

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

METAIS PESADOS EM SEDIMENTOS DE FUNDO
NO ALTO RIO MADEIRA, AMAZÔNIA OCIDENTAL

RAILANE INÁCIO DOS SANTOS

Manaus
2014

RAILANE INÁCIO DOS SANTOS

**METAIS PESADOS EM SEDIMENTOS DE FUNDO
NO ALTO RIO MADEIRA, AMAZÔNIA OCIDENTAL**

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal do Amazonas como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Química.

Orientador: Prof^a. Dr^a. NEILA DE ALMEIDA BRAGA

Co-orientador: Prof. Dr. WANDERLEY RODRIGUES
BASTOS

Manaus

2014

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pela autora.

S237m Santos, Railane Inácio dos
Metals Pesados em Sedimentos de Fundo no Alto rio Madeira,
Amazônia Ocidental / Railane Inácio dos Santos. 2014
59 f.: il. color; 29,7 cm.

Orientadora: Neila de Almeida Braga
Coorientadora: Wanderley Rodrigues Bastos
Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Bacia Amazônica. 2. Hidreletrica de Santo Antônio. 3.
Elemento Traço. 4. Meio Ambiente. I. Braga, Neila de Almeida II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

Metais pesados em sedimentos de fundo no alto rio
Madeira, Amazônia Ocidental

Railane Inácio dos Santos

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Química.

Aprovada em 26 de Agosto de 2014

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Neila de Almeida Braga
Universidade Federal do Amazonas
Orientadora

Prof. Dr. Olaf Malm
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Ézio Sargentini Júnior
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha orientadora prof^a Neila de Almeida Braga pela orientação e ensinamentos.

Ao meu co-orientador prof. Wanderley Bastos pela oportunidade, paciência, confiança e por todo conhecimento compartilhado, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Ao PPGQ pela oportunidade de realização do mestrado. Em especial, o prof. Afonso Duarte, pela compreensão e incentivos que possibilitaram a conclusão do mestrado.

À minha família, em especial aos meus pais Antônia e José e minha avó Zilda, pelo amor, incentivo e ensinamentos diários.

Ao meu amado noivo Luís Fernando por toda a paciência, dedicação e carinho.

A toda equipe do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental pela colaboração imprescindível na realização deste trabalho.

Aos colegas do mestrado, em especial à Lidiane Martins, Maria Cristina, Cristiane Mota e Ericson pela amizade e experiências trocadas durante minha estadia em Manaus;

Aos órgãos financiadores: Capes e CNPq pelo apoio financeiro empregado na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivos Específicos	13
3	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	14
3.1	Metais Pesados.....	14
3.1.1	Metais em Sedimentos	15
3.2	Bacia do Alto Rio Madeira.....	17
3.2.1	Clima	18
3.2.2	Vegetação.....	19
3.2.3	Solo	19
4	ÁREA DE ESTUDO	20
5	MATERIAIS E MÉTODOS	21
5.1	Amostragem e Preparação dos Sedimentos.....	21
5.2	Procedimento Químico para Análise dos Sedimentos	22
5.2.1	Controle Analítico.....	22
5.3	Tratamento Estatístico.....	23
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
7	CONCLUSÃO.....	54
8	REFERENCIAS.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Densidade de alguns metais pesados.	15
Tabela 2: Estações de coleta de sedimento de fundo ao longo da bacia do alto rio Madeira.....	21
Tabela 3 - Concentrações de metais pesados (mg/kg) nos sedimentos de fundo do rio Madeira no período de pré-enchimento com n = 8. SD= Desvio padrão.	24
Tabela 4 - Concentrações de metais pesados (mg/kg) nos sedimentos de fundo dos Tributários do rio Madeira no período de pré-enchimento com n = 8. SD = Desvio Padrão	29
Tabela 5 - Concentrações de metais pesados (mg/kg) nos sedimentos de fundo do rio Madeira no período de pós-enchimento com n = 8. SD= Desvio padrão.	35
Tabela 6 - Concentrações de metais pesados (mg/kg) nos sedimentos de fundo dos Tributários do rio Madeira no período de pós-enchimento com n = 8. SD = Desvio padrão.	39
Tabela 7 - Resultado do test t da comparação entre as concentrações dos metais entre os períodos de pré e pós-enchimento do reservatório. Os valores em negrito indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).	44
Tabela 8 - Resultado do test t da comparação entre as concentrações dos metais entre os períodos de pré e pós-enchimento do reservatório. Os valores em negrito indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).	47
Tabela 9 - Correlação entre os metais no período de pré-enchimento, coeficiente de Pearson (r^2). Os valores em negrito valores indicam correlação significativa ($r^2 > 0,5$).	49
Tabela 10 - Correlação entre os metais no período de pré-enchimento, coeficiente de Pearson (r^2). Os valores em negrito indicam correlação significativa ($r^2 > 0,5$).	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Rio Madeira e seus principais afluentes.....	17
Figura 2. Local das estações de coleta de sedimentos de fundo na bacia do rio Madeira.....	20
Figura 3. Concentração de Zn, Cu, Cr, Co, Pb e Ni em mg/kg ⁻¹ no rio Madeira no período de pré-enchimento do reservatório.	26
Figura 4. Comportamento médio dos metais no rio Madeira no período de pré-enchimento do reservatório.....	27
Figura 5. Concentração de Zn em mg/kg nos Tributários do rio Madeira no período de pré-enchimento do reservatório.	30
Figura 6. Concentração de Pb em mg/kg ⁻¹ nos Tributários do rio Madeira no período de pré-enchimento do reservatório.	31
Figura 7. Concentração de Co em mg/kg ⁻¹ nos Tributários do rio Madeira no período de pré-enchimento do reservatório.	31
Figura 8. Concentração de Ni em mg/kg ⁻¹ nos Tributários do rio Madeira no período de pré-enchimento do reservatório.	32
Figura 9. Concentração de Cr em mg/kg ⁻¹ nos Tributários do rio Madeira no período de pré-enchimento do reservatório.	33
Figura 10. Concentração de Cu em mg/kg ⁻¹ nos Tributários do rio Madeira no período de pré-enchimento do reservatório.	33
Figura 11. Concentração de Zn, Ni, Pb, Cu, Co e Cr em mg/kg no rio Madeira no período de pós-enchimento do reservatório.....	37
Figura 12. Concentração de Zn em mg/kg nos tributários do rio Madeira no período de pós-enchimento do reservatório.....	40
Figura 13. Concentração de Pb em mg/kg nos tributários do rio Madeira no período de pós-enchimento do reservatório.....	40
Figura 14. Concentração de Ni em mg/kg nos tributários do rio Madeira no período de pós-enchimento do reservatório.....	41

Figura 15. Concentração de Cu em mg/kg^{-1} nos tributários do rio Madeira no período de pós-enchimento do reservatório.....	42
Figura 16. Concentração de Cr em mg/kg^{-1} nos tributários do rio Madeira no período de pós-enchimento do reservatório.....	42
Figura 17. Concentração de Co em mg/kg^{-1} nos tributários do rio Madeira no período de pós-enchimento do reservatório.....	43
Figura 18. Variação média de Co, Zn, Cu, Ni, Cr e Pb nos períodos de pré e pós-enchimento do reservatório da UHE-Sto. Antônio.....	45
Figura 19. Variação média de Cr, Zn, Cu, Co, Ni e Pb nos Tributários, entre os períodos de pré e pós-enchimento do reservatório da UHE-Sto. Antônio.	48
Figura 20 - Dendograma de análise de cluster entre os pontos amostrais de sedimento coletadas no período de pré-enchimento.....	50
Figura 21. Dendograma de análise de cluster entre os pontos amostrais de sedimento coletadas no período de pós-enchimento.	51
Figura 22. Gráfico das componentes principais PC1 versus PC2 no período de pré-enchimento.	52
Figura 23. Gráfico das componentes principais PC1 versus PC2 no período de pós-enchimento.	53

RESUMO

Os sedimentos de fundo constituem um compartimento importante na avaliação da intensidade e forma de impacto a qual os ecossistemas aquáticos estão submetidos. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo analisar possíveis alterações causadas pela construção da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio nas concentrações dos metais Cr, Co, Ni, Cu, Zn e Pb em sedimentos de fundo no Alto Rio Madeira e em de alguns de seus principais tributários. As amostras de sedimento de fundo foram coletadas em 5 pontos no rio Madeira, em 2 tributários de sua margem direita, rio Jaci Paraná e Igarapé Belmont, e 3 da margem esquerda, rios Caripunas e Jatuarana e Igarapé Jatuarana, além de 2 afluentes do rio Jaci Paraná: rios Branco e Contra. As amostras de sedimentos de fundo foram coletadas de julho/2008 a fevereiro/2011, o que corresponde ao período anterior ao enchimento barragem da UHE- Santo Antônio, e de dezembro/2011 a março/2013, período posterior ao enchimento da barragem da UHE- Santo Antônio. As amostras de sedimentos foram peneiradas na fração <200 mesh (<74 μm), a extração dos elementos químicos foi realizada por digestão com HNO_3 e HCl , e a quantificação foi realizada por espectrometria de absorção atômica por chama. As concentrações dos metais no rio Madeira período de pré-enchimento do reservatório da UHE-Sto. Antônio seguiram a seguinte ordem $\text{Cr} < \text{Co} < \text{Pb} < \text{Ni} < \text{Cu} < \text{Zn}$ e no período de pós-enchimento foi $\text{Cr} < \text{Co} < \text{Pb} < \text{Cu} < \text{Ni} < \text{Zn}$. A maioria dos metais analisados não apresentaram diferenças significativas entre os dois períodos avaliados. Apenas Cu e Pb apresentaram diferença significativa de concentrações entre os dois períodos analisado nas estações de coleta MD03 e MD02 no rio Madeira. As análises de estatística multivariada HCA e PCA apontaram similaridades entre os pontos do rio Madeira e o Igarapé Belmont no período de pré-enchimento, e com Igarapés Belmont e Jatuarana e o rio Jatuarana no período de pós-enchimento.

Palavras chave: Bacia Amazônica, Hidrelétrica de Santo Antônio, elementos-traço.

ABSTRACT

The bottom sediments are an important compartment in assessing the intensity and form of which impact on aquatic ecosystems. In this way, the present study aimed to analyze possible changes caused by construction of the Santo Antônio hydroelectric plant in the concentrations of the metals Cr, Co, Ni, Cu, Zn and Pb in bottom sediments in the upper Madeira River and some of its main tributary. The bottom sediment samples were collected at five points in the Madeira River and in two tributaries of the right bank, Jaci Paraná rivers and Belmont, and two from the left margin, Caripunas and Jatuarana rivers, plus two Jaci Paraná river tributaries: Branco and Contra Rivers. Samples of bottom sediments were collected from July/2008 to February/2011, which corresponds to the before filling Santo Antônio hydroelectric plant reservoir period and the march/2013 to December/2011, period subsequent to the filling of the Santo Antônio hydroelectric plant reservoir. The sediment samples were sieved in the fraction < 200 mesh (<74 μm), the extraction of chemical elements was performed by digestion with HNO_3 and HCl , quantification was performed by FAAS. The metal concentrations in the before filling period of the Santo Antônio hydroelectric plant reservoir followed the order $\text{Cr} < \text{Co} < \text{Pb} < \text{Ni} < \text{Cu} < \text{Zn}$ and during the after filling was $\text{Cr} < \text{Co} < \text{Pb} < \text{Cu} < \text{Ni} < \text{Zn}$. Significant variations in concentrations between the two periods analyzed were found in the concentrations of Cu and Pb in the MD03 and MD02 collection stations in Madeira River. Multivariate statistical analyzes HCA and PCA showed similarities between Madeira River and Belmont small stream in the before filling period, and Madeira River between small streams Belmont and Jatuarana and river Jatuarana in the after filling period.

Keywords: Amazon Basin, Hydroelectric Santo Antônio, trace element.

1 INTRODUÇÃO

Os rios são as principais vias por onde os produtos da erosão, provenientes do continente, alcançam os oceanos. As composições destes produtos, química e isotópica, podem ser influenciadas por vários fatores, como ambiente geológico da bacia de drenagem, clima, classificação hidráulica, aportes eólicos e glaciais e atividades antrópicas (GOLDSTEIN e JACOBSEN, 1988; FRALICK e KRONBERG, 1997).

Os sedimentos de fundo constituem um compartimento importante na avaliação da intensidade e forma de impacto a que os ecossistemas aquáticos estão sendo submetidos (PEKEY, 2006), por serem considerados sumidouros e possíveis fontes de contaminação destes ecossistemas. Os sedimentos de fundo podem receber ou absorver poluentes como resultado de processos atmosféricos naturais, erosão e atividades antrópicas (BAI *et al.*, 2011). No que tange ao monitoramento e a avaliação dos níveis de poluição ambiental do meio aquático, os sedimentos de fundo desempenham um importante papel, uma vez que funcionam como sensíveis indicadores de contaminação (MACDONALD e THOMAS, 1991; JAIN e RAM, 1997; LIN e CHEN, 1998; FRERET-MEURER *et al.*, 2010).

A poluição por metais pesados em ambientes naturais tem se tornado uma preocupação global (SANTANA e BARRONCAS, 2007; GUO *et al.*, 2006; REN-YING *et al.*, 2007). A atenção dada à contaminação por metais se deve à toxicidade, origem, propriedades não biodegradáveis e comportamentos cumulativos desses metais (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 1992; YU *et al.*, 2008).

A região amazônica é uma das áreas que tem se destacado na avaliação e monitoramento de seus ecossistemas aquáticos quanto à poluição por metais pesados (MASCARENHAS *et al.*, 2004; LIMA *et al.*, 2005; SANTANA & BARRONCAS, 2007; GOMES *et al.*, 2009; KOUMROUYAN e SANTANA, 2008). No rio Madeira, que está localizado na porção ocidental da região amazônica alguns estudos já foram realizados no intuito de avaliar o nível de contaminação por metais pesados de seu ecossistema (LECHLER *et al.*, 2000; BONOTTO e SILVEIRA, 2003; GALVÃO *et al.*, 2007; BASTOS *et al.*, 2008; BERNARDI *et al.*, 2009; QUEIROZ *et al.*, 2011), uma vez que, essa região já foi intensamente explorada pela garimpagem de ouro entre as décadas de 70 e 90, onde foram despejadas toneladas de Hg ao longo deste rio (PFEIFFER e LACERDA, 1988; BASTOS e

LACERDA, 2004; BASTOS *et al.*, 2005). A ocupação populacional desordenada da região, e atividades como pecuária extensiva, agricultura e garimpagem evidenciam a forte interferência antrópica nesse rio, e assim contribuindo para a entrada de metais pesados para o ecossistema aquático.

Recentemente, o rio Madeira vem sofrendo grande alteração em sua dinâmica com a construção de duas barragens denominadas Complexo Hidrelétrico do rio Madeira (Usina Hidrelétrica (UHE)-Jirau e Hidrelétrica (UHE)-Santo Antônio).

Em virtude da grandeza desses empreendimentos, é possível prever mudanças no sistema hidrológico e sedimentar, em virtude do alargamento de diversas áreas ao longo da bacia deste rio. Considerando que estudos sobre sedimentação aliados a geoquímica dos metais pesados podem fornecer informações sobre a fonte e o comportamento destes elementos nesses ambientes, este trabalho visa conhecer e avaliar os níveis dos metais pesados (Cr, Co, Ni, Cu, Zn e Pb) em sedimentos de fundo no Alto rio Madeira e em seus principais tributários, considerando os períodos anterior e posterior ao enchimento do reservatório da UHE- Santo Antônio, ocorrido em dezembro de 2011.

Cabe ressaltar, que na região do Madeira as publicações referentes aos níveis de metais pesados reportam, principalmente, à contaminação por Hg nos diferentes compartimentos ambientais. Porém, essa região carece de mais estudos sobre a concentração de outros metais pesados, especialmente, nos sedimentos de fundo, visto que, não existem dados suficientes nessa região, sobre os níveis de background nos sedimentos de fundo. Dessa forma, estudos que avaliam os níveis de metais pesados em sedimentos de fundo do rio Madeira, tornam-se importante pela necessidade de conhecer os valores de referência dos metais, além de diagnosticar este ambiente, a fim de contribuir para diminuir os impactos ambientais decorrentes do desenvolvimento regional.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar possíveis alterações causadas pela construção da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio nas concentrações dos metais Cr, Co, Ni, Cu, Zn e Pb em sedimentos de fundo no Alto Rio Madeira e em de alguns de seus principais tributários.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar as concentrações dos metais em sedimentos de fundo do rio Madeira antes e depois do enchimento do reservatório da UHE- Santo Antônio;
- Identificar possíveis diferenças entre os níveis dos metais estudados no rio Madeira e tributários nos períodos antes e após o enchimento do reservatório;
- Verificar a existência de padrões de comportamento e similaridades entre os locais amostrados empregando técnicas de análise estatística multivariada.

3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1 Metais Pesados

Atualmente, uma das grandes preocupações ecológicas refere-se ao impacto ambiental causado pela liberação antrópica de metais pesados nos diversos ambientes naturais e, de maior importância, naqueles de maior interação com populações humanas (JESUS *et al.*, 2004). A avaliação dos níveis de metais pesados tem acontecido tanto em águas (OLIVEIRA *et al.*, 2008; MENG *et al.*, 2008), materiais particulados, sedimentos (FRERET-MEURER *et al.*, 2010; BAI *et al.*, 2011) como em organismos aquáticos (CHAMBO, 2011; CHAKRABORTY *et al.*, 2014).

Os principais meios de liberação antrópicas dos metais no ambiente são fertilizantes, pesticidas, água de irrigação contaminada, queima de biomassa, na zona rural. Óleos, emissão veiculares, incineração de resíduos urbanos e industriais e, principalmente mineração, fundição e refinamento são as fontes de metais tanto nas regiões urbanas como nas zonas rurais (TAVARES e CARVALHO, 1992; DUARTE e PASQUAL, 2000).

Existem cerca de 20 metais considerados tóxicos para os humanos, incluindo Hg, Cd, Pb, As, Mn, Tl, Cr, Ni, Se, Te, Sb, Be, Co, Mo, Sn, W, V. Destes, os 10 primeiros estão entre os mais estudados sob o ponto de vista toxicológico (BRADY *et al.*, 2014; CHAKRABORTY *et al.*, 2014; VALLIUS, 2014). Estes elementos reagem como ligantes difusores em macromoléculas, ou com ligantes presentes em membranas, o que lhes conferem a capacidade de bioacumulação e biomagnificação na cadeia alimentar, persistência no ambiente e distúrbios nos processos metabólicos dos seres vivos (TAVARES e CARVALHO, 1992).

A expressão metal pesado refere-se aos metais com densidade acima de 5 g/cm³ (tabela 1). No entanto, o termo metal pesado geralmente está associado a uma conotação de poluição ou toxicidade (CARVALHO, 2011).

Tabela 1: Densidade de alguns metais pesados.

METAL (Símbolo)	DENSIDADE (g/cm ³)	METAL (Símbolo)	DENSIDADE (g/cm ³)
Níquel(Ni)	8,9	Mercurio (Hg)	14,1
Chumbo (Pb)	11,3	Manganês (Mn)	7,4
Cobre (Cu)	8,9	Cobalto (Co)	8,9
Cromo (Cr)	7,2	Zinco (Zn)	7,1
Ferro (Fe)	7,8	Cádmio (Cd)	8,4

Fonte: Gomes, 2009.

Sob o ponto de vista biológico alguns metais podem ser considerados essenciais, enquanto outros não o são. Quando um elemento químico participa de reações bioquímicas necessárias para o metabolismo de um organismo, ou quando faz parte de um composto vital, este é dito como essencial. Entretanto, os elementos químicos Cd, Pb e Hg, não desempenham funções nutricionais ou bioquímicas conhecidas em animais ou plantas. A toxicidade destes elementos não essenciais está relacionada principalmente na capacidade de competir com nutrientes minerais (cálcio, zinco, ferro, selênio, etc). Entretanto, mesmo aqueles essenciais, sob determinadas condições podem causar impactos negativos aos seres vivos (GOMES, 2009). Assim, o aumento das concentrações naturais dos metais pesados no meio pode gerar um desequilíbrio no ambiente, causando prejuízos à biota e elevando potencialmente os riscos à saúde humana.

3.1.1 Metais em Sedimentos

As formas geoquímicas dos metais podem ser alteradas durante seu transporte, nos ecossistemas aquáticos, estes metais podem apresentar-se dissolvidos nas águas, ou em sua forma iônica, onde, apresentam um comportamento complexo devido à possibilidade de sofrer interações com diversas moléculas. E também, podem ser encontrados adsorvidos a partículas, material particulado em suspensão, aos sedimentos ou ainda incorporado aos organismos aquáticos (FÖRSTNER; WITTMAN, 1981). Sempre associados a um alto fator de enriquecimento e às baixas taxas de remoção. Em termos fluviais eles se concentram principalmente na carga particulada, associados aos sedimentos de fundo e em suspensão (MORTATTI *et al.*, 2010).

Os metais estão presentes naturalmente nos sistemas aquáticos, mesmo que não haja perturbação antrópica do ambiente, e o aumento em sua concentração pode ocorrer tanto em razão de processos naturais quanto por atividades antropogênicas. Os processos naturais que contribuem para o aparecimento de metais nos sistemas aquáticos são o intemperismo de rochas e a lixiviação do solo (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001).

O sedimento de fundo é o compartimento do sistema aquático onde se depositam todos os compostos minerais, estruturas de animais e vegetais que não foram totalmente decompostos. Durante a evolução do sistema aquático, nas áreas de remansos de rios e em lagos, são formadas as camadas de sedimento, estas podem conter compostos químicos e estruturas biológicas como resultado desse processo (ESTEVES, 1998). Assim, os metais pesados também se depositam nos sedimentos e podem ser utilizados como indicadores de contaminação dos ecossistemas aquáticos, inclusive permitindo históricos ao longo do tempo nas avaliações em perfis verticais.

Os sedimentos são considerados de grande importância na avaliação do nível de contaminação do meio aquático, devido não só a sua capacidade em acumular metais, mas, também, por serem reconhecidos como transportadores e possíveis fontes de contaminação. Uma vez que, mudanças nas condições ambientais, tais como pH, potencial redox e presença de agentes quelantes, podem redissolver os metais presentes no sedimento para a água (SALOMONS; FÖRSTNER, 1984).

A retenção e acumulação de metais e outros compostos nos sedimentos de fundo podem ser influenciadas pelo tamanho das partículas, sendo que as frações granulométricas podem ser divididas em grosseiras (areia e cascalho) e finas (silte e argila). As frações consideradas finas que possuem partículas com tamanho <63 µm são as mais reativas devido a sua maior superfície de contato e composição geoquímica. Além disso, a composição dos sedimentos de fundo é proveniente dos materiais presente na bacia de drenagem, tais como rochas, minérios e solos. Assim, os processos biogeoquímicos ocorridos ao longo das bacias de drenagem influenciam as concentrações de metais observadas, não apenas nos sedimentos, mas também nos demais compartimentos aquáticos. Uma vez que, os processos biogeoquímicos do ambiente aquático também podem ser alterados pelo uso da terra, incluindo agricultura, usos urbanos e industriais (SAMPAIO, 2003).

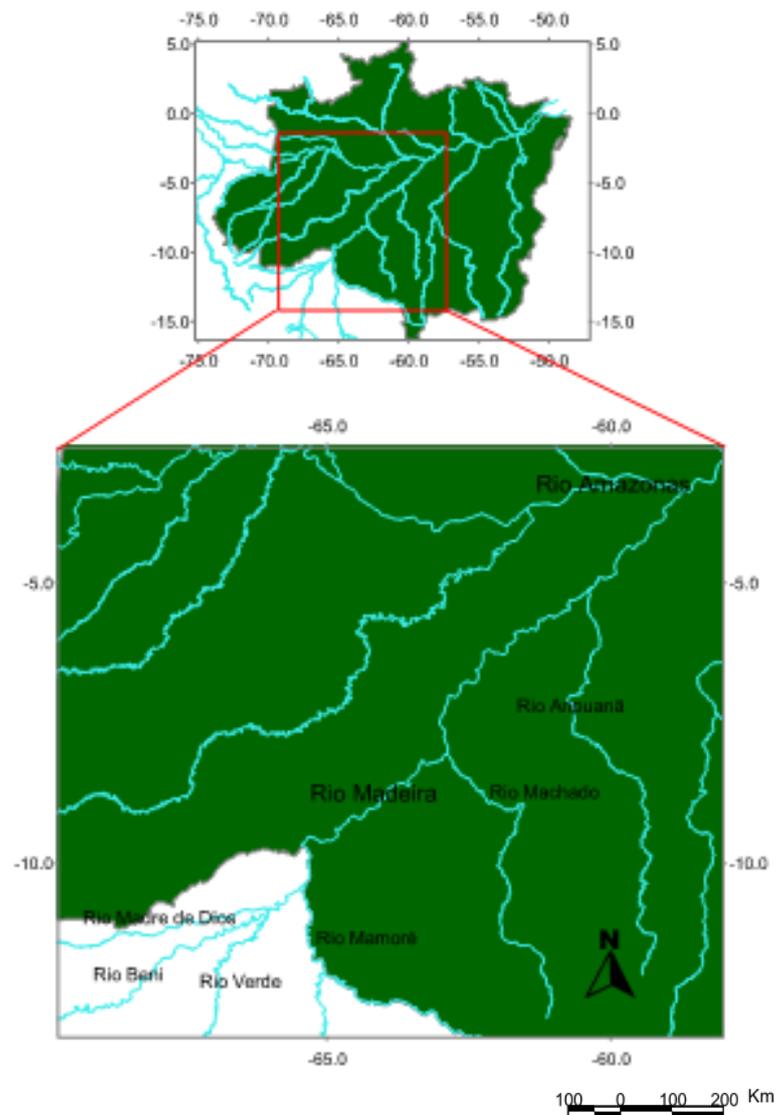
Em razão da principal característica dos sedimentos, como indicador de poluição por metais pesados, diversos estudos têm sido realizados com o intuito de

avaliar concentrações desses metais, tanto em ecossistemas fluviais (MORTATTI; HISSLER, 2010; SIQUEIRA, APRILE, 2010; TRINDADE, HORN, RIBEIRO, 2012) como marinhos (FERREIRA, HORTA, CUNHA, 2010; VALLIUS, 2014).

3.2 Bacia do Alto Rio Madeira

O rio Madeira é o maior afluente da margem direita do rio Amazonas, com uma extensão total de 1.459 km, tem sua origem nos Andes e recebe o nome de Madeira a partir da confluência dos rios Mamoré e Beni, até a sua foz no rio Amazonas (LACERDA *et al.*, 1990). (figura 1).

Figura 1: Rio Madeira e seus principais afluentes.



O rio Madeira é considerado um rio de águas brancas, rico em material em suspensão, de pH neutro, geologicamente jovem, ou seja, ainda está cavando o seu próprio leito e que, por consequência, promove um elevado grau de erosão fluvial. As suas águas são altamente turvas, de cor amarela a ocre, por arrastar muito material em suspensão proveniente de materiais vulcânicos é bastante rico em nutrientes (GOULDING, 2003). Sua vazão média nos últimos 5 anos (figura 2), medida na sua porção chamada de Alto rio Madeira é de $19.049\text{m}^3/\text{s}$, variando entre 3.679 a $42.111\text{m}^3/\text{s}$ entre os períodos de águas baixas e águas altas, respectivamente.

A bacia hidrográfica do rio Madeira apresenta afluentes expressivos em volumes d'água apenas na margem direita, fato que define a assimetria de sua bacia. Em território Rondoniense, os afluentes principais pela margem direita são os rios Ribeirão, Castanho, Mutum-Paraná, Jaci-Paraná, São Francisco, Caracol, Candeias, Jamari e Ji-Paraná, além dos igarapés das Araras, Mururé e Cirilo. Dentre os afluentes pela margem esquerda destaca-se apenas o rio Abunã. Os outros são curtos e pouco significativos em volume d'água (rios Ferreiros, São Lourenço e Aponiã, bem como os igarapés São Simão, Maparaná, Ceará, Jatuarana e Cuniã (BERNARDI *et al.*, 2009).

3.2.1 Clima

A área de estudo apresenta chuvas abundantes, com forte decréscimo de precipitação no inverno, com três meses de seca (junho, julho e agosto) bem definidos. Esses fenômenos correspondem a um clima que, de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Tropical quente e úmido pode ser definida como zona sub-climática regional *Am*, onde predominam altas temperaturas durante todo o ano, com pequena amplitude térmica anual e notável amplitude térmica diária, especialmente no inverno (RONDONIA, 2002; GOMES, 2009).

O período sazonal é marcado por duas estações, uma chuvosa com duração de 8 a 9 meses de precipitação (setembro a abril) e outra de estiagem com pouca ocorrência de precipitação e duração de 3 a 4 meses (junho a agosto). A precipitação anual varia de 1.800 a 2.400 mm, mantendo uma umidade atmosférica média de 82% ao ano. As temperaturas médias anuais variam entre 24° e 26° C, podendo as máximas oscilar entre 28° e 33° C, e as mínimas chegar a 18° e 21° C nas regiões de maior altitude (RONDÔNIA, 2002; GOMES, 2009).

3.2.2 Vegetação

Segundo estudos da 2ª Aproximação do Zoneamento Ecológico Econômico de Rondônia, a vegetação ao longo da área de estudo é composta por florestas ombrófilas, formações pioneiras, formação aluvial de pequeno porte (Umirizal), zonas de contato e savanas parque (campo cerrado). Sendo que Floresta Ombrófila Aberta Submontana é formação predominante no estado de Rondônia (RONDÔNIA, 2002; GOMES, 2009).

3.2.3 Solo

A região do Madeira apresenta os seguintes grupos de solos: Podzólicos Vermelho-Amarelos Distróficos, Latossolos Vermelho-Escuros Distróficos, Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, Latossolos Amarelos Distróficos, Solos Glei Distróficos, Cambissolos Distróficos, Areias Quartzosas e Solos Litólicos Distróficos. O grupo mais representativo são os latossolos, que apresentam horizonte Bôxico e/ou kândico. Geralmente, são solos bastante intemperizados, apresentando como principais minerais derivados da argila: caolinita, gipisita, minerais amorfos e sesquióxidos de ferro e alumínio. Em razão da forte lixiviação sua capacidade de troca catiônica é baixa, assim como a quantidade de cálcio, magnésio, potássio e sódio adsorvidos. Os Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos são os mais frequentes, sendo geralmente pobres, ácidos, álicos e distróficos. Em seguida estão os Latossolos Amarelos Distróficos que se caracterizam por altos teores de caolinita e hidróxidos de alumínio. A fertilidade é baixa, bastante ácidos e geralmente distróficos e álicos. Outro grupo de solos importantes na área de estudo são os solos hidromórficos: Glei Húmico, GleiHidromórfico, GleiTiomórfico, PodzolHidromórfico que estão presentes em regiões com excesso de água. Partes desses solos se desenvolveram a partir de depósitos aluviais ao longo dos rios. Apresentam baixa fertilidade, pH baixo e altos níveis de saturação de alumínio (GOMES, 2005).

4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange um trecho do Alto rio Madeira, sendo uma parte a montante e a outra à jusante da barragem da Usina Hidrelétrica – (UHE) Santo Antônio em Porto Velho (figura 2). Esse empreendimento está situado a 10 km da cidade de Porto Velho tendo como limite a montante a Cachoeira de Jirau (cerca de 130 km da cidade de Porto Velho) e a jusante o igarapé Belmont.

As amostras de sedimento de fundo foram coletadas em 5 pontos na calha no rio Madeira, nos tributários da margem direita rios Jaci Paraná e Belmont, e da margem esquerda rios Caripunas, Jatuarana e igarapé Jatuarana. Também foram realizadas coletas nos afluentes da margem direita e da margem esquerda do rio Jaci Paraná, conhecidos como rio Branco e rio Contra, respectivamente (tabela 2).

Figura 2: Local das estações de coleta de sedimentos de fundo na bacia do rio Madeira.

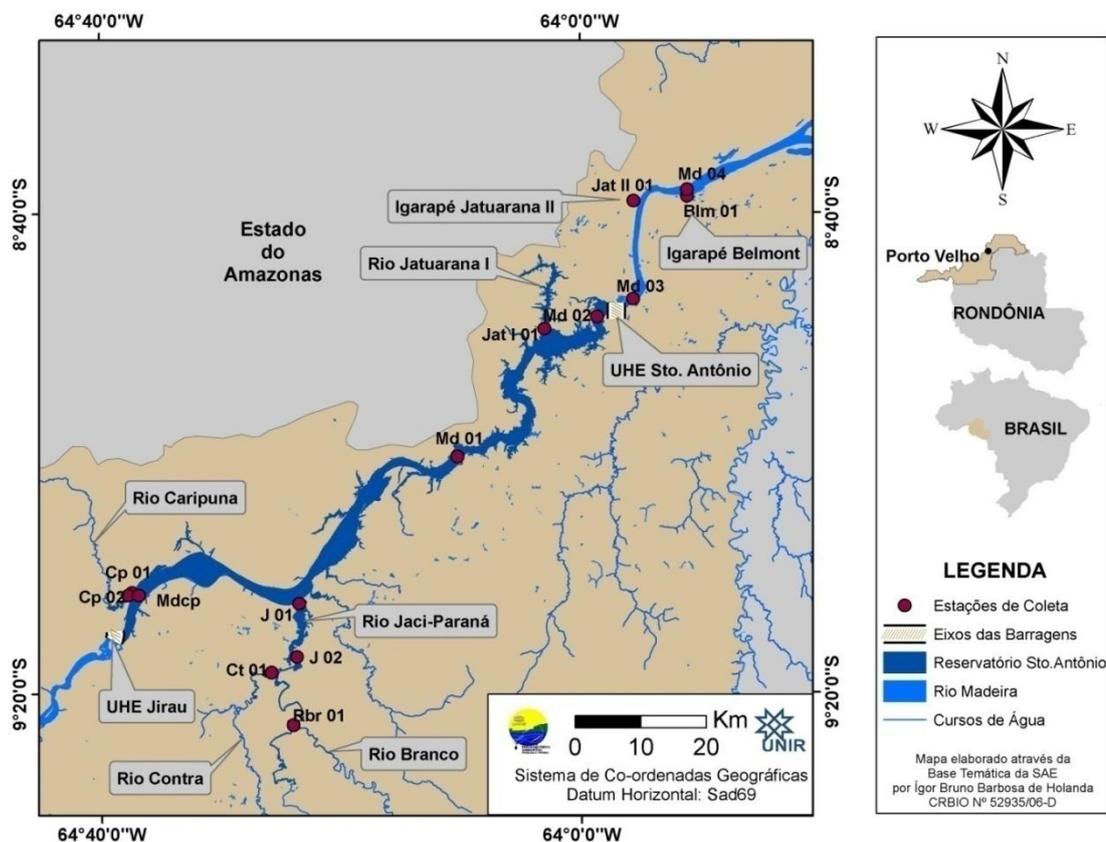


Tabela 2: Estações de coleta de sedimento de fundo ao longo da bacia do alto rio Madeira.

Rio	Código de Campo	Coordenadas UTM Datum: Sad69	
		Longitude	Latitude
Madeira	MD CP	322642,28	8983260,797
Madeira	MD 01	371854,22	9004877,039
Madeira	MD 02	392966,18	9025860,446
Madeira	MD 03	398294,18	9028989,467
Jaci Paraná	J 01	347106,24	8981699,230
Jaci Paraná	J 02	346778,15	8973506,810
Jatuarana I	JAT I	384536,32	9024007,788
Jatuarana II	JAT II	398120,83	9043687,550
Branco	RBR	346291,44	8963077,080
Contra	CT	342915,75	8971137,340
Belmont	BLM	406273,97	9044400,600
Caripunas	CP 01	321045,14	8982951,030

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Amostragem e Preparação dos Sedimentos

As amostras de sedimentos de fundo foram coletadas de julho de 2008 a fevereiro de 2011, o que corresponde ao período anterior ao enchimento barragem da UHE- Santo Antônio e de dezembro de 2011 a março de 2013, período posterior ao enchimento da barragem da UHE- Santo Antônio. Os pontos de coletas foram georreferenciados utilizando receptor de GPS (Sistema de Posicionamento Global por Satélite), a partir de um aparelho receptor para GPS (marca GARMIN's®, modelo GPS 12 XL Personal Navigator™), levando-se em conta a localização dos pontos estudados na fase do pré-enchimento. As amostragens foram realizadas trimestralmente no âmbito do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico Ambiental da UHE Santo Antônio.

As amostras de sedimento de fundo foram coletadas utilizando as dragas de Eckman e/ou Van Veen. Este equipamento permite a coleta da camada mais reativa do sedimento de fundo – até 5 cm de profundidade. Após a coleta, as

amostras de sedimento de fundo foram acondicionadas em sacos de polietileno e mantidas resfriadas até a preparação das amostras no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang Christian Pfeiffer na Universidade Federal de Rondônia. As amostras de sedimentos foram homogeneizadas a úmido nos próprios sacos de polietileno utilizados em campo, através da aplicação de água ultrapura (Milli-Q, Millipore) sendo, posteriormente, peneiradas na fração <200 mesh (<74 μm), considerada a mais ativa fisicamente em processos de adsorção de elementos químicos, por possuir maior área superficial. Em seguida, a fração fina do sedimento foi transferida para um gral de porcelana e seco em estufa à temperatura de 40°C para posterior extração química e quantificação dos elementos Cu, Cr, Co, Ni, Pb e Zn.

5.2 Procedimento Químico para Análise dos Sedimentos

A extração dos elementos químicos foi realizada conforme Campos *et al.* (2003) a partir da digestão com os ácidos nítrico e clorídrico concentrados (HNO_3 e HCl Tédia Brasil), considerada uma extração de metais pesados fortemente ligados à matriz do sedimento referente a fração disponível.

Foram pesados aproximadamente 2,0 gramas do peso seco das amostras em béqueres em duplicata. Foram adicionados 10,0 mL de HNO_3 concentrado e levados à chapa aquecedora (cerca de 100°) até a total evaporação do ácido. Em seguida, foi adicionado 15,0 mL da solução química de HNO_3 e HCl (1:3) e levados novamente à chapa quente, até a total evaporação do ácido. Por fim, foi adicionado 15,0 mL de HCl 0,1N, filtrados por gravidade em papel de celulose (Whatman) em funis de polipropileno e acondicionados em tubos tipo *falcon* de 14,0 mL e o volume final foi aferido a 15,0 mL com H_2O ultra-pura (Milli-Q, Millipore) para a então quantificação no espectrofotômetro de absorção atômica de chama (AA-400, Perkin Elmer).

5.2.1 Controle Analítico

Previamente, todas as vidrarias passaram por um processo de descontaminação em ácido nítrico a 5% (HNO_3) durante 24 horas e posterior enxágue com água destilada. (BASTOS *et. al.* 1998). Como controle de qualidade das análises químicas, as amostras foram acompanhadas de dois brancos controles e amostra de referencia certificada de SoloEnviroMAT SS-2 (Soil

Standard da SCP SCIENCE), empresa canadense com certificação ISO 9000, ISO 17025 e hoje acreditada pela ISO Guide 34, com valores certificados para os elementos Co, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn.

5.3 Tratamento Estatístico

No tratamento estatístico, inicialmente foi realizada uma análise estatística descritiva (média, desvio, padrão, máximo e mínimo). A comparação das concentrações médias entre os dois períodos estudados foi feita empregando-se o Teste de t-Student para amostras independentes. Por fim, com o objetivo de encontrar padrões de similaridade entre os locais de coleta foram empregadas técnicas de análise estatística multivariada PCA (*Principal Components Analysis*) e HCA (*Hierarchical Clusters Analysis*).

A estatística multivariada aplicada à química é frequentemente utilizada no tratamento de dados analíticos, a fim de se verificar a existência de similaridades entre as amostras que, por sua vez, correspondem às semelhanças na composição química (MOITA NETO, MOITA, 1998; SANTANA, BARRONCAS, 2005).

A análise de componente principal (PCA) é uma técnica de redução de dados que pretende explicar a maior parte da variação nos dados, reduzindo o número de variáveis de alguns componentes não correlacionados (BORŮVKA, *et al.* 2005).

Com o monitoramento dos níveis de metais traços na bacia do rio Madeira ao longo dos anos, foi gerada uma grande quantidade de dados, o que justifica o uso da PCA no tratamento estatístico desses dados. Dessa forma, neste estudo a PCA foi empregada para identificar as variáveis que apresentam maior importância com base na análise de metais nos diferentes períodos de coleta, ou seja, observar as correlações entre as variáveis e as componentes principais.

A técnica de agrupamento hierárquico (HCA) que é usada para reconhecer padrões (similaridades) de amostras a partir de um conjunto de dados obtidos, ou seja, de acordo com as variáveis escolhidas esta técnica agrupa as amostras entre si. A suposição básica de sua interpretação é que quanto menor for a distância entre os pontos, maior a semelhança entre as amostras, na prática isso é mostrado por meio de um gráfico denominado dendograma. Os dendogramas são especialmente úteis na visualização de semelhanças entre amostras ou objetos representados por pontos em espaço com dimensão maior do que três, onde a

representação de gráficos convencionais não é possível (SANTANA, BARRONCAS, 2005).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Comportamento dos Metais no Período de Pré-enchimento do Reservatório da UHE- Santo Antônio.

O período de pré-enchimento da barragem da UHE-Santo Antônio compreende as coletas realizadas entre os anos de 2008 a 2011.

6.1.1 Rio Madeira

Inicialmente o conjunto de dados gerado passou por uma análise estatística descritiva, os resultados encontram-se na tabela 3. O Zn foi o elemento mais abundante, nenhum dos demais metais apresentou concentrações próximas às encontradas para esse metal. Por outro lado, o Cr foi o mais escasso, já os níveis Pb e Co assim como os de Cu e Ni apresentaram-se em faixas de concentração muito próximas.

Tabela 3 - Concentrações de metais pesados (mg/kg) nos sedimentos de fundo do rio Madeira no período de pré-enchimento com n = 8. SD= Desvio padrão.

Locais de Coleta		Pb	Zn	Cr	Cu	Co	Ni
MD CP	Média	12,80	64,64	9,67	18,73	11,57	16,95
	SD	3,59	14,33	1,58	3,34	1,82	1,97
	Máx.	18,35	80,02	11,29	22,37	13,72	19,24
	Mín.	7,46	42,45	6,58	12,01	8,09	13,66
MD 01	Média	12,69	66,74	9,79	18,29	11,69	17,06
	SD	2,95	14,77	1,49	2,83	2,14	2,09
	Máx.	16,34	85,97	11,70	20,80	13,85	18,73
	Mín.	7,52	41,89	7,39	12,39	7,59	13,16
MD 02	Média	11,43	55,44	8,66	16,29	10,52	15,37
	SD	3,48	9,14	1,68	4,03	2,82	2,97
	Máx.	15,01	69,16	11,25	19,29	13,22	18,40
	Mín.	6,61	40,18	6,91	9,84	6,58	10,96
MD 03	Média	12,65	64,65	9,40	17,76	11,58	17,26
	SD	3,53	9,85	1,62	3,65	2,28	3,04
	Máx.	17,33	78,22	12,61	21,80	14,82	21,94
	Mín.	8,40	49,10	7,81	12,66	9,09	13,26
MD 04	Média	13,47	65,85	9,20	17,92	11,44	16,66
	SD	2,69	9,88	1,69	2,64	1,39	1,92
	Máx.	17,71	79,16	11,06	19,47	13,28	19,69

Mín.	7,46	42,45	6,58	12,01	8,09	13,66
-------------	------	-------	------	-------	------	-------

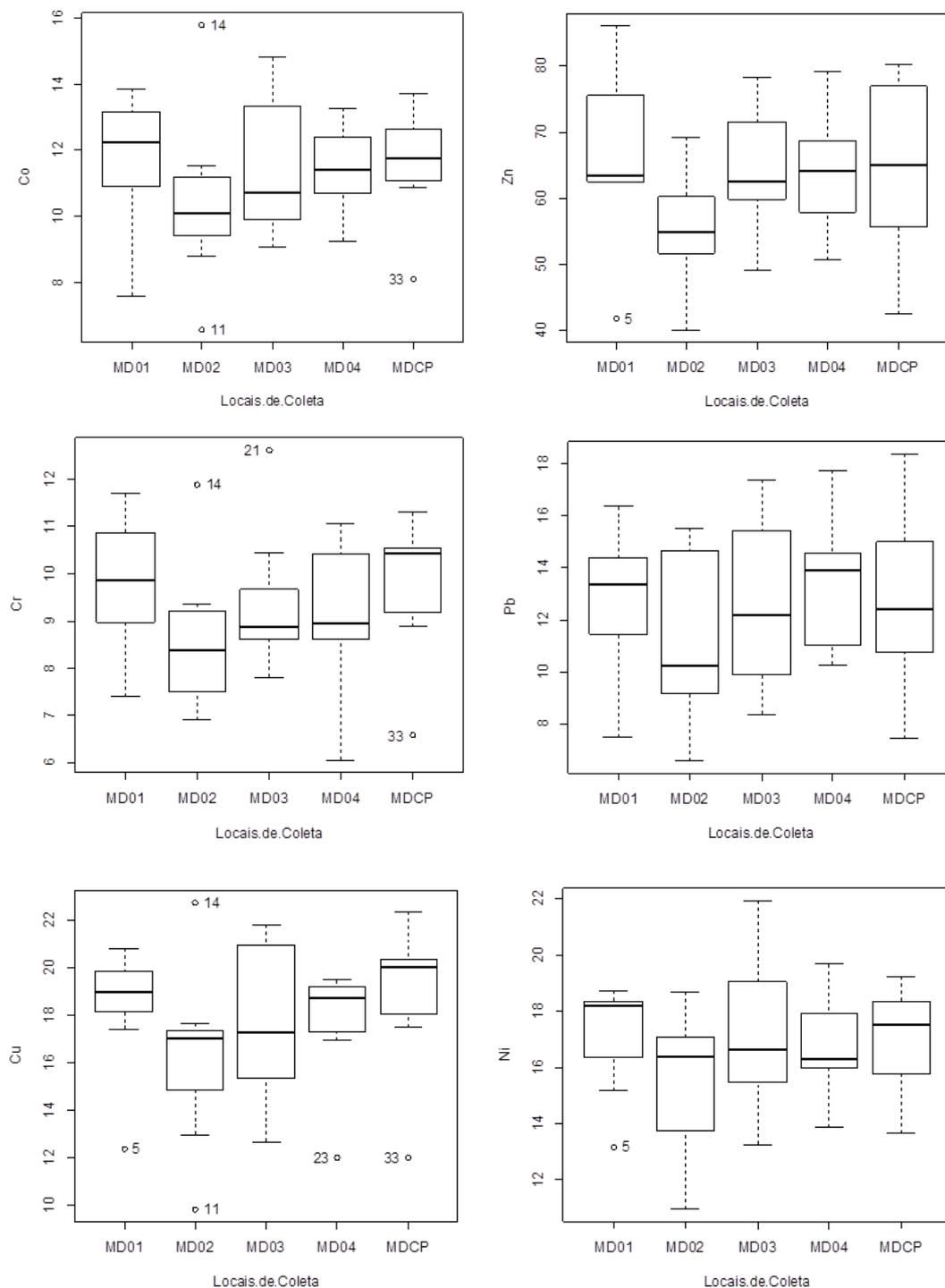
A figura 3 apresenta os gráficos em formato boxplot com mediana, mínimo e máximo representando o grau de oscilação dos valores de concentração de todos os metais avaliados na fração disponível dos sedimentos de fundo coletados em cada uma das estações de coleta localizadas no rio Madeira no período de pré-enchimento.

Como dito anteriormente, o Zn foi o elemento que apresentou a maior concentração dentre os elementos analisados em todos os pontos de coleta. No ponto MD 02 o Zn apresentou em média os níveis mais baixos $55,44 \pm 9,14$ mg/kg (média e desvio padrão), enquanto que o valor mais elevado foi encontrado no ponto MD 01 $66,74 \pm 14,77$ mg/kg. Ao contrário do Zn, o Cr foi o metal que apresentou a menor concentração média total dentre todos os metais, o maior valor $9,79 \pm 1,49$ mg/kg, foi observado na estação de coleta MD 01, enquanto que o menor, $8,66 \pm 1,68$ mg/kg na estação MD 02.

O Cu foi o segundo elemento de maior abundância, no ponto MD CP foi encontrado seu maior teor médio, $18,73 \pm 3,34$ mg/kg, enquanto que no MD 02 foi medido o menor $16,29 \pm 4,03$ mg/kg. Esse metal foi encontrado em níveis levemente maiores que o Ni, o qual apresentou maior concentração média, $17,26 \pm 3,04$ mg/kg, na estação de coleta MD 03 e a menor na estação MD 02 $15,37 \pm 2,97$ mg/kg.

O Co esteve entre os mais escassos, esse foi o segundo metal que apresentou os menores níveis de concentração dentre todos os analisados. No ponto de coleta MD 01 foi encontrada sua maior concentração média, $11,69 \pm 2,14$ mg/kg, e a menor no ponto MD 02 $10,52 \pm 2,82$ mg/kg. O Pb foi o elemento que apresentou os níveis mais próximos aos encontrados para o Co, em média as concentrações de Pb ficaram um pouco acima das medidas para o Co. No ponto MD 04 foram encontradas as maiores concentrações de Pb $13,47 \pm 2,69$ mg/kg, e assim como para os demais metais no ponto MD 02 foi medido o menor valor, $11,43 \pm 3,48$ mg/kg.

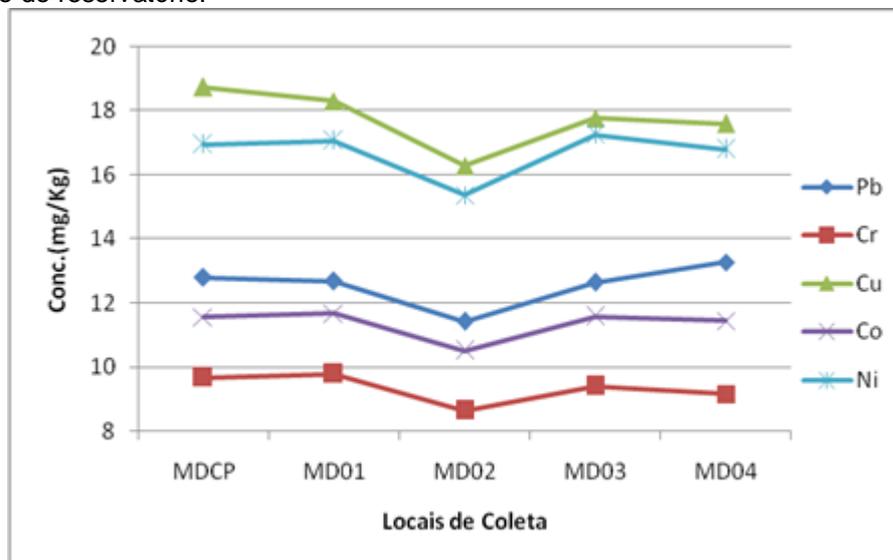
Figura 3 - Concentração de Zn, Cu, Cr, Co, Pb e Ni em mg/kg no rio Madeira no período de pré-enchimento do reservatório.



Os sedimentos de fundo coletados no ponto MD 02 foram os mais pobres em relação à concentração de cada um dos metais analisados, as concentrações nesse ponto ficaram abaixo de todos os demais (figura 5), inclusive para o Zn que não aparece na figura devido sua alta concentração. Enquanto que, os níveis mais

elevados foram encontrados nos dois pontos situados à montante da barragem, MD CP e MD 01.

Figura 4: Comportamento médio dos metais no rio Madeira no período de pré-enchimento do reservatório.



Com exceção do ponto MD02, entre os demais pontos não foram observadas grandes diferenças nas concentrações dos metais. Os níveis dos pares Ni-Cu e Pb-Co apresentaram valores muito próximos em todos os pontos amostrais, o que poderá resultar em correlações fortemente positivas e similaridades no comportamento desses elementos. Nesse período, pré-enchimento da barragem da UHE-Santo Antônio, em todos os pontos amostrais dispostos no trecho estudado da calha do rio Madeira a abundância dos metais apresentou-se na seguinte ordem crescente de concentração $Cr < Co < Pb < Ni < Cu < Zn$. Acredita-se que os níveis encontrados para cada um dos metais possivelmente estejam em concentrações que possam ser consideradas naturais.

Em estudo realizado no rio Madeira por Gomes *et al.*, (2009), onde foi avaliado as concentrações de alguns metais em sedimento em suspensão os valores ficaram bem próximos ao encontrados no sedimento de fundo neste estudo. Uma vez que, o sedimento em suspensão virá a ser o sedimento de fundo, a relação entre os níveis de metais presente em cada compartimento é importante sob o ponto de vista de se conhecer a origem e dinâmica dos metais nesses ambientes. Assim, no trabalho acima citado, sugere-se que a origem e as concentrações dos metais pesados estão condicionadas ao regime pluviométrico do rio, uso da terra em suas margens, pois o desmatamento acelera o processo de erosão e atividades de mineração e formação geológica da região.

Cabe ressaltar que, no que se refere a pesquisas voltadas para o estudo de metais pesados nos sistemas aquáticos amazônicos, o mercúrio (Hg) está entre os elementos mais estudados, pois entre as décadas de 70 e 90 essa região foi intensamente explorada pelos garimpos de ouro (MALM *et al.*, 1990) o que ocasionou o lançamento de grandes quantidades desse metal nessa região (MARTINELLI *et al.*, 1988; PFEIFFER, LACERDA, 1988; MAURICE-BOURGOIN *et al.*, 2000).

No entanto, Gomes (2009) ressalta que a prática da garimpagem nesse ecossistema, pode ter disponibilizado outros metais, tais como Pb, Cr, Cu, Zn, Fe, presentes em soldas, chapas metálicas, tintas (usadas até hoje na pintura dos cascos das embarcações), entre outros produtos utilizados na fabricação de balsas, dragas e demais embarcações do garimpo. Além disso, o processo gravimétrico utilizado pelos garimpeiros, durante a pré-concentração dos metais pesados na busca do ouro, também pode ser considerada como fonte desses metais.

Em um estudo sobre os níveis de metais pesados na bacia do Madeira, Bonoto e Silveira (2003) encontraram respectivamente as seguintes concentrações de Cd, Cr, Pb, Cu e Zn na fração total de sedimentos de fundo: 5 mg/kg, 5 mg/kg, 169 mg/kg, 636 mg/kg e 421 mg/kg. Apesar de ser uma fração diferente da abordada neste estudo, que se pautou apenas na fração disponível, o baixo nível de Cr e o elevado teor de zinco encontrados por esses autores apresentem boa relação de concordância com resultados obtidos para esses dois metais no presente estudo.

Queiroz *et al.* (2011) avaliaram a composição mineralógica e química dos sedimentos de fundo na bacia do baixo e médio rio Madeira. Nesse trabalho foram avaliados os níveis de diversos elementos, dentre eles os metais Co, Zn, Pb e Cu. As concentrações de Zn variaram entre 40 e 19,3 mg/kg, Co entre 9,7 a 4,1 mg/kg, Pb de 7,9 a 4,5 mg/kg e Cu de 22,4 a 7,9 mg/kg, valores que apresentaram boa concordância com os obtidos no presente estudo.

6.1.2 Tributários

Ao conjunto de dados gerados a partir das análises nas amostras de sedimento de fundo coletadas nos tributários, inicialmente foi aplicada uma análise estatística descritiva (média, desvio padrão, máximo e mínimo). Nos tributários a fração disponível do sedimento de fundo mostrou-se mais rica em Zn e Pb, os quais apresentaram as maiores concentrações em todos os pontos amostrais. Enquanto

que, os metais com as menores concentrações foram o Co e Ni. O resultado da análise descritiva dos dados encontra-se na tabela 4.

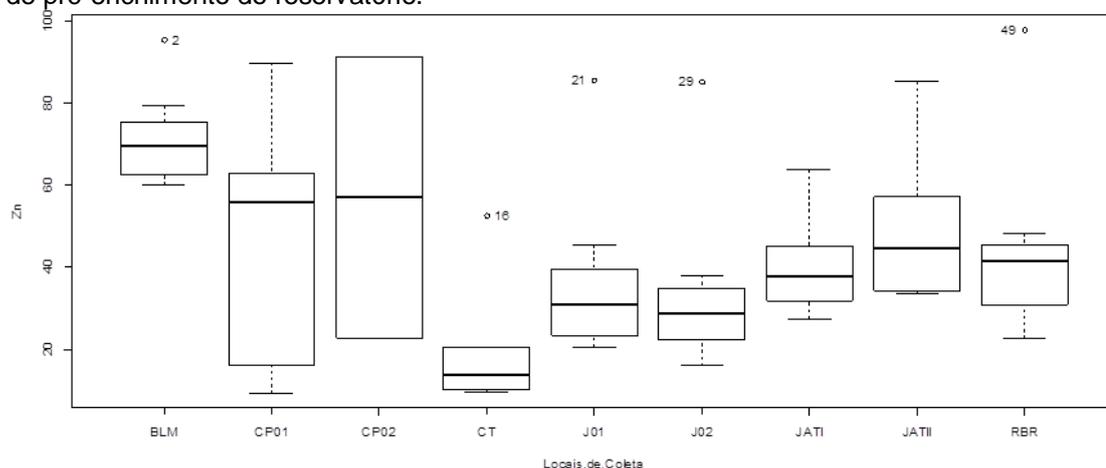
Tabela 4 - Concentrações de metais pesados (mg/kg) nos sedimentos de fundo dos Tributários do rio Madeira no período de pré-enchimento com n = 8. SD = Desvio Padrão

Locais de Coleta		Pb	Zn	Cr	Cu	Co	Ni
BLM	Média	12,10	71,61	10,65	15,19	10,20	16,84
	SD	2,19	12,47	4,03	0,90	1,35	2,48
	Máx.	15,06	95,42	19,40	16,50	12,13	21,17
	Mín.	8,39	60,10	7,70	13,80	8,73	13,87
CP01	Média	13,71	46,76	5,84	7,84	5,32	7,89
	SD	2,19	28,45	3,03	5,27	4,13	6,17
	Máx.	14,51	89,81	10,76	15,65	12,13	17,79
	Mín.	12,26	9,29	2,62	2,74	1,78	2,14
CP02	Média	14,33	57,02	6,59	3,99	2,62	3,43
	SD	0,71	48,57	3,98	0,07	0,40	2,75
	Máx.	14,84	91,37	9,41	4,04	2,90	5,38
	Mín.	13,83	22,68	3,78	3,94	2,34	1,49
CT	Média	9,39	20,03	7,06	3,68	2,23	2,09
	SD	2,26	16,56	1,77	0,88	0,82	1,01
	Máx.	12,08	52,67	8,89	5,38	3,38	3,32
	Mín.	6,48	9,40	4,70	2,93	1,26	0,51
J01	Média	12,69	36,75	7,30	4,50	6,87	3,60
	SD	2,26	21,24	3,02	1,76	2,84	3,87
	Máx.	15,51	85,55	14,42	8,53	11,27	12,93
	Mín.	9,69	20,51	5,17	2,98	3,06	1,11
J02	Média	15,38	34,14	6,93	7,02	2,45	3,04
	SD	2,58	21,91	1,59	0,88	0,70	0,83
	Máx.	18,84	85,16	10,22	8,40	3,38	4,09
	Mín.	11,69	16,00	5,07	5,74	1,18	1,53
JATI	Média	10,54	40,67	6,44	8,57	7,59	10,24
	SD	4,02	13,37	3,76	5,77	3,06	5,86
	Máx.	15,13	63,89	12,94	19,26	13,52	21,35
	Mín.	5,67	27,41	2,28	3,78	5,11	4,88
JATII	Média	8,87	49,97	6,18	7,70	6,02	11,07
	SD	1,54	19,45	3,05	2,11	0,75	3,69
	Máx.	10,53	85,50	12,04	11,36	6,91	15,93
	Mín.	6,36	33,55	3,57	5,31	5,13	7,66
RBR	Média	12,56	45,00	9,20	4,36	6,65	2,28
	SD	4,58	24,95	3,34	0,55	2,30	0,99
	Máx.	16,12	97,92	16,13	5,19	9,45	3,83
	Mín.	2,64	22,60	6,56	3,48	3,78	1,29

Também nos tributários o Zn foi o metal mais abundante na fração analisada do sedimento, o mesmo apresentou a maior concentração média dentre todos os

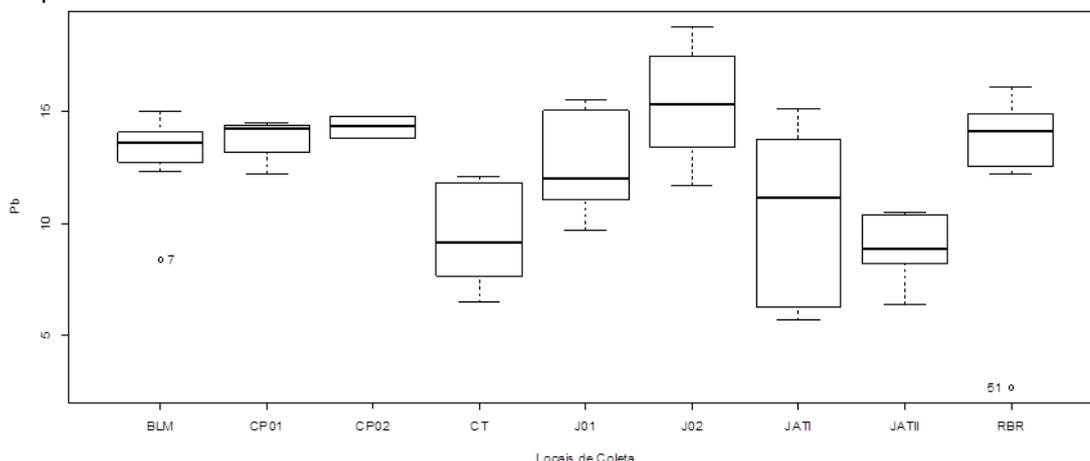
metais em cada um dos pontos de coleta. O teor mais elevado deste metal ($71,61 \pm 12,47 \text{ mg/kg}$) foi encontrado no ponto de coleta BLM, no Igarapé Belmont, enquanto que o menor ($20,03 \pm 16,56 \text{ mg/kg}$), foi observado no ponto de coleta CT, localizado no rio Contra. Nos demais pontos as concentrações desse metal não diferiram significativamente, permanecendo dentro uma mesma faixa de concentração, nos dois pontos do tributário Jaci-paraná as concentrações ficaram bem próximas entre si, bem como nos pontos do rio Caripunas (CP 01 e CP 02). Já, a concentração de Zn no igarapé Jatuarana (JAT II) foi relativamente maior do que no rio Jatuarana (JATI) (figura 5).

Figura 5 - Concentração de Zn em mg/kg nos Tributários do rio Madeira no período de pré-enchimento do reservatório.



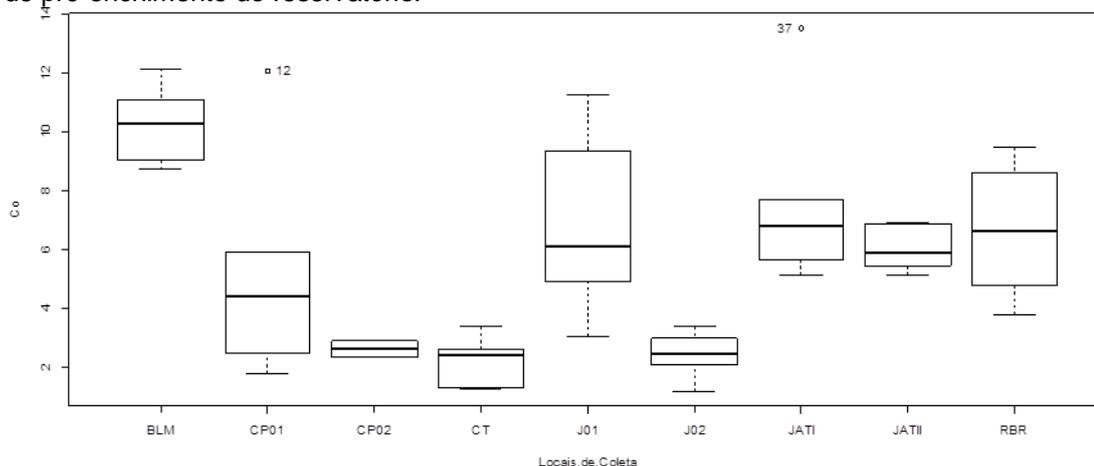
O Pb também apresentou concentrações elevadas em relação aos demais elementos (figura 6). Sua maior concentração média ($15,38 \pm 2,58 \text{ mg/kg}$) foi observada no rio Jaci-Paraná na estação de coleta J 02, e a menor ($8,87 \pm 1,54 \text{ mg/kg}$) no Igarapé Jatuarana no ponto JAT II. As concentrações deste metal no igarapé Belmont (BLM) apresentaram valores próximos aos encontrados no rio Caripunas (CP 01 e CP 02). Enquanto que, no rio Jaci-paraná as concentrações foram distintas nos dois pontos, sendo que, no ponto de coleta J 02 as concentrações foram mais elevadas que no J 01. Contudo as concentrações médias desse metal na maioria dos pontos amostrais permaneceram na faixa de 10-15 mg/kg, as exceções foram pontos do rio Contra (CT) e Jatuarana (JATII) que apresentaram médias que ficaram um pouco abaixo dessa faixa.

Figura 6 - Concentração de Pb em mg/kg nos Tributários do rio Madeira no período de pré-enchimento do reservatório.



Novamente o Co foi um dos elementos mais escassos, este metal apresentou a menor concentração média dentre os demais metais em todos os tributários. As concentrações mais elevadas para o Co foram observadas no Igarapé Bemont (BLM), rio Jatuarana (JAT I e JAT II) e rio Branco (RBR), respectivamente. As concentrações desse metal nos dois pontos do rio Jaci-paraná (J01 e J02) divergiram bastante, onde no ponto J01 as concentrações de Co foram mais elevadas que no J02 (figura 7). A menor concentração média desse metal ($2,23 \pm 0,82$ mg/kg) foi medida no ponto de coleta CT (rio Contra), enquanto que a maior ($10,20 \pm 1,35$ mg/kg), foi encontrada no ponto de coleta BLM (Igarapé Belmont).

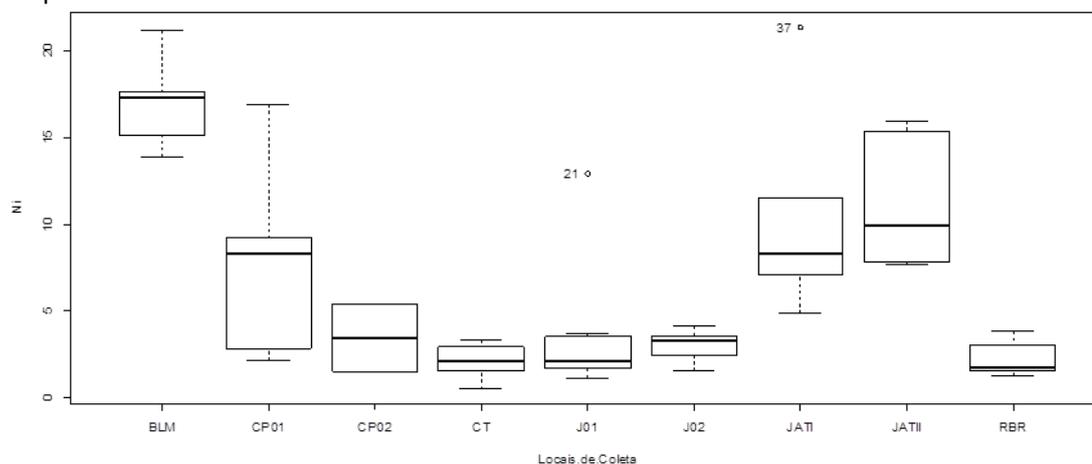
Figura 7 - Concentração de Co em mg/kg nos Tributários do rio Madeira no período de pré-enchimento do reservatório.



Os níveis de Ni também não foram muito elevados, no rio Contra (CT) foi encontrada a menor concentração média desse metal ($2,09 \pm 1,01$ mg/kg), sendo

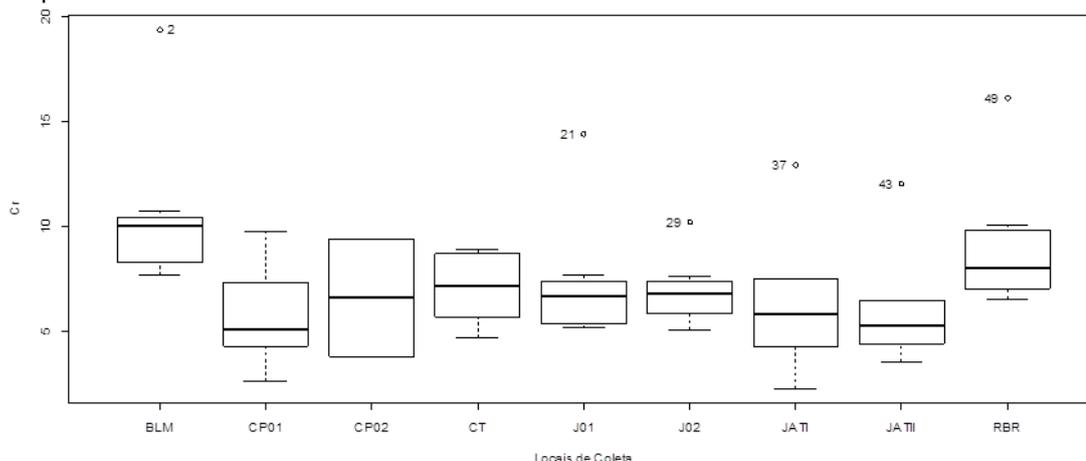
que, as concentrações nos rios Jaci-paraná (J 01 e J 02) e no rio Branco (RBR) ficaram muito próximas dos valores encontrados nesse tributário. Assim como foi observado para os demais metais no igarapé Belmont (BLM) foi encontrado os maiores teores de Ni que oscilaram em torno do valor médio $16,84 \pm 2,48$ mg/kg. Em média os níveis no igarapé Jatuarana (JAT II), o rio Jatuarana (JAT I) e rio Caripunas no ponto CP 01 permaneceram em torno de 10 mg/kg, ficando abaixo apenas dos valores encontrados no BLM (figura 8).

Figura 8: Concentração de Ni em mg/kg nos Tributários do rio Madeira no período de pré-enchimento do reservatório.



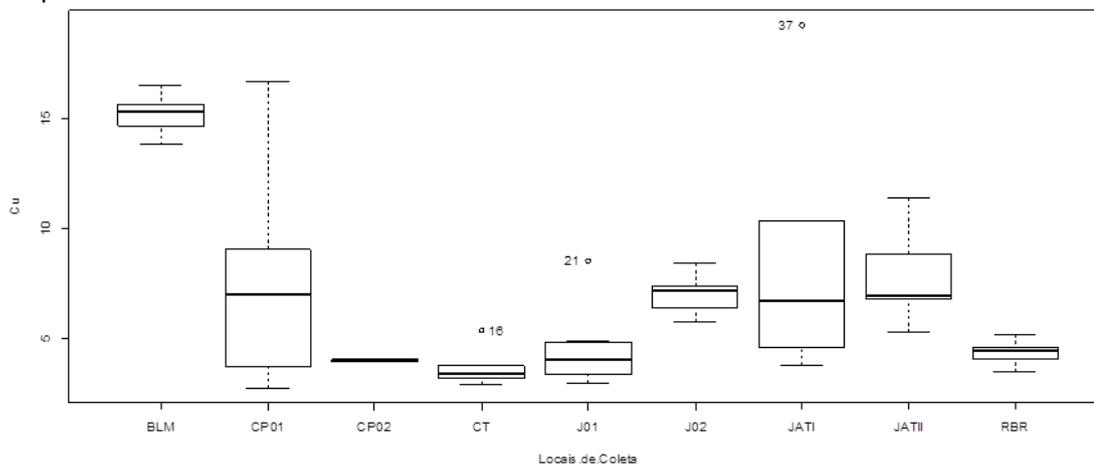
O Cr também ficou entre os metais que apresentaram as menores concentrações, o ponto onde foram encontrados os níveis mais baixos desse metal foi no CP 01, localizado no rio Caripunas onde os valores oscilaram em torno de $5,84 \pm 3,03$ mg/kg. Foi também no Igarapé Belmont (BLM) onde foram encontradas as concentrações mais elevadas de Cr com média de $10,65 \pm 4,03$ mg/kg. Com exceção de BLM e RBR as concentrações desse metal nos demais tributários ficaram em torno de 5 mg/kg, o que pode ser um fator de similaridade entre esses locais (figura 9).

Figura 9 - Concentração de Cr em mg/kg nos Tributários do rio Madeira no período de pré-enchimento do reservatório.



Quanto ao Cu, a menor concentração média encontrada desse metal foi de $3,68 \pm 0,88$ mg/kg no rio Contra (CT), cabe salientar que os níveis desse metal nos pontos CP 02 (rio Caripunas), J01 (rio Jaci Paraná) e RBR (rio Branco) ficaram muito próximos dos valores medidos no rio Contra. Novamente no Igarapé Belmont (BLM) foram medidas as maiores concentrações de Cu, com média de $15,19 \pm 0,90$ mg/kg (figura 10).

Figura 10: Concentração de Cu em mg/kg nos Tributários do rio Madeira no período de pré-enchimento do reservatório.



No período de pré-enchimento a fração disponível dos sedimentos coletados no igarapé Belmont (BLM) foi a que apresentou as maiores concentrações da maioria dos metais abordados no presente estudo, a exceção foi o Pb que foi encontrado em níveis mais elevados no igarapé Jatuarana (JATII). Contudo, cabe destacar que o igarapé Belmont recebe grande parte da drenagem da rede hídrica da cidade de Porto Velho, além de estar próximo de áreas que estão sob influências de atividades agropastoris. Por outro lado, nos tributários rios Contra e Caripunas, que estão à montante do eixo da barragem e não são tão influenciados

por fatores antrópicos com é o igarapé Belmont, foram encontradas as menores concentrações desses metais.

Em comparação com as concentrações dos metais nos sedimentos no rio Madeira, as concentrações nos tributários são menores, essa variação nos resultados pode ser explicada pela granulometria dos sedimentos, bem como pela geomorfologia dos ambientes, para Guyot *et al.* (1999), o Madeira se diferencia pela grande influência de deposição do material particulado carregado dos Andes. Gomes *et al.* (2008) ressalta que nos Tributários o fluxo sedimentar é consideravelmente menor, cerca de 10 a 100 vezes menor que rio Madeira.

6.2 Comportamento dos Metais no Período de Pós-enchimento do Reservatório da UHE- Santo Antônio

O período posterior ao enchimento da barragem da UHE-Santo Antônio corresponde às coletas realizadas entre os anos de 2011 a 2013.

6.2.1 Rio Madeira

Inicialmente, os dados foram analisados por estatística descritiva (média, desvio padrão, máximo e mínimo). Nas estações de coleta localizados ao longo do rio Madeira os metais que apresentaram as maiores concentrações foram o Zn e Ni, enquanto os que apresentaram menores concentrações foram Cr e Co. Os resultados da análise descritiva dos dados podem ser observados na tabela 5.

Tabela 5 - Concentrações de metais pesados (mg/kg) nos sedimentos de fundo do rio Madeira no período de pós-enchimento com n = 8. SD= Desvio padrão.

Locais de Coleta		Pb	Zn	Cr	Cu	Co	Ni
MDCP	Média	15,28	58,53	9,16	19,23	11,87	19,78
	SD	4,46	25,02	3,60	4,58	2,02	6,52
	Máx.	22,06	112,48	13,19	24,63	14,91	31,88
	Mín.	8,63	39,07	3,62	13,06	9,66	12,41
MD01	Média	16,46	57,99	9,40	17,52	11,43	20,00
	SD	3,81	27,04	3,92	2,92	1,28	5,00
	Máx.	21,80	103,34	14,02	21,27	13,70	25,60
	Mín.	11,14	18,34	2,74	13,70	9,79	11,71
MD02	Média	16,82	54,75	9,92	17,40	12,47	20,68
	SD	4,01	27,24	3,82	4,18	2,43	6,62
	Máx.	22,60	103,34	14,02	25,65	17,91	32,51
	Mín.	12,68	18,34	3,27	13,70	11,01	10,11
MD03	Média	12,07	54,64	7,56	12,68	9,42	15,83
	SD	4,21	30,34	3,46	2,43	1,39	4,40
	Máx.	19,03	113,10	12,21	16,32	11,01	20,43
	Mín.	6,76	30,04	2,58	9,96	7,06	7,79
MD04	Média	15,01	65,09	7,76	14,79	11,09	17,88
	SD	4,86	26,69	3,22	3,50	2,02	5,00
	Máx.	22,94	117,76	12,24	19,96	13,48	22,26
	Mín.	9,49	43,78	3,20	9,94	8,81	8,67

A figura 11 apresenta os gráficos em formato boxplot com mediano, mínimo e máximo representando o grau de oscilação dos valores de concentração de todos os metais avaliados na fração disponível dos sedimentos de fundo coletados em cada uma das estações de coleta localizadas no rio Madeira no período intitulado como pós-enchimento, que compreende um período em que as mostras foram coletadas depois barragem da UHE-Santo Antônio foi ativada inundando as áreas que estão sob influência do reservatório.

Como esperado novamente o Zn foi elemento mais abundante, apresentando as maiores concentrações dentre todas as espécies avaliadas. A maior concentração média deste metal foi de $65,09 \pm 26,69$ (média e desvio padrão) mg/kg encontrada na estação de coleta MD 04 e a menor, $54,64 \pm 30,343$ mg/kg, na estação de coleta MD 03.

Seguido do Zn, o Ni foi o segundo elemento que apresentou os níveis mais elevados, cabe ressaltar que as concentrações de Ni em nem um dos pontos se aproximaram dos valores observados para o Zn que foi encontrado em concentrações muito acima das obtidas para os demais metais. A variação no teor desse metal em todos os pontos amostrais permaneceu ao redor 20 mg/kg, na

estação de coleta MD02 foi verificada maior concentração média de Ni ($20,68 \pm 6,62$ mg/kg) e o menor valor médio foi de $15,83 \pm 4,4$ mg/kg na estação de coleta MD03.

As concentrações de Pb ficaram um pouco abaixo dos valores encontrados para o Ni, nos pontos MD01, MD02 e MDCP, todos situados à montante da barragem, as concentrações foram em média mais elevadas que os pontos MD 03 e MD 04, que encontram-se à jusante da barragem. Uma consequência disso é que no ponto MD 01 foi registrada o maior teor médio desse metal ($16,46 \pm 3,81$ mg/kg) e no MD03 o menor ($15,01 \pm 4,86$ mg/kg).

Comportamento similar foi observado para o Cu, a maior concentração média desse metal foi de $19,23 \pm 4,58$ mg/kg na estação de coleta MDCP, enquanto que a menor ($12,68 \pm 2,43$ mg/kg) foi registrada na estação de coleta MD03, como pode ser observado na figura 12, os teores encontrados desse metal em média também foram mais elevados nos pontos localizados a montante da barragem.

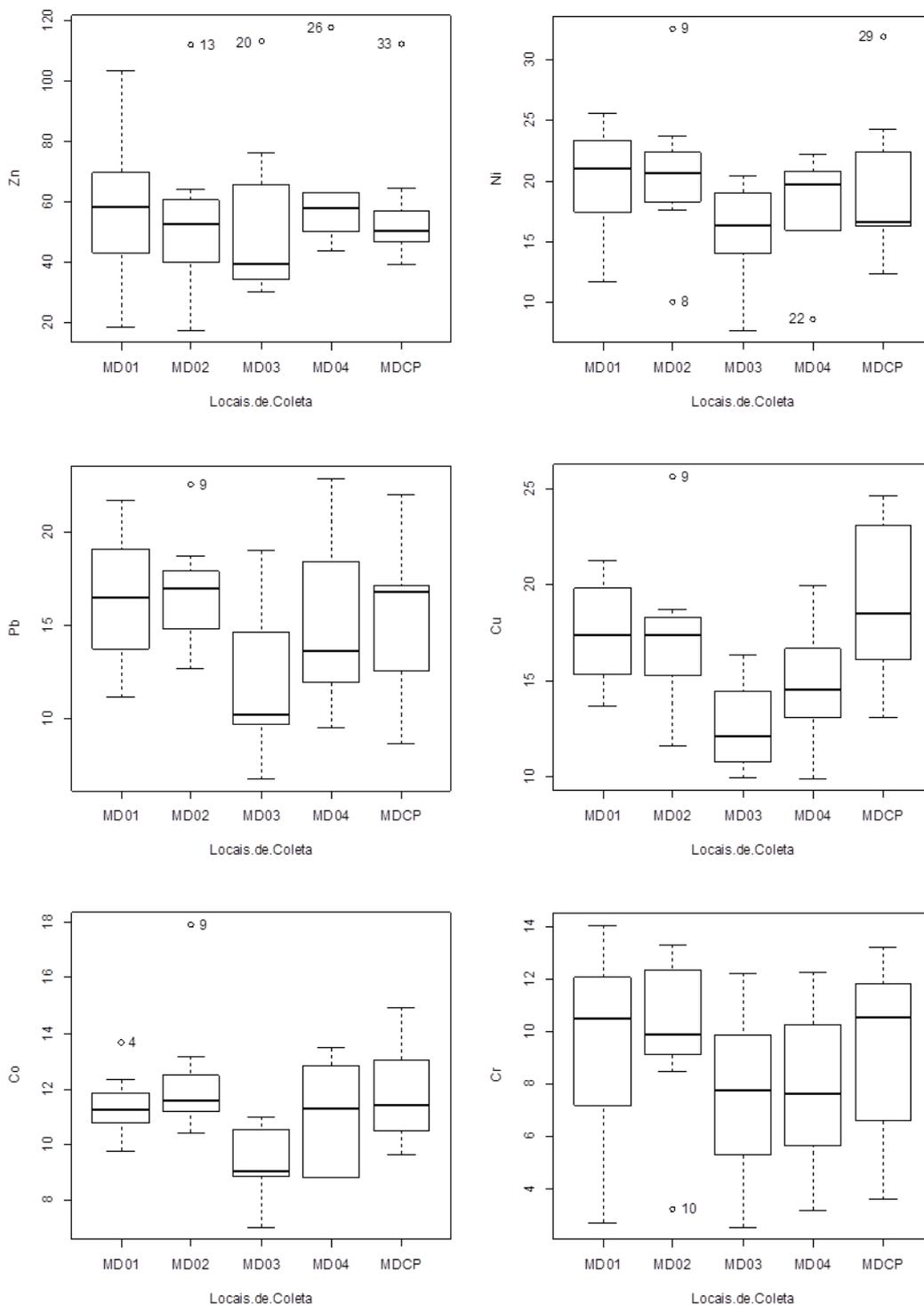
Novamente o Co permaneceu entre os elementos encontrados em menores níveis, sua maior concentração média foi de $12,47 \pm 2,43$ mg/kg no ponto de coleta MD 02 e a menor no valor de $9,42 \pm 1,39$ mg/kg no ponto de coleta MD 03.

Dentre todos os elementos abordados neste estudo o Cr foi o metal encontrado em menor concentração. Os teores desse metal registrados nos pontos MD 01, MD 02 e MD CP estão um pouco acima dos valores encontrados nos pontos MD 03 e MD 04. Portanto, as concentrações desse metal apresentaram uma leve discrepância entre os pontos localizados à montante e à jusante da barragem, como consequência a menor concentração média de Cr ($7,56 \pm 3,46$ mg/kg) foi encontrada no ponto de coleta MD 03, enquanto que a maior concentração de Cr ($7,76 \pm 3,22$ mg/kg) foi registrada no ponto de coleta MD CP.

No período de pós-enchimento as concentrações médias dos metais apresentaram a seguinte ordem crescente $Cr < Co < Pb < Cu < Ni < Zn$. Essa ordem difere do período de pré-enchimento apenas em relação à concentração de Ni que se apresentou menor no período de pré-enchimento.

Em relação aos pontos de coleta, em média as concentrações de Pb, Cu e Cr nos pontos situados à montante da barragem MD 01, MD 02 e MD CP foram superiores aos valores registrados nos que estão à jusante MD 03 e MD 04, posteriormente será verificado se essa diferença é significativa. No ponto MD03 situado próximo à barragem foram registrados em média os menores valores de concentração de cada um dos metais analisados.

Figura 21 - Concentração de Zn, Ni, Pb, Cu, Co e Cr em mg/kg no rio Madeira no período de pós-enchimento do reservatório.



Para este período de coleta no rio Madeira as menores concentrações dos metais pesados foram relatadas na estação de coleta MD 03, diferente do período de coleta anterior em que as menores concentrações foram observadas na estação de coleta MD 02. Entretanto, cabe ressaltar que estes pontos estão localizados próximo à barragem, o MD 03 está á montante e o MD02 está à jusante da

barragem. Assim, esses resultados evidenciam que, ao redor do eixo da reservatório, possivelmente possa haver maior disponibilidade de metais para a coluna d'água, o que conseqüentemente poderia diminuir a concentração dos metais nos sedimentos. De acordo com Cotta *et. al.*(2006), a acumulação e biodisponibilidade de metais nos sedimentos de rios e lagos, pode ser afetada pelas condições ambientais, uma vez sedimentados os metais, estes podem ser novamente disponibilizados para a coluna d'água, devido a reações de oxi-redução, ou a processos de re-suspensão de origem física (correnteza), biológica (atividade dos organismos que vivem nos sedimentos) e humana (dragagem e navegação).

6.2.2 Tributários

No período de pós-enchimento nas estações de coleta dos principais tributários do rio Madeira os metais que apresentaram as maiores concentrações foram o Zn e Pb. Por outro lado, os metais que apresentaram as menores concentrações foram Cr e Co. A tabela 6 apresenta o resultado da análise descritiva dos dados (média, desvio padrão, máximo e mínimo).

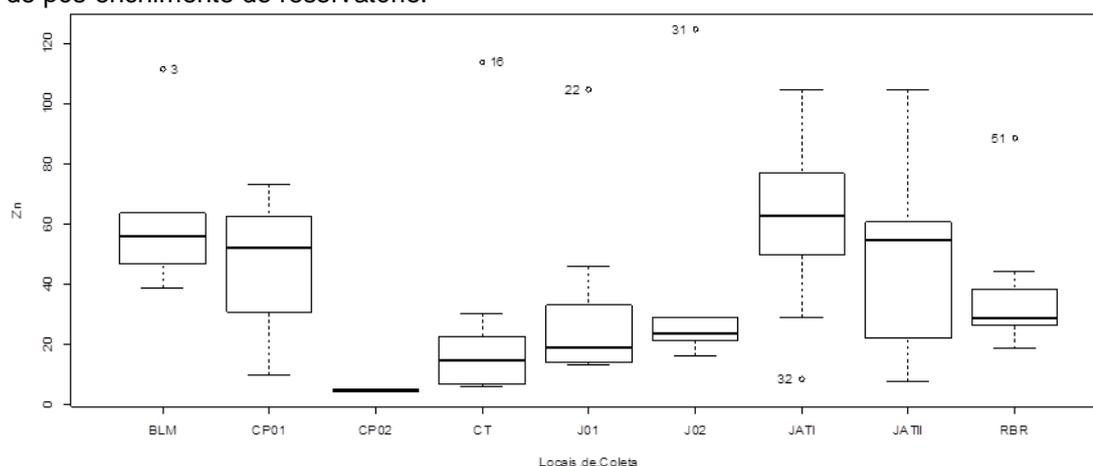
Tabela 6 - Concentrações de metais pesados (mg/kg) nos sedimentos de fundo dos Tributários do rio Madeira no período de pós-enchimento com n = 8. SD = Desvio padrão.

Locais de Coleta		Pb	Zn	Cr	Cu	Co	Ni
BLM	Média	16,90	62,17	8,94	16,21	10,71	18,48
	SD	2,12	25,78	3,40	3,68	2,03	6,10
	Máx.	19,91	111,61	12,51	20,44	13,68	26,27
	Mín.	14,13	38,84	3,28	10,69	8,15	8,89
CP01	Média	11,42	45,06	4,97	8,45	5,99	6,88
	SD	8,43	32,20	1,61	7,22	6,07	2,57
	Máx.	16,35	73,30	5,98	16,78	12,99	9,83
	Mín.	1,68	9,99	3,12	4,17	2,13	5,08
CP02	Média	7,67	4,77	2,43	1,85	0,70	1,24
	SD	6,80	0,52	0,60	0,20	0,24	1,65
	Máx.	12,48	5,14	2,85	1,99	0,87	2,42
	Mín.	2,86	4,41	2,01	1,71	0,53	0,08
CT	Média	10,86	27,69	6,62	6,32	3,04	3,14
	SD	5,55	38,87	4,17	4,18	1,70	1,97
	Máx.	18,46	113,76	14,27	13,54	6,16	5,96
	Mín.	3,78	6,15	2,01	2,28	1,17	0,14
J01	Média	16,33	33,09	6,62	8,32	6,27	6,66
	SD	1,80	33,65	3,37	4,97	3,04	5,08
	Máx.	18,47	104,89	11,01	17,03	9,92	12,51
	Mín.	13,672	13,54	2,23	3,94	2,46	0,51
J02	Média	15,46	39,73	6,02	7,66	2,40	4,30
	SD	6,79	41,90	2,46	5,14	0,58	1,94
	Máx.	21,32	124,80	9,71	16,82	3,16	7,25
	Mín.	2,99	16,22	3,16	0,95	1,65	1,79
JATI	Média	15,30	62,22	9,87	13,91	8,29	15,72
	SD	5,89	28,98	1,96	5,97	4,12	7,78
	Máx.	25,24	104,81	13,11	23,56	13,32	25,94
	Mín.	5,09	8,60	6,25	5,01	2,610	4,36
JATII	Média	13,66	50,78	6,72	11,13	7,87	14,39
	SD	4,07	33,80	3,89	4,03	2,54	6,74
	Máx.	16,62	104,71	11,63	14,84	10,64	19,79
	Mín.	5,71	7,74	1,41	4,52	4,04	2,42
RBR	Média	12,35	37,98	7,47	8,41	6,77	3,47
	SD	7,28	23,69	3,16	5,57	2,98	1,42
	Máx.	19,67	88,66	11,72	17,07	11,69	5,23
	Mín.	2,26	18,64	3,22	4,69	2,60	1,71

Dentre todos os metais avaliados nos tributários novamente o Zn foi o metal que apresentou os níveis mais elevados. Sua maior concentração foi de 62,22±28,98 mg/kg no ponto de coleta JAT I, situado no rio Jaturana. Enquanto que, a menor concentração média de 4,77±0,52 mg/kg foi observada no ponto de

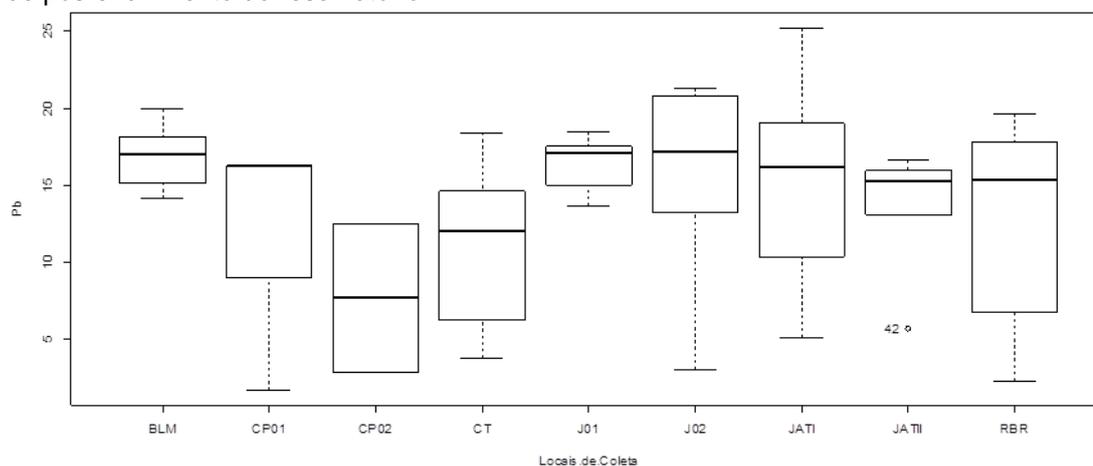
coleta CP 02, no rio Caripunas. Os valores médios no igarapé Belmont (BLM), rio Caripuna no ponto CP 01, rio Jatuarana (JAT I) e igarapé Jatuarana (JAT II) foram muito próximos uns dos outros, esse mesmo comportamento também pode ser observado para o rio Contra (CT) e o rio Jaci Paraná (J 01 e J 02), o que possivelmente pode vir a apontar similaridades entre esses pontos de amostragem (figura 12).

Figura 12 - Concentração de Zn em mg/kg nos tributários do rio Madeira no período de pós-enchimento do reservatório.



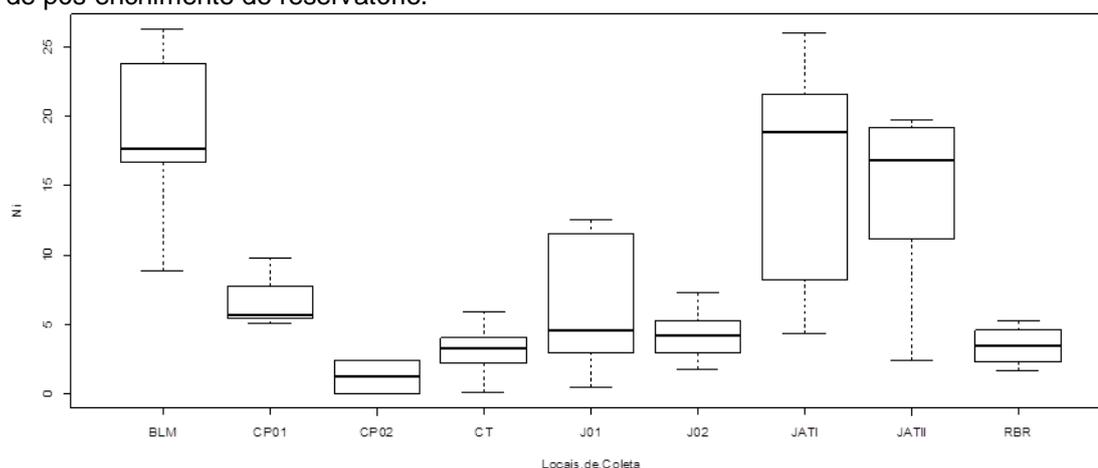
Com níveis não tão elevados quanto os de Zn, o Pb foi encontrado em maior concentração média ($16,90 \pm 2,12$ mg/kg) no igarapé Belmont (BLM), cabe ressaltar que em média as concentrações nesse ponto amostral ficaram próximas as encontradas no rio Jaci Paraná (J 01 e J 02), rio Jatuarana (JAT I), igarapé Jatuarana (JAT II) e rio Branco (RBR). A menor concentração média desse metal foi registrada na estação de coleta CP 02 (rio Caripunas) com o valor de $7,67 \pm 6,80$ mg/kg (figura 13).

Figura 13 - Concentração de Pb em mg/kg nos tributários do rio Madeira no período de pós-enchimento do reservatório.



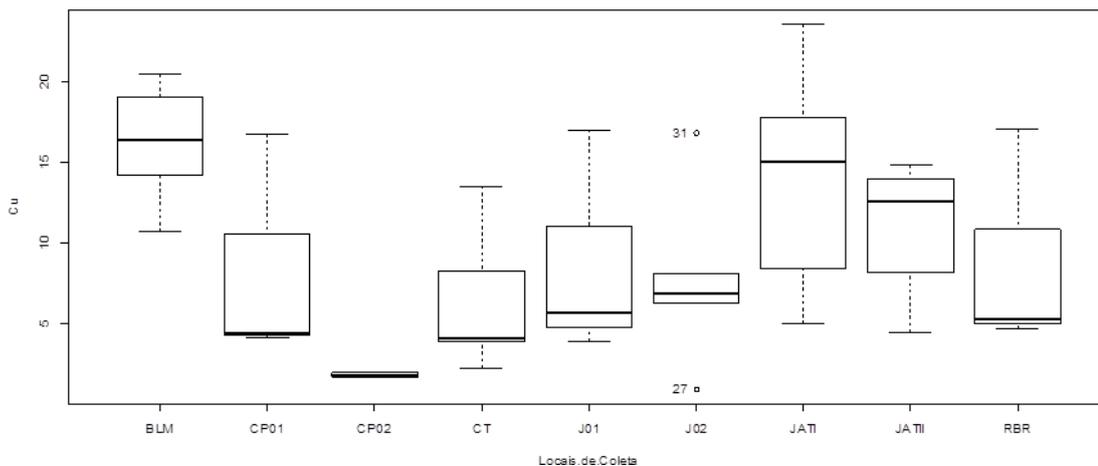
A maior concentração média para o Ni ($18,48 \pm 6,102$ mg/kg) foi verificada no igarapé Belmont, porém observa-se na figura 18 que no JAT I e JAT II as médias estão muito próximas à essa. O menor nível médio de concentração ($1,24 \pm 1,65$ mg/kg) foi obtido na estação de coleta CP 02 (rio Caripunas), as concentrações médias nos pontos CT, J01, J02 e RBR apresentaram valores apenas levemente maiores que esse, de modo que, nesses pontos os níveis registrados para esse metal estão inseridos em uma mesma faixa de valores

Figura 14 - Concentração de Ni em mg/kg nos tributários do rio Madeira no período de pós-enchimento do reservatório.



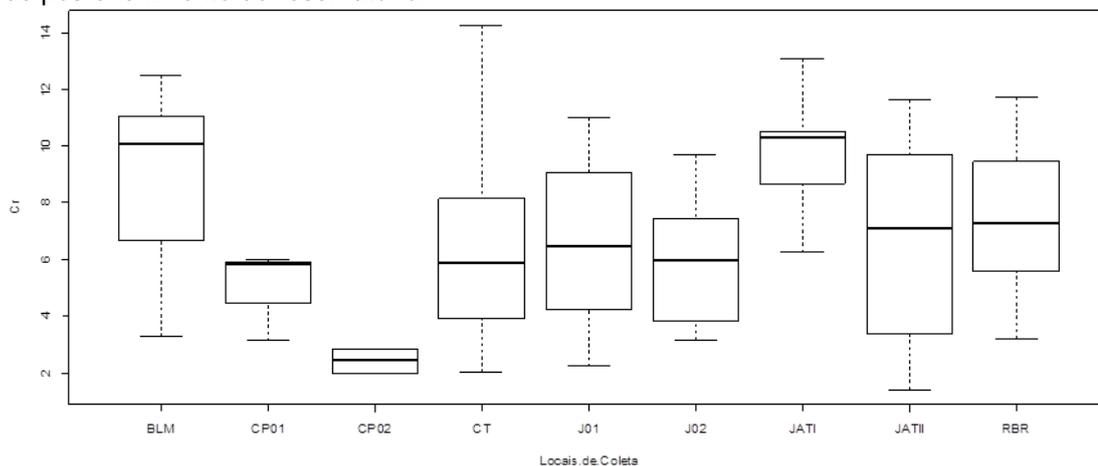
Assim como os demais metais o Cu apresentou a maior concentração de $16,21 \pm 3,68$ mg/kg na estação de coleta do igarapé Belmont (BLM), mais uma vez cabe ressaltar que no rio Jatuarana (JAT I) e no igarapé Jatuarana (JAT II) os teores médios estão muito próximos deste valor. A menor concentração média registrada para esse metal foi de $1,85 \pm 0,20$ mg/kg no ponto CP02 no rio Caripunas. Os níveis de Cu no rio Contra (CT), rio Jaci Paraná (J 01 e J02) e no rio Branco (RBR) apresentam e uma mesma faixa, com valores médios muito próximos (figura 15).

Figura 15 - Concentração de Cu em mg/kg nos tributários do rio Madeira no período de pós-enchimento do reservatório.



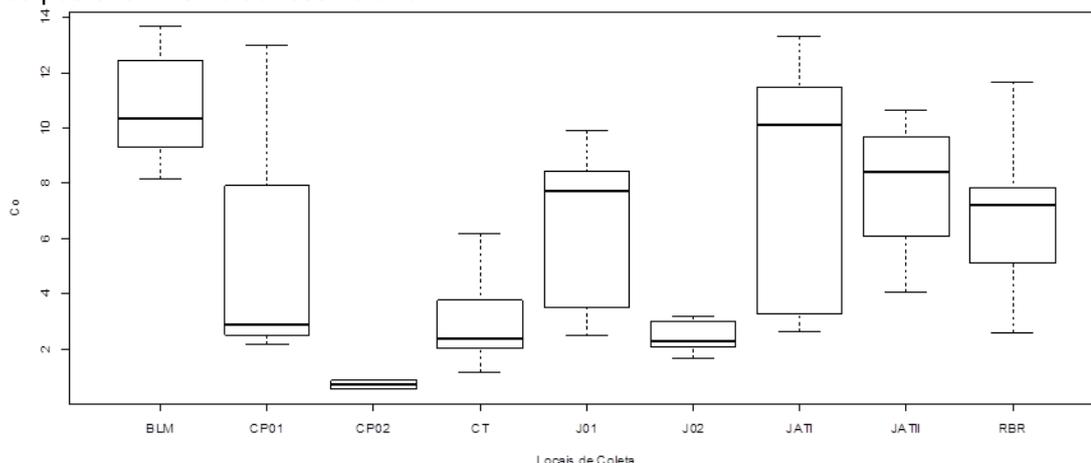
Os maiores níveis de Cr foram observadas nos igarapés Belmont e Jatuarana, enquanto as menores concentrações foram observadas no rio Caripunas no ponto amostral CP 02. A maior concentração para este metal foi de $9,87 \pm 1,96$ mg/kg e a menor foi de $2,42 \pm 0,59$ mg/kg. No rio Contra (CT), rio Jaci Paraná (J 01 e J 02), igarapé Jatuarana (JAT II) e rio Branco (RBR) os teores desses metais apresentam valores muito próximos o que pode evidenciar possíveis similaridades entre esses pontos amostrais.

Figura 16 - Concentração de Cr em mg/kg nos tributários do rio Madeira no período de pós-enchimento do reservatório.



Quanto ao Co seus maiores níveis foram observados, novamente nos igarapés Belmont e rio Jatuarana. A maior concentração para esse elemento foi de $10,71 \pm 2,03$ mg/kg no igarapé Belmont. Entretanto, sua menor concentração foi de $0,69 \pm 0,24$ mg/kg novamente no rio Caripunas no ponto amostral CP 02.

Figura 17 - Concentração de Co em mg/kg nos tributários do rio Madeira no período de pós-enchimento do reservatório.



No período de pós-enchimento da UHE-Santo Antônio os Tributários que apresentaram os níveis mais elevados para a maioria dos metais foram os igarapés Belmont e o rio Jatuarana. Esses ambientes encontram-se próximos à área urbana de Porto Velho, além da ocupação desordenada e utilização do solo para atividades agropecuárias. Segundo Xavier (2000), a utilização de agrotóxicos tem elevado os níveis de metais pesados nos solos e, conseqüentemente nos sedimentos, uma vez que, os metais pesados fazem parte dos componentes ativos de vários agrotóxicos, em forma de sais de Zn e arsenatos de Pb e Cu. Por outro lado, na estação de coleta localizada no rio Caripunas foram localizadas os menores níveis para praticamente todos os metais. Este rio está distante de áreas sob influências de atividade humana, pois essa região permanece com sua vegetação praticamente inalterada.

6.3 Comparação das Concentrações médias entre os períodos de pré e pós-enchimento do reservatório da UHE-Santo Antônio

6.3.1 Rio Madeira

Com o objetivo de comparar as concentrações médias dos metais entre os dois períodos estudados em cada ponto de coleta, foi empregado o *test t-Student* para amostras independentes com nível de confiança de 95%. Os resultados do teste estão resumidos na tabela 7, apenas o Pb e Cu apresentaram diferenças significativas em suas concentrações.

Tabela 7 - Resultado do test t da comparação entre as concentrações dos metais entre os períodos de pré e pós-enchimento do reservatório. Os valores em negrito indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

		Estações de Coleta rio Madeira				
Metais		MD01	MD02	MD03	MD04	MDCP
Pb	t_{calc}	2,065	3,001	-0,270	0,779	1,144
	<i>valor-p</i>	0,063	0,011	0,792	0,460	0,276
Cu	t_{calc}	-0,504	0,497	-3,067	-1,613	0,231
	<i>valor-p</i>	0,623	0,628	0,011	0,141	0,822
Zn	t_{calc}	-0,752	-0,059	-0,270	0,110	-0,560
	<i>valor-p</i>	0,471	0,955	0,792	0,916	0,588
Cr	t_{calc}	-0,254	0,871	-1,279	-0,962	-0,344
	<i>valor-p</i>	0,806	0,407	0,235	0,367	0,740
Co	t_{calc}	-0,269	1,360	-2,138	-0,367	0,290
	<i>valor-p</i>	0,794	0,199	0,059	0,723	0,777
Ni	t_{calc}	1,432	1,906	-0,706	0,503	1,098
	<i>valor-p</i>	0,190	0,092	0,495	0,632	0,308

Na figura 18 encontram-se ilustradas as concentrações médias encontradas para cada um dos metais abordados neste estudo. Começando pelo Co, observa-se que sua concentração não variou muito entre os dois períodos. Observa-se um aumento da concentração média no ponto de coleta MD 02 e uma pequena diminuição no ponto MD 03 no período de pós-enchimento, porém não foi significativa.

Apesar de não significativa a concentração média de Zn no período de pós-enchimento se manteve um pouco abaixo da concentração média no período de pré-enchimento do reservatório.

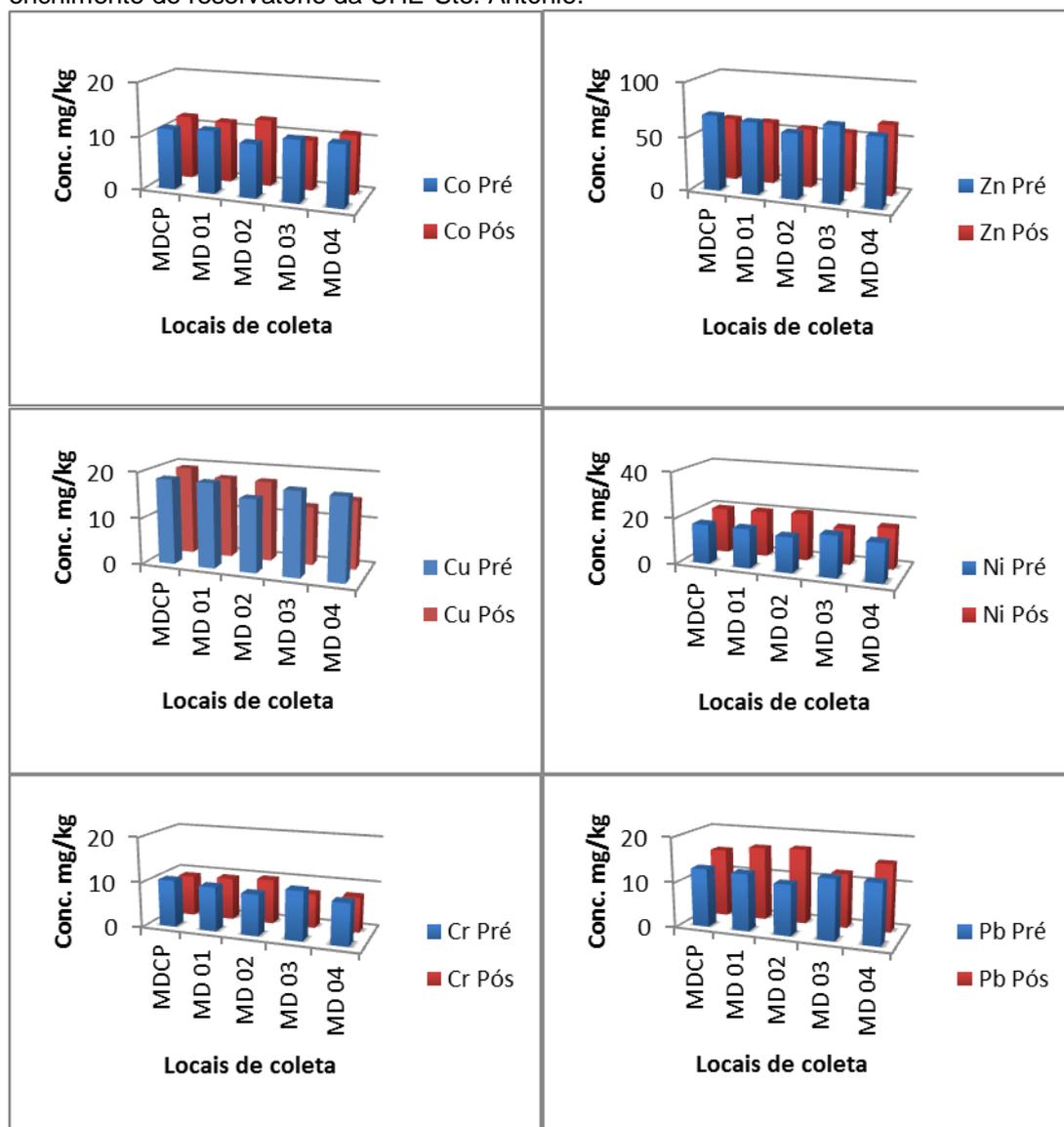
O Cu apresentou diminuição em sua concentração média no ponto de coleta MD 03 no período de pós-enchimento do reservatório, assim pode-se considerar que, nesse ponto houve diferença significativa entre os dois períodos. Nos demais pontos de coleta não foram observadas variações de concentração consideradas significativas entre os períodos avaliados.

O Ni apresentou nos pontos de coleta MD CP, MD 01 e MD 02 um pequeno aumento em sua concentração no período de pós-enchimento do reservatório. Já para as demais estações de coleta não houve variação de sua concentração média. Apesar do aumento da concentração média no período de pós-enchimento, não se observou diferenças significativas entre as concentrações de Ni nas estações de coleta entre os dois períodos.

Apesar do Cr ter apresentado uma pequena diferença nos valores médios de concentração no ponto de coleta MD 03, onde houve uma diminuição no período de

pós-enchimento, essa variação não foi significativa entre os dois períodos estudados. O Pb apresentou concentração maior nos pontos de coleta MD01, MDCP e MD02 no período de pós-enchimento. No entanto, apenas a diferença observada entre os dois períodos no ponto MD 02 foi significativa.

Figura 18 - Variação média de Co, Zn, Cu, Ni, Cr e Pb nos períodos de pré e pós-enchimento do reservatório da UHE-Sto. Antônio.



Apesar do aumento da concentração média de alguns metais em determinados pontos ao longo do rio Madeira, estatisticamente não houve muitas diferenças consideradas significativas entre os dois períodos.

Segundo Carvalho *et al.*, (2000), a construção de uma barragem e a formação do seu reservatório normalmente modificam as condições naturais do

curso d'água. E, relacionado ao aspecto sedimentológico as barragens geram uma redução das velocidades da corrente provocando a deposição gradual dos sedimentos carregados pelo curso d'água, ocasionando o assoreamento, e problemas ambientais de diversas naturezas, bem como a acumulação e mobilidade de metais tóxicos. Contudo, no rio Madeira ainda não se pode afirmar que ocorreram grandes mudanças em relação aos níveis de metais pesados, o que possivelmente possa vir a ocorrer futuramente, tendo em vista que a construção do reservatório ainda é recente. Além disso, para a avaliação mais completa dos impactos causados pela acumulação por metais pesados nos sedimentos de fundo são necessários conhecer outros fatores importantes a respeito do comportamento biogeoquímico dos metais nesses ambientes.

Avaliar a qualidade do sedimento quanto à presença de substâncias químicas potencialmente tóxicas é difícil, devido à complexidade desse compartimento e por não se saber exatamente os mecanismos que atuam nele. Além disso, diferenças regionais como formação geológica, clima, profundidade, pH, dentre outros parâmetros, podem influenciar diretamente nos valores numéricos.

O desenvolvimento regional, a exemplo de agroindústria com instalação de laticínios, curtumes etc. e a instalação das usinas hidrelétricas que nos seus reservatórios amplificam as deposições dos sólidos. Promovem uma potencial tendência de adsorção de metais em partículas e sua posterior sedimentação, o que pode contribuir posteriormente, para o aumento nas concentrações dos metais estudados. Dessa forma, é importante salientar a importância do monitoramento dos sedimentos de fundo e de outros compartimentos ambientais nessa região.

6.3.2 Tributários

As variações das concentrações médias dos metais nos Tributários do rio Madeira, foram comparadas entre o período anterior (pré) e posterior (pós) ao enchimento do reservatório da UHE-Santo Antônio, para tanto, também foi empregado o teste *t-Student* para amostras independentes com um nível de significância de 95%.

Conforme os resultados observados na tabela 8, os metais pesados que apresentaram diferenças significativas entre os dois períodos estudados foram o Pb, Cu, Co e Cr. O Pb apresentou diferenças significativas nos pontos de coleta BLM

(Igarapé Belmont), J01 (rio Jaci-paraná e JATII (Igarapé Jatuarana). Cu e Co apresentaram diferenças significativas no ponto de coleta CP02 (rio Caripunas). Já o Cr apresentou diferença significativa entre os dois períodos estudados, apenas na estação de coleta CP01 (rio Caripunas).

Tabela 8 - Resultado do test t da comparação entre as concentrações dos metais entre os períodos de pré e pós-enchimento do reservatório. Os valores em negrito indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

		Estações de Coleta - Tributários								
Metais		BLM	CP01	CP02	CT	J01	J02	JATI	JATII	RBR
Pb	t_{calc}	3,284	-0,496	-1,377	0,640	3,461	0,025	1,917	2,691	-0,063
	<i>valor-p</i>	0,007	0,668	0,396	0,540	0,004	0,981	0,076	0,034	0,951
Zn	t_{calc}	-0,818	0,088	-1,521	0,474	-0,248	0,298	2,020	0,050	-0,540
	<i>valor-p</i>	0,440	0,934	0,370	0,648	0,809	0,775	0,064	0,961	0,599
Cu	t_{calc}	0,664	0,641	-14,305	1,630	1,928	0,301	1,770	1,848	1,911
	<i>valor-p</i>	0,534	0,576	0,025	0,150	0,093	0,775	0,105	0,104	0,104
Ni	t_{calc}	0,616	0,532	-0,963	1,233	1,298	1,473	1,596	1,056	1,823
	<i>valor-p</i>	0,559	0,618	0,456	0,248	0,220	0,189	0,135	0,323	0,096
Co	t_{calc}	0,530	0,650	-5,884	1,115	-0,393	-0,155	0,387	1,707	0,082
	<i>valor-p</i>	0,610	0,575	0,043	0,294	0,701	0,879	0,705	0,140	0,936
Cr	t_{calc}	-0,825	5,854	-1,464	-0,256	-0,409	-0,789	2,070	0,268	-0,993
	<i>valor-p</i>	0,427	0,001	0,374	0,804	0,689	0,453	0,079	0,794	0,340

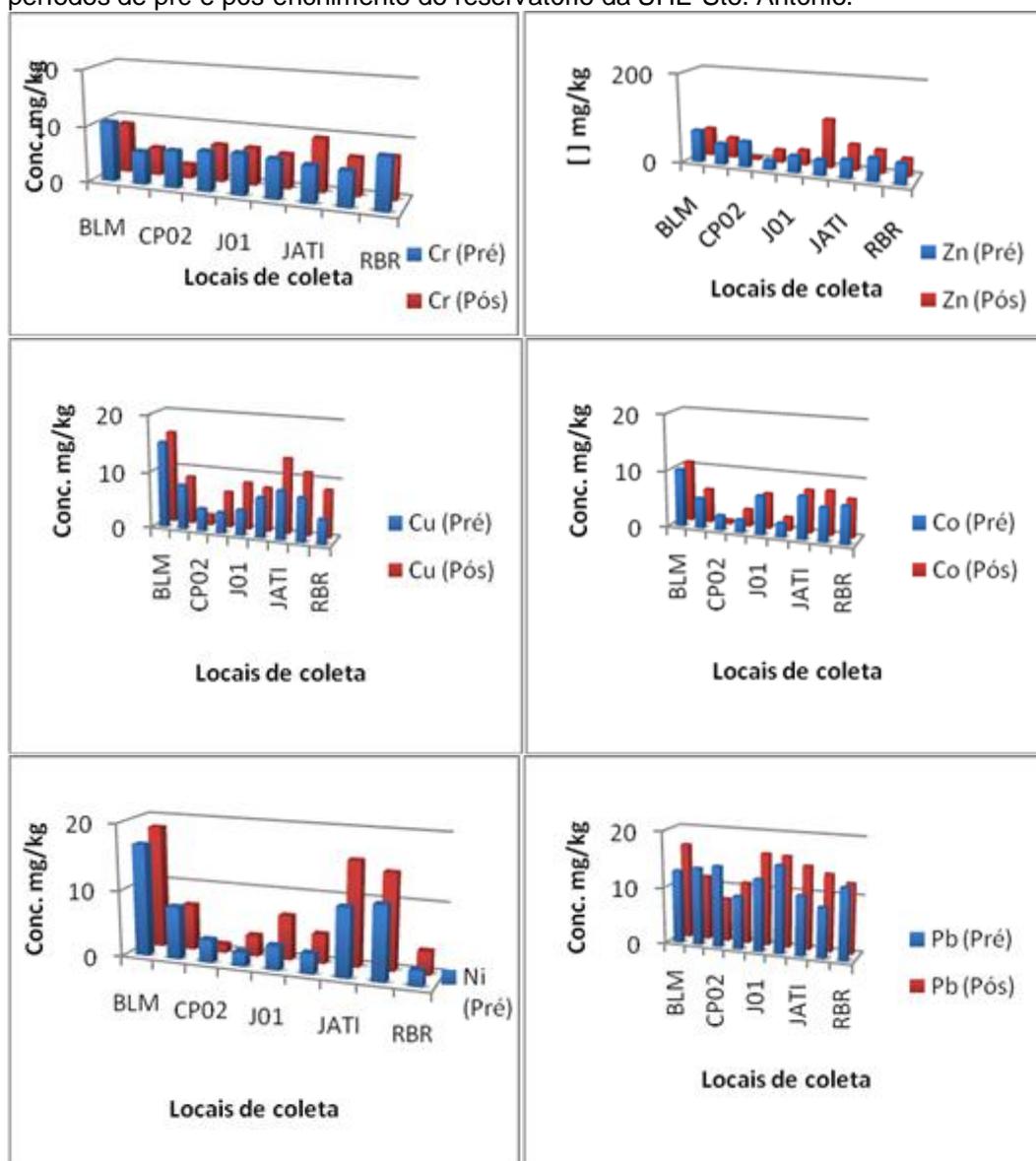
Na figura 19 é possível observar a variação da concentração média de todos os metais entre os dois períodos avaliados. A concentração média de Cr é maior nos pontos de coleta JATI e JATII no período de pós-enchimento. Nos pontos BLM, CP1, J01 e RBR as concentrações médias foram menores no pós-enchimento. Entretanto, essas diferenças não são estatisticamente significativas. Apenas no ponto de coleta CP 02 o Cr apresentou diferença significativa na concentração média, que foi menor no pós-enchimento. Nos demais pontos a concentração média se manteve praticamente sem alteração.

Apesar de concentrações médias de Zn se mostrarem maiores no pós-enchimento para os pontos de coleta CT, J 02, JAT I, JAT II não houve diferenças significativas entre os dois períodos estudados. O Cu apresentou concentração média maior no período de pós-enchimento em praticamente todos os pontos de coleta. No entanto, apenas no ponto CP 02 a concentração média de Cu foi menor no pós-enchimento, essa variação foi significativa entre as médias do Cu neste ponto. O Co apresentou concentrações médias maiores nos pontos BLM, CP01, CT, JAT II e RBR no período de pós-enchimento. Já para no ponto CP 02 a

concentração média foi menor no pós-enchimento, sendo esta diferença considerada estatisticamente significativa.

O Ni também apresentou concentrações médias maiores no período de pós-enchimento, praticamente em todos os pontos. Apenas nos pontos CP 01 e CP 02 as concentrações médias de Ni apresentaram pequena diminuição. O Pb apresentou comportamento similar aos demais metais, com aumento na concentração média no pós-enchimento e na maioria dos pontos, uma vez que, nos pontos BLM, J 01 e JAT II as diferenças entre as médias foram significativas. Somente nos pontos CP 01 e CP 02 observa-se uma concentração média menor no período de pós-enchimento.

Figura 19 - Variação média de Cr, Zn, Cu, Co, Ni e Pb nos Tributários, entre os períodos de pré e pós-enchimento do reservatório da UHE-Sto. Antônio.



De maneira geral as concentrações médias dos metais nos tributários aumentaram no período de pós-enchimento da barragem, no entanto as diferenças entre as médias para a maiorias elementos não se mostraram significativas para um nível de 95% de confiança.

6.3.3 Correlação entre as Variáveis

As correlações entre todos os metais foram verificadas por meio do coeficiente de correlação de Pearson, sendo consideradas significativas as correlações que apresentaram coeficiente $r^2 > |0,5|$. A tabela 9 apresenta as correlações no período de pré-enchimento e a tabela 8 apresenta as correlações no período de pós-enchimento.

No período de pré-enchimento, com exceção do Pb, todos os elementos apresentaram níveis de correlação significativos ($r^2 > |0,5|$). As melhores correlações foram encontrados entre os pares Cu-Ni, Cu-Co, Co-Ni. Esse mesmo comportamento foi observado para o período de pós-enchimento, nesse período apenas o Zn não apresentou boa correlação com os demais elementos.

Tabela 9 - Correlação entre os metais no período de pré-enchimento, coeficiente de Pearson (r^2). Os valores em negrito valores indicam correlação signicativa ($r^2 > 0,5$).

	Pb	Zn	Cr	Cu	Co	Ni
Pb	1,000					
Zn	0,285	1,000				
Cr	0,184	0,684	1,000			
Cu	0,109	0,796	0,732	1,000		
Co	-0,009	0,777	0,773	0,908	1,000	
Ni	-0,056	0,827	0,643	0,959	0,907	1,000

Tabela 10 - Correlação entre os metais no período de pré-enchimento, coeficiente de Pearson (r^2). Os valores em negrito indicam correlação signicativa ($r^2 > 0,5$).

	Pb	Zn	Cr	Cu	Co	Ni
Pb	1,000					
Zn	0,684	1,000				
Cr	0,766	0,451	1,000			
Cu	0,733	0,469	0,893	1,000		
Co	0,647	0,307	0,838	0,954	1,000	
Ni	0,644	0,392	0,811	0,956	0,934	1,000

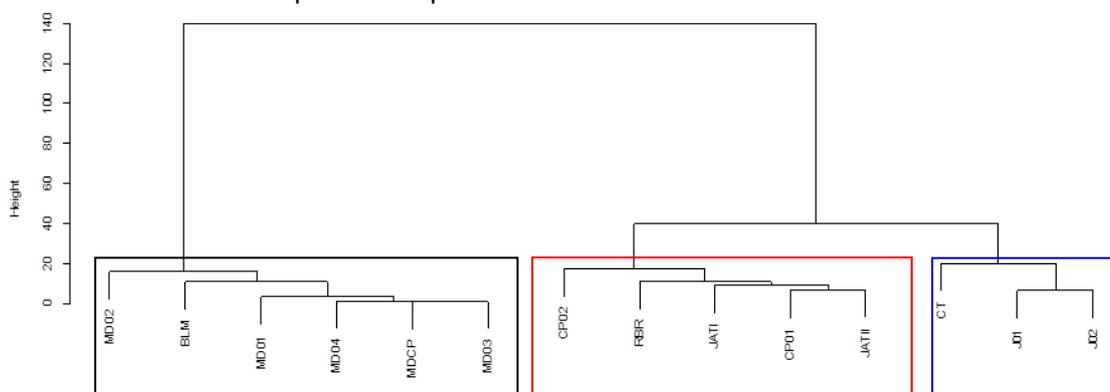
6.3.4 Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA)

A HCA (*Hierarchical Clustering Analysis*) foi empregada com o objetivo de verificar a similaridade (ou dissimilaridade) entre os pontos amostrais e os

diferentes períodos de coleta. Para a aplicação da HCA empregou-se o método de Ward com distância euclidiana, tendo em vista que ambos apresentaram os melhores resultados na formação dos agrupamentos.

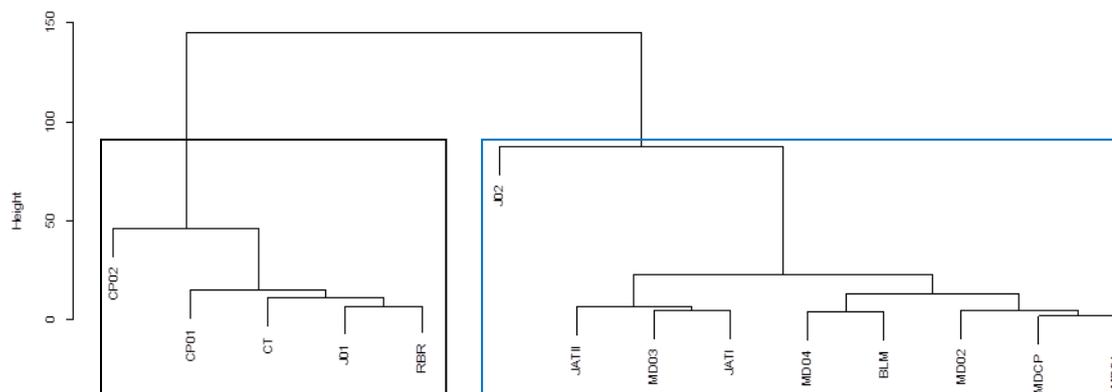
No dendograma da figura 20 é possível observar a formação de três diferentes zonas amostrais. Partindo da direita para a esquerda, a primeira zona amostral é formada pelos pontos J01, J02 (rio Jaci-paraná) e CT (rio Contra), assim é possível inferir que esses tributários apresentam similaridade, fato que se justifica pela proximidade desses pontos amostrais. A segunda zona amostral é formada pelos pontos CP01, CP02, JATI, JATII e RBR. Esses tributários estão localizados à montante do eixo da barragem, apenas o JATII está localizado à jusante. A terceira zona é formada pelos pontos MD 02, BLM, MD 04, MD CP e MD 03. Esse agrupamento demonstra que o Igarapé Belmont (BLM) possui características similares ao rio Madeira, vale ressaltar que esse tributário foi o que apresentou as maiores concentrações dentre os demais no período de pré-enchimento. É importante também destacar, que o Igarapé Belmont recebe grande parte da drenagem da rede hídrica da cidade de Porto Velho.

Figura 20 - Dendograma de análise de cluster entre os pontos amostrais de sedimento coletadas no período de pré-enchimento.



No dendograma da figura 21 também é possível observar duas zonas amostrais, a primeira formada pelos pontos do Madeira e pelos pontos dos Tributários BLM, JAT I, JAT II e J 02. No período de pós-enchimento do reservatório, a classificação gerada pela análise por HCA aponta similaridades entre o rio Madeira e mais de um tributário. A segunda zona amostral é formada pelos pontos CP 01, CP 02, CT, J 01, RBR, todos localizados à montante do eixo da barragem.

Figura 21: Dendograma de análise de cluster entre os pontos amostrais desedimentados coletados no período de pós-enchimento.



6.3.5 Análise de dos Componentes Principais (PCA)

Para complementar a classificação obtida pela análise de agrupamento (HCA) foi realizada a análise de componentes principais (PCA) na matriz dos dados nos dois períodos avaliados. Com a PCA é possível identificar dentre as variáveis àquelas que apresentam mais significância no conjunto de dados, e observar os padrões de similaridade entre os locais amostrais e os períodos de coletas.

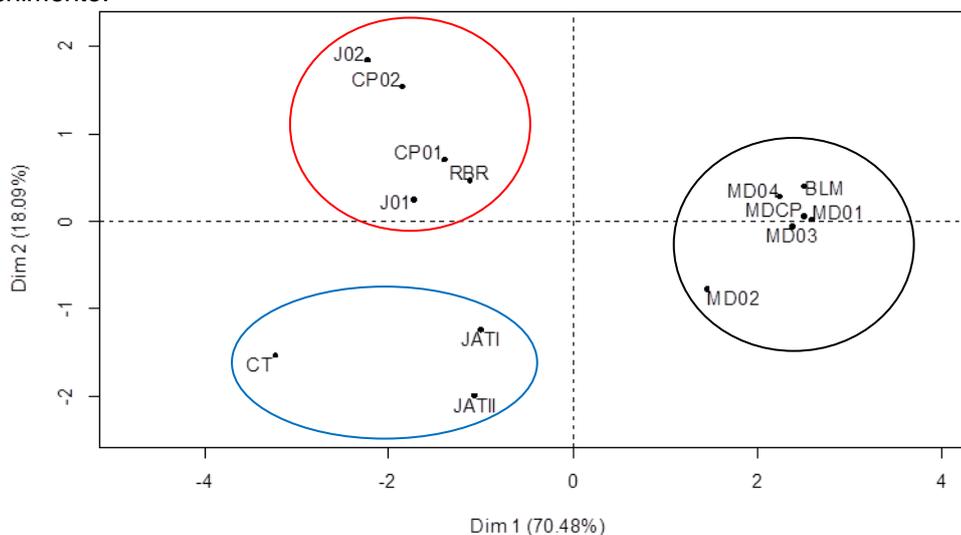
Para o período de pré-enchimento da barragem as duas primeiras componentes principais juntas são responsáveis por aproximadamente 88,579% da variabilidade total do conjunto de dados, portanto foram as componentes selecionadas para a análise, de acordo com o critério proposto por Kaiser (1960). Na tabela 11 pode ser observada os autovalores e a variância acumulada para cada componente.

Tabela 11 - Autovalores e variância explicada por todas as componentes principais para o período de pré-enchimento.

	Autovalores	Proporção da	Variância
CP	(λ)	Variância	Acumulada
CP1	4,229	70,484%	70,484%
CP2	1,086	18,095%	88,579%
CP3	0,392	6,526%	95,105%
CP4	0,199	3,323%	98,428%
CP5	0,086	1,431%	99,858%
CP6	0,008	0,142%	100,000%

A figura 22 mostra os gráficos dos componentes principais: PC1 *versus* PC2. Pôde-se observar que os resultados obtidos na PCA apresentaram boa concordância com os da análise de HCA.

Figura 22 - Gráfico das componentes principais PC1 versus PC2 no período de pré-enchimento.



A similaridade entre os pontos do Madeira com o Tributário Belmont (BLM) pode ser justificada pelas concentrações elevadas dos metais nesse Tributário em relação aos demais. É importante ressaltar, que o Igarapé Belmont está localizado próximo à zona urbana e que a vegetação ao redor desse igarapé é marcada por áreas de pastagem, além de receber a drenagem de Porto Velho

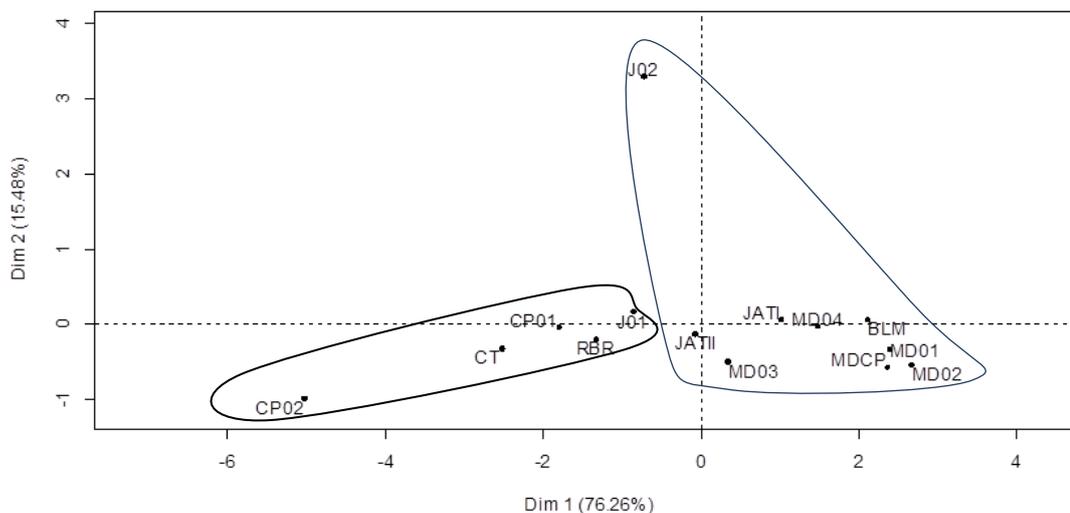
Para o período de pós-enchimento, as componentes selecionadas para análise foram as duas primeiras que, juntas são responsáveis por aproximadamente 91,737% da variabilidade total do conjunto de dados. Na tabela 12 estão os autovalores e a variância acumulada para cada componente.

Tabela 12: Autovalores e variância explicada por todas as componentes principais para o período de pós-enchimento.

	Autovalores	Proporção da	Variância
CP	(λ)	Variância	Acumulada
CP1	4,575	76,258%	76,258%
CP2	0,929	15,480%	91,737%
CP3	0,272	4,535%	96,273%
CP4	0,148	2,461%	98,734%
CP5	0,056	0,928%	99,662%
CP6	0,020	0,338%	100,000%

Os gráficos das componentes principais PC1 versus PC2 na figura 25, demonstram que os resultados obtidos na PCA apresentaram boa concordância com os da análise de HCA.

Figura 23 - Gráfico das componentes principais PC1 versus PC2 no período de pós-enchimento.



Para este período de análise observa-se a similaridade entre os pontos do Madeira com os Tributários Belmont e Jatuarana. Esses Tributários estão localizados próximo ao eixo do reservatório da UHE-Santo Antônio e, foram os mais afetados pela alagação causada pelo enchimento do reservatório, além disso esses pontos provavelmente sofrem interferência de atividades agropecuárias, comuns nessa região. Os tributários rio Contra (CT), rio Caripunás (CP01 e CP02) e rio Branco (RBR) também apresentaram similaridades entre si, estes estão mais afastados do eixo do reservatório, portando sofrem menos interferências pelas atividades antrópicas. Já o rio Jaci Paraná, apesar de também estar afastado do eixo da barragem, na região onde esse rio se encontra, há evidências de atividades relacionadas com o uso da terra para a agricultura e pecuária.

7 CONCLUSÃO

As concentrações dos metais no período de pré-enchimento do reservatório da UHE-Santo Antônio seguiram a seguinte ordem crescente Cr<Co<Pb<Ni<Cu<Zn e nos Tributários a ordem dos metais foram Co<Cu<Cr<Ni<Pb<Zn. No período de pós-enchimento no Madeira as concentrações dos metais seguiram a seguinte ordem Cr<Co<Pb<Cu<Ni<Zn. Nos tributários a ordem foi a seguinte Cr<Ni<Co<Cu<Pb<Zn.

Apesar do aumento da concentração média de alguns metais em determinados pontos ao longo do rio Madeira, estatisticamente não houve muitas diferenças consideradas significativas entre os dois períodos. Ao verificar a existência possíveis diferenças nas concentrações dos metais entre os dois períodos estudados, no rio Madeira apenas os elementos Cu e Pb apresentaram variação significativa ($\alpha = 0,05$). Onde, a concentração de Cu diminuiu na estação de coleta MD 03, enquanto que, os níveis de Pb aumentaram na estação de coleta MD 02. Já nos tributários, os elementos que apresentaram diferenças significativas foram Pb, Cu, Co, e Cr. Na estação de coleta CP 02 (rio Caripuna) os níveis de Cu, Co e Cr reduziram, enquanto que, as concentrações de Pb elevaram-se nas estações de coleta BLM (igarapé Belmont), J 01 (rio Jaci-paraná) e JAT II (igarapé Jatuarana).

A partir das análises por estatística multivariada foi possível observar padrões de similaridade entre os pontos de coleta no rio Madeira e alguns Tributários. Assim, no período de pré-enchimento, as análise de PCA e HCA apontaram similaridades entre os pontos do Madeira e o igarapé Belmont, já no período de pós-enchimento as similaridades foram observadas entre o Madeira, Igarapés Belmont e Jatuarana e o rio Jatuarana.

8 REFERENCIAS

BAI, J., CUI, B., CHEN, B., ZHANG, K., DENG, W., GAO, H., & XIAO, R. Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from a typical plateau lake wetland, China. **Ecological Modelling**, 222(2), 301–306, 2011.

BASTOS, W.R., MALM, O.; PFEIFFER, W.C., CLEARY, D. Establishment and analytical quality control of laboratories for Hg determination in biological and geological samples in the Amazon – Brazil. **Ciência & Cultura**, 50: 255-260, 1998.

BASTOS, W. R. REBELO M. F.; FONSECA, M. F.; ALMEIDA, R.; MALM, O. A description of mercury in fishes from the Madeira River Basin, Amazon, Brazil Madeira. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 3, p. 431–438, 2008.

BASTOS, W. R.; LACERDA, L. D. Mercúrio na Bacia de drenagem do Rio Madeira, Rondônia. **Geochimica Brasiliensis**, v.18, p.99-114, 2004.

BASTOS,W.R;GOMES,J.P.O.;OLIVEIRA,R.C.;ALMEIDA, R.;NASCIMENTO, E.L.; BERNARDI, J.V.E.; LACERDA, L.D.; SILVEIRA, E.G.; PFEIFFER, W. C. Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 368 p. 344-351, 2005.

BERNARDI, J. V. E. Lacerda, L.D.; Dórea, J.G.; Landim, P.M.B.; Gomes, J.P.O.; R. Almeida; Manzatto, A.G.; Bastos, W.R. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio Madeira e afluentes,Amazônia Ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, v. 23, n. 1, p. 79–90, 2009.

BONOTTO, D.M. & SILVEIRA, E. G. Preference ratios for mercury and other chemical elements in the Madeira River, Brazil. **Journal of South America Earth Sciences**,v.15 p. 911-923, 2003.

BORŮVKA, L.; VACEK, O.; JEHLIČKA, J. Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils. **Geoderma**, v. 128, n. 3-4, p. 289–300, 2005.

BRADY, J. P. et al. Enrichment , distribution and sources of heavy metals in the sediments of Deception Bay , Queensland , Australia. 2014.

CAMPOS, M.L., PIERANGELI, M.A.P., GUILHERME, L.R.G., MARQUES, J.J. & CURI, N. Communications in soil science and plant analysis. **Communication in Soil Science and Plant Analysis** v. 34 p. 547-557, 2003.

CARVALHO, D. P. Quantificação de Elementos-traço em diferentes solos na área de influência do futuro reservatório da usina hidrelétrica de Santo Antônio, Porto Velho. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Rondônia, 2011.

CHAKRABORTY, S. et al. Ecotoxicology and Environmental Safety Benthic macroalgae as biological indicators of heavy metal pollution in the marine

environments : A biomonitoring approach for pollution assessment. v. 100, p. 61–68, 2014.

CHAMBO, A. P. S. Bioindicadores para a Determinação de Metais Pesados no Reservatório da Itaipu Binacional, Paraná, Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2011.

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R. Avaliação do teor de metais em sedimento do rio betari no parque estadual turístico do alto ribeira - petar, São Paulo, Brasil. **Química Nova**, v. 29, p. 40–45, 2006.

DUARTE, R. P. S.; PASQUAL, A. Avaliação do cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) em solos e plantas. **Energia na Agricultura**, v. 15, p. 30–40, 2000.

ESTEVES. F. A. Fundamento de Limnologia. 2ª Ed. – Rio de Janeiro : Interciência, 1998

FERREIRA, A. P.; HORTA, M. A. P.; CUNHA, C. DE L. N. DA. Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento , na água e nos órgãos de *Nycticorax nycticorax* (Garça-da-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. **Gestão Costeira Integrada**, v. 10, p. 229–241, 2010.

FORSTNER, U.; WITTMANN, G. **Metal Pollution in the Aquatic Environment**. 2.ed. Revised. New York: Springer-Verlag, 1981.

FRALICK, P.W; KRONBERG, B.I. Geochemical discrimination of clastic sedimentary rock sources. **Sedimentary Geology**, v.113, p.111-124, 1997.

FORSTNER, U.; WITTMANN, G. **Metal Pollution in the Aquatic Environment**. 2.ed. Revised. New York: Springer-Verlag, 1981.

FRERET-MEURER, N. V. Spatial distribution of metals in sediments of the Ribeira Bay, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, **Brazil. Marine Pollution Bulletin**, v. 60, p. 627–9, 2010.

GALVÃO, R. C. F., BENARDI, J. V. E., ALMEIDA, R., BASTOS, W. R., & GOMES, J. P. DE O. Relação espacial do mercúrio e elementos traços em sedimento de fundo no alto rio madeira. **Anais I Seminários de Recursos Da Bacia Hidrográfica Do Paraíba Do Sul: O Eucalipto e o Ciclo Hidrológico**, Taubaté, Brasil., p. 51–57, 2007.

GOULDING, M.; BARTHEM, R.; FERREIRA, E.; The Smithsonian Atlas of the Amazon. Smithsonian Institution, 2003.

GOLDSTEIN, S.J.; JACOBSEN, S.B. Nd and Sr isotopic systematic of river water suspended material: Implications for crustal evolution. **Earth and Planetary Sciences Letters**, v.87, p. 249-265, 1988.

GOMES, A. et al. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus / AM. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 3, p. 627–638, 2009.

GOMES, J. P. DE O. Elementos-traços em solos do Alto rio Madeira, Rondônia. **Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Rondônia**, 2009.

GUO, S.; WANG, X.; L.; CHEN, Y.; YANG, J. Investigation on Fe, Mn, Zn, Cu, Pb and Cd fractions in the natural surface coating samples and surficial sediments in the Songhua River, China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 18, n. 6, p. 1193–8, 2006.

GUYOT, J.L.; JOUANNEAU, J.M.; SOARES, L.; BOAVENTURA, G.R. ; MAILLET, N.; LAGANE, C. Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. **Catena**, v. 71, p. 340–356, 2007.

JAIN, C. K.; RAM, D. Adsorption of lead and zinc on bed sediments of the river Kali. **Water Research**, v. 31, n. 1, p. 154–162, 1997.

JESUS, H. C.; COSTA, E. A.; MENDONÇA, A. S. F.; ZANDONADE, E. Distribuição de Metais Pesados em Sedimentos do Sistema Estuarino da Ilha de Vitória-ES. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 378–386, 2004.

KAISER, H. F. The Application of Electronic Computers to Factor Analysis. **Educational and Psychological Measurement**, Thousand Oaks, v. 20, p. 141–151, 1960.

KABATA-PENDIAS, A., PENDIAS, H. Trace Elements in Soils And plants, second ed. Florida CRC Press, Boca Raton, 1992.

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 Amazônica**. v. 38(3) 491 – 502, 2008.

LACERDA, L.; PAULA, F. Trace metals in fluvial sediments of the Madeira river Watershed, Amazon, Brazil. **Science of the Total Environment** , v. 98, p. 525–530, 1990.

LECHLER P.J, MILLER J.R, LACERDA L.D, VINSON D, J.C., BONZONGOLYONS W.B. Elevated mercury concentrations in soils, sediments, water, and fish of the Madeira River basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichments? **The Science of the Total Environment**, v. 260, n. 1-3, p. 87–96, 9 out. 2000.

LIMA, E.A.R.; LIMA, W.N.; SIQUEIRA, G.W. & SIQUEIRA, N.V.M. Influência da Mineralogia na Composição Química de Metais Pesados nos Sedimentos Pelíticos Superficiais da Plataforma Continental do Amazonas- **Geochimica Brasiliensis**, v.19(2)103-117, 2005.

LIN, J.; CHEN, S. The relationship between adsorption of heavy metal and organic matter in river sediments. **Environment International**, v. 24, n. 3, p. 345–352, 1998.

MACDONALD, R. W.; THOMAS, D. J. Chemical interactions and sediments of the western Canadian Arctic Shelf. **Continental Shelf Research**, v. 11, p. 843–863, 1991.

MALM, O.; PFEIFFER, W.C.; SOUZA, C.M.; REUTHER, R. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira river basin, Brazil. **Ambio**, v.19, p.11-15, 1990.

MARTINELLI, L.A.; FERREIRA, J.R.; FORSBERG, B.R. Mercury contamination in the Amazon: a gold rush consequence. **Ambio**, v.4, p.252-254, 1988.

MASCARENHAS, A. F. S.; BRABO, E. S.; SILVA, A. P.; FAYAL, K. F.; JESUS, I. M. SANTOS, E. C. O. Avaliação da concentração de mercúrio em sedimentos e material particulado no rio Acre, estado do Acre, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 34(1), 61-68, 2004.

MAURICE-BOURGOIN, L.; QUIROGA, I.; CHINCHEROS, J.; COURAU, P. Mercury distribution in waters and fishes of the upper Madeira River and mercury exposure in riparian Amazonian populations. **The Science of the Total Environment**, 260: 73-86, 2000.

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v. 21, n. 4, p. 467–469, 1998.

MORTATTI, J.; HISSLER, C. Heavy Metal Distribution in the Bottom Sediments Along Tietê River Basin. **Química Nova** p. 3–11, 2010.

OLIVEIRA, G. R. F.; PEREIRA, S. F. P. P.; SARAIVA, A. C. F.; LIMA, OLIVEIRA, J. S.; SILVA, J. S.; MORAIS, S. H. S.; MIRANDA, R. G.; ALVES, D. T. V. Avaliação da Presença de Metais Pesados em Água do reservatório de Tucuruí-PA. **48º Congresso Brasileiro de Química**, Rio de Janeiro, 2008.

PFEIFFER, W.C., LACERDA, L.D.; MALM, O. Mercury concentrations in inland waters of gold mining areas in Rondonia, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v.87-88, 1989.

PEKEY, H. The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream. **Mar. Pollut. Bull**, 52, 1197– 1208, 2006.

QUEIROZ, M. M. A.; HORBE, A. M. C.; MOURA, C. A. V. Mineralogia e química dos sedimentos de fundo do médio e baixo Madeira e de seus principais tributários: Amazonas - Brasil. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 4, p. 465–470, 2011.

LI, R.; YANG, H.; ZHOU, Z.; LÜ, J.; SHAO, X.; JIN, F. Fractionation of Heavy Metals in Sediments from Dianchi. **Pedosphere**, v. 17, p. 265–272, 2007.

RONDÔNIA, Governo do Estado de Rondônia. 2ª Aproximação do Zoneamento Sócio-Econômico e Ecológico do Estado de Rondônia (ZSEE-RO). Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN/RO). Porto Velho-RO, 2002.

SAMPAIO, A. C. S. Metais pesados na água e sedimentos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS, 2003.

SANTANA, G. P.; BARRONCAS, P. D. S. R. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus – (AM). **Acta Amazônica**, v. 37, n. 1, p. 111–118, 2005.

SIQUEIRA, G. W.; APRILE, F. Avaliação de risco ambiental por contaminação metálica e material orgânico em sedimentos da bacia do Rio Aurá, Região Metropolitana de Belém - PA. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 93, p. 51–62, 2010.

SOLOMONS W., FÖRSTNER, U. Metals in the Hydrocycle. **Chemistry of the Environment**. Prentice Hall, New Jersey. 356 p., 1984.

TAVARES, T. M.; CARVALHO, F. M. Avaliação da Exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: Exemplos do recôncavo baiano. **Química Nova**, v. 15, 1992.

TRINDADE, W. M.; HORN, A. H.; RIBEIRO, E. V. Concentrações de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora-MG: geoquímica e classificação de risco ambiental. **Geonomos**, v. 20, n. 1, p. 64–75, 2012.

VALLIUS, H. Heavy metal concentrations in sediment cores from the northern Baltic Sea : Declines over the last two decades. **Marine Pollution Bulletin** v. 79, p. 359–364, 2014.

MENG W.; Q.; ZHENG B.; ZHANG L. Heavy metal pollution in Tianjin Bohai Bay, China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 20, p. 814–819, 2008.

XAVIER, C. Contaminação da microbacia de Caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. **Pesq. agropec. bras**, v.35 n.7 p. 1289–1303, 2000.

YU, R. et al. Heavy metal pollution in intertidal sediments from Quanzhou Bay, China. **Journal of Environmental Sciences (China)** v. 20, n. 6, p. 664–9, 2008.