso é mostrado por dendrogramas. Os resultados foram analisados utilizando o programa estatístico *Action* (Estatcamp) integrado ao programa Excel 2010 (Microsoft).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E GEOQUÍMICA DO SEDIMENTO

#### 4.1.1 Caracterização química do sedimento

Os resultados da caracterização química dos sedimentos encontram-se nas Tabelas 9 (período seco) e 10 (período chuvoso).

**Tabela 9**– Características químicas do sedimento do Rio Bento Gomes no período seco

AMOSTRAS	Areia	Silte	Argila	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	ΔpH	COT <sup>1</sup>	MO <sup>2</sup>	P mgdm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup> mgdm <sup>-3</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	SB <sup>3</sup>	CTC <sup>4</sup>	V <sup>5</sup> %
	gk g <sup>-1</sup>										gkg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
P1	727	67	206	5,1	4,3	-0,8	21,3	36,7	31,3	102	3,7	1,3	2,9	5,26	15,9	33,2
P2	794	49	157	6,2	5,4	-0,8	15,5	26,7	53,6	59	3,2	1,2	0	4,55	7,2	63,6
P3	827	33	157	5,9	5,2	-0,7	20,5	35,3	33,1	37	2,9	1,1	0	4,09	8,0	51,2
P4	794	49	206	6,2	5,4	-0,8	7,6	13,1	38,0	24	1,8	0,6	0	2,46	3,7	56,2
P5	727	67	206	6,2	5,5	-0,7	19,2	33,1	30,5	28	2,9	1,1	0	4,07	7,6	53,8
P6	727	67	157	5,8	5,1	-0,7	18,4	31,7	19,6	31	2,5	1,0	0	3,58	7,3	49,2
P7	794	49	240	5,9	5,1	-0,8	22,5	38,8	50,0	50	3,1	1,1	0	4,33	8,7	50,0
P8	794	66	206	6,0	5,2	-0,8	8,3	14,3	32,2	20	1,6	0,7	0	2,35	4,4	54,0

<sup>1</sup>carbono orgânico total; <sup>2</sup>matéria orgânica; <sup>3</sup>soma de bases; <sup>4</sup>capacidade de troca catiônica; <sup>5</sup>saturação por bases, ΔpH (pHKCl – pHH<sub>2</sub>O)

**Tabela 10** – Características químicas do sedimento do Rio Bento Gomes no período chuvoso

AMOSTRAS	Areia	Silte	Argila	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	ΔpH	COT <sup>1</sup>	MO <sup>2</sup>	P mgdm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup> mgdm <sup>-3</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	SB <sup>3</sup>	CTC <sup>4</sup>	V <sup>5</sup> %
	gk g <sup>-1</sup>										gkg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
P1C	851	34	115	5,3	6,04	0,74	3,21	32,9	87,8	3,57	2,8	2,2	0	5,01	5,3	95,1
P2C	634	67	299	4,95	5,20	0,25	25,2	101,2	62,4	4,72	5,3	3,7	0	9,01	11,0	81,8
P3C	701	50	249	4,93	5,00	0,07	15,4	59,3	130,3	3,93	3,1	4,4	0	7,51	7,6	98,4
P4C	784	33	183	4,82	5,23	0,41	13,8	91,6	88,6	4,23	5	2,7	0	7,71	9,0	85,8
P5C	734	50	216	4,63	4,98	0,35	14,9	50,1	64,8	7,37	3,4	2,8	0	6,22	6,3	98,6
P6C	184	183	633	4,76	4,86	0,1	23,9	180,2	63,2	4,52	7,1	2,9	0	10,01	12,3	81,3
P7C	484	133	383	4,55	4,93	0,38	25,3	112,2	119,3	5,3	5,3	0,8	0	6,11	8,5	72,1
P8C	801	50	149	4,93	5,01	0,08	4,3	26,9	67,7	2,75	1,4	1,8	0	3,21	3,3	96,7

<sup>1</sup>carbono orgânico total; <sup>2</sup>matéria orgânica; <sup>3</sup>soma de bases; <sup>4</sup>capacidade de troca catiônica; <sup>5</sup>saturação por bases, ΔpH (pHKCl – pHH<sub>2</sub>O)

Os valores médios de pH em água foi de  $5,91 \pm 0,36$  e  $5,15 \pm 0,37$  em KCl, caracterizando acidez média a fraca, em ambos os períodos.

A acidez dos solos e dos sedimentos resulta da degradação lenta ou microbiana da matéria orgânica preservada nos sedimentos. Dessa forma, o controle do estado químico de oxirredução e da mobilidade de muitos elementos nos sedimentos é determinado pelo pH (MENDES FILHO, 2009).

De acordo com o valor de  $\Delta\text{pH}$  ( $\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ), em todos os pontos as cargas elétricas predominantes são negativas, o qual auxilia na compreensão dos contaminantes inorgânicos nos solos e sedimentos em relação à sua retenção e mobilidade, pois implicam na maior capacidade de retenção dos íons por atração eletrostática. Dessa forma, variações de pH no meio significam alterações dos teores de elementos retidos nos sedimentos (MEUER, 2008). Todas as amostras tiveram  $\Delta\text{pH}$  positivo no período seco e negativo no período chuvoso; quando o  $\Delta\text{pH}$  se apresenta com valor negativo, significa que há predominância de cargas negativas, ou seja, o sedimento adsorve maior quantidade de cátions do que de ânions, o que favorece a adsorção de elementos traço metálicos ao sedimento.

A capacidade de troca catiônica está relacionada à quantidade de cátions que o solo/sedimento pode adsorver, sendo uma característica físico-química relevante para propostas ambientais, porque a fração de elementos trocáveis em solos ou sedimentos corresponde à fração trocável. Essa fração pode ser mais ou menos disponível e pode indicar a origem dos elementos-traços (ARAN et al., 2008). Os valores de CTC encontrados para os sedimentos do Rio Bento Gomes estão significativamente correlacionados aos teores de carbono orgânico ( $r = 0,73$ , (seca) e  $0,86$  (chuvoso),  $p < 0,05$ ), demonstrando que a matéria orgânica é fonte de cargas elétricas superficiais negativas capazes de aumentar a capacidade de adsorção iônica nos sedimentos (ROCHA et.al., 2004).

Quanto ao carbono orgânico, nas áreas de remanso e sedimentação, os teores de carbono acumulado refletiram nos maiores valores de matéria orgânica nos sedimentos coletados nos pontos de amostragem P1, P3 e P7, no período da seca e P2, P6 e P7 no período chuvoso. Essas variações podem estar relacionadas com a granulometria, pois os sedimentos mais finos estão associados à matéria orgânica, conforme correlação positiva entre as frações silte ( $r = 0,68$ ,  $p < 0,05$ ) e argila ( $r = 0,77$ ,  $p < 0,05$ ) e o carbono orgânico total, no

período chuvoso.

Os teores de fósforo disponível são considerados elevados (TOMÉ Jr., 1997) para a maioria das amostras, tanto no período seco quanto chuvoso, com teores acima de  $30 \text{ mg.kg}^{-1}$  na maioria das amostras. De modo geral, a dinâmica do fósforo mostra significativos incrementos com o hidromorfismo. Devido à condição redox desses ambientes, o fosforo primeiro é reduzido e tende a ser liberado, sendo absorvido pelos organismos vegetais aquáticos e compondo a biomassa. Essa biomassa ao ser decomposta disponibilizará o fosforo para o sedimento, onde parte será fixada pelos óxidos de ferro (REZENDE, 1986).

Os teores de bases trocáveis ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) compõem a soma de bases (SB), que indica o número de cargas negativas do coloide que está ocupada por cátions nutrientes. Neste estudo, os maiores teores de bases trocáveis foram encontrados no período chuvoso, em função da maior solubilidade desses cátions e consequente adsorção nos sítios de carga disponíveis. A fração fina do sedimento concentra a maior concentração desses cátions trocáveis devido ao seu poder adsortivo, tendo em vista as correlações positivas entre os cátions e a fração argila ( $r = 0,70$ ,  $p < 0,05$ ).

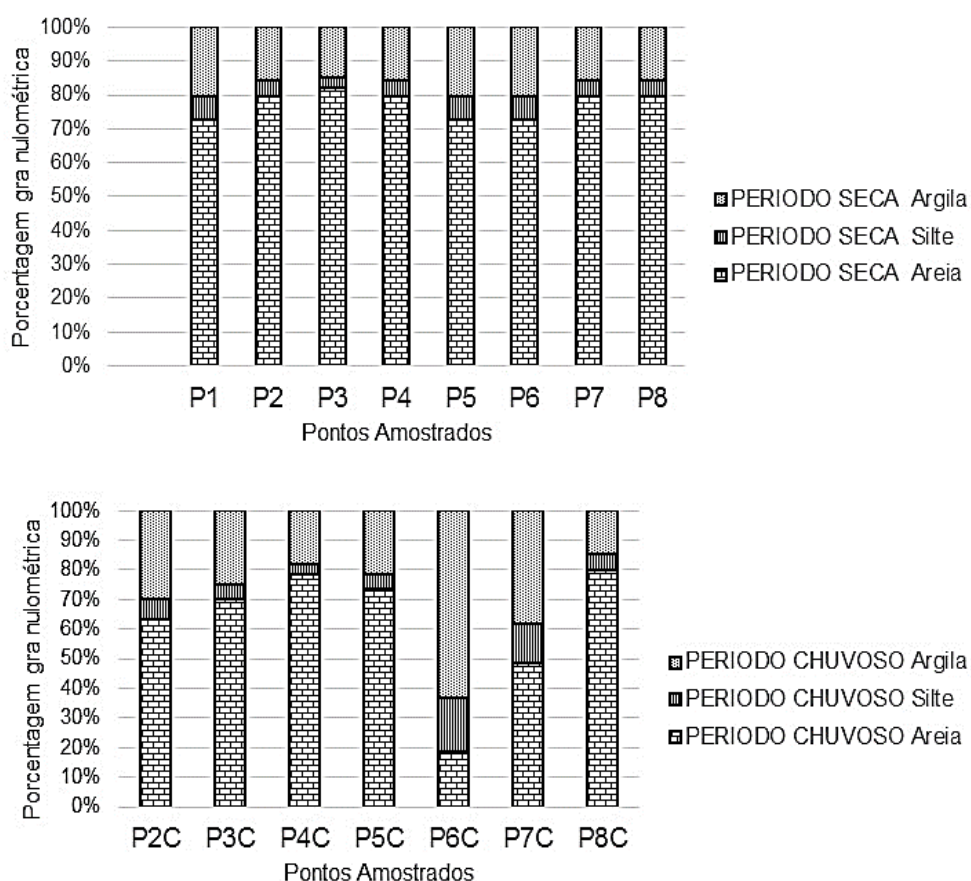
O teor de  $\text{K}^+$  é considerado elevado nos sedimentos no período seco (maior que  $30 \text{ mg.dm}^{-3}$ ), e apresentou correlação positiva e significativa com o seu teor em óxido ( $\text{K}_2\text{O}$ ) ( $r = 0,95$ ,  $p < 0,05$ ), indicando que sua origem provavelmente é devida à mineralogia dos sedimentos, geralmente relacionados com clorita e illita, onde o K é encontrado retido na estrutura desses minerais (SETTI et al., 2004). O  $\text{Mg}^{2+}$  também apresenta correlação positiva e significativa com o teor de óxido correspondente ( $r = 0,83$ ,  $p < 0,05$ ).

O teor de alumínio trocável foi detectado somente no sedimento seco, coletado no ponto 1, provavelmente derivado da hidrólise dos óxidos de alumínio, conforme correlação positiva entre as variáveis ( $r = 0,89$ ,  $p < 0,05$ ).

A saturação por bases (V%) é um parâmetro utilizado para indicar a fertilidade natural do solo/sedimento, sendo considerado um ambiente eutrófico com  $V \geq 50\%$ . Analogamente aplicada aos sedimentos, o ponto amostrado P1, é considerado distrófico no período da seca e eutrófico no período chuvoso (P1C) em função do enriquecimento em nutrientes devido ao processo de inundação e os demais pontos amostrados e analisados são considerados eutróficos.

Os teores de argila e areia são semelhantes ao longo do rio, demonstrando baixa variabilidade. Porém, a fração silte representa a menor fração dos sedimentos estudados, em ambos períodos.

Como esperado, tratando-se de um ambiente de drenagem e deposição, o rio é composto de sedimentos de granulometria franco-arenosa (Areia +Silte) (Figura 13). O ponto P6C apresentou um elevado teor de argila, porém não influenciou significativamente os parâmetros físico-químicos analisados dos sedimentos. Os depósitos em determinado ambiente dependem de condições climáticas, ambientais e atividades tectônicas (PORTO, 1996). Dessa forma, pode-se inferir que as características físicas dos sedimentos analisados estão diretamente influenciadas pela variação do material de origem.



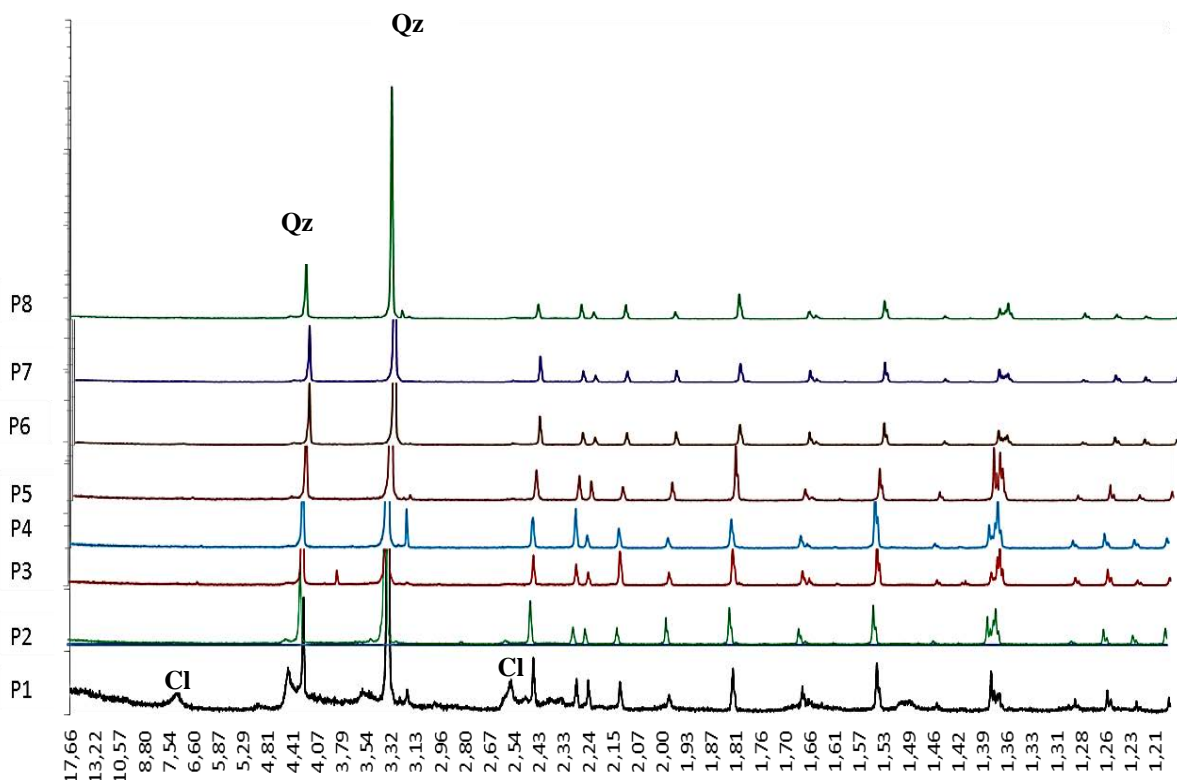
**Figura 13** – Distribuição granulométrica dos sedimentos estudados ao longo Rio Bento Gomes.



#### 4.1.2 Mineralogia do sedimento

Os resultados mineralógicos (Figura 14) demonstram a homogeneidade do material constituinte dos sedimentos do Rio Bento Gomes, com predominância de quartzo e de traços de minerais do grupo da mica (biotita) e clorita. A intensidade do pico está relacionada com a quantidade do mineral presente na amostra.

O quartzo é um dos minerais mais abundantes e ocorre como constituinte essencial de muitas rochas eruptivas, sedimentares e metamórficas. A composição química do quartzo é basicamente  $\text{SiO}_2$ . A abundância de quartzo está condizente com os resultados da análise granulométrica, que classifica os sedimentos como franco-arenosos. Por ser um mineral primário presentes em rochas e solos, o quartzo está associado ao transporte dos solos oriundo de erosões existentes nas margens dos leitos dos rios (BERGAYA et al., 2006).



**Figura 14-** Difractogramas de raios X dos minerais presentes nos sedimentos do Rio Bento Gomes (Cl: clorita; Qz: quartzo).

### 4.1.3 Geoquímica dos sedimentos

A análise por Fluorescência de Raios X por energia dispersivos no período seco e chuvoso dos sedimentos demonstram que os mesmos são constituídos basicamente de SiO<sub>2</sub> com média de 80% em peso, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (14%) e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2,5%) no período seco (Tabela 11) e SiO<sub>2</sub> (68%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (21%) e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5,4%) no período chuvoso (Tabela 12).

Todos os pontos de coleta do sedimento tiveram variação nos resultados geoquímicos variáveis, com incrementos em sua constituição, exceto o SiO<sub>2</sub> que teve maiores valores no período seco, possivelmente ocasionado pela extração de areia do rio, comum nessa época.

**Tabela 11** – Geoquímica dos óxidos totais nos sedimentos do Rio Bento Gomes (período seco).

Amostras	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	TiO <sub>2</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	ZrO <sub>2</sub>
	%										
<b>P1</b>	61,36	27,77	5,31	2,29	1,59	1,10	nd	0,18	0,26	0,05	0,05
<b>P2</b>	76,73	16,05	3,31	1,11	0,89	0,77	0,35	0,24	0,29	0,12	0,14
<b>P3</b>	86,28	9,54	1,68	0,79	0,53	0,46	0,26	0,39	nd	0,06	0,10
<b>P4</b>	89,42	7,85	1,06	0,82	nd	0,30	0,10	nd	nd	nd	nd
<b>P5</b>	82,26	12,15	1,95	0,90	0,77	0,36	0,54	0,51	0,40	0,07	0,07
<b>P6</b>	80,98	13,84	1,96	1,03	0,91	0,42	0,36	0,38	nd	0,05	0,08
<b>P7</b>	78,84	15,04	2,67	1,18	0,93	0,45	0,27	0,37	0,10	0,06	0,09
<b>P8</b>	85,69	10,29	1,78	0,75	0,56	0,28	0,13	0,39	0,07	0,05	0,03
<b>Média</b>	<b>80,20</b>	<b>14,07</b>	<b>2,46</b>	<b>1,11</b>	<b>0,88</b>	<b>0,52</b>	<b>0,29</b>	<b>0,35</b>	<b>0,22</b>	<b>0,06</b>	<b>0,08</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>8,67</b>	<b>6,21</b>	<b>1,33</b>	<b>0,50</b>	<b>0,35</b>	<b>0,28</b>	<b>0,15</b>	<b>0,11</b>	<b>0,14</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>
<b>CV (%)</b>	<b>1,08</b>	<b>4,41</b>	<b>5,41</b>	<b>4,54</b>	<b>3,96</b>	<b>5,42</b>	<b>5,31</b>	<b>3,08</b>	<b>6,19</b>	<b>4,14</b>	<b>4,64</b>

nd: não determinado

**Tabela 12 – Geoquímica dos óxidos totais nos sedimentos do Rio Bento Gomes (período chuvoso).**

Amostras	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	TiO <sub>2</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	ZrO <sub>2</sub>
	%										
<b>P1C</b>	79,67	12,99	3,01	1,27	0,64	0,76	0,53	0,54	0,28	0,11	0,21
<b>P2C</b>	65,17	22,95	5,80	1,91	1,26	1,10	0,74	0,52	0,32	0,11	0,10
<b>P3C</b>	65,62	22,68	6,11	1,86	1,25	1,03	0,47	0,38	0,35	0,11	0,11
<b>P4C</b>	62,42	20,78	7,74	1,70	1,08	1,04	1,26	0,80	0,46	0,15	0,13
<b>P5C</b>	67,62	22,02	4,96	1,79	1,22	0,96	0,45	0,40	0,30	0,09	0,12
<b>P6C</b>	63,07	25,2,66	5,60	2,18	1,42	1,07	0,51	0,43	0,27	0,09	0,08
<b>P7C</b>	66,90	22,05	5,37	1,83	1,29	1,01	0,51	0,44	0,35	0,08	0,14
<b>P8C</b>	70,29	20,25	4,85	1,68	1,09	0,95	0,34	0,33	0,10	0,07	0,10
<b>Média</b>	<b>67,59</b>	<b>21,12</b>	<b>5,43</b>	<b>1,78</b>	<b>1,16</b>	<b>0,99</b>	<b>0,60</b>	<b>0,48</b>	<b>0,30</b>	<b>0,10</b>	<b>0,12</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>5,49</b>	<b>3,62</b>	<b>1,33</b>	<b>0,26</b>	<b>0,23</b>	<b>0,11</b>	<b>0,29</b>	<b>0,15</b>	<b>0,10</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>
<b>CV (%)</b>	<b>8,11</b>	<b>1,71</b>	<b>2,41</b>	<b>1,44</b>	<b>2,03</b>	<b>1,06</b>	<b>4,78</b>	<b>3,05</b>	<b>3,40</b>	<b>2,58</b>	<b>3,19</b>

Os teores de óxidos totais determinados nas amostras dos sedimentos são compatíveis com as áreas fontes, constituídas por sedimentos arenosos inconsolidados e parcialmente consolidados, com alguma contribuição argilosa da Formação Pantanal.

Os teores elevados de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> geralmente estão relacionados com a presença da clorita e quartzo, identificada na análise mineralógica do sedimento em estudo, uma vez que o Si e o Al são mais facilmente retidos na estrutura desses minerais (SETTI et al., 2004). O SiO<sub>2</sub> teve correlação com a fração areia dos sedimentos no período seco e chuvoso ( $r = 0,53$  e  $0,51$  respectivamente,  $p < 0,05$ ).

As concentrações mais elevadas de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foram determinadas nos sedimentos coletados no ponto 1 (P1), em área de leito de rio seco, cujas amostras apresentam manchas avermelhadas devido a concreções de ferro. Correlações significativas foram observadas entre o Al e o Fe ( $r = 0,98$  e  $0,63$  na cheia e seca,  $p < 0,05$ ) indicando a associação geoquímica entre eles, conforme constatado Pérez et al. (1997) em solos brasileiros.

Os teores de K<sub>2</sub>O são maiores que CaO e MgO em todos os solos, evidenciando comportamento geoquímico semelhante aos solos do Pantanal Norte mato-grossense, conforme comprovado por CORINGA (2011).

O  $K_2O$  tende a se concentrar na fração argila ( $r = 0,83$ ,  $p < 0,05$ ) e silte ( $r = 0,72$ ,  $p < 0,05$ ) dos sedimentos, associando desta forma, à sua fração trocável e disponível,  $K^+$  ( $r = 0,95$ ,  $p < 0,05$ ). Tal comportamento também foi observado com o  $MgO$  nos sedimentos estudados.

Quanto aos elementos menores ( $MnO$  e  $ZrO_2$ ), o enriquecimento dos elementos em solos e sedimentos se dá principalmente pelo processo de acumulação devido aos pulsos de inundação, onde materiais heterogêneos são acumulados. No caso do óxido de manganês, são fortemente influenciados pelo potencial redox do sedimento, conferindo alto grau de mobilidade em condições anóxicas (HYLANDER et al., 2000).

A concentração geoquímica dos elementos nos períodos seco e chuvoso apresentou variação. Todos os elementos, com exceção do Si, tiveram maiores teores no período chuvoso, em função do aporte de sedimentos provenientes da lixiviação do solo do entorno e do próprio rio, durante esse período. O ponto P1, por ser um local de sedimento seco (acima do leito do rio), apresentou comportamento geoquímico diferente dos demais pontos analisados.

O comportamento geoquímico dos elementos no sedimento pode refletir sua distribuição no meio. As reações de sorção–dessorção e dissolução–precipitação provocam transferência real de contaminantes entre a fase líquida e a fase sólida dos sedimentos, que atuam afetando a disponibilidade dos contaminantes e ou alterando a sua forma química, aumentando ou diminuindo seus efeitos tóxicos. Esse comportamento será melhor evidenciado pela extração sequencial.

## 4.2 CONCENTRAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO E DISPONIBILIDADE DOS METAIS NAS FRAÇÕES DO SEDIMENTO

### 4.2.1 Concentração pseudo-total

A extração pseudo-total dos metais foi realizada nas frações mais finas do sedimento (silte e argila, < 0,063 mm), por terem as seguintes vantagens: (1) os elementos traço estão associados principalmente às partículas silte e argila; (2) essa fração é a que mais se assemelha à granulometria do material carregado em suspensão, correspondente à forma mais importante de transporte para os sedimentos no ambiente aquático.

As concentrações médias dos elementos-traço Zn, Cr, Cu, Ni, Mn e Fe estão nas Tabelas 13 e 14, na fração pseudo-total do sedimento coletado em agosto de 2012 (período seco) e abril de 2013 (período chuvoso).

**Tabela 13** – Teores pseudo-totais dos metais nos sedimentos do Rio Bento Gomes (período seco).

Amostras	Cr	Ni	Cu	Mn	Zn	Fe
	mg kg <sup>-1</sup>					g kg <sup>-1</sup>
<b>P1</b>	21,85±0,45	12,36±3,4	13,7±2,4	227,5±0,09	20,41±0,6	13,94±260
<b>P2</b>	6,88±0,18	1,4±0,09	6,5±0,6	652,5±5,1	6,19±0,4	10,25±380
<b>P3</b>	5,38±0,15	<LD	0,48±0,05	385,33±2,5	8,43±0,8	6,11±85
<b>P4</b>	2,39±0,09	<LD	0,48±0,05	160,83±1,5	4,97±0,09	2,78±65
<b>P5</b>	5,38±0,15	<LD	1,68±0,009	394,16±3,0	6,47±0,7	5,97±78
<b>P6</b>	6,88±0,18	<LD	2,88±1,2	285,83±1,2	13,86±1,9	6,76±65
<b>P7</b>	3,380,12	4,12±1,2	6,49±0,6	327,5±2,1	17,42±2,6	8,79±180
<b>P8</b>	5,4±0,15	<LD	5,3±0,9	289,16±3,0	4,51±0,12	5,68±995
<b>Média</b>	<b>7,19±0,15</b>	<b>2,24±0,15</b>	<b>4,69±0,15</b>	<b>340,35±0,15</b>	<b>10,28±0,15</b>	<b>7,54±0,15</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>6,12</b>	<b>4,34</b>	<b>4,41</b>	<b>147,88</b>	<b>6,12</b>	<b>3,40</b>
<b>CV (%)</b>	<b>85,13</b>	<b>194,10</b>	<b>93,96</b>	<b>43,45</b>	<b>59,56</b>	<b>45,17</b>
<b>Valor de referência<sup>1</sup></b>						
<b>(Nível 1 – Nível 2)</b>	<b>37,3 - 90</b>	<b>18 - 35,9</b>	<b>35,7 - 197</b>	<b>-</b>	<b>123 - 315</b>	<b>-</b>

LD: limite de detecção; <sup>1</sup>CONAMA (2012)

**Tabela 14** – Teores pseudo-totais dos metais nos sedimentos do Rio Bento Gomes (período chuvoso).

Amostras	Cr	Ni	Cu	Mn	Zn	Fe
	mg kg <sup>-1</sup>					g kg <sup>-1</sup>
P1C	8,38±0,23	15,11±4,2	16,1±2,5	285,33±1,2	20,32±0,6	5,1±60
P2C	20,36±0,42	17,85±3,9	14,9±2,0	344,16±2,4	29,49±2,3	11,26±370
P3C	15,36±0,32	15,11±4,2	18,5±2,8	302,5±1,9	36,97±3,2	15,53±410
P4C	6,88±0,18	4,12±1,2	12,5±1,9	252,5±1,6	26,12±1,2	1,11±545
P5C	5,38±0,15	2,75±0,05	6,49±0,6	152,5±1,4	15,64±2,4	4,01±50
P6C	21,85±0,44	2,75±0,05	22,11±2,3	402,5±3,1	46,05±4,2	8,51±115
P7C	8,38±0,23	<b>26,09±3,2</b>	22,11±2,3	444,16±5,1	38,56±4,6	15,17±430
P8C	2,4±0,09	1,4±0,09	0,5±0,07	135,83±1,6	8,34±0,9	8,3±190
<b>Média</b>	<b>10,19</b>	<b>10,65</b>	<b>14,15</b>	<b>289,94</b>	<b>27,69</b>	<b>7,69</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>8,02</b>	<b>9,13</b>	<b>7,54</b>	<b>109,29</b>	<b>12,65</b>	<b>5,87</b>
<b>CV (%)</b>	<b>78,76</b>	<b>85,71</b>	<b>53,27</b>	<b>37,70</b>	<b>45,71</b>	<b>76,37</b>
<b>Valor de referência<sup>1</sup> (Nível 1 – Nível 2)</b>	<b>37,3 - 90</b>	<b>18 - 35,9</b>	<b>35,7 - 197</b>	<b>-</b>	<b>123 - 315</b>	<b>-</b>

<sup>1</sup>CONAMA (2012)

A maioria dos metais tiveram concentrações médias maiores nas amostras coletadas no período seco, com exceção do Mn e, em menor grau, o Fe. Ambos os elementos estão sujeitos às reações de redução e remoção, resultando em baixos valores nos sedimentos.

A Resolução CONAMA nº 454 de 2012 estabelece os níveis de classificação do material a ser dragado (sedimento) para os elementos As, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Ni e Zn, tendo como referência a legislação canadense (*Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*) elaborada pelo CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment*) em 1995 (CETESB, 2005a). Essa legislação estabelece os valores-guias de qualidade dos sedimentos, representados por dois valores: TEL (*threshold effect level*) e PEL (*probable effect level*), respectivamente Nível-1 e Nível- 2 da Resolução brasileira.

De acordo com os valores orientadores para metais em sedimentos previstos na legislação ambiental Resolução CONAMA nº 454, todos os metais tiveram teores dentro do limite estabelecido, no período seco.

Porém, o Ni teve teores acima do nível-1 no período chuvoso no Ponto 07 (Tabela 16), com concentração de 26,09 mg/kg, ultrapassando o nível-1 do CONAMA. Isso provavelmente se deve à formação de complexos estáveis e solúveis de íons metálicos com as substâncias húmicas, podendo servir como

transportadores de metais tóxicos, incrementando o transporte no meio aquático (OLIVEIRA; MARINS, 2011).

A maioria dos metais tiveram maiores teores nos pontos P6 e P7 no período chuvoso e no ponto P1 no período seco, com exceção do Mn, que teve maiores valores no P2 na época seca. Nesses pontos, observa-se maior teor de matéria orgânica, favorecendo a adsorção de metais no sedimento em formas mais disponíveis e extraíveis.

As relações entre as concentrações dos metais no sedimento e as propriedades químicas e físicas foram estabelecidas com base no coeficiente de correlação de Pearson, em uma matriz de correlação. Como a amostragem foi realizada nos períodos seco e chuvoso, foram confeccionadas duas matrizes de correlação. Os valores foram considerados com correlação significativa quando  $r \geq 0,5$  ( $p < 0,05$ ), de acordo com as Tabelas 15 e 16.

**Tabela 15** – Matriz de correlação entre os teores pseudo-total dos metais e as propriedades do solo (período seco)

<i>Variáveis</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Zn</i>	<i>Fe</i>	<i>Areia</i>	<i>Silte</i>	<i>Argila</i>	<i>pH</i>	<i>COT</i>	<i>CTC</i>
Cr	1,000											
Ni	<b>0,888</b>	1,000										
Cu	<b>0,834</b>	<b>0,907</b>	1,000									
Mn	-0,144	-0,225	-0,001	1,000								
Zn	<b>0,638</b>	<b>0,800</b>	<b>0,679</b>	-0,275	1,000							
Fe	<b>0,823</b>	<b>0,853</b>	<b>0,913</b>	0,270	<b>0,716</b>	1,000						
Areia	<b>-0,529</b>	-0,376	-0,343	0,221	-0,425	-0,338	1,000					
Silte	0,410	0,257	0,390	-0,275	0,200	0,212	-0,844	1,000				
Argila	-0,008	0,343	0,279	-0,474	0,269	0,024	-0,082	0,245	1,000			
pH	<b>-0,894</b>	<b>-0,876</b>	<b>-0,765</b>	0,389	<b>-0,833</b>	<b>-0,727</b>	0,418	-0,301	-0,106	1,000		
COT	0,374	0,455	0,316	0,219	<b>0,724</b>	<b>0,594</b>	-0,293	-0,084	-0,014	-0,477	1,000	
CTC	0,051	0,412	0,325	-0,424	0,389	0,124	-0,130	0,223	0,984	-0,181	0,164	1,000

**Tabela 16** – Matriz de correlação entre os teores pseudo-total dos metais e as propriedades do solo (período chuvoso)

<i>Variáveis</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Zn</i>	<i>Fe</i>	<i>Areia</i>	<i>Silte</i>	<i>Argila</i>	<i>pH</i>	<i>COT</i>	<i>CTC</i>
Cr	1,000											
Ni	-0,031	1,000										
Cu	<b>0,519</b>	<b>0,562</b>	1,000									
Mn	0,405	<b>0,669</b>	<b>0,922</b>	1,000								
Zn	<b>0,572</b>	0,407	<b>0,928</b>	<b>0,897</b>	1,000							
Fe	0,347	<b>0,783</b>	<b>0,722</b>	<b>0,748</b>	<b>0,734</b>	1,000						
Areia	<b>-0,502</b>	-0,058	<b>-0,631</b>	<b>-0,711</b>	<b>-0,801</b>	-0,447	1,000					
Silte	0,342	0,114	<b>0,588</b>	<b>0,712</b>	<b>0,736</b>	0,425	-0,977	1,000				
Argila	<b>0,549</b>	0,039	<b>0,639</b>	<b>0,703</b>	<b>0,814</b>	0,450	-0,998	0,959	1,000			
pH	0,223	0,024	-0,048	-0,187	-0,301	-0,215	0,494	-0,500	-0,487	1,000		
COT	0,452	0,390	<b>0,603</b>	<b>0,731</b>	<b>0,764</b>	<b>0,654</b>	-0,753	0,684	0,768	-0,635	1,000	
CTC	0,460	0,409	<b>0,619</b>	<b>0,745</b>	<b>0,769</b>	<b>0,659</b>	-0,747	0,679	0,762	-0,614	0,999	1,000



No período seco, observam-se correlações significativas entre os metais: Cr x Fe; Ni x Cu; Cu x Fe; Zn x Fe; Zn x Ni. Na período chuvoso, as correlações mais significativas foram entre: Ni x Fe; Cu x Mn; Cu x Fe; Mn x Zn; Mn x Fe. O maior número de correlações apresentado no período chuvoso pode ser devido ao carreamento de material sólido das margens para o leito do rio, principalmente com relação ao elemento Fe, que ocorre em grande quantidade no solo da região.

Os metais que correlacionaram positivamente com o teor de carbono orgânico total foram o Fe e o Zn, em ambos os períodos amostrados, indicando associação desses metais com a matéria orgânica do sedimento na forma de complexos estáveis. A matéria orgânica é responsável pela complexação de metais pesados por meio de grupos carboxílicos e fenólicos presentes nas substâncias húmicas, e dessa forma influencia a dinâmica dos metais pesados no meio aquático.

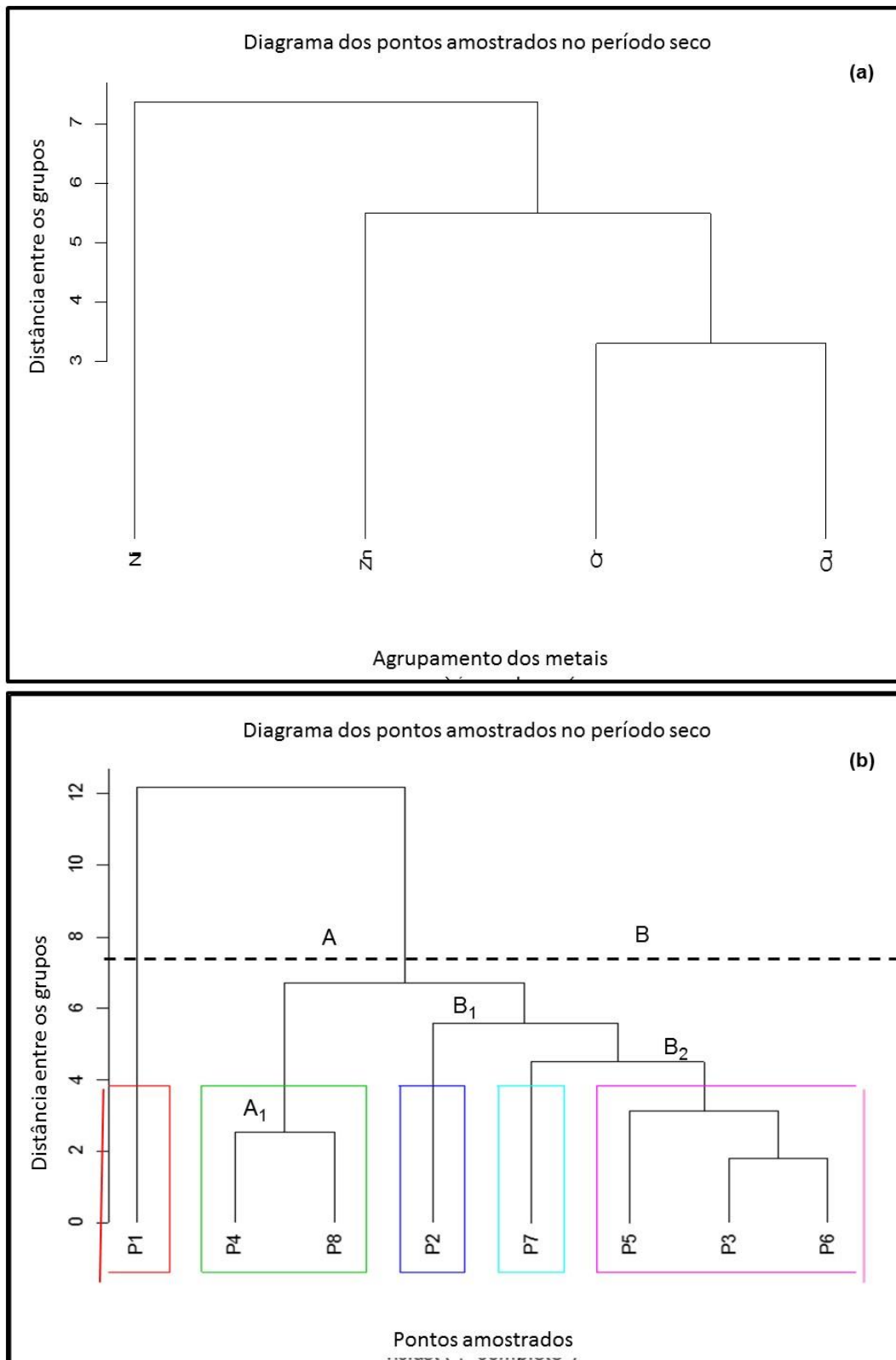
Os metais que tenderam a se concentrar nas frações finas do sedimento foram o Cr, Fe, Mn e Zn, a julgar pelas suas correlações positivas com o silte e a argila e negativa com a fração areia.

Todos os elementos apresentam forte correlação com o Fe, tanto no período seco quanto chuvoso, sugerindo adsorção na forma de precipitado de óxidos/hidróxidos de Ferro. A precipitação de óxidos hidratados de Fe está associada com o transporte e a disponibilidade de metais traço, que influenciam as trocas na interface água-sedimento. Verifica-se que as concentrações maiores de Fe são nos pontos P1 e P2 no período seco e P7 no período chuvoso, para os quais correspondem também às maiores concentrações dos demais elementos.

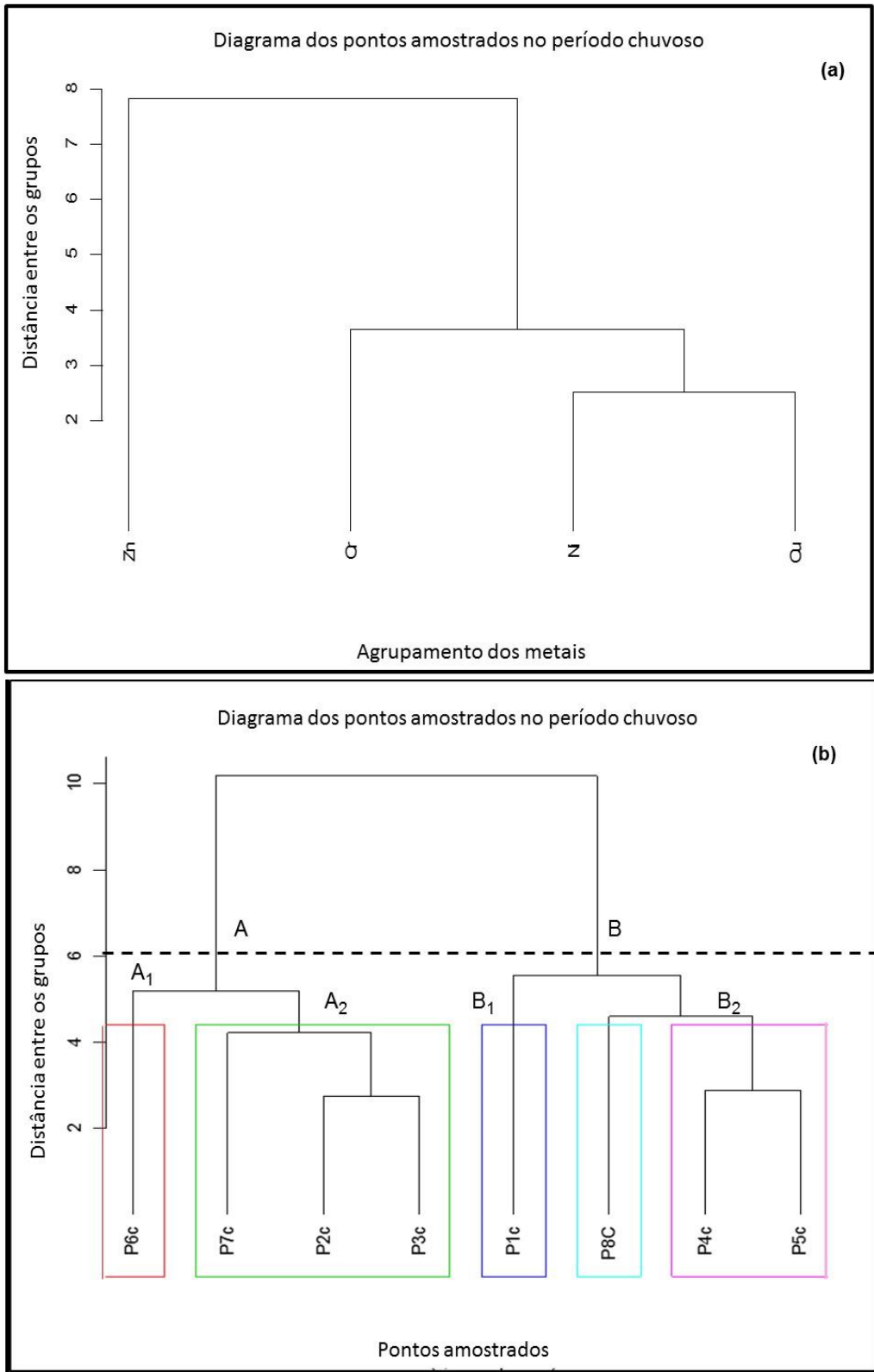
No período seco, as correlações entre os metais e o pH do sedimento são mais significativas, indicando que a disponibilidade dos metais no meio está associada aos baixos valores de pH do sedimento. O pH é uma característica importante na disponibilidade dos metais, já que controla a precipitação, a dissolução de carbonatos e hidróxidos, além da hidrólise de vários compostos orgânicos presentes.

A análise de cluster foi realizada por meio da confecção do dendograma, para ambos os períodos (Figuras 15 e 16). Essa análise associa os metais

estudados com as características químicas do sedimento, sendo uma ferramenta complementar à correlação de Pearson.



**Figura 15** - Dendrograma obtidos dos metais (a) e das amostras de sedimento (b) no período seco.



**Figura 16** - Dendrograma obtidos dos metais (a) e das amostras de sedimento (b) no período chuvoso.

A análise exploratória de dados permite o estudo de um grande conjunto de dados a partir da utilização de ferramentas estatísticas, com o propósito de extrair o máximo de informação sobre o conjunto de dados. A extração de informações, muitas vezes, pode ser concentrada em um menor número de variáveis, as quais contribuem mais significativamente para a interpretação dos resultados.

A técnica de agrupamento hierárquico HCA interliga as amostras por suas similaridades, produzindo um dendograma onde as amostras semelhantes são agrupadas entre si (QU; KELDERMAN, 2001).

Observa-se nos dendogramas dos metais (Figuras 15a e 16a) a associação entre o cromo e cobre no período seco, e entre níquel e cobre no período chuvoso. Isso demonstra que esses metais estão associados devido à forte adsorção aos óxidos de ferro nas frações mais finas do sedimento, e sua mobilidade no meio aquático serem semelhantes devido à correlação negativa com o pH do meio.

As Figuras 15b e 16b apresentam dendogramas construídos com as variáveis químicas e as concentrações pseudo-total dos metais nas amostras de sedimento coletadas nos dois períodos, para os oito pontos.

Destacam-se dois grandes grupos no período chuvoso (Figura 16b): um composto pelas amostras com altos teores de ferro e matéria orgânica (P7C, P2C e P3C); e outro grupo que apresenta baixos valores de pH, matéria orgânica e teor de ferro no sedimento (P4C e P5C), fatores que afetam a mobilidade dos metais no meio aquático.

Já no período seco (Figura 15b) também se observam dois grupos: um formado pelos pontos P4 e P8, agrupados em função dos baixos valores de matéria orgânica e CTC do sedimento, conseqüentemente, com menores teores dos metais extraíveis; e outro grupo formado pelos pontos P5, P6 e P3 cujo sedimento apresenta maiores teores de matéria orgânica.

## **4.2.2 Fracionamentos químico dos metais**

A distribuição dos teores dos metais nas diferentes fases do sedimento é importante para se entender a forma pela qual se encontram associados e, assim, indicar sua mobilidade e os fatores que estão influenciando essas mudanças.

O procedimento consiste de extrações sucessivas onde são obtidas as seguintes frações geoquímicas:

- No protocolo BCR 701: fração trocável (F1), fração redutível (F2), fração oxidável (F3) e fração residual (F4)
  
- No protocolo TESSIER: fração trocável (F1), fração carbonática (F2), fração redutível (F3), fração oxidável (F4) e fração residual (F5)

### **4.2.2.1 ProtocolosBCR701 e TESSIER**

As quantidades dos metais nas diferentes frações da extração sequencial por ambos os métodos estão nas Tabelas 17 e 18.

**Tabela 17 – Distribuição da concentração dos metais nas frações pelo protocolo de extração BCR701**

Pontos	Frações	Al	Cr	Fe	Zn	Cu	Ni	Mn
		mg kg <sup>-1</sup>						
P2-	F1	121,7±3,4	1,4±0,05	417,3±65	7,4±0,61	3,3±0,15	1,7±0,08	356,4±18
	F2	452,2±5,5	5,6±0,62	4208,7±380	6,0±0,48	0,8±0,03	1,7±0,09	261,8±12
	F3	330,4±30	4,2±0,48	226,1±28	8,5±0,72	<LD	1,7±0,09	29,1±3,1
	F4	69,56±18	<LD	3108,7±250	10,5±0,90	12±0,55	4,2±0,38	<LD
	ΣF	973,86±11	11,2±1,15	7960,8±145	32,4±2,71	16,1±0,54	9,3±0,13	647,3±6,6
P2C-	F1	591,3±210	2,8±0,14	121,7±8,2	8,3±0,30	<LD	3,3±0,25	109,1±9,1
	F2	626,1±55	2,8±0,13	1321,7±300	13,6±0,18	<LD	1,7±0,09	3,6±0,04
	F3	869,6±85	4,2±0,48	173,9±6,8	1,6±0,12	<LD	3,3±0,28	<LD
	F4	104,3±25	<LD	1260,8±280	4,2±0,26	4,0±0,23	2,1±0,13	<LD
	ΣF	2191,3±75	9,8±0,75	2878,1±119	27,7±0,86	4,0±0,23	10,4±	112,7±9,14
P8-	F1	1200±65	1,4±0,05	121,7±8,2	8,5±0,35	<LD	3,3±0,25	69,1±4,2
	F2	3336±45	2,8±0,14	1356,5±31	1,6±0,12	<LD	3,3±0,28	3,6±0,04
	F3	2965±55	2,8±0,14	52,2±4,0	0,45±0,05	<LD	1,7±0,09	<LD
	F4	1014±60	<LD	2043,5±312	2,9±0,18	4,0±0,23	2,1±0,13	<LD
	ΣF	8515±45	7,0±0,06	3573,9±355	13,45±0,14	4,0±0,23	10,4±0,15	72,7±4,24
P8C-	F1	1350±75	1,4±0,05	191,3±9,3	2,7±0,16	<LD	3,3±0,28	145,45±7,1
	F2	2055±65	2,8±0,14	1373,9±310	3,6±0,35	0,8±0,04	1,7±0,09	10,9±0,9
	F3	1456±55	2,8±0,13	<LD	0,45±0,05	<LD	1,7±0,09	<LD
	F4	489±35	<LD	260,9±34	2,9±0,18	2,4±0,15	2,1±0,12	<LD
	ΣF	5350±45	7,0±0,06	1826,1±353	9,7±0,15	3,2±0,19	8,8±0,12	156,4±8,0

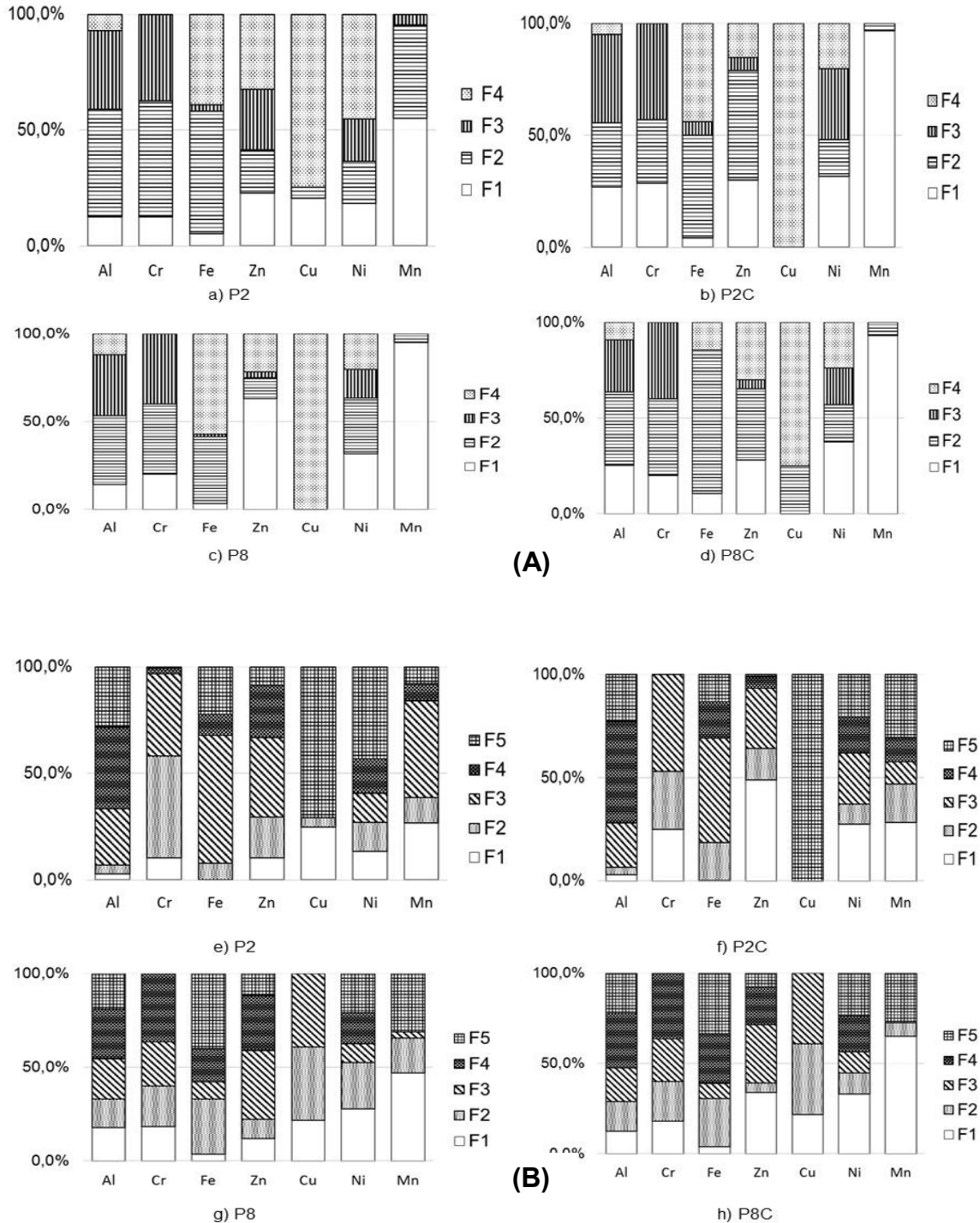
**LD** – limite de detecção; fração trocável (F1), fração redutível (F2), fração oxidável (F3) e fração residual (F4). P2 e P8 pontos coletados no período seco e P2Ce P8C pontos coletados no período chuvoso.

**Tabela 18-** Distribuição dos metais nas frações pelo protocolo de extração TESSIER

Pontos	Frações	Al	Cr	Fe	Zn	Cu	Ni	Mn
		mg kg <sup>-1</sup>						
P2-	F1	33,1±3,4	1,0±0,0 5	9,8±4,0	2,6±0,34	2,8±0,15	1,0±0,06	340±16
	F2	53,8±5,8	4,7±0,6 3	1491,8±30	4,9±0,62	0,5±0,04	1,0±0,06	150,05±5,6
	F3	321,3±25	3,8±0,3 2	1528,8±32	9,5±0,68	<LD	1,0±0,06	575,7±18
	F4	475,3±43	0,3±0,0 6	1855,8±80	6,2±0,09	<LD	1,2±0,08	100,6±4,8
	F5	343,0±32	<LD	4297,5±25 0	2,3±0,06	8±0,30	3,2±0,25	101,9±3,5
	ΣF	1226,3±38	9,8±0,4 5	19183,5±80	25,4±0,36	11,3±0,4 9	7,4±0,49	1268,2±9,6
P2C-	F1	63,3±15	1,6±0,0 5	18,8±25	245,2±6,0	<LD	2,8±0,18	7,1±0,39
	F2	79,0±28	1,8±0,7 8	2244,0±29 0	77,6±4,7	<LD	1,0±0,06	4,7±0,15
	F3	467,8±45	3,0±0,4 3	6162,5±41 0	145,8±3,9	<LD	2,5±0,32	2,7±0,09
	F4	1073,5±58	<LD	2152,5±22 5	30,3±2,9	<LD	1,8±0,14	2,9±0,12
	F5	493,8±47	<LD	1613,3±45	3,8±1,9	3,0±0,18	2,1±0,07	7,7±0,43
	ΣF	2177,3±70	6,4±0,1 2	12190,9±20	502,7±3,9 0	3,0±0,18	10,2±0,7 7	25,18±0,24
P8-	F1	1450±75	1,0±0,0 5	9,0±3,1	2,0±0,18	1,0±0,05	2,8±0,18	8,5±0,52
	F2	1240±25	1,2±0,2 8	78,10±25	1,8±0,16	1,8±0,09	2,5±0,33	3,4±0,09
	F3	1750±80	1,3±0,3 1	24,6±5,3	6,3±0,47	1,8±0,09	1,0±0,06	0,6±0,02
	F4	2170±80	2,0±0,7 6	47,2±18	5,0±0,32	<LD	1,7±0,13	<LD
	F5	1540±40	<LD	105,9±6,3	2,0±0,18	<LD	2,1±0,08	5,7±0,13
	ΣF	8150±85	5,5±1,4	264,8±31	17±1,31	4,6±0,23	10,1±0,1 6	18,23±0,63
P8C-	F1	650±65	1,0±0,0 5	6,7±3,4	10,0±0,78	1,0±0,05	2,8±0,18	5,3±0,10
	F2	845±60	1,2±0,2 8	46,7±14	1,5±0,14	1,8±0,09	1,0±0,06	0,6±0,02
	F3	950±75	1,3±0,3 1	14,4±3,8	9,5±0,67	1,8±0,09	1,0±0,06	<LD
	F4	1565±60	2,0±0,7 6	48,1±12	6,2±0,09	<LD	1,7±0,13	<LD
	F5	1140±70	<LD	58,3±20	2,3±0,06	<LD	2,0±0,18	2,2±0,06
	ΣF	5140±80	5,5±1,4	174,2±6,9	29,4±0,35	4,6±0,23	8,5±0,12	8,2±0,04

LD – limite de detecção; fração trocável (F1), fração carbonática (F2) fração redutível (F3), fração oxidável (F4) e fração residual (F5).

A distribuição porcentual dos metais extraídos em cada fração geoquímica do sedimento está ilustrada na Figura 17, para ambos os períodos de amostragem e procedimentos de extração sequencial BCR701 e TESSIER.



**FIGURA 17** – Distribuição porcentual da concentração dos metais nas frações extraíveis: (A) protocolos BCR701; (B) TESSIER dos pontos amostrados na seca e na cheia.



Os sedimentos do Rio Bento Gomes concentram os elementos analisados para ambos os protocolos na ordem: Al > Fe > Mn > Zn > Cu > Ni, considerando o somatório das frações. Verifica-se que todos os metais encontram-se presentes em concentrações expressivas em frações potencialmente mobilizáveis (F1+ F2+F3).

O Cr se encontra, em sua maioria, adsorvido à fração redutível (F2) e oxidável (F3), ou seja, associado aos óxidos de Fe e Mn e à matéria orgânica do sedimento, ambos os períodos e pontos amostrados, a exemplo do Al.

O Fe foi encontrado, principalmente nas frações redutível (F2) e residual (F4), indicando associação com a mineralogia do sedimento na forma de óxidos. Os óxidos de Fe e de Mn exercem importante papel no comportamento dos metais por meio da adsorção específica, que pode ocorrer pela formação de ligações covalentes com OH e/ou O na superfície desses coloides (HSU, 1989; ALLEONI, 2005).

Predominantemente o Cu se concentrou nas frações residuais (F4) em ambos os pontos. A fração residual corresponde à porção dos metais que permanece oclusa, como constituinte das estruturas cristalinas de minerais não silicatados, estáveis e resistentes ao intemperismo. Essa fração é considerada indisponível, não apresentando potencial de liberação para o meio aquático. A indisponibilidade indica que, os metais são transportados preferencialmente associados a partículas cristalinas (LACERDA, 2000), refletindo a contribuição geoquímica dos solos e rochas locais. Embora a fração residual não tenha importância ambiental direta por se tratar de contribuições litogênicas do metal no meio, baixos valores verificados para essa fração podem indicar influência de fontes poluidoras alóctones que se acumulam nos sedimentos de fundo (BEVILACQUA et.al., 2009).

Observam-se também teores expressivos de Mn, Zn e Ni na fração disponível dos sedimentos (F1), que representa a fração de maior interesse ambiental por estar prontamente (bio)disponível no meio aquático por alterações de pH e Eh. Quantidades significativas de metais nas frações consideradas potencialmente (bio)disponíveis indica possível contribuição das atividades antropogênicas desenvolvidas na região para a liberação dos elementos para o meio aquático. Somente o Mn teve maior teor extraível em todos os pontos e períodos na fração trocável (F1), devido à sua maior mobilidade química no meio.

A extração dos metais dos materiais de referência NIST 8704 (*Buffalo River Sediment*) e BCR701 teve altas taxas de recuperação para todos os elementos, superiores a 80% (Tabelas 19 e 20).

**Tabela 19-** Concentração pseudo-total e taxas de recuperação obtidos para o material de referência Buffalo River Sediment (NIST 8704).

Metal	Concentração pseudo-total			Taxa de Recuperação (%)
	Valor Certificado (mgkg <sup>-1</sup> )	Valor Encontrado (mgkg <sup>-1</sup> )	Desvio Padrão (%)	
Cu	NC*	129,05	ND**	ND**
Al	610	608	1,41	99,67
Fe	39,7	41,4	1,2	104,3
Zn	408	458,77	35,89	112,4
Mn	544	542	1,41	99,63
Cr	121,9	101	14,8	82,9
Ni	42,9	35,3	5,37	82,2

\*Valor não certificado (NC); \*\*Valor não determinado(ND)

**Tabela 20-** Concentração pseudo-total e taxas de recuperação obtidos para o material de referência BCR (BCR701).

Metal	Concentração pseudo-total		Desvio Padrão(%)	Taxa de Recuperação (%)
	Valor Certificado (mg kg <sup>-1</sup> )	Valor Encontrado (mg kg <sup>-1</sup> )		
Cu	190,96	172,14	13,31	90
Al	NC*	726	ND**	ND**
Fe	NC*	6872,6	ND**	ND**
Zn	459,7	504,8	31,89	109,8
Mn	NC*	614,54	ND**	ND**
Cr	253,46	216,14	26,39	85,3
Ni	98,7	94,81	2,75	96,1

\*Valor não certificado (NC); \*\*Valor não determinado(ND)

Por meio dos resultados obtidos nas análises dos materiais de referência, observa-se que os metais possuem valores de informação próximos aos valores certificados, demonstrando a eficiência do método utilizado.

#### 4.2.3. Mobilidade dos metais no sedimento e o risco ambiental

Os fatores de mobilidade global ( $Fm_g$ ) calculados para os sedimentos do Rio Bento Gomes demonstram um enriquecimento de metais nas frações mais disponíveis, notadamente no ponto P8 ( $Fm_g = 365,2$  e  $178,8$  pelos métodos BCR e Tessier, respectivamente). A menor mobilidade dos metais encontra-se no ponto P2, no período de seca ( $Fm_g = 146,9$  e  $88,4$  pelos métodos BCR e Tessier, respectivamente).

Em função do  $Fm_i$ , pôde-se agrupar os metais segundo sua mobilidade no meio aquático (Tabela 21):

**Tabela 21** – Ordem de mobilidade segundo o fator de mobilidade individual de cada metal ( $Fm_1$ ) de acordo com o método de extração sequencial adotado.

Período de amostragem	Pontos	Método Tessier	Método BCR701
Seco	P2	<b>Mn&gt;Cu&gt;Ni&gt;Zn=Cr&gt;Al&gt;Fe</b>	<b>Mn&gt;Zn&gt;Cu&gt;Ni&gt;Cr=Al&gt;Fe</b>
	P8	<b>Mn&gt;Ni&gt;Cu&gt;Cr&gt;Zn&gt;Al&gt;Fe</b>	<b>Mn&gt;Zn&gt;Ni&gt;Cr&gt;Al&gt;Fe&gt;Cu</b>
Chuvoso	P2C	<b>Zn&gt;Mn&gt;Ni&gt;Cr&gt;Al&gt;Fe=Cu</b>	<b>Mn&gt;Ni&gt;Zn&gt;Cr&gt;Al&gt;Fe&gt;Cu</b>
	P8C	<b>Mn&gt;Zn&gt;Ni&gt;Cu&gt;Cr&gt;Fe&gt;Al</b>	<b>Mn&gt;Ni&gt;Zn&gt;Al&gt;Cr&gt;Fe&gt;Cu</b>

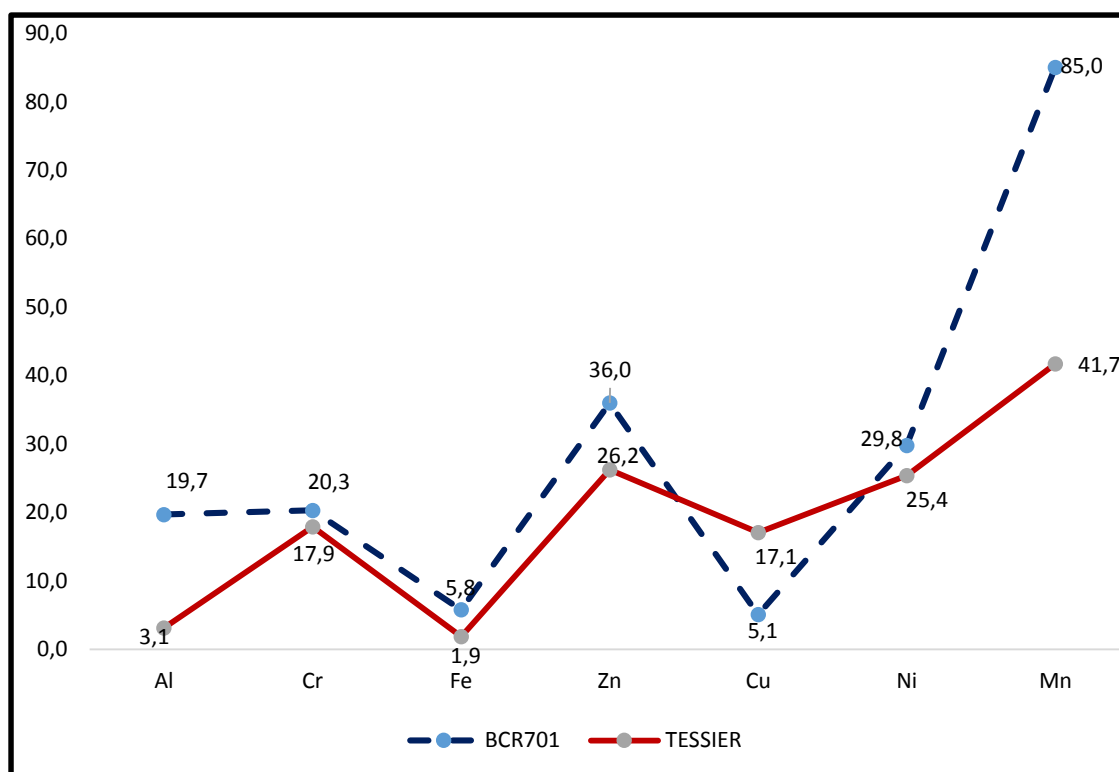
Este fator pode ser interpretado como fator de contaminação, para avaliar o impacto ambiental causado pelos metais (Tabela 22).

**Tabela 22** - Fator de mobilidade individual ( $fmi$ ) e fator de mobilidade global ( $fm_g$ ) para os metais nos pontos amostrados (BCR701 e TESSIER)

Amostra	Fmi (BCR)							$Fm_g$
	Al	Cr	Fe	Zn	Cu	Ni	Mn	
P2	12,5	12,5	5,2	22,8	20,5	18,3	55,1	146,9
P2C	27,0	28,6	4,2	30,0	0,0	31,7	96,8	218,3
P8	14,1	20,0	3,4	63,2	0,0	31,7	95,0	<b>365,2</b>
P8C	25,2	20,0	10,5	28,0	0,0	37,5	93,0	214,2
<b>Media</b>	<b>19,7</b>	<b>20,3</b>	<b>5,8</b>	<b>36,0</b>	<b>5,1</b>	<b>29,8</b>	<b>85,0</b>	<b>236,1</b>
Amostra	Fmi (TESSIER)							$Fm_g$
	Al	Cr	Fe	Zn	Cu	Ni	Mn	
P2	2,7	10,2	0,1	10,4	24,8	13,5	26,8	88,4
P2C	2,9	25,0	0,2	48,8	0,0	27,5	28,2	132,5
P8	3,8	18,2	3,4	11,8	21,7	27,7	46,8	133,4
P8C	3,1	18,2	3,8	34,0	21,7	32,9	65,0	<b>178,8</b>
<b>Media</b>	<b>3,1</b>	<b>17,9</b>	<b>1,9</b>	<b>26,2</b>	<b>17,1</b>	<b>25,4</b>	<b>41,7</b>	<b>133,3</b>

Os resultados evidenciam que o Mn foi o metal de maior mobilidade nos pontos amostrados, nos dois períodos climáticos. Depois do manganês, o níquel e o zinco são os mais móveis no sedimento durante o período chuvoso, nos dois métodos de extração, enquanto que no período seco, o cobre também figura entre os metais mais móveis.

A Figura 18 mostra a variação da média dos fatores de mobilidade individual dos metais, nos pontos amostrados, em função do método de extração.



**Figura 18-** Comparação da mobilidade média dos metais estudados pelos protocolos BCR701 e TESSIER nas amostras do Rio Bento Gomes-Poconé MT

Pela figura 17, vê-se claramente que os metais mais móveis no sistema e, conseqüentemente, mais biodisponíveis, são o manganês, zinco, níquel, cromo e cobre, enquanto que os menos móveis são o Fe e Al.

### 4.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO BENTO GOMES

Os padrões de qualidade de água superficiais apresentam limites e parâmetros tanto para os ambientes de água doce quanto salobra, dispostos na legislação brasileira pela Resolução CONAMA nº 357 (CONAMA, 2005).

Esses parâmetros podem sofrer alterações em razão das atividades de exploração mineral, agricultura e pecuária, com reflexos na concentração de nutrientes (nitrogênio e fósforo), turbidez, sólidos dissolvidos e coliformes termotolerantes (bactérias indicadoras de presença de fezes de animais de sangue quente, como o gado).

Os resultados médios dos parâmetros físico-químicos e biológicos das águas na área de influência do Rio Bento Gomes estão na Tabela 23, correspondentes ao período seco e chuvoso, respectivamente.

**Tabela 23** – Resultados médios dos parâmetros de qualidade de água do Rio Bento Gomes, no período seco e chuvoso, e seus respectivos valores máximos permitidos para água doce classe 2 (CONAMA, 2005).

Parâmetro	Periodo seco	Periodo chuvoso	Resolução CONAMA nº 357/2005
Temperatura, °C	28,2 ±0,23	28,0±0,28	-
Cor, mg PtL <sup>-1</sup>	51,4±0,49	<b>77,5±0,64</b>	< 75
pH	7,5±0,16	6,2±0,10	6,0 – 9,0
Turbidez, UNT	43,3±0,41	11,3±0,90	< 100
Oxigênio dissolvido, mgL <sup>-1</sup>	6,0±0,10	<b>4,5±0,10</b>	>5,0
DBO, mgL <sup>-1</sup>	2,0±0,09	2,1±0,09	< 5,0
Nitrato, mg NL <sup>-1</sup>	0,07±0,11	0,1±0,15	< 10
Fosforo total, mg PL <sup>-1</sup>	0,06±0,10	0,07±0,25	< 0,1
Sólidos totais, mgL <sup>-1</sup>	110±0,11	63±0,10	< 500
Cloretos, mg CIL <sup>-1</sup>	4,8±0,30	4,1±0,21	< 250
Coliformes fecais, NMP100 mL <sup>-1</sup>	21±0,67	67±0,90	< 1.000

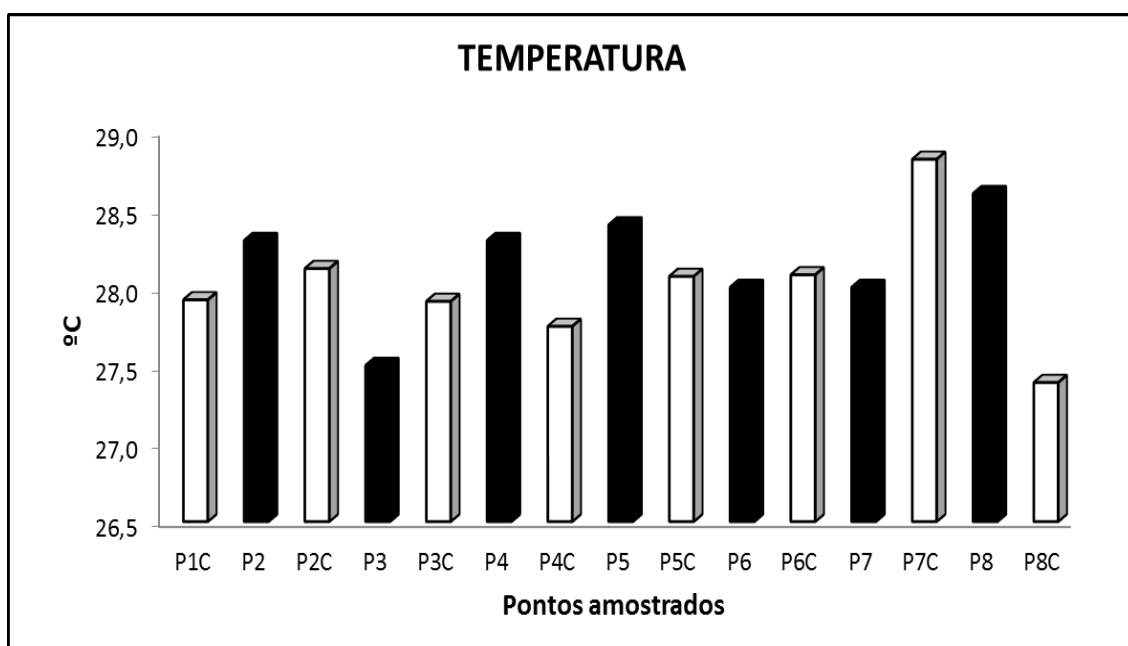
### 4.3.1 Parâmetros físicos:

#### 4.3.1.1 Temperatura:

A temperatura da água é um parâmetro importante, pois pode influenciar quase todos os processos físico-químicos e biológicos de um recurso hídrico, tais como: alterações na velocidade de sedimentação, saturação do oxigênio, evasão de substâncias tóxicas voláteis, aumento da velocidade de reação dos processos químicos e bioquímicos aeróbios e anaeróbios e da atividade metabólica dos organismos aquáticos.

Dessa forma, a qualidade da água deve ser avaliada com relação à temperatura e demais fatores, pois a sua qualidade implica na maior movimentação dos seres aquáticos, com conseqüente elevação do consumo de oxigênio dissolvido no meio e diminuição do poder de retenção do gás oxigênio através desse líquido (DERÍSIO, 2000).

A temperatura teve pouca variação entre os períodos avaliados (Figura 19) com valor médio entre os pontos amostrados de  $28,2 \pm 0,23^{\circ}\text{C}$  (período seca) e  $28 \pm 0,28^{\circ}\text{C}$  (período chuvoso) constantes na Tabela 22. Não há limites de temperatura estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357, sendo que a temperatura superficial da água é influenciada por fatores como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade.



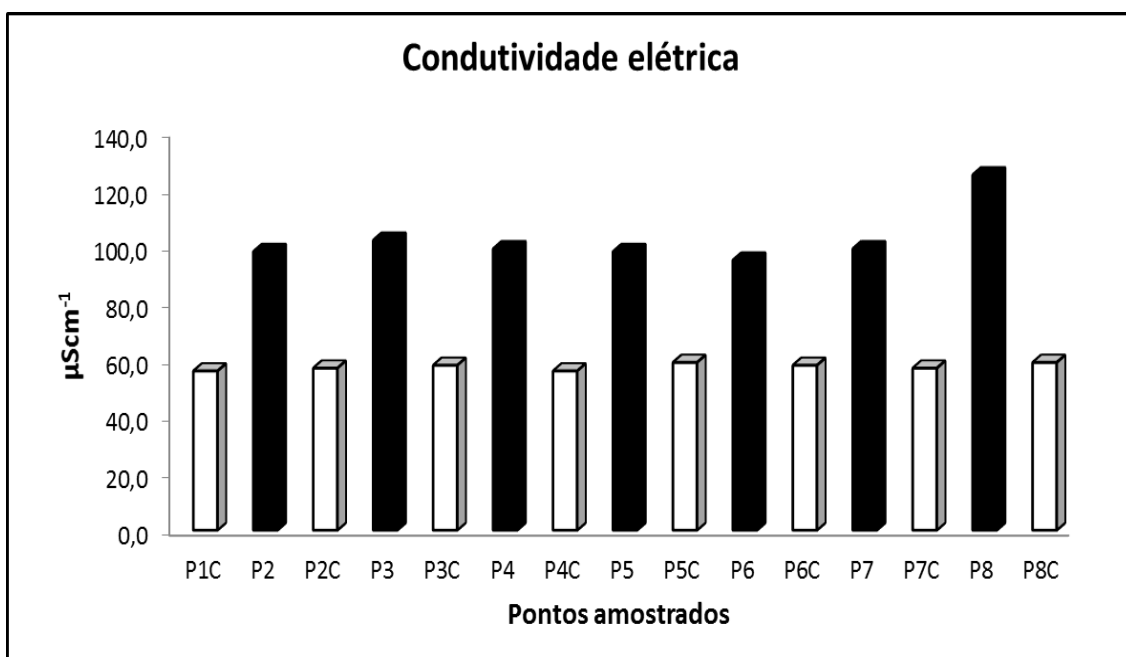
**Figura 19** – Temperatura da água nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: período seco; P1C a P8C: período chuvoso)

#### 4.3.1.2 Condutividade elétrica:

A condutividade é uma expressão numérica da capacidade da água conduzir corrente elétrica, dependente das concentrações iônicas e da temperatura.

Como parâmetro de qualidade de água representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis maiores que  $100 \mu\text{Scm}^{-1}$  indicam ambientes impactados.

Na água do Rio Bento Gomes o valor médio de condutividade é de  $102,3 \mu\text{Scm}^{-1} \pm 0,17$  (período seco) e  $57,5 \pm 0,25 \mu\text{Scm}^{-1}$  (período chuvoso) (Figura 20) e maior no ponto P8 ( $125 \mu\text{Scm}^{-1}$  período seco), situado à jusante do rio, ponto de captação de água da cidade. O resultado pode ter sido influenciado pelo processo de dragagem, muito frequente no período seco. A condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, altos valores podem indicar características corrosivas da água.

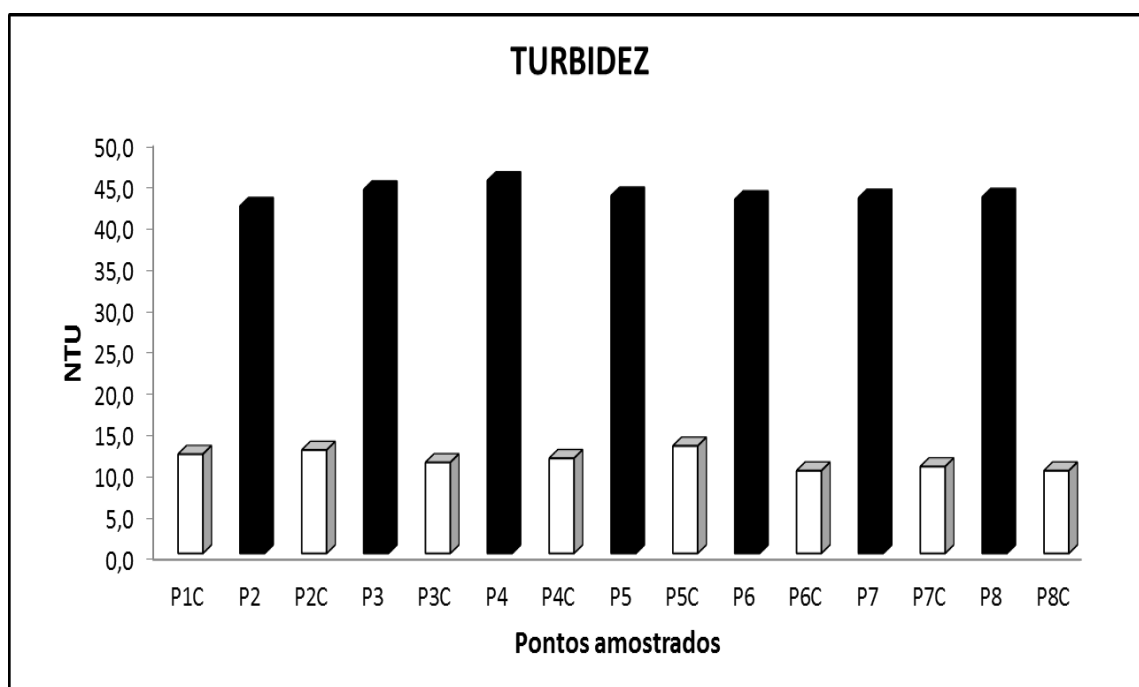


**Figura 20** – Condutividade elétrica da água nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: período seco; P1C a P8C: período chuvoso)

#### 4.3.1.3 Turbidez:

A turbidez pode ser definida como a alteração da penetração da luz por partículas em suspensão, geralmente constituídas por plâncton, bactérias, argila e silte em suspensão, além de lançamento de efluentes domésticos e industriais (MACÊDO, 2000).

A turbidez da água do Rio Bento Gomes variou entre os períodos avaliados, com a média de  $43,3 \pm 0,41$  NTU (no período seco) influenciada pela dragagem de areia e  $11,3 \pm 0,90$  NTU (no período chuvoso), embora não extrapolando o limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357, que é de 100 NTU (Figura 21).



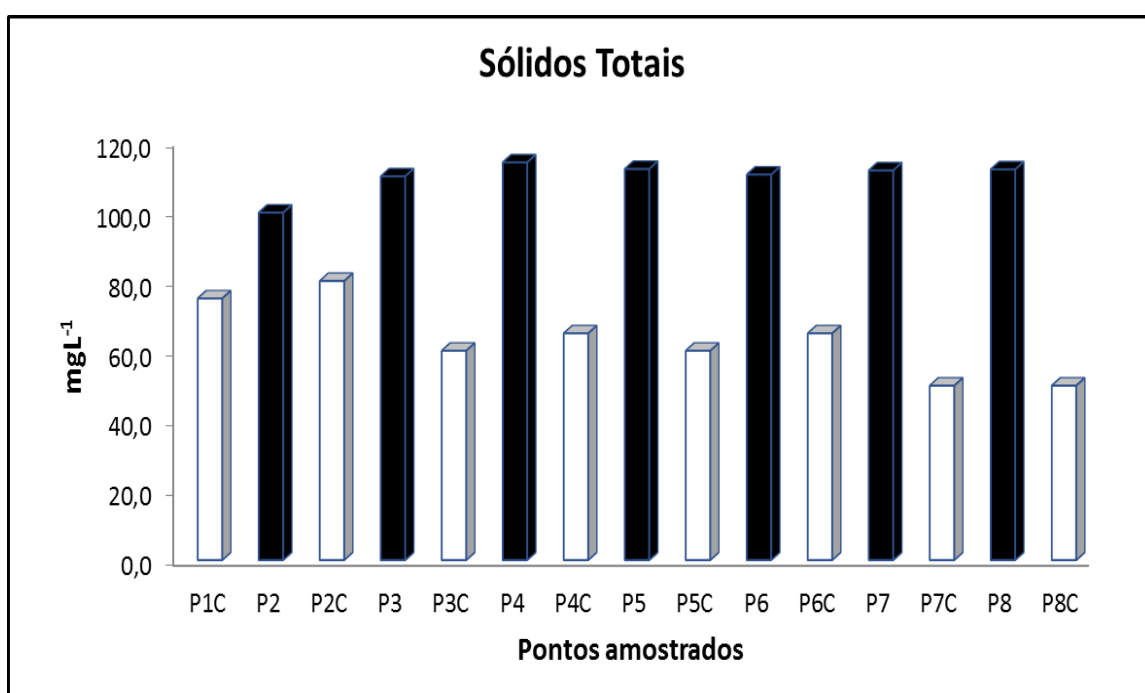
**Figura 21** – Turbidez da água nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: período seco; P1C a P8C: período chuvoso)



#### 4.3.1.4 Sólidos totais:

Refere-se à concentração das diversas frações de sólidos na água (sólidos em suspensão e dissolvidos) e que podem ser fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos (SPERLING, 1996).

A concentração de sólidos totais teve valores médios de  $111,6 \pm 0,11 \text{ mgL}^{-1}$  (seco) e  $63,1 \pm 0,10 \text{ mgL}^{-1}$  (chuvoso), os maiores valores no período seco variando de  $99,6 \pm 0,09 \text{ mgL}^{-1}$  em P2 e  $114,0 \pm 0,10 \text{ mgL}^{-1}$  no P4, entretanto, não ultrapassou o valor previsto na legislação Resolução CONAMA nº 357 que estabelece  $500 \text{ mgL}^{-1}$  (Figura 22).

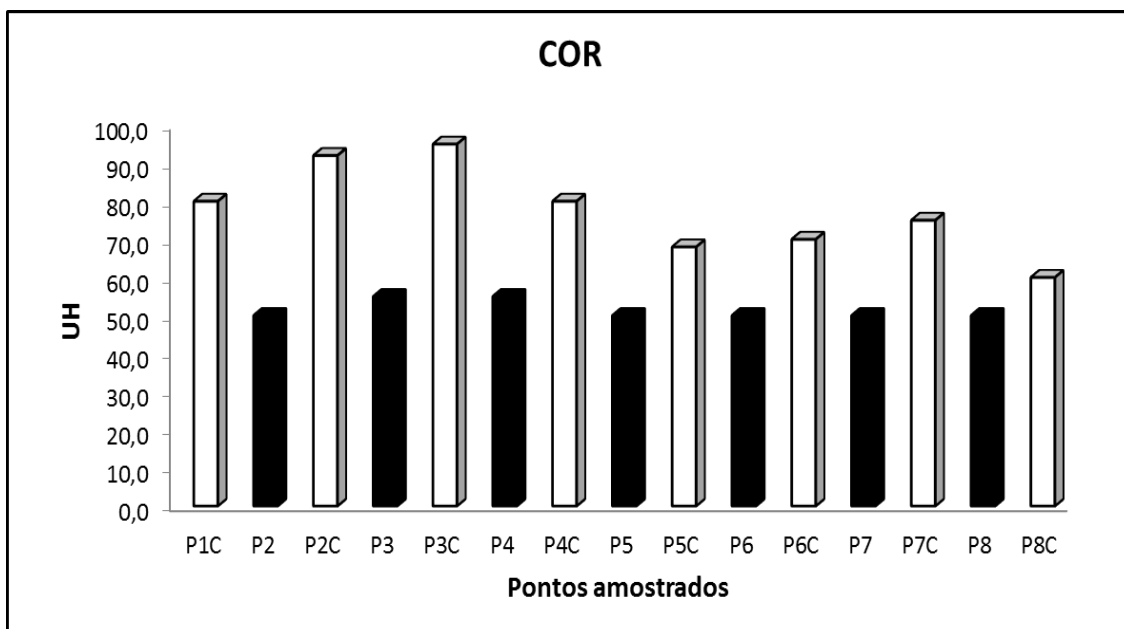


**Figura 22** – Teor de sólidos totais na água nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: período seco; P1C a P8C: período chuvoso)

#### 4.3.1.5 Cor:

A cor da água está associada à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal, geralmente compostos de ferro e matéria orgânica dissolvida (ácidos húmicos e fúlvicos). Além da origem natural, a cor da água pode ter origem antrópica, como o lançamento de efluentes domésticos e industriais.

Desse modo, a cor da água do Rio Bento Gomes (Figura 23) ultrapassou o valor permitido pela Resolução CONAMA nº 357 no período chuvoso com média dos pontos amostrados de  $77,5 \pm 0,64 \text{mgPtL}^{-1}$ , provavelmente devido ao carreamento de material inorgânico do solo, rico em óxidos de ferro, e matéria orgânica.



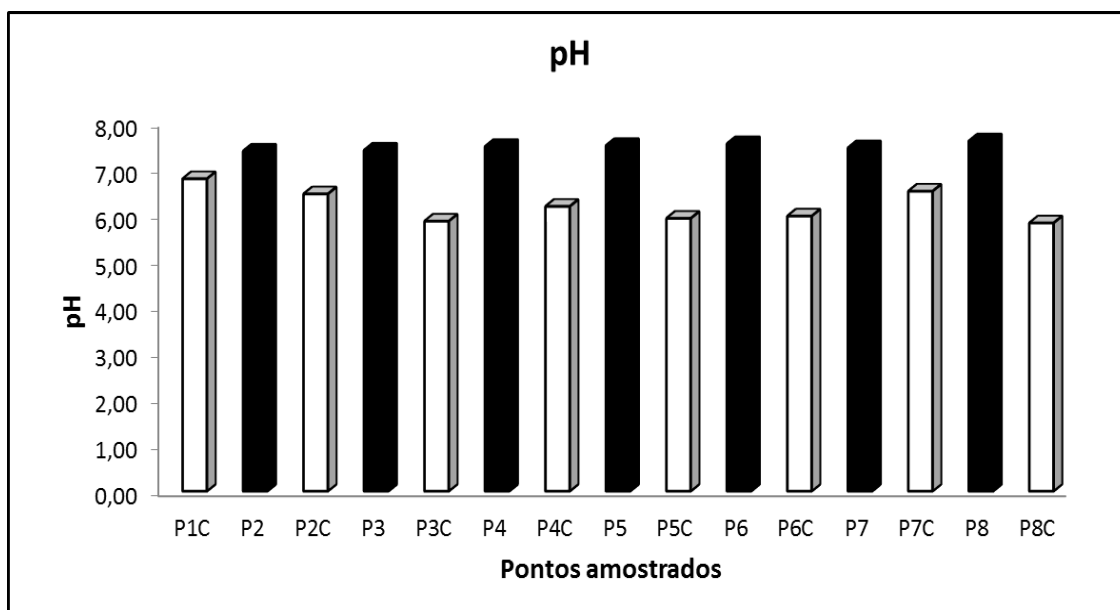
**Figura 23** – Cor da água nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: período seco; P1C a P8C: período chuvoso)

### 4.3.2 Parâmetros químicos e biológicos:

#### 4.3.2.1 pH:

O valor do pH das águas pode ser influenciado pelas características geológicas da bacia hidrográfica, pelos processos biológicos (fotossíntese e respiração) que ocorrem no meio, pelo lançamento de efluentes, decomposição microbiana da matéria orgânica e também por consequência da poluição atmosférica. SPERLING (1996) comenta que valores de pH abaixo de 7 podem afetar a vida aquática e valores elevados podem estar associados a proliferação de algas. O valor de pH das águas influencia na (bio)disponibilidade de elementos traço, aumentam a solubilidade de alguns elementos como Al, B, Cu, Cd, Hg, Mn e Fe (BASTOS, 2007).

O monitoramento do pH nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes demonstra que se manteve dentro dos padrões de estabelecido pela legislação vigente, apresentado média de  $7,5 \pm 0,16$  (período seco) e  $6,2 \pm 0,10$  (período chuvoso) (Figura 24).



**Figura 24** – pH da água nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: período seco; P1C a P8C: período chuvoso)

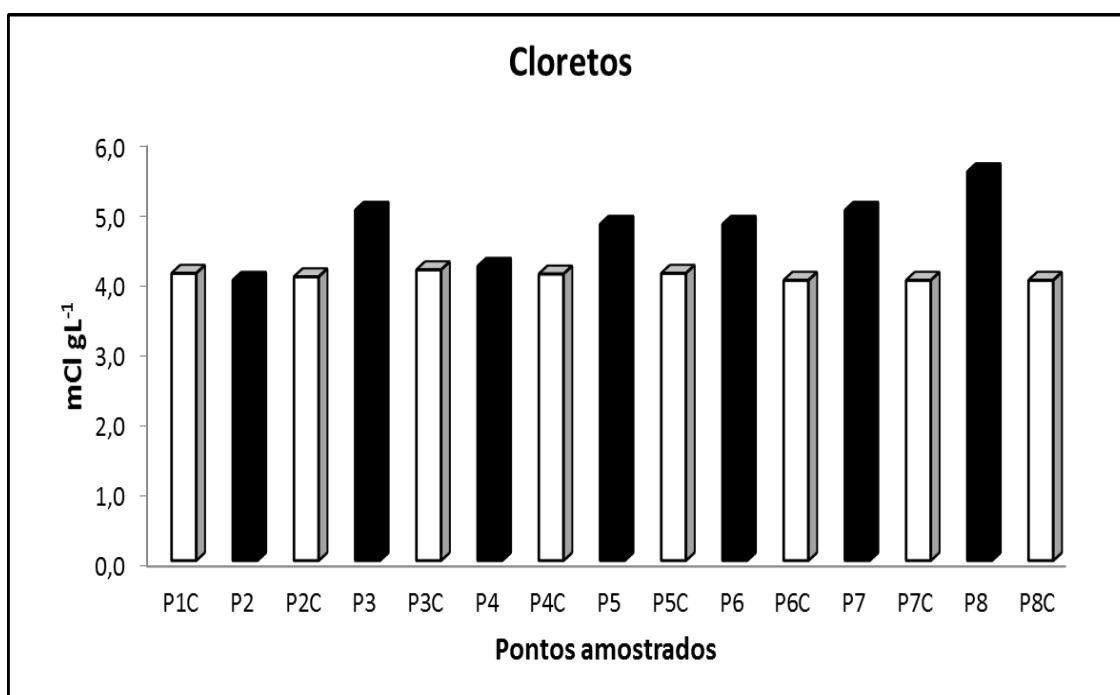
O pH se manteve na maioria dos pontos dentro dos limites médios exigidos pela Resolução CONAMA nº 357 que estabelece a faixa de 6 a 9. O menor valor de pH foi obtido no P8C ( $5,82 \pm 0,09$ ), ponto este localizado próximo

ao ponto de captação da cidade de Poconé, possivelmente ocasionado por materiais carreado dos solos do entorno pelo processo de inundação.

#### 4.3.2.2 Cloretos:

O teor de cloretos em águas naturais geralmente está relacionado à presença de descargas de esgotos sanitários no corpo hídrico, pois os cloretos podem ser expelidos através da urina. Outra fonte importante são os efluentes industriais.

Neste estudo, o teor de cloretos permaneceu bem abaixo do valor máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 357, com pouca variação entre os períodos seco ( $4,8 \pm 0,30 \text{ mg L}^{-1}$ ) e chuvoso ( $4,1 \pm 0,21 \text{ mg L}^{-1}$ ) (Figura 25). No ponto P8, próximo ao ponto de captação de água da cidade os teores de cloreto foram maiores, provavelmente devido a urbanização do entorno. PALÁCIO (2004) afirma que a concentração desse elemento é decorrente de ações antrópicas, como despejos de esgotos domésticos.

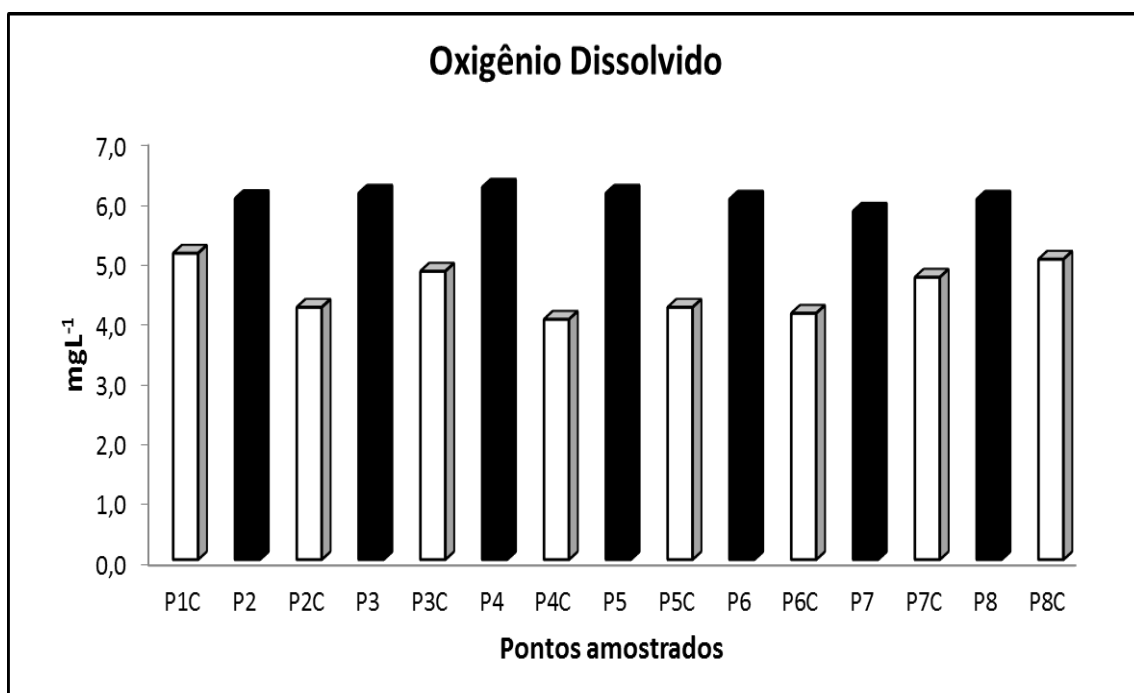


**Figura 25** – Teor de cloretos nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: período seco; P1C a P8C: período chuvoso)

#### 4.3.2.3 Oxigênio dissolvido (OD):

Os níveis de oxigênio dissolvido indicam a capacidade de um corpo d'água natural em manter a vida aquática. A sua concentração é um indicador primário da qualidade da água (JANZEN et al., 2008) e por isso constitui um dos principais parâmetros para controle dos níveis de poluição da água (BAUMGARTEN; POZZA, 2001).

A Resolução CONAMA 357 determina um valor maior a  $5,0 \text{ mg L}^{-1}$  para rios de Classe 2. No Rio Bento Gomes foram encontrados valores abaixo do limite mínimo estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357 (Figura 26) no período chuvoso, que refletiram nas médias das concentrações de OD, que foram de  $6,0 \pm 0,10 \text{ mg L}^{-1}$  no período seco e  $4,5 \pm 0,10 \text{ mg.L}^{-1}$  para o período chuvoso.



**Figura 26** – Oxigênio dissolvido nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: período seco; P1C a P8C: período chuvoso)

Segundo ESTEVES (1998), as condições de hipoxia (baixa concentração de oxigênio) ou mesmo anoxia em águas naturais, pode causar mortandade de peixes, mesmo em corpos hídricos totalmente livres de poluição, como os localizados na região pantaneira e amazônica. No Rio Bento Gomes foram detectados baixos valores de OD coincidindo com o período de máxima ocorrência de chuvas, e eventos de mortandade de peixes nesse período (Figura

27). SILVA et. al. (2008) obtiveram valores baixos de OD na região amazônica no período chuvoso ( $<5,0\text{mgL}^{-1}$ ), proporcionado pelo aporte de matéria orgânica no curso d'água, ocasionando o consumo de oxigênio para a sua degradação



biológica.

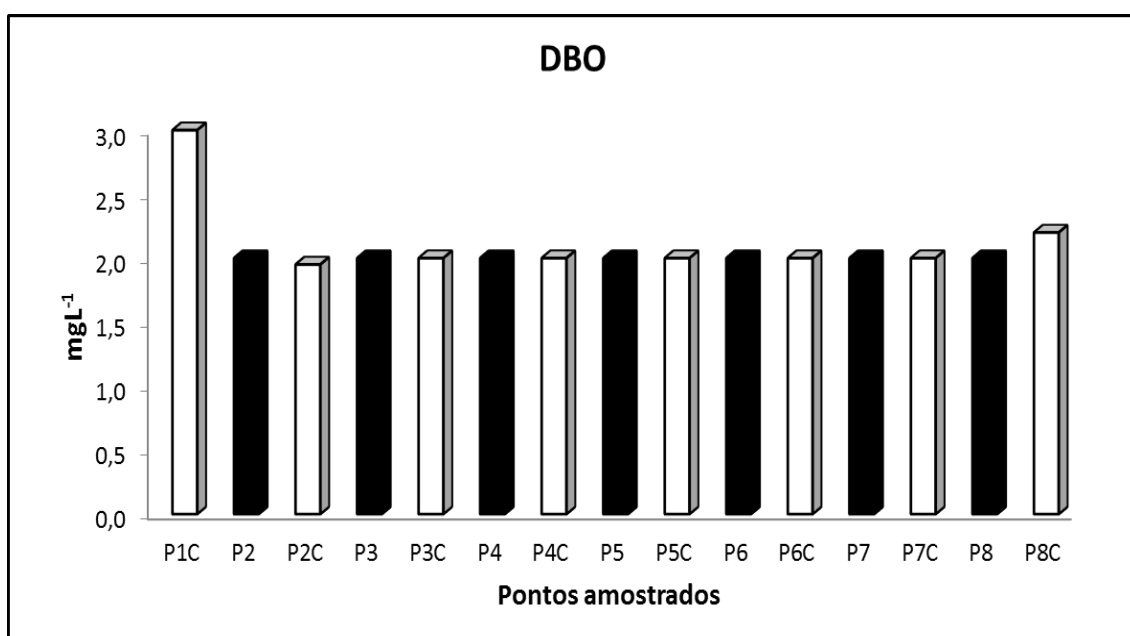
**Figura 27** – Ilustração da mortandade de peixes no Rio Bento Gomes devido à baixa concentração de oxigênio dissolvido na período chuvoso (Fonte: o autor).

Águas com baixos teores de oxigênio dissolvido indicam que receberam matéria orgânica; a decomposição da matéria orgânica por bactérias aeróbias é, geralmente, acompanhada pelo consumo e redução do oxigênio dissolvido da água; dependendo da capacidade de autodepuração do manancial, o teor de oxigênio dissolvido pode alcançar valores muito baixos, com efeitos deletérios para os organismos aquáticos aeróbios. Salienta-se ainda, que o decréscimo nas taxas de OD no período chuvoso contribuiu para a diminuição no valor de IQA de 78,1 para 69,6.

#### 4.3.2.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO):

A DBO é um indicador que determina, indiretamente, a concentração de matéria orgânica biodegradável por meio da demanda de oxigênio exercida pela respiração dos microrganismos (VALENTE et al., 1997).

Durante o período monitorado, a DBO não excedeu a concentração de  $5\text{mgL}^{-1}$ , referenciada pelo CONAMA (Figura 28), com média de aproximadamente  $2,0\text{ mg L}^{-1}$  em ambos os períodos. Percebe-se que o ponto P1C apresenta maior valor de DBO, esse valor pode estar relacionado com a quantidade de matéria orgânica depositada que com o período da cheia foi suspensa em função do movimento das águas e incorporada ao corpo d'água.

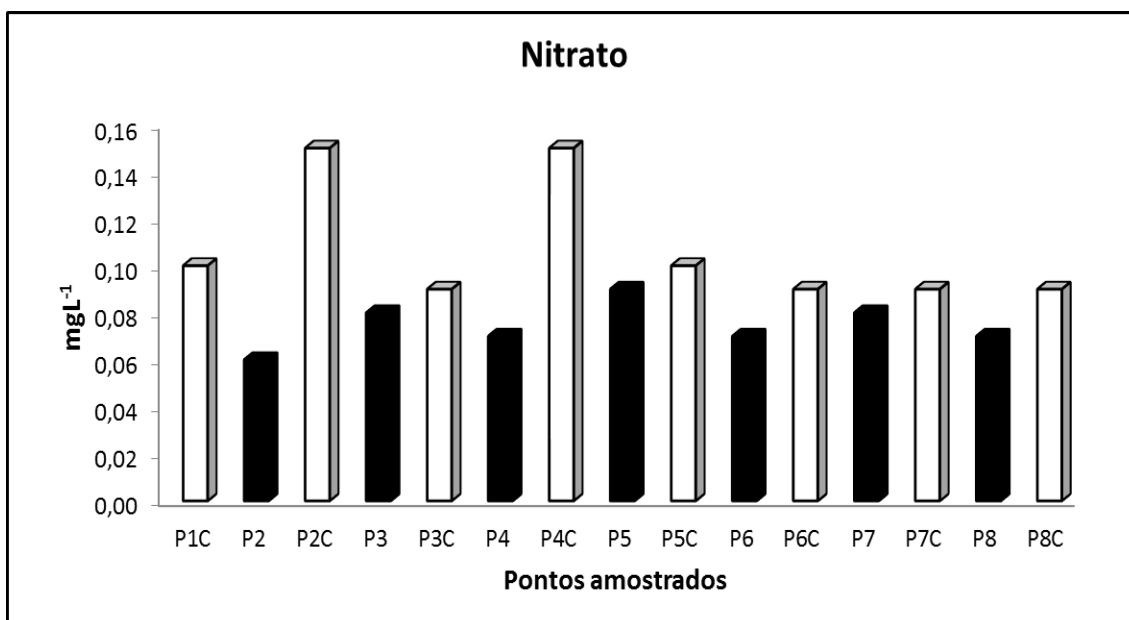


**Figura 28** – Demanda bioquímica de oxigênio nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: período seco; P1C a P8C: período chuvoso)

#### 4.3.2.5 Nitrato:

São diversas as fontes de nitrogênio nas águas naturais: os efluentes domésticos e industriais, a atmosfera, o escoamento das águas pluviais por solos fertilizados e nas áreas urbanas. Além disso, o nitrogênio pode ser encontrado nas águas nas formas reduzida (nitrogênio orgânico, amoniacal) e oxidada (nitrito e nitrato). A prevalência dessas formas de nitrogênio no manancial pode indicar se a fonte poluidora está próxima (formas reduzidas) ou distante (formas oxidadas).

Pela Resolução CONAMA nº 357, as formas de nitrogênio constituem padrão de classificação das águas naturais, sendo que o teor de nitrato em águas não pode ultrapassar a  $10 \text{ mg L}^{-1}$ . O rio Bento Gomes teve teor médio de nitrato de  $0,07 \pm 0,11 \text{ mgL}^{-1}$  (seco) e  $0,11 \pm 0,15 \text{ mgL}^{-1}$  (chuvoso), abaixo do valor máximo permitido (Figura 29), com valores ligeiramente maiores no período chuvoso, especialmente no ponto P2C ( $0,15 \pm 0,09 \text{ mgL}^{-1}$ ) e P4C ( $0,15 \pm 0,10 \text{ mgL}^{-1}$ ), provavelmente devido ao escoamento superficial do solo fertilizado pelas fezes de gado das fazendas da região.



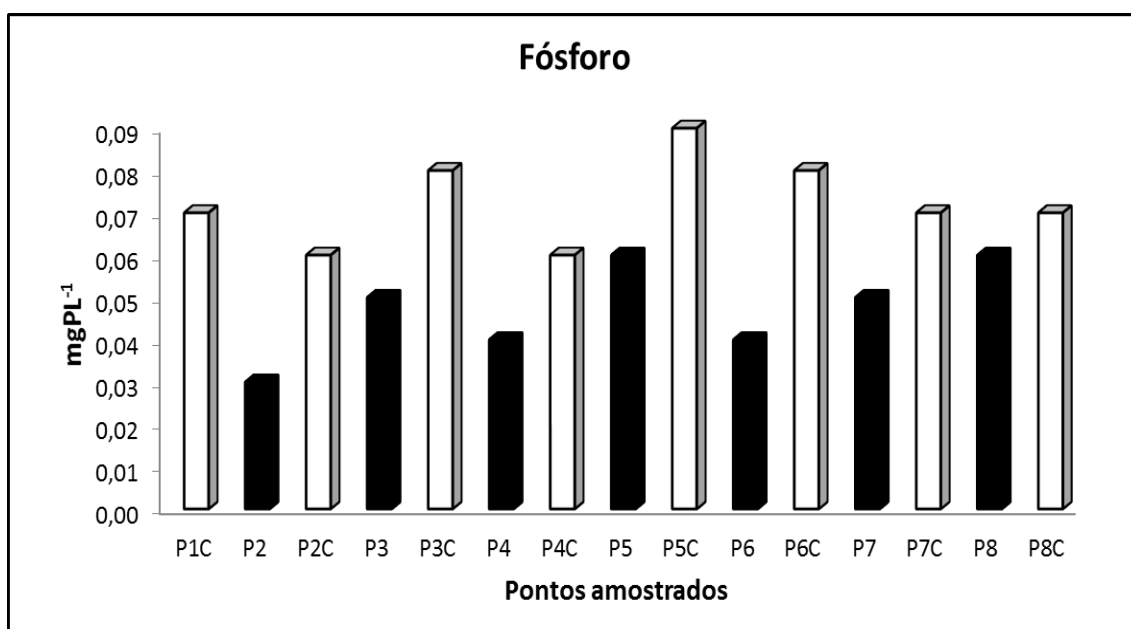
**Figura 29** – Teor de Nitrato nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: período seco; P1C a P8C: período chuvoso)



#### 4.3.2.6 Fósforo total:

A presença elevada de fósforo em águas pode ser proveniente da descarga de efluentes, especialmente domésticos. Assim como o nitrogênio, o fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, e o excesso de fósforo em esgotos sanitários e efluentes industriais, por outro lado, conduz a processos de eutrofização das águas naturais. Conforme MACEDO (2001), o fósforo pode ser originado naturalmente na bacia por meio da dissolução de rochas e da decomposição da matéria orgânica.

O teor de fosforo total nas águas do rio Bento Gomes não ultrapassou os limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357, para ambientes lóticos de rio Classe 2 (Figura 30).



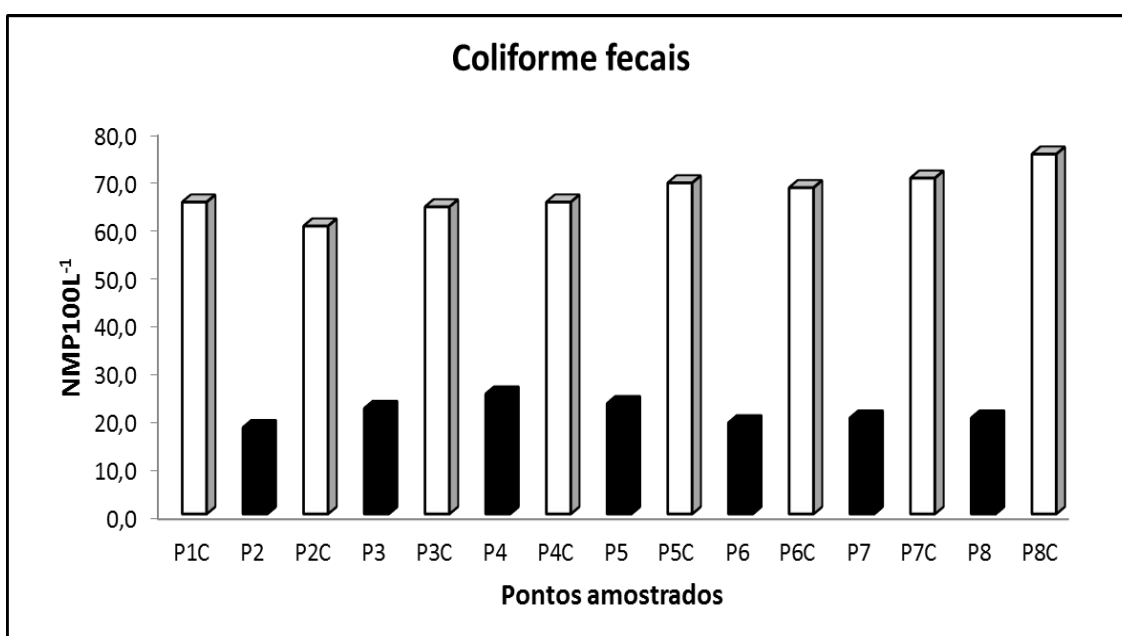
**Figura 30** – Teor de fósforo total nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: período seco; P1C a P8C: período chuvoso)

Os maiores valores foram encontrados no período chuvoso P3C= 0,08±0,15 mgL<sup>-1</sup> PO<sub>4</sub>; P5C= 0,09±0,30 mgL<sup>-1</sup> PO<sub>4</sub> e P6C= 0,08±0,15 mgL<sup>-1</sup> PO<sub>4</sub>.

#### 4.3.2.7 Coliformes fecais:

As bactérias do grupo coliforme são consideradas os principais indicadores de contaminação fecal, pois estão restritas ao trato intestinal de animais de sangue quente. Os valores médios para coliformes fecais foram de  $21 \pm 0,67$  NMP  $100 \text{ mL}^{-1}$  (período seco) e  $67,0 \pm 0,90$  NMP  $100 \text{ mL}^{-1}$  (período chuvoso).

A Resolução CONAMA nº 357 estabelece um limite para Águas Doces de Classe II de até 1.000 coliformes por 100 mL em, no mínimo, 80% das amostras coletadas em um ano. Os resultados do monitoramento no rio Bento Gomes são apresentados na Figura 31.



**Figura 31** – Coliformes fecais (NMP) nos pontos amostrados do Rio Bento Gomes (P2 a P8: período seco; P1C a P8C: período chuvoso)

Os pontos amostrados não apresentaram um padrão de variação sazonal. As amostras coletadas obtiveram os menores valores de coliformes fecais no período da seca variando de  $18 \pm 0,80$  NMP  $100 \text{ mL}^{-1}$  (P2) a  $25 \pm 0,25$  NMP  $100 \text{ mL}^{-1}$  (P4), e as amostras de água coletadas no período chuvoso apresentaram variação de  $60,0 \pm 0,60$  NMP  $100 \text{ mL}^{-1}$  (P2) a  $75,0 \pm 1,25$  NMP  $100 \text{ mL}^{-1}$  (P8) dentre os pontos de amostragem.

Os resultados mostram um aumento significativo no teor de coliformes fecais no período chuvoso, entretanto as concentrações de coliforme termo

tolerantes mantiveram-se dentro do limite estipulado pela legislação Resolução 357 do CONAMA. Verifica-se que a presença de bactérias do grupo coliforme provocou alterações nos outros parâmetros de qualidade de água, notadamente no período chuvoso, influenciando no resultado final do IQA do Rio Bento Gomes.

Como a amostragem foi realizada nos períodos seco e chuvoso, foram confeccionadas duas matrizes de correlação com os parâmetros de qualidade de água. Os valores foram considerados com correlação significativa quando  $r \geq 0,5$  ( $p < 0,05$ ), de acordo com as Tabelas 24 e 25.

**Tabela 24** – Matriz de correlação entre os parâmetros de qualidade da água do Rio Bento Gomes (período seco)

Parâmetros	Turbidez	Cor	pH	Eh	T °C	Cloreto	Dureza	OD	ST	EC	P	NO <sub>3</sub>	Coliforme
<b>Turbidez</b>	1,000												
<b>Cor</b>	<b>0,854</b>	1,000											
<b>pH</b>	0,062	-0,342	1,000										
<b>Eh</b>	<b>0,688</b>	<b>0,801</b>	0,044	1,000									
<b>T °C</b>	-0,171	-0,488	<b>0,549</b>	0,017	1,000								
<b>Cloreto</b>	-0,034	-0,215	<b>0,611</b>	0,023	<b>0,874</b>	1,000							
<b>Dureza</b>	-0,379	<b>-0,622</b>	<b>0,780</b>	-0,292	<b>0,789</b>	<b>0,833</b>	1,000						
<b>OD</b>	<b>0,634</b>	<b>0,655</b>	-0,012	<b>0,739</b>	-0,301	-0,359	-0,404	1,000					
<b>ST</b>	<b>0,694</b>	0,289	<b>0,591</b>	0,218	<b>0,734</b>	<b>0,521</b>	0,327	0,159	1,000				
<b>EC</b>	-0,004	-0,119	<b>0,582</b>	0,393	<b>0,635</b>	<b>0,678</b>	<b>0,524</b>	-0,065	0,201	1,000			
<b>Fosforo</b>	0,166	-0,131	<b>0,538</b>	0,027	<b>0,716</b>	<b>0,826</b>	<b>0,660</b>	-0,072	<b>0,642</b>	<b>0,550</b>	1,000		
<b>NO<sub>3</sub></b>	0,267	0,05	0,076	-0,196	0,294	0,428	0,275	-8,2E-16	<b>0,587</b>	-0,131	<b>0,745</b>	1,000	
<b>Coliforme</b>	<b>0,914</b>	<b>0,697</b>	0,044	<b>0,516</b>	0,049	-0,097	-0,352	<b>0,691</b>	<b>0,668</b>	-0,093	0,306	0,488	1,000

ST= sólidos totais; P=fósforo; EC= condutividade elétrica.

**Tabela 25** – Matriz de correlação entre os parâmetros de qualidade da água do Rio Bento Gomes (período chuvoso)

Parâmetros	Turbidez	Cor	pH	Eh	T °C	Cloreto	Dureza	OD	DBO	ST	EC	P	NO <sub>3</sub>	Coliforme
<b>Turbidez</b>	1,000													
<b>Cor</b>	0,348	1,000												
<b>pH</b>	0,310	0,316	1,000											
<b>Eh</b>	<b>-0,569</b>	<b>-0,521</b>	-0,401	1,000										
<b>T °C</b>	0,067	0,199	0,465	0,327	1,000									
<b>Cloreto</b>	<b>0,586</b>	<b>0,602</b>	-0,025	<b>-0,519</b>	-0,213	1,000								
<b>Dureza</b>	0,226	0,264	<b>0,578</b>	-0,262	0,015	0,244	1,000							
<b>OD</b>	-0,270	-0,062	0,212	0,095	-0,146	0,051	<b>0,828</b>	1,000						
<b>DBO</b>	0,130	-0,059	<b>0,576</b>	-0,490	-0,216	0,190	<b>0,703</b>	<b>0,649</b>	1,000					
<b>ST</b>	<b>0,588</b>	<b>0,566</b>	<b>0,508</b>	<b>-0,937</b>	-0,064	0,331	0,168	-0,271	0,318	1,000				
<b>EC</b>	-0,185	-0,493	<b>-0,805</b>	0,494	-0,233	-0,177	-0,259	0,041	-0,397	<b>-0,532</b>	1,000			
<b>P</b>	0,046	-0,302	<b>-0,517</b>	0,271	0,084	0,210	-0,206	0,024	-0,093	-0,340	<b>0,693</b>	1,000		
<b>NO<sub>3</sub></b>	<b>0,504</b>	0,430	0,283	<b>-0,519</b>	-0,119	0,171	-0,153	<b>-0,576</b>	-0,199	<b>0,610</b>	<b>-0,539</b>	<b>-0,701</b>	1,000	
<b>Coliforme</b>	<b>-0,557</b>	<b>-0,896</b>	-0,421	<b>0,752</b>	-0,164	<b>-0,537</b>	-0,111	0,333	-0,004	<b>-0,841</b>	<b>0,580</b>	0,335	<b>-0,640</b>	1,000

ST= sólidos totais; P=fósforo; EC= condutividade elétrica.

Observa-se correlação positiva entre os sólidos totais e a turbidez ( $r = 0,69$  e  $0,59$  no período seco e chuvoso, respectivamente), além dos parâmetros biológicos (coliformes fecais,  $r = 0,69$ ). Isso comprova que os sólidos podem reter bactérias e conter altos teores de sais minerais, constituindo um parâmetro preliminar importante para a qualidade da água.

A cor da água se correlacionou, no período seco, com a turbidez ( $r = 0,85$ ) e coliformes fecais ( $r = 0,70$ ), e no período chuvoso com o teor de cloretos ( $r = 0,61$ ) e sólidos totais ( $r = 0,57$ ) comprovando que os materiais transportados pelo rio impactam esses parâmetros de qualidade de água.

O pH se correlacionou com a dureza total ( $r = 0,78$ , período seco e  $r = 0,58$  período chuvoso) e Sólidos totais ( $r = 0,59$ , período seco), reflexo de sua influência na concentração de sais dissolvidos. Isso demonstra não há indícios de grandes alterações, como a proliferação de algas e a presença de efluentes domésticos, apresentando correlação negativa com coliforme fecal ( $r = -0,421$ ) no período chuvoso.

A condutividade fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece indicação das quantidades relativas dos vários componentes, podendo ser influenciada pelo teor de cloretos que teve correlação positiva ( $r = 0,68$ ) no período seco. No período seco, ocorre maior concentração de sais na água devido, em sua maior parte, às altas taxas de evaporação.

O teor de OD correlacionou-se positivamente com o potencial redox (Eh) ( $r = 0,74$ ), coliformes fecais ( $r = 0,69$ ), turbidez ( $r = 0,63$ ) e cor ( $r = 0,65$ ) no período de seca. Nesse período ocorreu aumento da turbidez devido a extração de areia no leito do rio, além disso a fotossíntese da vegetação submersa proporciona incremento na e também exerce grande influência na variação diurna do teor de oxigênio dissolvido.

O teor de nitratos correlacionou-se significativamente com o teor de sólidos totais ( $r = 0,61$  e  $0,59$ , período seco e chuvoso) e fosforo total ( $r = 0,74$ ) indicando provável origem dos sedimentos escoados e enriquecidos em nutrientes, especialmente fosforo e nitrogênio.

Os teores de fósforo se correlacionaram com o teor de nitrato ( $r = 0,75$ ) e cloretos ( $r = 0,83$ ), possivelmente por ser proveniente da mesma fonte, ou seja, despejos orgânicos e escoado do solo do entorno.

O teor de coliformes fecais se correlacionou com a turbidez ( $r = 0,91$ ), a cor ( $r = 0,70$ ) e com a DBO ( $r = 0,69$ ). Este fato se deve, provavelmente, ao aumento de matéria orgânica, fonte de coliformes na água, bem como nutrientes para os microrganismos, causando um aumento metabólico e de biomassa, alterando a cor e o pH do meio, além de aumentar a DBO.

#### 4.3.3 Índice de Qualidade de Água (IQA):

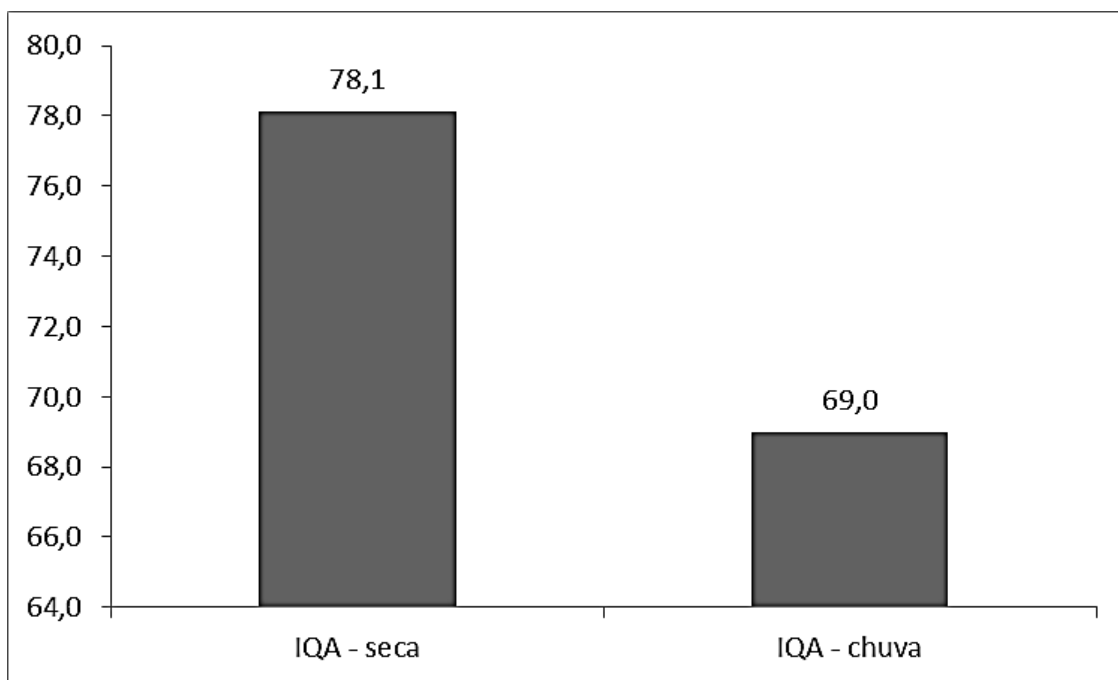
A Tabela 26 mostra os valores do IQA dos pontos amostrados no Rio Bento Gomes tanto no período seco quanto chuvoso. De acordo com essa tabela, o IQA assume valores que classificam as águas do Rio Bento como boa (período da seca) e de boa a regular (período chuvoso).

Observa-se que houve redução no índice de qualidade da água das amostras coletadas de água do período seco para o chuvoso. Isto indica que o escoamento superficial pode ter contribuído para tal fato, favorecendo a entrada de contaminantes de origem fecal e de carga orgânica, além do aumento do volume de água, o qual possibilitou o revolvimento do fundo e ressuspensão de partículas elevando a concentração da turbidez, sólidos e da demanda bioquímica de oxigênio

**Tabela 26** – Valores do Índice de Qualidade de Águas (IQA) dos pontos amostrados no rio Bento Gomes.

Pontos amostrados	Valor IQA	Classificação IQA	Valor IQA	Classificação IQA
	Período seco		Período chuvoso	
P1	-	-	74,0	BOA
P2	79,0	BOA	70,0	REGULAR
P3	78,0	BOA	69,0	REGULAR
P4	78,0	BOA	68,0	REGULAR
P5	78,0	BOA	66,0	REGULAR
P6	78,0	BOA	67,0	REGULAR
P7	78,0	BOA	73,0	BOA
P8	78,0	BOA	70,0	REGULAR

Para cada período monitorado, a média do IQA é representada pela Figura 32:



**Figura 32** – Média do IQA dos pontos amostrados do Rio Bento Gomes, na período seco e chuvosa.

Os resultados indicam que houve queda na qualidade da água no período chuvoso, principalmente nos pontos P2, P3, P4, P5, P6 e P8. As variações observadas desse índice podem em parte ser creditadas às diferenças nas características pluviométricas das etapas de amostragem e em parte serem devidas a variações no aporte de sais e contaminantes para dentro do corpo de água amostrado.

A concentração dos sais no período seco e a diluição no período das chuvas causam conseqüentemente uma variação nos valores de IQA; mas esta variação não é suficiente para promover a mudança de classe destas águas ao longo do percurso analisado.

A análise puramente numérica dos valores de IQA permitiu a elaboração de uma classificação escalonada, a partir das médias (Figura 32). Com base nessa avaliação foi possível determinar as estações amostrais, bem como a época do ano, de pior e melhor qualidade de água.

Vale ressaltar que a medida dos resultados de IQA leva em consideração apenas os parâmetros que podem afetar as propriedades organolépticas, o equilíbrio ecológico (por exemplo, eutrofização) e os riscos sanitários mais



imediatos, sem levar em conta outras substâncias, tais como tais como hidrocarbonetos tóxicos e metais que precisam ser igualmente considerados.

Portanto, é necessária uma avaliação mais rigorosa da qualidade de corpos de águas, com a inclusão de parâmetros como a vazão, condutividade, óleos e graxas ou Hidrocarbonetos, metais-traço e clorofila, que podem indicar de forma mais precisa os possíveis impactos que afetam o corpo d'água.

## 5. CONCLUSÕES

---

1. Os parâmetros físico-químicos do sedimento mostraram baixa variabilidade em ambos os períodos seco e chuvoso, com maiores variações nos teores de carbono orgânico, pH e na capacidade de troca catiônica (CTC) no período chuvoso, provavelmente devido ao carreamento de material dos solos circundantes pelo escoamento superficial.
2. A composição mineralógica das amostras de sedimentos indicou a presença marcante de quartzo em todos os pontos amostrados tanto no período seco quanto no período chuvoso, condizente com a granulometria predominantemente arenosa do sedimento.
3. A geoquímica dos sedimentos é composta predominantemente por  $\text{SiO}_2$ , seguido do  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{MgO}$  (nesta ordem). Os teores elevados de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  geralmente estão relacionados com a presença da clorita e quartzo.
4. A concentração pseudo total dos metais Cd, Cr, Cu, Mn, Fe e Zn do sedimento apresentaram níveis baixos, não ultrapassando os valores orientadores da Resolução CONAMA nº 454, nos dois períodos sazonais, com exceção do Ni, que obteve teores acima do nível-1 permitido no período chuvoso em um dos pontos amostrados.
5. Pelos procedimentos de fracionamento geoquímico, verificou-se que todos os metais encontram-se presentes em concentrações expressivas em frações potencialmente mobilizáveis (F1+ F2+F3), em ambos protocolos de extração sequencial, especialmente associados aos óxidos de ferro e à matéria orgânica do sedimento.
6. Na avaliação da disponibilidade dos metais no meio aquático, os Fatores de Mobilidade Global (Fmg) calculados para os sedimentos do Rio Bento Gomes mostram um enriquecimento dos metais nas frações mais disponíveis,

notadamente no ponto P8; já a análise dos Fatores de Mobilidade Individual dos metais (Fmi), os metais mais móveis no meio e, conseqüentemente, mais biodisponíveis, são o manganês, zinco, níquel, cromo e cobre, enquanto que os menos móveis são o Fe e Al.

7. A qualidade da água do rio Bento Gomes foi classificada como Boa (no período da seca) e Boa a Regular (no período chuvoso) ao longo dos oito pontos amostrados no curso do rio, sendo que as variáveis coliformes termotolerantes, OD e cor foram as que mais contribuíram negativamente para o IQA.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- ABOLLINO, O.; MALANDRINO, M.; GIACOMINO, A.; MENTASTI, E. The role of chemometrics in single and sequential extraction assays: a review: Part I. Extraction procedures, uni and bivariate techniques and multivariate variable reduction techniques for pattern recognition. **Analytica Chimica Acta**, v. 688, n. 2, p. 104-121, 2011.
- AHLF, W.; FORSTNER, U. Managing contaminated sediments. **Journal Soils & Sediments**, v. 1, n. 1, p. 30-36, 2001.
- ALLEONI, L. R. F.; IGLESIAS, C. S. M.; MELLO, S. C.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C.; LAVORENTI, N. A. Atributos do solo relacionados à adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, p. 729-737, 2005.
- ALLOWAY, B. J. (Ed) **Heavy metals in soils**. London: Blackie Academic and Professional, 1995.
- ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 81-97, 2003.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22nd ed. Washington: American Public Health Association/American Water Works Association/ Water Environment Federation, 2012.
- ARAN, D.; MAUL, A.; MASFARAUD, J. F. A spectrophotometric measurement of soil cation exchange capacity based on cobaltihexamine chloride absorbance. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 340, n. 12, p. 865-871, 2008.
- ARIEIRA, J.; CUNHA, C. N. Fitossociologia de uma floresta inundável monodominante de *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae), no Pantanal Norte, MT, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 569-580, 2006.
- ARUNACHALAM, J.; EMONS, H.; KRASNODEBSKA, B.; MOHL, C. Sequential extraction studies on homogenized forest soil samples. **Science of the Total Environment**, v. 181, n. 2, p. 147-159, 1996.
- BACON, J. R.; DAVIDSON, C. M. Is there a future for sequential chemical extraction? **Analyst**, v. 133, p. 25-46, 2008.
- BACON, J. R.; HEWITT, I. J.; COOPER, P. Reproducibility of the BCR sequential extraction procedure in a long-term study of the association of heavy metals with soil components in an upland catchment in Scotland. **Science of the Total Environment**, v. 337, p. 191-205, 2005.

BALLS, P. W. The partition of trace metals between dissolved particulate phases in European coastal waters: a compilation of field data and comparison with laboratory studies. **Netherlands Journal Sea Research**, v. 23. n. 1. p. 7-14, 1989.

BANDUCCI JÚNIOR, A. **Sociedade e natureza no pensamento pantaneiro: representação de mundo e o sobrenatural entre os peões das fazendas de gado na “Nhecolândia” (Corumbá-MS)**. 1995. 200 f. Dissertação (Mestrado em Antropologia Social) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

BANERJEE, A. D. K. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India. **Environmental Pollution**, v. 123. p. 95-105, 2003.

BARBIERO, L.; REZENDE FILHO, A.; FURQUIM, S. A. C. ; FURIAN, S.; SAKAMOTO, A. Y.; VALLES, V.; GRAHAM, R. C.; FORT, M.; FERREIRA, R. P. D.; QUEIROZ NETO, J. P. Soil morphological control on saline and freshwater lake hydrogeochemistry in the Pantanal of Nhecolândia, Brazil. **Geoderma**, v. 148, p. 91-106, 2008.

BARRA, C. M.; SANTELLI, R. E.; ABRÃO, J. J.; GUARDIA, M. de la. Especificação de arsênio – uma revisão. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 58-70, 2000.

BARRETTO, A. S. **Estudo da distribuição de metais em ambiente lótico, com ênfase na assimilação pelas comunidades biológicas e na sua quantificação no sedimento de na água**. 1999. 274 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

BASTOS, I. C. de O. **Avaliação do índice de qualidade de água no Ribeirão Capim, Médio Rio Doce, MG**. 2007. 110 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Ambiental) - Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

BAUMGARTEN, M. G. Z.; POZZA, S. A. **Qualidade de águas: descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental**. Rio Grande: Ed. FURG, 2001. 166 p.

BERGAYA, F.; THENG, B. K. G.; LAGALY, G. **Handbook of clay science**. Amsterdam: Elsevier, 2006, 1224 p.

BERTSCH, P. M.; HUNTER, D. B. Applications of synchrotron-based X-ray microprobes. **Chemical Reviews**, v. 101, n. 6, p. 1809-1842, 2001.

BEVILACQUA, J. E. **Estudos sobre a caracterização e a estabilidade de amostras de sedimento do Rio Tietê, SP**. 1996. 171 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1996.

BEVILACQUA, J. E.; SILVA, I. S. da; LICHTIG, J.; MASSINI, J. C. Extração seletiva de metais pesados em sedimentos de fundo do rio Tietê, SP. **Química Nova**, v. 32, n. 1, p. 26-33, 2009.

BIRCH, G. F.; TAYLOR S. E.; MATTHAI, C. Small-scale spatial and temporal variance in the concentration of heavy metal in aquatic sediments: a review and some new concepts. **Environmental Pollution**, v. 113, p. 357-372, 2001.

BHOGAL, A.; NICHOLSON, F. A.; CHAMBERS, B. J.; SHEPHERD, M. A. Effects of past sewage sludge additions, on heavy metal availability in light textured soils: implications for crop yields and metal uptakes. **Environmental Pollution**, v. 121, p. 413-423, 2003.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305 p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SB.23 Teresina e parte da folha SB.24 Jaguaribe**. Rio de Janeiro, 1973. (Levantamento de recursos naturais, v. 2).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SD.21 Cuiabá**. Rio de Janeiro, 1982 (Levantamento de recursos naturais, v. 26).

BROWN, R. M.; McCLELLAND, N. I.; DEININGER, R. A.; TOZER, R. Z. A water quality index-do we dare? **Water & Sewage Works**, v. 117, p. 339-343, 1970.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. **Canadian environmental quality guidelines for the protection of aquatic life**. 1999. Disponível em: <[http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn\\_1497\\_waste\\_char.rpt\\_final\\_e.pdf](http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1497_waste_char.rpt_final_e.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2013.

CAPPUYNS, V.; SWENNEN, R. Kinetics of element release during combined oxidation and pH stat leaching of anoxic river sediments. **Applied Geochemistry**, v. 20, p.1169-1179, 2005.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Decisão de Diretoria n. 195-2005-E, de 25 de novembro de 2005**: dispõe sobre valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo 2005, em substituição aos valores orientadores de 2001. São Paulo, 2005a. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela\\_valores\\_2005.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf)>. Acesso em: 10 fev. 2012.

COMPANHIA TECNOLÓGICA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidades das águas interiores do estado de São Paulo 2004/CETESB**. São Paulo: CETESB, 2005b. 297 p.

CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. Weathering rates and and thropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. **Applied Geochemistry**, v. 19, p. 575-591, 2004.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. nº 53, p. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 08 dez. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 dez. 2009. nº 249, p. 81-84. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1>>. Acesso em 13 jan. de 2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 454, de 01 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 08 nov. 2012. nº 216, Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>>. Acesso em: 14 mar. 2014.

CORDEIRO, J. L. P. **Estrutura e heterogeneidade da paisagem em uma unidade de conservação no nordeste do Pantanal (RPPN Sesc Pantanal), Mato Grosso, Brasil**: efeitos sobre a distribuição e densidade de antas (*Tapirus terrestris*) e de cervos-do-pantanal (*Blastoserus dichotomus*). 2004. 202 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CORINGA, E. A. O. **Geoquímica elementar e formas de ferro e manganês em solos do Pantanal Norte Mato-grossense**. 2011. 229 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

COSTA, M. L.; CARMO, M. S.; BEHLING, H. MINERALOGIA e geoquímica de sedimentos lacustres com substrato laterítico na Amazônia brasileira. **Brazilian Journal of Geology**, v. 35, p. 165-176, 2005.

- COSTA, N. H. A. D.; SERAPHIN, J. C.; ZIMMERMANN, F. J. P. Novo método de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 243-249, 2002.
- CSUROS, M. **Environmental sampling and analysis**: lab manual. Boca Raton: Lewis Publishers, 1997. 373 p.
- DAS, K. B.; CHAKRABORTY, R.; CERVERA, M. L.; GUARDIA, M. de la. Metal speciation in solid matrices. **Talanta**, v. 42, n. 8, p. 1007-1030, 1995.
- DAVIDE, A. C.; PINTO, L. V. A.; MONNERAT, P. F.; BOTELHO, S. A.; PRADO, N. J. S. **Nascente**: o verdadeiro tesouro da propriedade rural. 2. ed. Belo Horizonte: CEMIG, 2004. 62 p.
- DAVIDSON, C. M.; THOMAS, R. P.; McVEY, S. E.; LITTLEJOHN, D.; URE, A. M. Evaluation of a sequential extraction procedure for the speciation of heavy metals in sediments. **Analytica Chimica Acta**, v. 291. p. 277-286, 1994.
- DAVIDSON, C. M.; DUNCAN, A.; LITTLEJOHN, D.; URE, A. M.; GARDEN, L. M. A critical evaluation of the three-stage BCR sequential extraction procedure to assess the potential mobility and toxicity of heavy metals in industrially-contaminated land. **Analytica Chimica Acta**, v. 363, p. 45-55, 1998.
- DAVUTLUOGLU, O. I.; SECKIN, G.; ERSU, C. B.; YILMAZ, T.; SARI, B. Heavy metal content and distribution in surface sediments of the Seyhan River, Turkey. **Journal of Environmental Management**, v. 92, p. 2250-2259, 2011.
- DE GROOT, A. J.; SALOMONS, W.; ALLERSMA, E. Processes affecting heavy metals in estuarine sediments. In: BURTON, J. D.; LISS, P. S. (Ed.). **Estuarine chemistry**. New York: Academic Press, 1976. p. 131-157.
- DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 2. ed. São Paulo: Signus, 2000. 164 p.
- DEVESA-REY, R.; DÍAZ-FIERROS, F.; BARRAL, M. T. Trace metals in river bed sediments: an assessment of their partitioning and bioavailability by using multivariate exploratory analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 9, p. 2471-2477, 2010.
- DUFFS, J. H. "Heavy metals" – a meaningless term? **Pure and Applied Chemistry**, v. 74, p. 793-807, 2002.
- DURIGAN, G.; SIQUEIRA, M. F. de ; FRANCO, G. A. D. C. Threats to the Cerrado remnants of the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 4, p. 355-363, 2007.
- ELMI, A. A.; MADRAMOTO, C.; MOHAMUD, E; HAMEL, C. Water and fertilizer nitrogen management to minimize nitrate pollution from a cropped soil in southwestern Quebec, Canada. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 151, p. 117-134, 2004.



EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa CNPS, 2006. 306 p.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.

FADIGAS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M.; ANJOS, L. H. C. dos; FREIXO, A. A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, v. 61, p. 151-159, 2002.

FAGNANI, E.; GUIMARÃES, J. R.; MOZETO, A. A.; FADIN, P. S. Sulfetos volatilizáveis por acidificação e metais extraídos simultaneamente na avaliação de sedimentos de água doce. **Química Nova**, v. 34, n. 9, p. 1618-1628, 2011.

FAVARO, D. I. T.; MOREIRA, S. R. D.; CAMPOS, V. A.; MAZZILLI, B.; CAMPAGNOLI, F. **Determinação multielementar por ativação neutrônica de sedimento do Reservatório Billings, Braço Rio Grande, São Paulo**. In: ENCONTRO NACIONAL DE APLICAÇÕES NUCLEARES, 5., 2001. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEN, 2001. 1 CD-ROM.

FERNANDES, H. M. Heavy metal distribution in sediments and ecological risk assessment: the role of diagenetic processes in reducing metal toxicity in bottom sediments. **Environmental Pollution**, v. 97, n. 3, p. 317-325, 1997.

FERNANDES, I. M.; SIGNOR, C. A.; PENHA, J. **Biodiversidade no Pantanal de Poconé**. Cuiabá: Centro de Pesquisa do Pantanal, 2010.

FERNANDES, D.; LEHUGEUR, L. G. O.; PEREIRA, L. L.; GOMES, D. F.; FREIRE, G. S. S. Caracterização de amônia, nitrato, nitrito, fosfato (orto) dissolvido e clorofila "a" em uma fazenda de cultivo de camarão. **Revista de Geologia**, v. 20, n. 1, p. 99-117, 2007.

FERREIRA, P. R. G.; SANTANA, G. P. Tratamento químico seletivo: uma especificação operacional. **Scientia Amazonia**, v. 1, n. 3, p. 40-48, 2012.

FERREIRA, A.; INACIO, M. M.; MORGADO, P.; BATISTA, M. J.; FERREIRA, L.; PEREIRA, V.; PINTO, M. S. Low-density geochemical mapping in Portugal. **Applied Geochemistry**, v. 16, p. 1323-1331, 2001.

FILGUEIRAS, A. V.; LAVILLA, I.; BENDICHO, C. Chemical sequential extraction for metal partitioning in environmental solid samples. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 4, p. 823-857, 2002.

FLORENCE, T. M. The speciation of trace elements in water. **Talanta**, v. 29, p. 345-364, 1982.

FLORES, J. C. Comments to the use of water quality indices to verify the impact of Cordoba City (Argentina) on Suquiya river. **Water Research**, v. 36, p. 4664-4666, 2002.

FÖRSTNER, U. **Contaminated sediments**: lectures on environmental aspects of particle-associated chemicals in aquatic systems. Berlin; New York: Springer-Verlag, 1989. 157 p. (Lecture notes in earth sciences, v. 21).

FÖRSTNER, U. Non-linear release of metals from aquatic sediments. In: SALOMONS, W.; STIGLIANI, W. M. (Ed.). **Biogeochemistry of pollutants in soils and sediments**. Berlin: Springer, 1995. Chap. 11, p. 247-307.

FÖRSTNER, U. Geochemical techniques on contaminated sediments - river basin view. Part I: integrated water quality management: river basin approach. **Environmental Science & Pollution**, v. 10, n.1, p. 58-62, 2003.

FORSTNER, U. G.; WITTMANN, G. T. W. **Metal pollution in the aquatic environment**. Berlin: Springer-Verlag, 1981.

FUENTES, A.; LLORÉNS, M.; SÁEZ, J.; SOLER, A.; AGUILAR, M. I. S.; ORTUÑO, J.; MESEGUER, V. F. Simple and sequential extractions of heavy metals from different sewage sludges. **Chemosphere**, v. 54, n. 8, p. 1039-1047, 2004.

FURQUIM, S. A. C.; GRAHAM, R. C.; BARBIERO, L.; QUEIROZ NETO, J. P.; VIDAL-TORRADO, P. Soil mineral genesis and distribution in a saline lake landscape of the Pantanal Wetland, Brazil. **Geoderma**, v. 154, p. 518-528, 2010.

GAO, X.; CHEN, C. T. A.; WANG, G.; XUE, Q.; TANG, C.; CHEN, S. Environmental status of Daya Bay surface sediments inferred from a sequential extraction technique. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.86, p. 369-378, 2010.

GIRÃO, E. G.; ANDRADE, E. M.; ROSA, M. F.; ARAUJO, L. F. P.; MEIRELES, A. C. M. Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibaras pelo emprego da análise da componente principal. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 1, p. 17-24, 2007.

GLEYZES, C.; TELLIER, S.; ASTRUC, M. Fractionation studies of trace elements in contaminated soils and sediments: a review of sequential extraction procedures. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 21, n. 6, p. 451-467, 2002.

GOMES, P. C. **Fracionamento e biodisponibilidade de metais pesados por calagem e concentrações de metais em Latossolo Vermelho-amarelo**. 1996. 161 f. Tese (Doutorado em Solos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

GORE, P. J. W. **Depositional sedimentary environments**. 2010. Disponível em: <[http://facstaff.gpc.edu/~pgore/geology/historical\\_lab/2010SedimentaryEnvironments.pdf](http://facstaff.gpc.edu/~pgore/geology/historical_lab/2010SedimentaryEnvironments.pdf)>. Acesso em: 26 ago. 2014.

GRIMALT, J. O.; ALBAIGES, J. Characterization of the depositional environments of the Ebro delta (Western Mediterranean) through the study of sedimentary lipid markers. **Marine Geology**, v. 92, p. 207-224, 1990.

GUEVARA-RIBA, A.; SAHUQUILLO, A.; RUBIO, R.; RAURET, G. Assessment of metal mobility in dredged harbour sediments from Barcelona. **Science of the Total Environment**. v. 321, p. 241-255, 2004.

GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q.; CAMPOS, M. L.; MARCHI, G. Elementos traços em solos e sistemas aquáticos. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 3, p. 345-390, 2005.

HALL, G. E. M.; GAUTHIER, G.; PELCHAT, J. C.; PELCHAT, P.; VAIVE, J. E. Application of a sequential extraction scheme to ten geological certified reference materials for the determination of 20 elements. **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, v. 11, p. 787-796, 1996.

HAMILTON, S. K.; SIPPEL, S. J.; CALHEIROS, D. F.; MELACK, J. M. Chemical characteristics of Pantanal waters. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 2., 1996, Corumbá. **Anais...** Corumbá: Embrapa Pantanal, 1999. p. 89-100.

HASS, A.; FINE, P. Sequential selective extraction procedures for the study of heavy metals in soils, sediments, and waste materials - a critical review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 40, p. 365-399, 2010.

HLAVAY, J.; PROHASKA, T.; WEISZ, M.; WENZEL, W. W.; STINGEDER, G. Determination of trace elements bound to soils and sediment fractions. **Journal Pure Applied Chemistry**, v. 76, n. 2, p. 415-442, 2004.

HORTON, R. K. An index-number system for rating water quality. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v. 37, p. 300-306, 1965.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11466:1995**: soil quality: extraction of trace elements soluble in aqua Regia. 1995. 5 p.

ISHIKAWA, D. N.; NOALE, R. Z.; OHE, T. H. K.; SOUZA, E. B. R. de; SCARMINIO, I. S.; BARRETO, W. J.; BARRETO, S. R. G. Avaliação do risco ambiental em sedimento dos lagos do Riacho Cambé, em Londrina, pela distribuição de metais. **Química Nova**, v. 32, n. 7, p. 1744-1749, 2009.

JAIN, C. K. Metal fractionation study on bed sediments of River Yamuna, India. **Water Research**, v. 38, n. 3, p. 569-578, 2004.

JANZEN, J. G.; SCHULZ, H. E.; LAMON, A. W. Medidas da concentração de oxigênio dissolvido na superfície da água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 278-283, 2008.

JONNALAGADDA, S. B.; MHERE, G. Water quality of the Odzi river in the eastern highlands of Zimbabwe. **Water Research**, v. 35, n. 10, p. 2371-2376, 2001.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F. Plant life in the floodplain with special reference to herbaceous plants In: JUNK, W. J. (Ed). **The central amazon floodplain: ecology of a pulsing system**. Berlin: Springer, 1997, p. 223-265, (Ecological studies, v. 126).

KABATA PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRR Press, 1987. 315 p.

KABATA PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace Elements in soils e plants**. 2nd. ed. Florida: CRC Press, 1992, 365 p.

KALHORI, A. A.; JAFARI, H. R.; YAVARI, A. R.; [PROHIĆ](#), E.; KOKOYA, T. A. Evaluation of anthropogenic impacts on soil and regolith materials based on BCR sequential extraction analysis. **International Journal of Environmental Research**, v. 6, n. 1, p. 185-194, 2011.

KALINA, M.; KLUČÁKOVÁ, M.; SEDLÁČEK, P. Utilization of fractional extraction for characterization of the interactions between humic acids and metals. **Geoderma**, v. 207, p. 92-98, 2013.

KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 107-138.

KARBASSI, A.; BIDHENDI, G.; PEJMAN, A.; BIDHENDI, M. E. Environmental impacts of desalination on the ecology of Lake Urmia. **Journal of Great Lakes Research**, v. 36, n. 3, p. 419-424, 2010.

KARR, J. R.; FORE, L. S.; MORGAN, N. C. **Making biological monitoring more effective: intergrating biological sampling with analysis interpretation**. Washington, DC: United State Environmental Protection Agency, 1997. 160 p.

KAZI, T. G.; JAMALI, M. K.; KAZI, G. H; ARAIN, M. B.; AFRIDI, H. I.; SIDDIQUI, A. Evaluating the mobility of toxic metals in untreated industrial wastewater sludge using a BCR sequential extraction procedure and a leaching test. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 383, p. 297-304, 2005.

- KENNEDY, V. H.; SANCHEZ, A. L.; OUGHTON, D. H.; ROWLAND, A. P. Use of single and sequential chemical extractants to assess radionuclide and heavy metal availability from soils for root uptake. **Analyst**, v. 122, n. 8, p. 89R-100R, 1997.
- KOUMROUYAN, A.; SANTANA, G. P. Química de elementos-traço nos sedimentos do Lago do Parú (Manacapuru - Amazonas), sob influência do pulso de inundação do baixo Rio Solimões. **Acta Amazonica**, 2008, v. 38, n. 3, p. 491-502, 2008.
- KRISHNAMURTI, G. S. R.; HUANG, P. M.; K. VAN REES, C. J.; KOZAK, L. M.; H. ROSTAD, P. W. Speciation of particulate-bound Cd in soils and its bioavailability. **Analyst**, v. 120, p. 659-665, 1995.
- KUERTEN, S.; SANTOS, M. L. dos; SILVA, A. Variação das características hidrosedimentares e geomorfologia do leito do Rio Ivaí-PR, em seu curso inferior. **Geociência**. v. 28, n. 2, p. 143-151. 2009.
- KUMAR, D.; ALAPPAT, B. J. NSF-water quality index: does it represent the experts opinion? **Practice periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management**, v. 13, p. 75-79, 2009.
- LA FORCE, M. J.; FENDORF, S. Solid-phase iron characterization during common selective sequential extractions. [Soil Science Society of America Journal](#), v. 64, n. 5, p. 1608-1615, 2000.
- LADEIRA, F. S. B. Solos do passado: origem e identificação. **Revista Brasileira de Ciências de Solo**, v. 34, p. 1773-1786, 2010.
- LEITE, F. P. N.; FONSECA, O. J. M. Aplicação de índices de qualidade das águas na Lagoa Caconde, Osório, RS. In: SEMINÁRIO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS CONTINENTAIS NO MERCOSUL, 1., 1994, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1994.
- LI, X.; SHEN, Z.; WAI, O. W. H.; LI, Y. S.; HERNÁNDEZ, M.; MORENO, F.; GARCÍA SEVILLANO, M. A.; GÓMEZ JACINTO, V. Biological responses related to agonistic, antagonistic and synergistic interactions of chemical species. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 403, p. 2237-2253, 2012.
- LIBÂNIO, M.; LOPES, V. C. Assessing the feasibility of a water treatment plant quality index. **Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA**, v. 58, n. 5, p. 354-362, 2009.
- LICHENG, Z.; GUIJIU, Z. The species and geochemical characteristics of heavy metals in the sediments of Kangjiayi River in the Shuikoushan Mine Area, China. **Applied Geochemistry**, v. 11, p. 217-222, 1996.
- LICHT, O. A. B. **Prospecção geoquímica**: princípios, técnicas e métodos. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1998. 236 p.

LIMA, E. A. R de. **Avaliação geoquímica da ocorrência de metais pesados selecionados em sedimentos pelíticos da Plataforma Continental do Amazonas no trecho entre a foz do rio Pará e ao cabo Orange**. 2003. 112 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2003.

LIMA, M. C.; GIACOMELLI, M. B. O.; STÜPP, V.; ROBERGE, D. Especificação de cobre e chumbo em sedimento do Rio Tubarão (SC) pelo método Tessier. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 734-742, 2001.

LOUREIRO, D.; FERNANDEZ, M.; HERMS, F.; ARAUJO, C.; LACERDA, L. D. Distribuição dos metais pesados em sedimentos da Lagoa Rodrigo de Freitas. **Oecologia Australis**, v. 16, p. 353-364, 2012.

LUCA, S. J.; NOGUEIRA, V. P. Q.; PORTO, M. F. A. **Hidrologia ambiental**, 3. ed. São Paulo: Edusp, 1991. 414 p.

LUMB, A.; SHARMA, T. C.; BIBEULT, J. F. A review of genesis and evolution of water quality index (WQI) and some future directions. **Water Qual Expo Health**, v. 3, p. 11-24, 2011.

MA, L. Q.; RAO G. N. Effects of phosphate rock on sequential chemical extraction of lead in contaminated soils. **Journal Environment Quality**, v. 26, p. 788-796, 1997.

MACÊDO, J. A. B. de. **Águas e águas**. Juiz de Fora: Ortofarma, 2000.

MACHADO, M. P.; PIRES, L. R.; SILVA, L. T. P.; RIGUETE, J. R.; SILVA, A. G. Análise de um gradiente fitofisionômico em área de influência de inundação periódica no Pantanal de Poconé, Mato Grosso, Brasil. **Natureza on line**. v.10, n. 2, p. 65-70, 2012.

MARIN, B.; VALLADON, M.; POLVE, M.; MONACO, A. Reproducibility testing of a sequential extraction scheme for the determination of trace metal speciation in a marine reference sediment by inductively coupled plasma-mass spectrometry. **Analytica Chimica Acta**, v. 342, p. 91-112, 1997.

MARKICH, S. J.; BROWN, P. L. Relative importance of natural and anthropogenic influence on the fresh surface water chemistry of the Hawkesbury-Nepean River, Southeastern. **The Science of the Total Environment**, v. 217, p. 201-230, 1998.

MARQUES, A. K. **Análise da diversidade fitoplânctônica no reservatório da Usina Hidroelétrica Eduardo Magalhães, no médio Tocantins-TO. Estrutura da comunidade, flutuações temporais e espaciais**. 2006. 157 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2006.

MARTIN, J. M.; MEYBECK, M. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. **Marine Chemistry**, v. 7, p. 173-206, 1979.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, p. 317-327, 1960.

MENDES FILHO, N. E. **Caracterização química da matéria orgânica nos sedimentos do solo do manguezal e dinâmica de nutrientes nas águas superficiais e intersticiais no médio estuário do rio Paciência em Iguaiá – Paço do Lumiar (MA)**. 2009. 186 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 3. ed. Porto Alegre: Egon Jose Meurer, 2008. 285 p.

MIRANDA, J. G.; CIPRIANI, M.; MÁRTIRES, R. A. C.; GIACONI, W. J. **Atividades garimpeiras no Brasil: aspectos técnicos, econômicos e sociais**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1997. (Série estudos e documentos, 38).

MORAES, A. S.; SILVA, J. S. V. da; ALMEIDA JUNIOR, N. de. Sócio-economia. In.: SILVA, J. dos S. V. da. (Org.). **Zoneamento ambiental da borda oeste do Pantanal: maciço do Urucum e adjacências**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 2000. p. 153-176.

MOREIRA, R. C., RIBEIRO, M. A. M. Qualidade das águas. Alternativas para o abastecimento do Distrito Federal. **Anais da Associação Brasileira de Química**, v. 50, n.1, p. 8-13, 2001.

MORILLO, J.; USERO, J.; GRACIA, I. Potential mobility of metals in polluted coastal sediments in Two Bays of Southern Spain. **Journal of Coastal Research**, v. 23, n. 2, p. 352-361, 2007.

MOUNTOURIS, A.; VOUTSAS, E.; TASSIOS, D. Bioconcentration of heavy metals in aquatic environments: the importance of bioavailability. **Marine Pollution Bulletin**, v. 44, p. 1136-1141, 2002.

MOURÃO, G. M.; OLIVEIRA, M. D.; CALHEIROS, D. F.; PADOVANI, C. R.; MARQUES, E. J.; UETANABARO, M. O. Pantanal Mato-Grossense. In: SEELIGER, U.; CORDAZZO, C.; BARBOSA, F. (Ed.). **Os sites e o programa brasileiro de pesquisas ecológicas de longa duração**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2002. 184 p.

MOZETO, A. A. **Manejo da qualidade da água e da dinâmica do sedimento e do particulado da represa do Guarapiranga e do Rio Grande, RMSP**. São Carlos: UFSCAR, 1996. Projeto RHAÉ. processo n. 610419/95-1.

MUDROCH, A.; AZCUE, J. **Manual of aquatic sediment sampling**. Boca Raton: Lewis, 1995. 219 p.

MUDROCK, A.; MACKNIGHT S. D. **Handbook techniques for aquatic sediments sampling**. 2nd. ed. Boca Raton: CRC Press, 1994. 210 p.

NARWAL, R. P.; SINGH, B. R.; SALBU, B. Association of cadmium, zinc, copper, and nickel with components in naturally heavy metal-rich soils studied by parallel and sequential extractions. **Communications in Soil Science & Plant Analysis**, v. 30, n. 78, p. 1209-1230, 1999.

NASCENTES, R. **Estudo da mobilidade de metais pesados em um solo residual compacto**. 2006. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

NASCIMENTO, M. R. L. **Proposição de valores de referência para concentração de metais e metaloides em sedimentos limnicos e fluviais da Bacia Hidrográfica do Rio Tietê, SP**. 2003. 215 f. Tese (Doutorado em Química) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

NEMATİ, K.; BAKAR, N. K. A.; ABAS, M. R.; SOBHANZADEH, E. Speciation of heavy metals by modified BCR sequential extraction procedure in different depths of sediments from Sungai Buloh, Selangor, Malaysia. **Journal of Hazardous Materials**, v. 192, p. 402-410, 2011.

NÓBREGA, P. F. A.; PINHO, J. B. Biologia reprodutiva e uso de habitat por *Cantorchilus leucotis* (Lafresnaye, 1845) (Aves, Troglodytidae) no Pantanal, Mato Grosso, Brasil. **Papéis Avulsos de Zoologia**. v. 50, p. 511-516, 2010.

NOWAK, B. Sequential extraction of metal forms in the soil near a roadway in Southern Poland. **Analyst**, v. 120, p. 737-739, 1995.

NYAMANGARA, J. Use of sequential extraction to evaluate zinc and copper in a soil amended with sewage sludge and inorganic metal salts. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 69, p. 135-141. 1998.

OKORO, H.; FATOKI, O. S.; ADEKOLA, F. A.; XIMBA, B. J.; SNYMAN, R. G. A review of sequential extraction procedures for heavy metals speciation in soil and sediments. **Open Access Scientific Reports**, v. 1, n. 181, p. 1-9, 2012.

OLIVEIRA, M. S. R. **Estudo da especiação de metais traço em sedimentos de um tanque de cultivo de camarão marinho do município de Santa Rita-Pb**. 2006. 83 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

OLIVEIRA, D.; OLIVEIRA, R. C. B. de.; MARINS, R. V. Dinâmica de metais traço em solo e ambiente sedimentar estuarino como um fator determinante no aporte desses contaminantes para o ambiente aquático: revisão. **Revista Virtual Química**, v. 3, n. 2, p. 88-102, 2011.

OTT, W. R. **Environmental indices: theory and practice**. Ann Arbor: Ann Arbor Science, 1978.



OWENS P. N. Conceptual models and budgets for sediment management at the River Basin Scale. **Journal Soils & Sediments**, v. 5, p. 201-212, 2005.

PAGNANELLI, F.; MOSCARDINI, E.; GIULIANO, V.; TORO, L. Sequential extraction of heavy metals in river sediments of an abandoned pyrite mining area: pollution detection and affinity series. **Environment Pollution**, v. 132, p. 189-201, 2004.

PALÁCIO, H. A. Q. **Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará**. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

PASSOS, E. A. Metal fractionation in sediments of the Sergipe River, Northeast, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 22, n. 5, p. 828-835, 2011.

PENG, J. F.; SONG, Y. H.; YUAN, P.; CUI, X. Y.; QIU, G. L. The remediation of heavy metals contaminated sediment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 161, p. 633-640, 2009.

PEREZ, D. V.; SALDANHA, M. F. da C.; MENEGELLI, N. do A.; MOREIRA, J. C.; VAITSMAN, D. S. **Geoquímica de alguns solos brasileiros**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 14 p.

PHILIPPI, A. Jr.; ROMERO, M. A.; BRUNA, G. C. **Curso de gestão ambiental**. Barueri: Manole, 2004.

PICKERING, W. F. Metal ion speciation soils and sediments (a review). **Ore Geology Reviews**, v. 1, n. 1, p. 83-146, 1986.

PIERRISNARD, F. **Impact de l' amedment dès boues residuaires de la ville de Marseille sur de sols a vocation agricole: comportement du Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, des hydrocarbures et des composes polares**. 1996. 408 p. 1996. 408p. These (Doctoret em Géociences de l'enviroment) – Université Paul Cézane – Aix Marseille III, Marsielle, 1996.

PLANO de conservação da Bacia do Alto Paraguai-Pantanal. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/se/pnma/ecos24.html> >. Acesso em: 25 ago. 2014.

POLETTO, N.; GROHS, D. S.; MUNDSTOCK, C. M. Flutuação diária e estacional de nitrato e amônio em um Argissolo Vermelho Distrófico típico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1619-1626, 2008.

PORTO, M. F. A; BRANCO, S. M.; LUCA, S. J. de. Caracterização da qualidade da água. In: PORTO, R. L. L. (Org.) **Hidrologia ambiental**. São Paulo: EDUSP, 1991. p. 27-66. (Coleção ABRH, v. 3)

- PRAKIRAKE, C.; CHAIPRASERT, P.; TRIPETCHKUL, P. S. Development of specific water quality index for water supply in Thailand. **Songklanakarin Journal of Science Technology**, v. 31, n. 1, p. 91-104, 2009.
- PUEYO, M.; RAURET, G.; LUCK, D.; YLI HALLA, M.; MUNTAU, H.; QUEVAUVILLER, P.; LOPEZ-SANCHEZ, J. F. Certification of the extractable contents of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in a freshwater sediment following a collaboratively tested and optimized three-step sequential extraction procedure. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 3, p. 243-250, 2001.
- QU, W.; KELDERMAN, P. Heavy metal contents in the Delft canal sediments and suspended solids of the River Rhine: multivariate analysis for source tracing. **Chemosphere**, v. 45, p. 919-925, 2001.
- QUEVAUVILLER, P.; URE, A.; MUNTAU, H.; GRIEPINK, B. Improvement of analytical measurements within the BCR-Programme: single and sequential extraction procedures applied to soil and sediment analysis. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, v. 51, n. 1, p. 129-134, 1993.
- QUEVAUVILLER, P.; RAURET G.; LÓPEZ-SÁNCHEZ J. F.; RUBIO R.; URE A.; MUNTAU H. Certification of metal extractable contents in a sediment reference material (CRM 601) following a three-step sequential extraction procedure. **The Science of the Total Environment**, v. 205, p. 223-234, 1997.
- RAO, C. R. M.; SAHUQUILLO, A.; LOPEZ-SANCHEZ, J. F. A review of the different methods applied in environmental geochemistry for single and sequential extraction of trace elements in soils and related materials. **Water Air & Soil Pollution**, v. 189, p. 291-333, 2008.
- RAURET, G.; LOPEZ-SANCHEZ, J. F. New sediment and soil CRMs for extractable trace metal content. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, v. 79, n. 1, p. 81-95, 2001.
- REID, M. K.; SPENCER, K. L.; SHOTBOLT, L. An appraisal of microwave assisted Tessier and BCR sequential extraction methods for the analysis of metals in sediments and soils. **Journal Soils and Sediments**, v. 11, p. 218-228, 2011.
- REIS, L. S. **Influência do armazenamento na extração sequencial de micronutrientes e elementos traço em farinha de resíduo de frutas e hortaliças**. 2013. 70 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; LANI, J. L. Reflexões sobre o uso dos solos brasileiros. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 2, p. 593-643, 2002.

REZENDE, S. B. de. **Levantamento de solo e uso atual, erosão e cobertura vegetal de três microbacias, no vale do rio Turvo Sujo com utilização de aerofotos não-convencionais**. Viçosa: UFV, 1986. 13 p.

REZENDE, P. S. **Avaliação da distribuição e mobilidade de elementos traço em sedimentos da bacia hidrográfica do rio São Francisco**. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2004.

ROSS, A. ; SUTHERLAND, R. A. BCR-701: a review of 10-years of sequential extraction analyses. **Analytica Chimica Acta**, v. 680, p. 10-20, 2010.

SAHUQUILLO, A.; RAURET G.; REHNERT A.; MUNTAU, H. Solid sample graphite furnace atomic absorption spectroscopy for supporting arsenic determination in sediments following a sequential extraction procedure. **Analytica Chimica Acta**, v. 476, n. 1, p. 15-24, 2003.

SALOMONS, W.; BRILS, J. **Contaminated sediments in European River Basins**. Netherlands: European Sediments Research Network, 2004. 79 p.

SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U. **Heavy metals: problems and solutions**. Berlin: Springer, 1995, 412 p.

SALOMONS, W.; STIGLIANI, W. M. **Biogeodynamics of pollutants in soils and sediments**. Berlin: Springer-Verlag.1995, 343 p.

SANTOS, A. C. Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM/REFO, 2000. p. 81-108.

SANZ MEDEL, A. Trace element analytical speciation in biological systems: importance, challenges and trends. **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**, v. 53, n. 2, p. 197-211, 1998.

SARKAR, C.; ABBASI, S. A. Qualidex – a new software for generating water quality índice. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 119, p. 201-231, 2006.

SASTRE, J.; SAHUQUILLO, A.; VIDAL, M.; RAURET, G. Determination of Cd, Cu, Pb and Zn in environmental samples: microwave-assisted total digestion versus aqua régia and nitric acid extraction. **Analytica Chimica Acta**, v. 462, p. 59-72, 2002.

SCANCAR, J.; MILACIC, R.; STRAZAR, M.; BURICA, O. Total metal concentrations and partitioning of Cd, Cr, Cu, Fe, Ni and Zn in sewage sludge. **Science of the Total Environment**, v. 250, n. 1, p. 9-19, 2000.

SETTI, M. L.; MARINONI, L.; LÓPEZ-GALINDO, A. Mineralogical and geochemical characteristics (major, minor, trace elements and REE) of detrital and authigenic clay minerals in a Cenozoic sequence from Ross Sea, Antarctica. **Clay Minerals**, v. 39, n. 4, p. 405-421, 2004.

SHELTON, L. R.; CAPEL, P. D. **Guidelines for collecting and processing samples of stream bed sediments for analysis of trace elements and organic contaminants for the National Water-Quality Assessment Program**. Porto Sacramento: U. S. Geological Survey, 1994. (Open-File Report 94-458). Disponível em: < <http://pubs.usgs.gov/of/1994/0458/report.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2012.

SILVA, C. F. **Hidrogeoquímica fluvial da porção inferior do rio Paraíba do Sul, RJ**. 2000. 65 f. Dissertação (Mestrado em Biociências e Biotecnologia) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2000.

SILVA, D. L.; LIMA, W. N. Utilização de matérias geológicas como agentes depuradores de águas residuárias. Parte I – caracterização químico-mineralógica. **Anais Associação Brasileira de Química**. v. 48, n.1, p. 46-52, 1999.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 733-742, 2008.

SILVEIRA, M. L.; ALLEONI, L. R. F.; O'CONNOR, G. A.; CHANG, A. C. Heavy metal sequential extraction methods – a modification for tropical soils. **Chemosphere**, v. 64, p.1929-1938, 2006

SIMS, J. L.; PATRICK, W. H. Distribution of micronutrient cations in soil under conditions of varying redox potential and pH. **Soil Science Society American Journal**, v. 42, p. 258-262, 1978.

SINGH, K. P.; MOHAN, D.; SINGH, V. K.; MALIK, A. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in gomti river sediments – a tributary of the Ganges, India. **Journal of Hydrology**, v. 312, p. 14-27, 2005.

SMITH, K. S.; HUYCK, H. L. O. An overview of the abundance, relative mobility, bioavailability and human toxicity of metals. In: PLUMLEE, G. S.; LONGSDON, M. J. (Ed.). **The environmental geochemistry of mineral deposits part A: processes, techniques and health issues**. Littleton: Society of Economic Geologist, 1999. v. 6A, p. 29-70.

SOTO-JIMENEZ, M. F.; PAEZ-OSUNA, F. Distribution and normalization of heavy metal concentrations in mangrove and lagoonal sediments from mazatlan harbour (SE Gulf of California). **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 53, p. 259-274, 2001.

- SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.
- SOUSA, J. B.; SOUZA, C. A. Caracterização morfológica e mineralógica de solos em ambientes de cordilheira e campo de inundação no pantanal de Poconé, Mato Grosso. **Boletim de Geografia**, v. 31, n. 1, p. 53-66, 2012.
- SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996. v. 1, 243 p.
- SPOSITO, G.; LEVESQUE, C. S.; LECLAIRE, J. P.; CHANG, A. C. Trace elements chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge. III. Effect of the time on the extraction of trace metals. **Soil Science Society American Journal**, v. 47, p. 898-902, 1983.
- STOVER, R. C.; SOMMERS, L. E.; SILVIEIRA, D. J. Evaluation of metals in wastewater sludge. **Journal Water Pollution Control Federation**, v. 48, p. 2166-2175, 1976.
- STRIEDER, M. N.; RONCHI, L. H.; NEISS, U. G.; OLIVEIRA, M. Z. Avaliação dos efeitos de fontes de poluição pontual sobre os macro invertebrados bentônicos no arroio Peão, RS. In: RONCHI, L. H.; COELHO O. G. W. (Ed.). **Tecnologia, diagnóstico e planejamento ambiental**. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 2003. p. 61-85.
- STUMM, W., MORGAN. J. J. **Aquatic chemistry**: chemical equilibria and rates in natural waters. New York; Chichester: Wiley, 1996.
- SUTHERLAND, R. A. Comparison between non-residual Al, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn released by a three-step sequential extraction procedure and a dilute hydrochloridric acid leach for soil and road deposit sediment. **Applied Geochemistry**, v. 17, p. 353-365, 2002.
- SUTHERLAND, R. A.; TACK, F. M. G.; TOLOSA, C. A.; VERLOO, M. G. Operationally defined metal fractions in road deposited sediment, Honolulu, Hawaii. **Journal of Environmental Quality**, v. 29, n. 5, p. 1431-1439, 2000.
- TARVAINEN, T.; KALLIO, E. Baselines of certain bioavailable and total heavy metal concentrations in Finland. **Applied Geochemistry**, v. 17, p. 975-980, 2002.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHEN, H. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia, 1995. 174 p. (Boletim técnico, 5).
- TEMPLETON, D. M.; ARIESE, F.; CORNELIS, R.; DANIELSSON, L. G.; MUNTAU, H.; VAN LEEUWEN, H. P.; LOBINSKI, R. Guidelines for terms related to chemical speciation and fractionation of elements. Definitions, structural aspects, and methodological approaches. **Pure Applied Chemistry**, v. 72, n. 8, p. 1453-1470, 2000.

TESSIER, A.; CAMPBELL, P. G. C.; BISSON, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. **Analytical Chemistry**, v. 51, p. 844-851, 1979.

TOKALIOGLU, S.; KARTAL, S.; ELÇI, L. Determination of heavy metals and their speciation in lake sediments by flame atomic absorption spectrometry after a four-stage sequential extraction procedure. **Analytica Chimica Acta**, v. 413, p. 33-40, 2000.

TOMÉ JUNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análises de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a visão mundial da água, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 31-43, 2000.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 3050b**: acid digestion of sediments sludge and soils. 1996.  
Disponível em: <<http://www.epa.gov/sam/pdfs/EPA-3050b.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2012.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 3051a**: microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils. 2007.  
Disponível em:  
<[http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/online/3\\_series.htm](http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/online/3_series.htm)>  
. Acesso em: 27 ago. 2014.

URE, A. M. Trace element speciation in soils, soil extracts and solutions. **Microchimica Acta**, v. 104, p. 49-57, 1991.

URE, A. M.; QUEUVALLIER, Ph. MUNTAU, H.; GRIEPINK, B. Speciation of heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the Commission of the European Communities. **International Journal of Environmental Chemistry**, v. 51, p. 135-151, 1993.

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

VARGAS, I. A. O desenvolvimento territorial rural do Pantanal Matogrossense no contexto da sensibilização ambiental. In: CONGRESO LATINO-AMERICANO DE SOCIOLOGÍA RURAL, 7., 2006, Quito. [**Anais...**]. Buenos Aires: Associação Latinoamericana de Sociologia Rural Sociología Rural - La Cuestión Rural en América Latina: Exclusión y Resistencia Social, 2006.

VÖRÖSMARTY, C.J.; MEYBECK, M.; FEKETE, B.; SHARMA, K. The potential impact of neo castorization on sediment transport by the global network of rivers. In: WALLING, D. E., PROBST, J. L. (Ed.). **Human impact on erosion and sedimentation**. Wallingford: IAHS, 1997. p. 261-273.

WALLING, D. E.; FANG, D. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. **Global and Planetary Change**, v. 39, p. 111-126, 2003.

WALLING, D. E.; WOODWARD, J. C. Tracing sources of suspended sediment in river basins: a case study of the River Culm, Devon, UK. **Marine and Freshwater Research**, v. 46, p. 327-336, 1995.

XIANGYANG, B.; XINBIN, F.; YUANGEN, Y. Heavy metals in an impacted wetland system: a typical case from southwestern China. **Science of the Total Environment**, v. 387, p. 257-268, 2007.

YIN, Y.; IMPELLITTEN, C. A.; YOU, S. J.; ALLEN, H. E. The importance of organic matter distribution and exact soil: solution ratio on the desorption of heavy metals from soils. **Science of the Total Environment**, v. 287, n. 1, p. 107-119, 2002.

YOUNG, S. M.; PITAWALA, A.; ISHIGA, H. Geochemical characteristics of stream sediments, sediment fractions, soils, and basement rocks from the Mahaweli River and its catchment, Sri Lanka. **Chemie der Erde-Geochemistry**, v. 73, n. 3, p. 357-371, 2013.

ZAKIR, H. M.; SHIKAZONO, N. Metal fractionation in sediments: a comparative assessment of four sequential extraction schemes. **Journal of Environmental Science for Sustainable Society**, v. 2, p. 1-12, 2008.

ZALI, M. A.; RETNAM, A.; JUAHIR, H.; ZAIN S. M.; KASIM, M. F.; ABDULLAH B.; SAADUDIN, S. B. Sensitivity analysis for water quality index (WQI) Prediction for Kinta River, Malaysia. **World Applied Sciences Journal**, v. 14, p. 60-65, 2011.

ZIMMERMAN, A. J.; WEINDORF, D. C. Heavy metal and trace metal analysis in soil by sequential extraction: a review of procedures. **International Journal of Analytical Chemistry**, v. 2010, p. 1-7, 2010.

## GLOSSÁRIO

---

**Água intersticial:** águas encontradas nos interstícios (poros) de um sedimento, solo ou rocha.

**Alóctone:** "Quem ou que veio de fora; que não é indígena da região; estrangeiro" (Goodland, 1975). "Denominação muito usada em geomorfologia, referindo se a solos e rios. Este termo vem do grego e significa allos outro, Khthon terra; por conseguinte, são os depósitos constituídos de materiais transportados de outras áreas. O rio que percorre determinadas regiões e não recebe no seu curso médio e inferior nenhum afluente diz se, neste caso, que é alóctone. O antônimo de alóctone é autóctone" (Guerra, 1978).

**Aluvião, Alúvio:** "Sedimentos, geralmente de materiais finos, depositados no solo por uma correnteza" (Carvalho, 1981). "Detritos ou sedimentos clásticos de qualquer natureza, carregados e depositados pelos rios" (Guerra, 1978). "Detrito depositado transitória ou permanentemente por uma corrente" (SAHOP, 1978). "Argila, areia, silte, cascalho, seixo ou outro material detrítico depositado pela água" (DNAEE, 1976).

**Areia:** (1) partículas de rochas em desagregação que se apresentam em forma de grãos mais ou menos finos, nas praias, leito de rios, desertos etc. (2) parte constituinte dos solos cujas partículas têm diâmetros compreendidos, aproximadamente, entre 0,02mm e 2mm.

**Argila** – (1) designação comum a silicatos de alumínio hidratados, que constituem os minerais ditos argilosos. (2) sedimento clássico predominantemente constituído por fragmentos inferiores a dois micras de diâmetro, e que, conforme o mineral argiloso existente, pode apresentar plasticidade e ser amassada com água e modelada, que possibilita seu uso por escultores e ceramistas; barro.

**Argissolos:** Solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alético. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes dos Luvissolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos.

**Assoreamento:** é o processo de deposição de sedimentos de forma natural, em margens ou leito de rios, lagos, reservatórios, baías e oceanos.

**Bacia Sedimentar:** "Depressão enchida com detritos carregados das águas circunjacentes (...) as bacias sedimentares podem ser consideradas como planícies aluviais que se desenvolvem, ocasionalmente, no interior do continente" (Guerra, 1978).



**Bioacumulação:** é o processo através do qual os seres vivos absorvem e retêm substâncias químicas no seu organismo; pode ser de uma forma direta através do ambiente que os envolve (bioconcentração) e indiretamente a partir da alimentação (biomagnificação). Este processo implica várias etapas na cadeia alimentar e diferentes tipos de alimentação. À medida que se sobe no nível trófico maior será a quantidade de químicos acumulados no ser vivo uma vez que este, para além dos compostos que o seu organismo já absorveu, vai ainda concentrar os que provêm da alimentação.

**Biomagnificação:** é o aumento na concentração de um contaminante a cada nível da cadeia alimentar. Esse fenómeno ocorre porque a fonte de alimento para organismos de um nível superior na cadeia alimentar é progressivamente mais concentrada, aumentando assim a bioacumulação no topo da cadeia alimentar.

**Cambissolos:** Solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que em qualquer dos casos não satisfaçam os requisitos para serem enquadrados nas classes dos Vertissolos, Chernossolos, Plintossolos e Organossolos. Têm sequência de horizontes A ou histico, Bi, C, com ou sem R.

**Carcinogênico:** refere-se a qualquer substância, isótopo, radiação ou outro agente físico ou biológico que provoque, agrave ou sensibilize o organismo para o surgimento de um câncer. Isto pode ocorrer em razão de danos ao genoma ou aos processos metabólicos celulares.

**Comunidade Bentônica:** A comunidade bentônica corresponde ao conjunto de organismos que vive todo ou parte de seu ciclo de vida no substrato de fundo de ambientes aquáticos.

**Ecotoxicologia:** Ciência que estuda os efeitos das substâncias naturais ou sintéticas sobre os organismos vivos, populações e comunidades, que constituem a biosfera, incluindo assim a interação das substâncias com o meio nos quais os organismos vivem num contexto integrado.

**Estuário:** Um estuário é a parte de um rio que se encontra em contato com o mar. Por esta razão, um estuário sofre a influência das marés e possui tipicamente água salobra. Do ponto de vista da ecologia e da oceanografia, um estuário é uma região semi-fechada do oceano influenciada pelas descargas de água doce de terra, quer seja um ou mais rios, ou apenas da drenagem do continente.

**Eutrofização:** adição em excesso de um ou mais compostos orgânicos ou inorgânicos ao meio ambiente aquático, levando a uma elevação anormal nas suas concentrações.

**Fator limitante:** qualquer fator ambiental que exista abaixo do ótimo, e que impede o organismo de alcançar plenamente o seu potencial biótico.

**Gleissolos:** Solos hidromórficos, constituídos por material mineral, que

apresentam horizonte glei dentro de 150cm da superfície do solo, imediatamente abaixo de horizontes A ou E (com ou sem gleização), ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos; não apresentam textura exclusivamente areia ou areia franca em todos os horizontes dentro dos primeiros 150cm da superfície do solo ou até um contato lítico, tampouco horizonte vértico, ou horizonte B textural com mudança textural abrupta acima ou coincidente com horizonte glei ou qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei. Horizonte plíntico, se presente, deve estar a profundidade superior a 200cm da superfície do solo.

**Latossolos:** Solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte superficial, exceto hístico. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações do material constitutivo. São virtualmente desprovidos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo, e tem capacidade de troca de cátions da fração argila, inferior a 17cmol/kg de argila sem correção para carbono.

**Neossolos:** Solos constituídos por material mineral, não hidromórficos, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos. São solos pouco desenvolvidos que não apresentam horizonte B diagnóstico. Possuem sequência de horizontes A–R, A–C–R, A–Cr–R, A–Cr, A–C,O–R ou H–C sem atender os requisitos estabelecidos para serem identificados nas classes dos Chernossolos, Vertissolos, Plintossolos, Organossolos ou Gleissolos.

Compreende 4 subordens.

– **Neossolos Litólicos:** solos com horizonte A ou hístico, assentes diretamente sobre a rocha, sobre horizonte e/ou Cr, ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2mm, que apresentam um contato lítico ou fragmentário dentro de 50cm da superfície do solo.

– **Neossolos Flúvicos:** solos derivados de sedimentos aluviais e que apresentam caráter flúvico.

– **Neossolos Regolíticos:** solos com contato lítico a uma profundidade maior que 50cm e horizonte A sobrejacente a horizonte C ou Cr e que apresentam também:

- a) 4% ou mais de minerais primários alteráveis na fração areia total e/ou no cascalho, porém referidos a 100g de TFSA; e/ou,
- b) 5% ou mais do volume da massa do horizonte C ou Cr dentro de 150cm de

**Materiais orgânicos alóctones:** materiais orgânicos de origem externa ao local onde se encontram depositados (materiais originados fora do local de acumulação).

**Materiais orgânicos autóctones:** materiais orgânicos provenientes do mesmo lugar em que se acham depositados, ou seja, formados no mesmo sítio de crescimento dos vegetais que lhes deram origem, sem que tenha ocorrido qualquer transporte.

**Organossolos:** Compreende solos pouco evoluídos, com preponderância de características devidas ao material orgânico, de cores preta, cinzenta muito escura ou brunada, resultantes de acumulação de restos vegetais, em graus variáveis de decomposição, em condições de drenagem restrita (ambientes mal ou muito maldrenados), ou em ambientes úmidos de altitudes elevadas, saturados com água por apenas poucos dias durante o período chuvoso.

**pH EM ÁGUA:** Medição da concentração efetiva de íons H<sup>+</sup> na solução do solo, eletronicamente, por meio de eletrodo combinado, imerso em suspensão solo:água na proporção de 1:2,5.

**Planossolos:** Solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B ou com transição abrupta conjugada com acentuada diferença de textura do A para o horizonte B, imediatamente subjacente, adensado, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta.

**Plintossolos:** Solos minerais, formados sob condições de restrição a percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, de um modo geral imperfeitamente a mal drenados, que se caracterizam fundamentalmente por apresentar expressiva plintização com ou sem petroplintita na condição de que não satisfaçam os requisitos estabelecidos para as classes dos Neossolos, Cambissolos, Luvisolos, Argissolos, Latossolos, Planossolos ou Gleissolos.

Compreende 3 subordens.

**Plintossolos Pétricos:** solos com horizonte concrecionário ou horizonte litoplíntico.

– **Plintossolos Argilúvicos:** solos com horizonte plíntico e caráter argilúvico.

– **Plintossolos Hápticos:** outros solos que não se enquadram nas classes anteriores..

**Produtividade primária:** em ecologia pode ser definida como o rendimento da conversão da energia radiante em substâncias orgânicas. Em oceanografia significa a quantidade de material orgânico sintetizado por organismos a partir de substâncias inorgânicas, por unidade de tempo, em uma unidade de área ou volume.

**Silte:** material sedimentar composto de pequenas partículas de minerais diversos, de tamanho compreendido entre a areia e a greda, ou seja, entre 0,05mm e 0,005mm de diâmetro, que normalmente constituem mantos situados no solo.

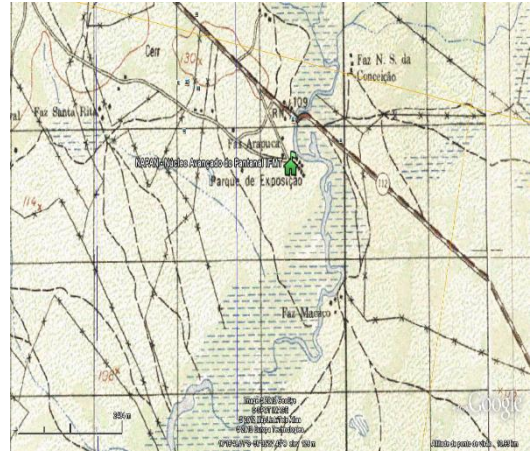
## ANEXO

---

### ANEXO 1- PLANEJAMENTO DE AMOSTRAGEM

#### **Área de Influência**

- Levantamento de estudos já realizados no local;
  
- Elaboração do croqui com possíveis pontos de coleta;
  
- Visita à área de estudo para georreferenciamento dos locais de coleta por meio de GPS (“Global Position System”), levantamento fotográfico com as características locais e contato com as pessoas do local a fim de se obter dados adicionais;
  
- Verificação de vias de acesso (local de apoio para armazenamento e transporte de material de coleta e amostras, colocação de embarcação).





## Coleta de amostras



Imagens dos pontos amostrados da região em estudo; a) Ponto 1; b) Ponto 2; c) Ponto 3; d) Ponto 4; e) Ponto 5; f) Ponto 6; g) Ponto 7; h) Ponto 8.