

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE
FEDERAL DE RONDÔNIA



**RELATÓRIO
AVALIAÇÃO AMBIENTAL**

**Hidrobiogeoquímica do Mercúrio e Outros Metais Pesados no Rio Madeira - UHE
Santo Antônio**

<http://www.biogeoquimica.unir.br>

JULHO/2012

Coordenação:

Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos (wanderley@pq.cnpq.br)

Equipe Ambiental:

Prof. Dr. Angelo Gilberto Manzatto (UNIR)
Dr. Márcio Rodrigues de Miranda (UFRJ/UNIR)
MSc. Dario Pires de Carvalho (Doutorando-UNIR/UFRJ)
MSc. Cleber Calado Luz (Doutorando-UNIR/UFRJ)
MSc. Marília Higino Mussy (Doutoranda-UNIR/UFRJ)
MSc. Roberta Carolina Ferreira Galvão (UNIR)
Biol. Igor Bruno Barboza de Holanda (Mestrando/UNIR)
Quím. Leidiane Caroline Lauthartte (Mestranda/UNIR)
Quím. Maria Cristina Nery do Nascimento (Mestranda/UNIR/UFAM)
Biol. Maria Thereza Souza Bastos (UNIR)
Quim. Francisca Denilça dos Santos (UNIR)
Charlliene Lima da Silva (Pedagoga/UNIR)
Andressa de Jesus França (Iniciação Científica/UNIR)
Júlia Yuones Herrmann (Iniciação Científica/UNIR)
Bruna Daniely Brito Viana (Iniciação Científica/UNIR)
Melissa de Souza Barbosa (Iniciação Científica/UNIR)
Rafael de Jesus Holanda (Iniciação Científica/UNIR)
Antonio Gomes da Costa (Auxiliar de Serviços Gerais/UNIR)

Consultores:

Dr. Olaf Malm (IBCCF/UFRJ)
MSc. Ronaldo de Almeida (Doutorando-UNIR/UFRJ/UFAM)

Sumário

I. APRESENTAÇÃO

II. OBJETIVOS

III. MATERIAIS E MÉTODOS

IV. ÁGUA (AG)

V. MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS)

VI. SEDIMENTO DE FUNDO (SD)

VII. PEIXES (PX)

VIII. MACRÓFITAS AQUÁTICAS (MA)

IX. PLÂNCTONS (PL)

X. CANTEIRO DE OBRAS (CO)

XI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

XII. REFERÊNCIAS

I. APRESENTAÇÃO

O presente relatório contém as atividades desenvolvidas do mês de março de 2012 a junho de 2012 e a comparação/correlação com dados de antes, durante os 6 meses pós-enchimento do Reservatório, contemplando as Fases de estabilização e operação. A finalidade desse estudo é dar continuidade ao Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do rio Madeira. Nesse trabalho foi realizado o monitoramento de mercúrio e outros metais pesados com coletas de amostras bióticas e abióticas e coleta na área de remoção de solos, sedimentos e fragmentos de rochas (canteiro de obras). Esta fase do estudo é fundamental para acompanhar e compreender a evolução do comportamento do mercúrio na fase de estabilização do enchimento do reservatório e operação das máquinas, estabelecendo os parâmetros de comparação com a fase de pré-enchimento. A seguir são apresentados os resultados do Programa. Na amostragem de junho/2012 foram inclusos 2 novos pontos para as amostragens de sedimento de fundo, sólidos em suspensão e água (JAT-I02; MD-05). Nesse relatório também é apresentado um desenho amostral de banco de macrófitas coletado dentro da área de influência do empreendimento SAE.

Esta fase do monitoramento é fundamental para acompanhar e compreender a evolução do comportamento do mercúrio nas áreas críticas durante a fase de enchimento e estabilização do reservatório, estabelecendo os parâmetros de comparação com a fase de pré-enchimento e previsão para a fase de operação.

Também é apresentado a justificativa e nova metodologia utilizada em substituição às análises de taxa de metilação já aprovadas pelo IBAMA, por meio do ofício 137/2012-COHID/CGENE/DILIC/IBAMA de 15.06.2012.

Desta forma, este estudo tem como o objetivo acompanhar os processos de evolução do mercúrio comparando as fases de enchimento, estabilização/operação e pós-enchimento do reservatório da UHE – Santo Antônio com o estudo pretérito.

II. OBJETIVOS

II.1. Geral

- Efetuar monitoramento ambiental na área de estudo determinando as concentrações de poluentes organo-metálicos, a exemplo do mercúrio;
- Avaliar a dinâmica da relação de mercúrio total e MeHg e outros metais pesados em compartimentos bióticos e abióticos durante o período de enchimento, estabilização e pós-

enchimento do reservatório da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio – Porto Velho/RO, tendo como referência os dados de pré-enchimento.

II.2. Específicos

- Monitorar as concentrações de Hg-total nas matrizes bióticas e abióticas nos principais afluentes nos trechos do rio Madeira a montante e jusante do reservatório da UHE Santo Antônio e no canal principal deste rio na área de influência direta e trecho a jusante;
- Avaliar a contribuição de MeHg na água proveniente do reservatório da UHE Jirau na estação a jusante da barragem, para se obter dados comparativos da exportação de MeHg do reservatório da UHE Jirau para o reservatório da UHE Santo Antônio, assim como do reservatório da UHE Santo Antônio para a jusante;
- Monitorar as concentrações de MeHg nas matrizes que apresentarem destaque quanto aos teores de Hg-total;
- Monitorar a formação de MeHg nos potenciais bancos de macrófitas formados na área do reservatório da UHE Santo Antônio;
- Monitorar as concentrações de outros metais pesados (Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) nas matrizes bióticas e abióticas nos principais afluentes nos trechos do rio Madeira a montante e jusante do reservatório da UHE Santo Antônio e no canal principal deste rio na área de influência direta e trecho a jusante;
- Oferecer subsídios acerca das concentrações de Hg-Total no pescado, jacarés e tartarugas para os estudos de exposição humana que avaliará a população estudada no pré-enchimento, observando potenciais novos grupos críticos a esta exposição;
- Utilizar a modelagem de qualidade da água como subsídio para seleção de locais potencialmente favoráveis à metilação de Hg na água;
- Subsidiar, sempre que necessário, os Programas de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas, Conservação da Ictiologia e no aspecto humano do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico da UHE Santo Antônio, mais especificamente na Avaliação da Saúde Humana acerca dos dados produzidos nas diversas matrizes e área monitorada quando for necessário;
- Alimentar o SGI da UHE Santo Antônio, com Banco de Dados relacional georreferenciado das matrizes bióticas e abióticas.

III. MATERIAIS E METODOS

III.1. Descrição da área de estudo

A área de estudo localiza-se a montante e a jusante da construção da barragem da UHE Santo Antônio. O empreendimento está situado a montante 10 km da cidade de Porto Velho tendo como limite o eixo da barragem da UHE de Jirau (cerca de 120 km montante da cidade de Porto Velho) e a jusante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio.

III.2. Desenho Amostral

A coleta objetivou amostrar de modo que seja possível a análise espacial e temporal, estudar os processos biogeoquímicos que afetam a dinâmica do Hg-T e Metil-Hg, assim como outros metais pesados nas matrizes abióticas. Avaliar a evolução do Hg-T e Metil-Hg nas matrizes bióticas: comunidade fitoplantônica e zooplantônica, nas macrófitas e na ictiofauna de interesse, assim como nos répteis (jacarés e tartarugas).

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 NavigatorTM), levando-se em conta a localização dos pontos estudados na fase do Pré-Enchimento.

A tabela 1 apresenta o cronograma de atividades de campo e de laboratório no programa Hidrobiogeoquímica para os anos de 2012 e 2013.

III.3. Estações de Coleta

A área em estudo compreende trechos a montante e jusante da área considerada de influência do aproveitamento hidrelétrico de Santo Antônio (Figura III.1) e a frequência de coleta, assim como as diversas matrizes à serem monitoradas estão apresentadas no cronograma de atividades na tabela III.1. Na tabela 2 se encontra a descrição detalhada de cada estação, assim como a localização geográfica de cada ponto.

As estações de coletas foram definidas de acordo com as áreas monitoradas no pré-enchimento e nas áreas de maior relevância identificadas no prognóstico da qualidade da água do reservatório em formação da UHE Santo Antônio, que considera os braços do Igarapé Jatuarana I e Teotônio e rio Jaci Paraná, assim como o trecho do rio Madeira a montante e a jusante da barragem. Foram incluídas as estações JAT-I02 e MD-05C. No caso do JAT-I02 para termos um ponto dentro do rio Jatuarana I com menor influência do rio Madeira, o que ocorreu após o represamento. No segundo caso apenas para incluir mais um ponto na calha do rio Madeira a jusante, perfazendo 3 pontos a jusante, conforme no trecho a montante.

As estações de monitoramento estão dispostas no rio Madeira e seus principais afluentes compreendendo um trecho de aproximadamente 180 km ao longo do rio Madeira, estendendo-se desde as proximidades da UHE-Jirau até o Igarapé Belmont, a aproximadamente 26 km a jusante da UHE de Sto. Antônio. Neste trajeto estão dispostas 6 estações de monitoramento, sendo 3 a montante (MDCP, MD-01 e MD-02) e 3 a jusante (MD-03; MD-04 e MD-05) da UHE de Sto. Antônio, porém a estação de monitoramento MD-05 foi acrescentada, entre a MD-03 e a MD-04, após o início da fase de estabilização do reservatório da UHE Sto. Antônio (Figura III.1).

Para o monitoramento dos afluentes do rio Madeira, foram escolhidos 5 dos principais afluentes para instalar as estações de monitoramento, sendo que 3 destes encontram-se a montante e 2 a jusante da UHE de Sto. Antônio, estes afluentes estão listados na tabela 3.

Todos os afluentes possuem apenas uma estação de monitoramento, com exceção o rio Jaci-Paraná e o rio Jatuarana I que possuem duas estações de monitoramento, conforme a tabela 4. As estações de monitoramento do rio Jaci-Paraná são a J01 e a J02. A estação J01 está instalada próxima a foz do rio Jaci-Paraná e a J02 é localizada no meandro chamado Lago Madalena. Além destas duas estações de monitoramento dois afluentes (rio Contra e o rio Branco) possuem estações de monitoramento, estas estações são: CT 01 no rio Contra e a RBR 01 no rio Branco. Já o rio Jatuarana I possui a estação JAT I 01 instalada próximo de sua foz e, devido a formação do lago da UHE de Sto. Antônio foi instalada uma segunda estação de monitoramento (JAT I 02) localizada a aproximadamente 5 km a montante da estação Jat I 01.

Tabela III.1. Cronograma de atividades de campo e laboratorial do programa Hidrobiogeoquímica para 2012 e 2013.

PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO AMBIENTAL - FASE DE ENCHIMENTO E OPERAÇÃO																								
ANO	2012												2013											
MÊS	J*	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Amostragem de Sedimentos de Fundo																								
Amostragem de Peixes																								
Amostragem de Crocodilianos**																								
Amostragem de Quelônio**																								
Amostragem de Macrófitas																								
Amostragem de Plâncton																								
Amostragem de Invertebrados Bentônicos																								
Amostragem de Material Particulado em Suspensão																								
Amostragem de Águas																								
Amostragem de Solos																								
Amostragem no Canteiro de Obras***																								
Atividades Laboratoriais																								
Confecção de Boletins de Análises																								
Alimentação e Manutenção do Banco de Dados																								
Tratamento Estatístico dos Dados																								
Relatórios Parciais																								
Relatório Final																								

--- Fim do enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio; --- Fim do período de estabilização do reservatório da UHE Santo Antônio

*Coleta realizada em Dezembro conciliada ao enchimento do reservatório.

**As avaliações nos crocodilianos e quelônios são dependentes da integração com o Programa de Conservação da Fauna para envio de amostras ao Laboratório de Biogeoquímica/UNIR.

***Atividade prevista para ocorrer enquanto houver escavações na área do Canteiro de Obras.

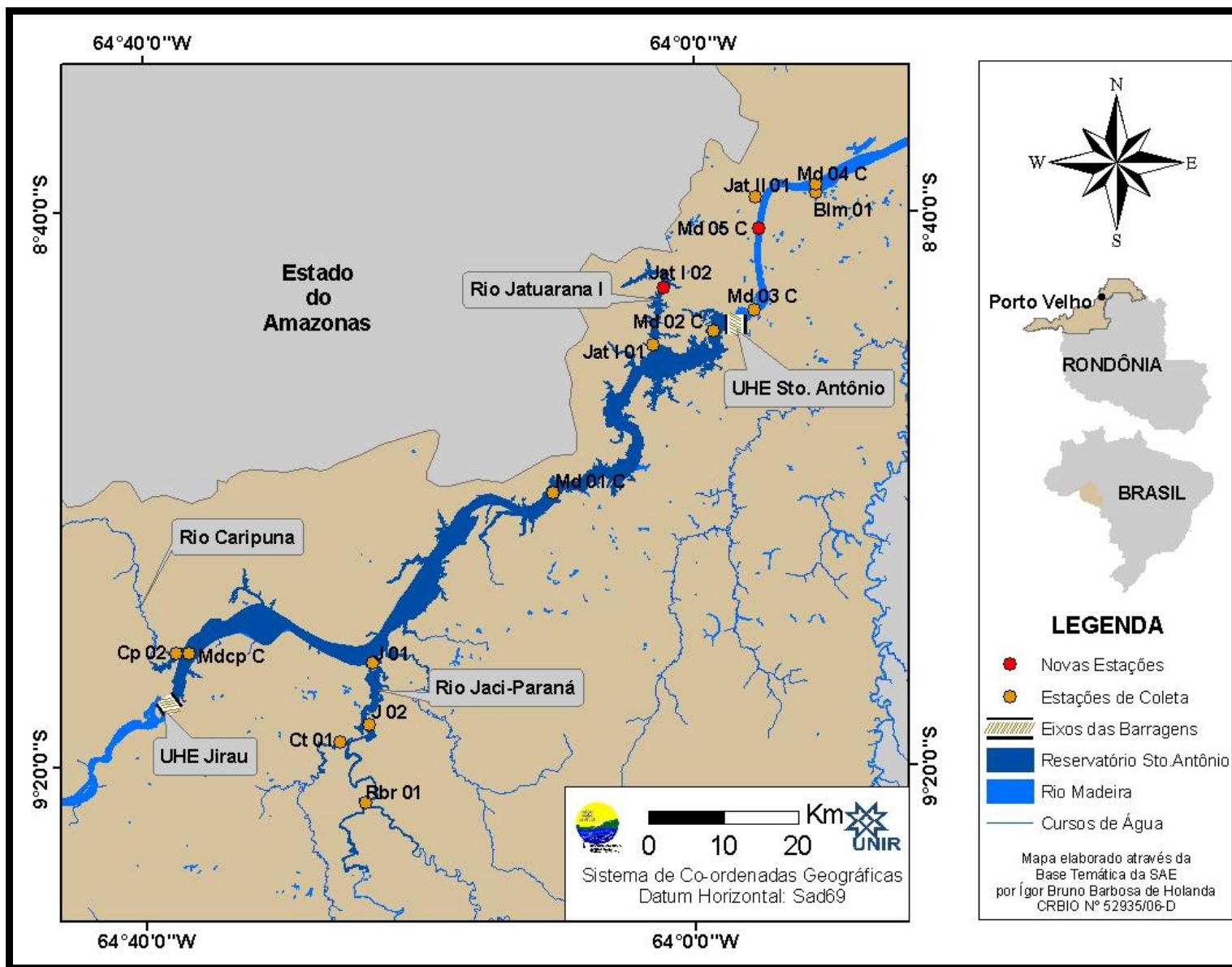


Figura III.1. Área de estudo no rio Madeira evidenciando as estações de monitoramento a montante e jusante do UHE-Santo Antônio para coleta das matrizes abióticas (água, material particulado em suspensão e sedimento de fundo), incluindo as 2 novas estações.

Tabela III.2. Descrição detalhada das estações de amostragens na área em monitoramento.

Número de Estações de Monitoramento	Estações de Monitoramento	Coordenadas: UTM/Datum: Sad 69/ Zona: 20L		Descrição das Estações de Monitoramento
		Longitude	Latitude	
01	BLM 01	406273,967	9044400,601	Igarapé Belmont
02	CP 02	321048,621	8982950,455	Segunda Estação do rio Caripunas
03	CT 01	342919,204	8971136,310	Rio Contra
04	RBR 01	346294,888	8963076,064	Rio Branco
05	J 01	347109,686	8981698,192	Próximo a Foz do rio Jací-Parana
06	J 02	346781,596	8973505,777	Meandro do Rio Jací-Paraná (Lago Madalena)
07	JAT I 01	384539,715	9024006,687	Rio Jatuarana I, próximo a Foz no rio Madeira
08	JAT I 02	385860,000	9031612,000	Rio Jatuarana I, a cerca de 2km a montante da Foz no rio Madeira
09	JAT II 01	398124,206	9043686,424	Rio Jatuarana II
10	MDCP	322645,757	8982927,388	Rio Madeira, próximo ao rio Caripunas à Montante da UHE-Santo Antônio
11	MD 01	371247,682	9004371,914	Rio Madeira, próximo às Corredeiras do Morrinho
12	MD 02	392579,799	9025917,021	Rio Madeira à Montante UHE-Santo Antônio
13	MD 03	398060,995	9028624,335	Rio Madeira à Jusante UHE-Santo Antônio
14	MD 04	406280,354	9045466,597	Rio Madeira à Jusante UHE-Santo Antônio em frente ao Igarapé Belmont
15	MD 05	398645,000	9039495,000	Rio Madeira a Jusante UHE-Santo Antônio entre as estações MD 03 e MD 04

Tabela III.3: Afluentes do rio Madeira monitorados pelo programa Hidrobiogeoquímica do Mercúrio e Outros Metais.

MONTANTE da UHE de Sto. Antônio	JUSANTE da UHE de Sto. Antônio
Rio Caripuna	Rio Jatuarana II
Rio Jaci-Paraná	Igarapé Belmont
Rio Jatuarana I	

Tabela III.4. Descrição das estações de monitoramento instaladas nos afluentes do rio Madeira.

Estações de Monitoramento	Descrição
CP 02	Instalada no rio Caripuna, próximo a UHE de Jirau.
J 01	Instalada próximo a foz do rio Jaci-Paraná.
J 02	Instalada no Lago Madalena
CT 01	Instalada no rio Contra, afluente do rio Jaci-Paraná
RBR 01	Instalada no rio Branco, Afluente do rio Jaci-Paraná
JAT I 01	Instalada próximo a foz do rio Jatuarana I
JAT I 02	Instalada no rio Jatuarana I, a cerca de 5 km a montante da estação Jat I 01.
JAT II 02	Instalada no rio Jatuarana II
BLM 01	Instalada no Igarapé Belmont

IV. AGUA (AG)

A amostragem das águas vem sendo realizada conforme cronograma (Tabela III.1), sendo coletadas em frascos de vidro âmbar, previamente descontaminados com HNO₃, e mantidas sob refrigeração em caixas térmicas até o laboratório. No laboratório as amostras são cadastradas e filtradas em filtros de celulose de 0,45mm (marca Millipore), previamente pesados, onde se obtém o material particulado em suspensão (MPS). Antes da filtração se obtém uma alíquota de H₂O total (H₂O + MPS) e com a filtração se obtém amostras de água dissolvido (H₂O sem o MPS), ambas para as quantificações Hg-T e Metil-Hg.

Na quantificação de Hg-T em água utilizou-se 25g da amostra, adquirida gravimetricamente e armazenada em *vials* de 40mL, adicionou-se 100µL de monocloreto de bromo por 40 min. Posteriormente, adicionou-se 100µL de cloridrato de hidroxilamina 30% fechando os frascos e agitando-os 3x. Mais 100 µL de cloreto estano a 20% foi adicionado. Esta ultima etapa foi realizada rapidamente, fechando o fraco em seguida. Esperou por mais 10 min. e, então realizou-se a leitura no CG - AFS.

Para determinação quantitativa de Metil-Hg na matriz ambiental água natural na fração dissolvida foi utilizada a cromatografia gasosa (CG) acoplada ao espectrômetro de fluorescência atômica de vapor frio (Sistema MERX da Brooks Rand Labs.), um sistema modular automatizado,

projetado para seguir o procedimento analítico EPA-1630 (determinação de Metil-Hg em água por destilação, etilação aquosa, *purge and trap* e cromatografia gasosa acoplado a espectrometria de Fluorescência Atômica - GC-AFS) da agência de proteção ambiental norte americana USEPA. O tratamento das amostras de água natural para posterior análise de Metil-Hg com o sistema MERX foi realizado usando o sistema de destilação da Brooks Rand Labs. Todos os procedimentos utilizados para coleta e manipulação das amostras seguiram os métodos EPA-1669, para determinação de metais traço em água e o método EPA-1630. A sequencia seguem nas figuras IV.1 e IV.2.

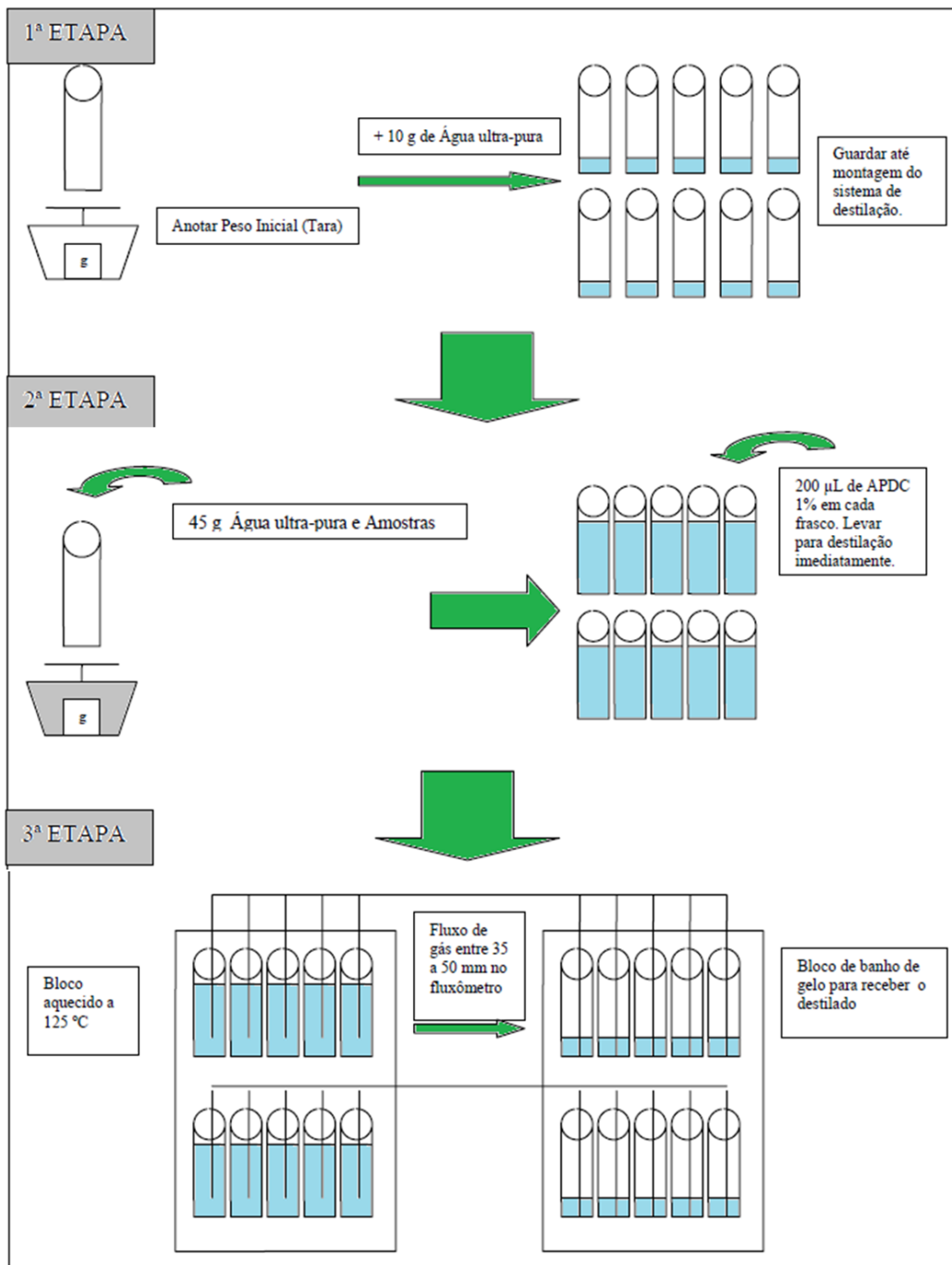


Figura IV.1. Esquema da destilação para quantificação de Metil-Hg em água (Adaptado de MACHADO, 2011).

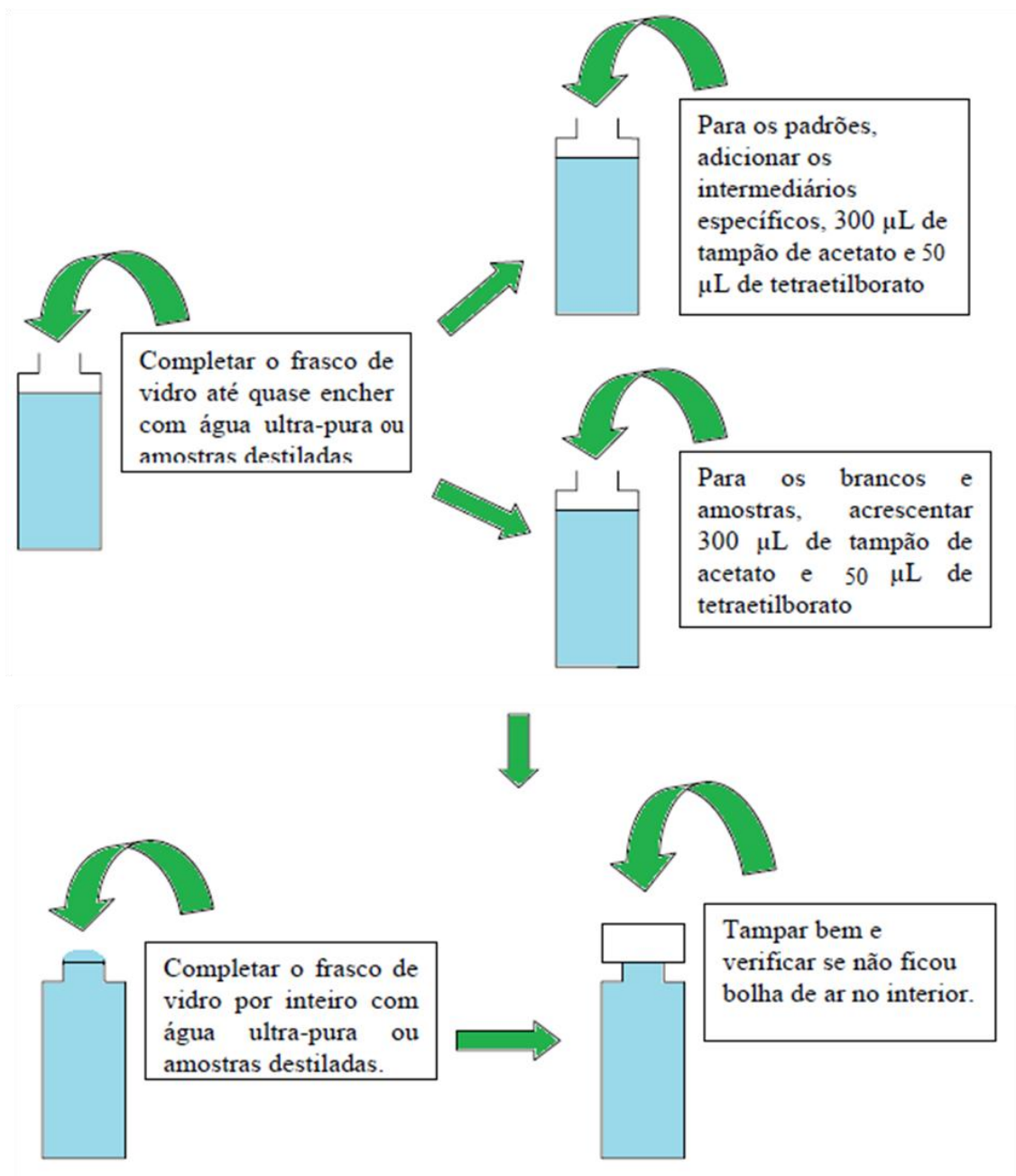


Figura IV.2. Etapas do preparo para análise no CG-AFS. (Adaptado de MACHADO, 2011).

IV.1. Resultados

A tabela IV.1 e a figura IV.1 apresentam os valores médios de Hg-T e Metil-Hg nas águas do rio Madeira e tributários entre os meses de novembro e dezembro de 2011 e março de 2012, revelando uma leve flutuação com médias mais altas em dez/2011.

IV.1.1. Mercúrio total em água na fração total

No período avaliado a concentração média de Hg-T na água em sua fração total nos tributários avaliados (n=21) foi de $5,73 \pm 5,59$ ng/L (média \pm DP) no rio Madeira (n=15) de $10,82 \pm 4,90$ ng/L (média \pm DP).

Tabela IV.1. Concentrações médias de Hg-T e Metil-Hg nas águas (total e dissolvida) do rio Madeira e Tributários entre os meses de novembro e dezembro/2011 e março/2012.

Período	Hg-T H ₂ O-Total (ng/L)	Hg-T H ₂ O-Total (ng/L)	Hg-T H ₂ O-Diss (ng/L)	Hg-T H ₂ O-Diss (ng/L)	Metil-Hg H ₂ O-Diss (ng/L)	Metil-Hg H ₂ O-Diss (ng/L)
	Tributários	Rio Madeira	Tributários	Rio Madeira	Tributários	Rio Madeira
nov/11	3,76 ± 1,29	7,51 ± 1,10	1,28 ± 0,45	1,19 ± 0,77	0,05 ± 0,02	0,04 ± 0,03
dez/11	10,28 ± 7,00	15,49 ± 5,85	3,17 ± 1,60	1,99 ± 1,03	0,12 ± 0,05	0,11 ± 0,10
mar/12	2,40 ± 0,65	9,47 ± 2,39	0,97 ± 0,38	1,14 ± 0,59	0,07 ± 0,06	0,03 ± 0,02

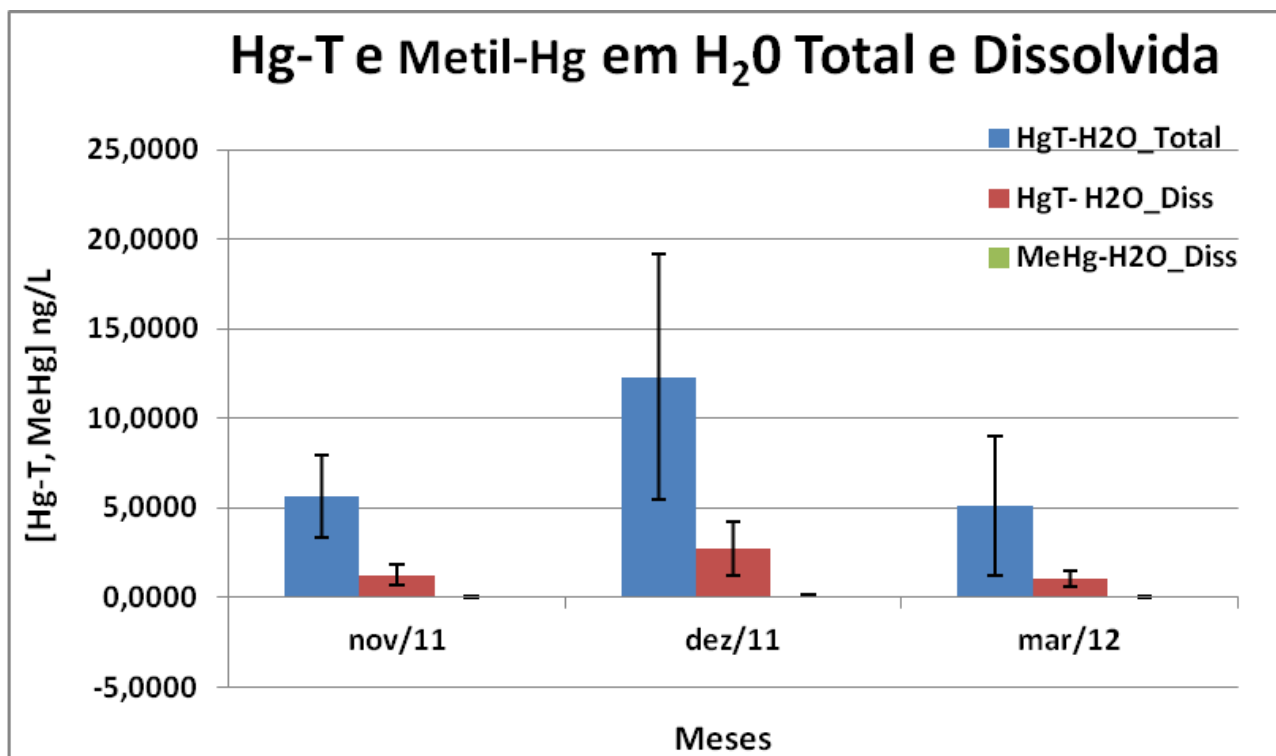


Figura IV.1. Concentrações médias de Hg-T e Metil-Hg nas águas (total e dissolvida) do rio Madeira e Tributários entre os meses de novembro e dezembro/2011 e março/2012.

A concentração de Hg-T em água nos meses de novembro de 2011 e dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários, foi respectivamente, de $3,76 \pm 1,29$ ng/L; $10,28 \pm 6,7$ ng/L e $2,4 \pm 0,64$ ng/L. No rio Madeira foi, respectivamente, de $7,51 \pm 1,09$ ng/L; $15,49 \pm 5,85$ ng/L e $9,47 \pm 7,27$ ng/L (Figura IV.2). O rio Madeira apresentou em média concentrações de Hg-T mais elevadas que os tributários, fato este que pode estar associado a maior quantidade de material particulado em suspensão que este rio carrega.

Observa-se uma dinâmica sazonal na concentração de Hg-T na fração total com maiores valores no mês de dezembro/11(enchente), tanto nas estações do rio Madeira quanto nos tributários. A contribuição para o aumento da média de Hg-T nos tributários se deve, principalmente, as estações de monitoramento a jusante do eixo da barragem, nos igarapés Belmont e Jatuarana II

(25,9 e 12,06 ng/L, respectivamente) e a montante no rio Branco (13,10 ng/L) no mês de dezembro/11.

De acordo com a resolução CONAMA 357/05 para águas doces classe 2 a concentração máxima de mercúrio total é de 0,0002 mg/L (200ng/L). Até o momento todos os valores encontrados de Hg-T na água estão bem abaixo do preconizado pela referida legislação. Vale ressaltar que o êxito analítico na mensuração de Hg-T na água na fase de pós-enchimento se deve a evolução da técnica e aquisição de equipamento específico com maior sensibilidade analítica, ou seja, limite de detecção na faixa de ng/L (ppt).

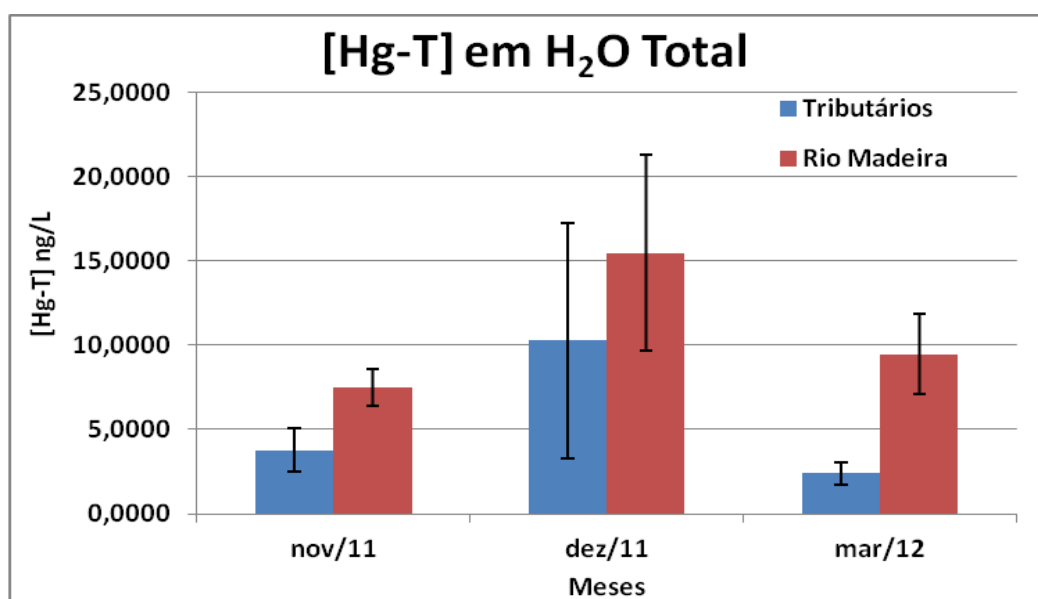


Figura IV.2. Concentrações de Hg-T na H₂O TOTAL (H₂O+MPS) no rio Madeira e nos Tributários de nov/2011 a mar/2012.

IV.1.2. Mercúrio total em água na fração dissolvida

No período avaliado a concentração média de Hg-T na água em sua fração dissolvida nos tributários avaliados (n=21) foi de $1,89 \pm 1,43$ ng/L no rio Madeira (n=14) de $1,46 \pm 0,86$ ng/L. A concentração de Hg-T na fração dissolvida no mês de novembro de 2011; dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários foi, respectivamente, de $1,28 \pm 0,45$ ng/L; $3,17 \pm 1,6$ ng/L e $0,97 \pm 0,38$ ng/L. No rio Madeira foi, respectivamente, de $1,19 \pm 0,77$ ng/L; $1,99 \pm 1,02$ ng/L e $1,14 \pm 0,84$ ng/L (Figura IV.3).

Observa-se uma dinâmica sazonal na concentração de Hg-T na fração dissolvida, com valores mais elevados no mês de dezembro/11 (enchente), tanto nas estações do rio Madeira quanto nos tributários, similar a dinâmica encontrada na fração total. O rio Madeira apresentou em média concentrações de Hg-T na fração dissolvida semelhante aos tributários. Os tributários apresentaram uma tendência de aumento apenas no mês de dezembro/11, entretanto a relação em porcentagem

entre a concentração de Hg-T na fração dissolvida e fração total foi em média maiores nos tributários ($38 \pm 15 \%$) que no rio Madeira ($14 \pm 8 \%$).

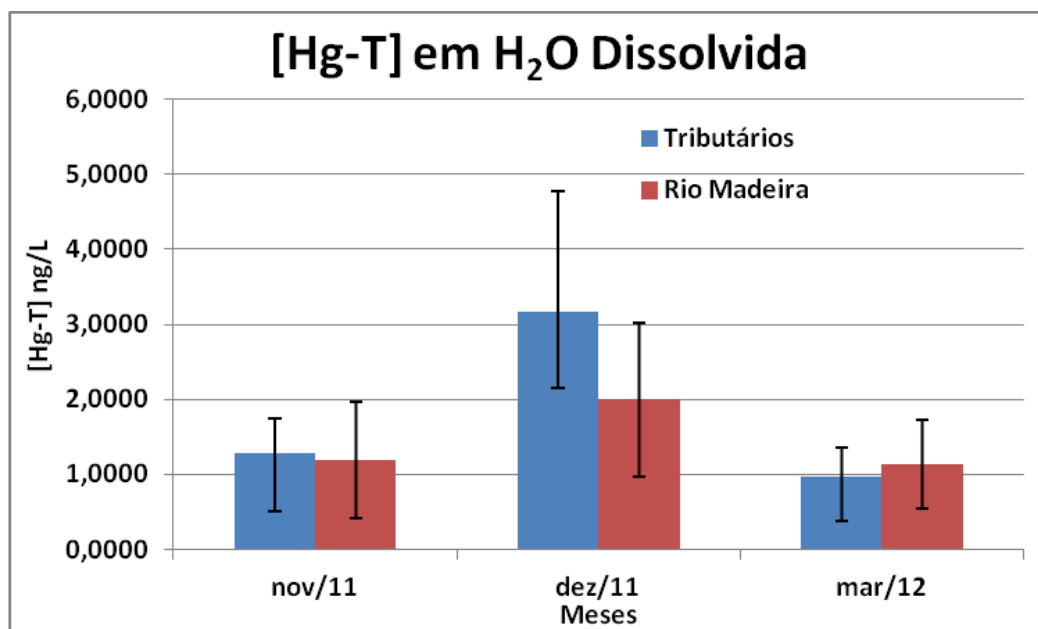


Figura IV.3. Concentrações de Hg-T na H₂O DISSOLVIDA (H₂O-MPS) no rio Madeira e nos Tributários de nov/2011 a mar/2012.

IV.1.3. Metil-Hg em água na fração dissolvida

No período avaliado a concentração média de Metil-Hg na água em sua fração dissolvida nos tributários avaliados (n=19) foi de $0,08 \pm 0,05$ ng/L no rio Madeira (n=15) de $0,06 \pm 0,06$ ng/L. A concentração de Metil-Hg na fração dissolvida no mês de novembro de 2011; dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários foi, respectivamente, de $0,05 \pm 0,02$ ng/L; $0,12 \pm 0,05$ ng/L e $0,07 \pm 0,06$ ng/L. No rio Madeira foi, respectivamente, de $0,04 \pm 0,03$ ng/L; $0,11 \pm 0,09$ ng/L e $0,03 \pm 0,02$ ng/L (Figura IV.4).

Em relação ao Metil-Hg, podemos observar em média uma tendência de acréscimo nos tributários em relação ao rio Madeira. Comparando a concentração de Metil-Hg na fração dissolvida com Hg-T na mesma fração, observa-se um maior aumento percentual em média nos tributários (5%) do que no rio Madeira (4%).

Observa-se uma dinâmica sazonal na concentração de Metil-Hg na fração dissolvida, com maiores valores no mês de dezembro/11(enchente), tanto nas estações do rio Madeira quanto nos tributários, similar a dinâmica encontrada na avaliação do Hg-T. No mesmo período hidrológico, enchente e águas altas na fase de pré-enchimento, o teor de Metil-Hg na fração dissolvida nos

tributários foi, respectivamente, de $0,10 \pm 0,11$ ng/L e $0,16 \pm 0,16$ ng/L e no rio Madeira $0,032 \pm 0,002$ ng/L e $0,063 \pm 0,004$ ng/L.

Podemos observar nos tributários e rio Madeira uma tendência de decréscimo na concentração média de Metil-Hg no período de águas altas na fase de enchimento e estabilização quando comparamos com a fase de pré-enchimento. Em relação ao período de enchente, os tributários apresentaram similaridade no teor de Metil-Hg, enquanto o rio Madeira apresentou uma tendência de acréscimo em seu valor no período de enchimento e estabilização quando comparado com o pré-enchimento.

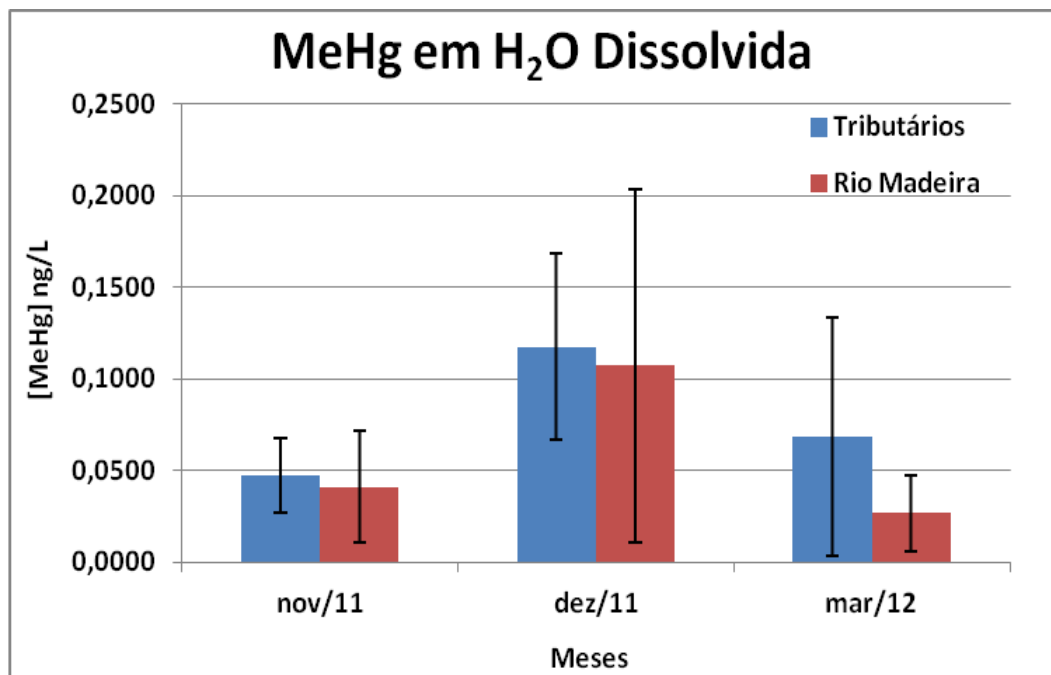


Figura IV.4. Concentrações de Metil-Hg na H₂O DISSOLVIDA (H₂O-MPS) no rio Madeira e nos Tributários de nov/2011 a mar/2012.

IV.2. Considerações

- Os valores de Hg-T na água está de acordo com o preconizado pela resolução CONAMA 357/05;
- O rio Madeira apresentou concentração de Hg-T na fração total superior aos tributários, fato este que está associado a quantidade de material particulado em suspensão inorgânico que este rio carrega;
- Em relação a fração de Hg-T na fração dissolvida não foi observado uma diferença média em seu teor entre os sistemas estudados (tributário e Madeira), entretanto, observa-se maior relação entre a fração dissolvida e total nos tributários onde o Hg-T na fase dissolvida tende a estar biodisponível no ecossistema aquático;

- O Metil-Hg na fração dissolvida apresentou concentração média superior nos tributários avaliados, assim como uma maior porcentagem em relação ao Hg-T na fração dissolvida em relação ao rio Madeira;
- Tanto Hg-T e Metil-Hg na água neste últimos 6 meses apresentaram uma dinâmica sazonal com maiores médias em dezembro de 2011.

V. MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS)

Assim como as demais matrizes os resultados do MPS visa atender o Plano Básico Ambiental da Usina hidrelétrica de Santo Antonio (PBA-Santo Antônio) considerando o período de enchimento e estabilização do reservatório subsidiando dados para a fase de pós-enchimento. Os resultados encontrados estão sendo comparados com os resultados pretéritos do período de pré-enchimento. São apresentadas as concentrações dos elementos traço: Cobalto (Co); Manganês (Mn); Cromo (Cr); Níquel (Ni); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Ferro (Fe); Zinco (Zn) e Mercúrio (Hg) no MPS referente aos meses de dezembro de 2011 e janeiro de 2012.

As amostras de MPS foram obtidas a partir da água sub-superficial (cerca de 20cm de profundidade) que foram coletadas em frascos de vidro âmbar de 1litros para as análises de Hg e em garrafas tipo PET de 2 litros para os demais metais pesados. No laboratório foram filtradas em filtros de celulose de 0,45 μ m (Whatman), previamente pesados em balanças analíticas. Para a determinação da massa de material particulado retido nos filtros, quatro filtros de cada ponto de coleta foram secos em estufa a 60°C. A diferença entre as pesagens dos filtros antes e depois da filtragem resultou na massa de particulado presente no volume de água filtrado em cada estação de coleta. Posteriormente, dois filtros sofreram extração química para quantificação de Hg-T pela técnica de espectrofotometria de absorção atômica acoplada ao gerador de vapor frio (FIMS-400, Perkin Elmer) e dois filtros sofreram extração química seguindo método proposto por USEPA 3051 para análise dos demais metais pesados e, posteriormente quantificados por espectrofotometria de absorção atômica por chama (AA-400, Perkin Elmer).

V.1. Resultados

As tabelas V.1 e V.2 apresentam as concentrações médias dos metais pesados no MPS dos tributários e no rio Madeira, respectivamente, entre os períodos de dez/2011 e mar/2012. A concentração média do MPS no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários foi, respectivamente, $53,79 \pm 47,26$ mg/L e $10,82 \pm 4,50$ mg/L e no rio Madeira foi, respectivamente, de $248,10 \pm 202,63$ mg/L e $391,42 \pm 107,22$ mg/L (Figura V.1). Observar-se uma tendência de decréscimo na concentração de MPS no período de águas altas nos tributários,

entretanto no rio Madeira a dinâmica nos valores de MPS foi inversa aos tributários com maiores teores de MPS/L no período de águas altas.

Tabela V.1. Concentrações médias dos metais pesados (mg/kg) no MPS dos tributários do rio Madeira entre os períodos de dez/2011 e mar/2012.

Estações	Período	Cobalto	Manganês	Cromo	Níquel	Chumbo	Cobre	Ferro	Zinco	Mercúrio
Tributários	mês	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
RBR	dez./11	16,20	862,07	61,52	<LDT	130,38	8,82	60107,09	134,38	0,229
RBR	mar./12	31,65	412,60	85,25	39,12	197,36	39,00	48824,68	82,07	0,177
CT	dez./11	16,81	525,55	76,83	<LDT	112,94	9,60	64751,69	149,68	0,164
CT	mar./12	<LDT	173,10	28,02	<LDT	66,34	31,23	51660,46	128,81	0,216
J02	dez./11	16,46	621,88	80,28	<LDT	73,57	7,66	61650,84	155,93	0,166
J02	mar./12	<LDT	339,42	71,61	<LDT	265,51	24,53	69003,67	121,90	0,087
J01	dez./11	24,94	1469,67	71,13	<LDT	179,75	6,32	79153,15	183,05	0,137
J01	mar./12	0,00	350,07	23,99	<LDT	171,42	25,70	83377,02	130,42	N.A.
CP	dez./11	16,02	303,11	79,04	<LDT	<LDT	10,99	74715,36	102,34	0,261
CP	mar./12	<LDT	214,27	47,64	<LDT	<LDT	45,61	95801,93	274,98	0,358
JATI	dez./11	15,53	507,51	33,09	16,16	47,78	31,24	35790,88	105,33	0,165
JATI	mar./12	6,12	872,51	23,24	<LDT	<LDT	33,86	87550,29	128,52	0,201
JATII	dez./11	12,36	46,20	55,34	<LDT	96,71	14,58	35763,16	110,00	N.A.
JATII	mar./12	<LDT	156,98	44,15	<LDT	0,00	26,43	130427,81	263,93	0,306
BLM	dez./11	7,81	54,32	41,47	<LDT	42,22	12,16	31971,42	59,44	0,158
BLM	mar./12	<LDT	567,62	15,68	<LDT	<LDT	22,85	126895,50	197,15	0,257
Média		10,24	467,30	52,39	3,45	86,50	21,91	71090,31	145,49	0,206
DP		10,03	366,84	23,32	10,33	83,43	12,25	29323,20	59,24	0,070
Min.		0,00	46,20	15,68	0,00	0,00	6,32	31971,42	59,44	0,087
Máx.		31,65	1469,67	85,25	39,12	265,51	45,61	130427,81	274,98	0,358

<LDT= Menor que o Limite de Detecção da Técnica.

N.A.= Não Analisado.

Tabela V.2. Concentrações médias dos metais pesados (mg/kg) no MPS do rio Madeira entre os períodos de dez/2011 e mar/2012.

Estações	Período	Cobalto	Manganês	Cromo	Níquel	Chumbo	Cobre	Ferro	Zinco	Mercurio
Madeira	mês	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
MDCP	dez./11	17,45	519,44	27,49	22,20	46,84	35,32	33906,94	103,11	0,107
MDCP	mar./12	15,17	416,40	7,57	24,06	28,47	22,69	37969,39	68,60	0,065
MD01	dez./11	16,21	487,55	33,13	10,11	47,59	29,92	34261,19	122,18	0,047
MD01	mar./12	13,21	430,02	7,51	18,07	45,57	20,78	35978,34	65,45	0,056
MD02	dez./11	18,93	476,41	34,04	12,08	44,48	29,49	35892,70	103,22	0,085
MD02	mar./12	14,96	400,33	8,76	23,23	36,45	24,40	33278,76	75,22	0,059
MD03	dez./11	13,19	431,11	18,18	17,74	22,95	22,00	22463,71	66,32	0,066
MD03	mar./12	14,19	444,34	10,71	24,52	39,91	23,84	39582,04	73,99	0,023
MD04	dez./11	14,95	454,27	30,25	14,68	34,33	26,40	31567,57	90,52	0,086
MD04	mar./12	16,33	502,41	10,50	22,51	35,85	23,61	41295,71	84,75	0,063
Média		15,46	456,23	18,81	18,92	38,24	25,84	34619,64	85,34	0,066
DP		1,82	39,00	11,22	5,21	8,23	4,49	5200,42	19,11	0,020
Min.		13,19	400,33	7,51	10,11	22,95	20,78	22463,71	65,45	0,023
Máx.		18,93	519,44	34,04	24,52	47,59	35,32	41295,71	122,18	0,107

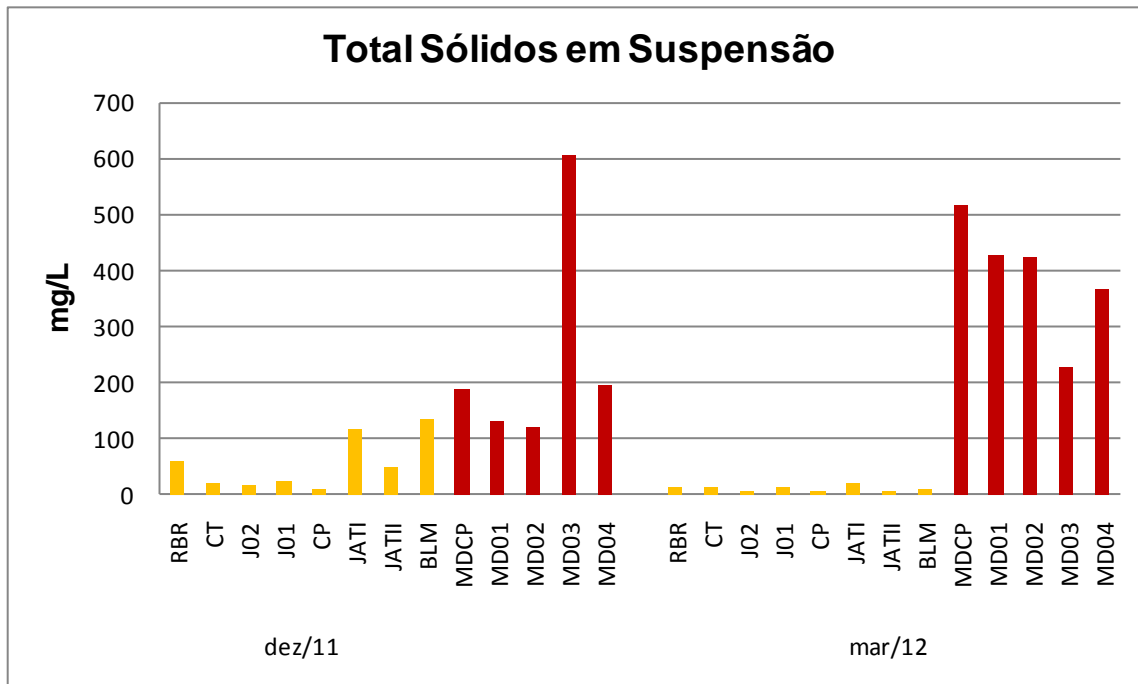


Figura V.1. Concentração de MPS nas amostras de água nos meses de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

No período avaliado a concentração média de cobalto no MPS nos tributários (n=16) foi de $10,24 \pm 10,03$ mg/kg e no rio Madeira (n=10) de $15,46 \pm 1,82$ mg/kg. A concentração de cobalto no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários foi, respectivamente, de $15,77 \pm 4,79$ mg/kg e $4,72 \pm 11,09$ mg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, de $16,15 \pm 2,21$ mg/kg e $14,77 \pm 1,16$ mg/kg (Figura V.2).

No mesmo período hidrológico, enchente e águas alta na fase de pré-enchimento (2009-2011), o teor de cobalto nos tributários foi, respectivamente, de $31,44 \pm 23,65$ mg/kg e $15,98 \pm 4,98$ mg/kg e no rio Madeira de $16,72 \pm 4,37$ mg/kg e $14,33 \pm 0,95$ mg/kg. Observar-se uma tendência de decréscimo na concentração de cobalto nos tributários na fase de enchimento e estabilização quando comparamos com o mesmo período hidrológico da fase de pré-enchimento, entretanto no rio Madeira os valores se mantiveram semelhantes em ambas as fases e períodos.

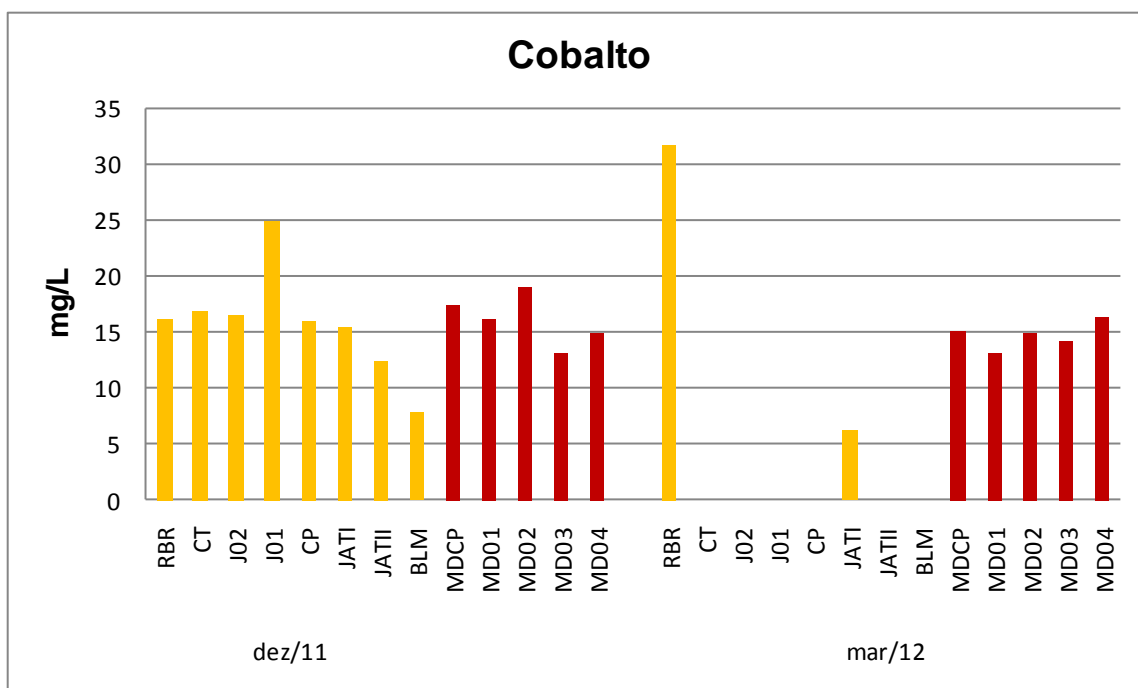


Figura V.2. Concentração média de cobalto no MPS nas amostras de água nos meses de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

Nos períodos avaliados a concentração média de cobre no MPS nos tributários (n=16) foi de $21,91 \pm 12,24$ mg/kg e no rio Madeira (n=10) de $25,84 \pm 4,49$ mg/kg. A concentração média de cobre no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários foi, respectivamente, de $12,67 \pm 7,94$ mg/kg e $31,15 \pm 7,95$ mg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, de $28,63 \pm 4,9$ mg/kg e $23,06 \pm 1,42$ mg/kg (Figura V.3).

No mesmo período hidrológico, enchente e águas alta na fase de pré-enchimento (2009-2011), o teor de cobre nos tributários foi, respectivamente, de $7,93 \pm 3,91$ mg/kg e $8,33 \pm 4,39$ mg/kg e no rio Madeira de $25,64 \pm 3,46$ mg/kg e $23,06 \pm 0,85$ mg/kg. Observa-se uma tendência de acréscimo na concentração média de cobre nos tributários na fase de enchimento e estabilização, quando comparamos com o mesmo período hidrológico da fase de pré-enchimento, entretanto no rio Madeira os valores se mantiveram semelhantes em ambas as fases em ambas as fases e períodos.

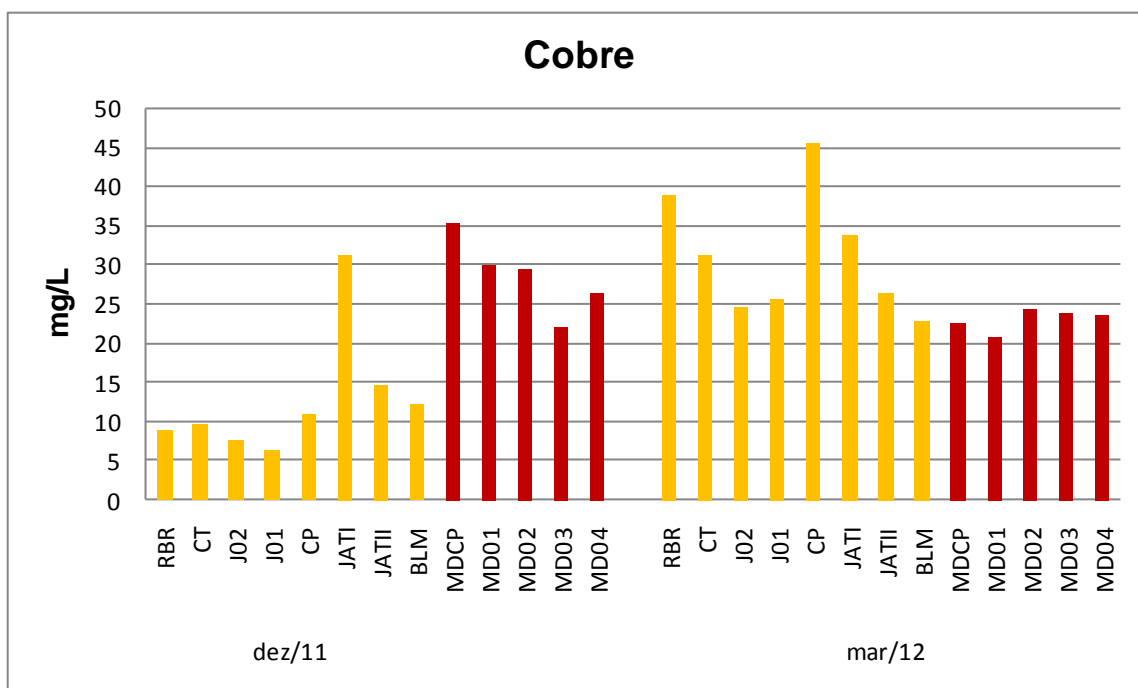


Figura V.3. Concentração média de cobre no MPS nas amostras de água nos meses de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

Nos períodos avaliados a concentração média de chumbo no MPS nos tributários (n=16) foi de $86,5 \pm 83,43$ mg/kg e no rio Madeira (n=10) de $38,24 \pm 8,23$ mg/kg. A concentração média de chumbo no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários foi, respectivamente, de $85,42 \pm 56,73$ mg/kg e $87,58 \pm 108,15$ mg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, de $38,24 \pm 10,24$ mg/kg e $37,25 \pm 6,25$ mg/kg (Figura V.4).

No mesmo período hidrológico, enchente e águas alta na fase de pré-enchimento (2009-2011), o teor de chumbo nos tributários foi de, respectivamente, de $35,68 \pm 19,38$ mg/kg e $46,14 \pm 22,68$ mg/kg e no rio Madeira $23,27 \pm 11,39$ mg/kg e $21,18 \pm 7,97$ mg/kg. Observa-se uma tendência de acréscimo na concentração média de chumbo nos tributários e no rio Madeira na fase de enchimento e estabilização quando comparamos com o mesmo período hidrológico da fase de pré-enchimento.

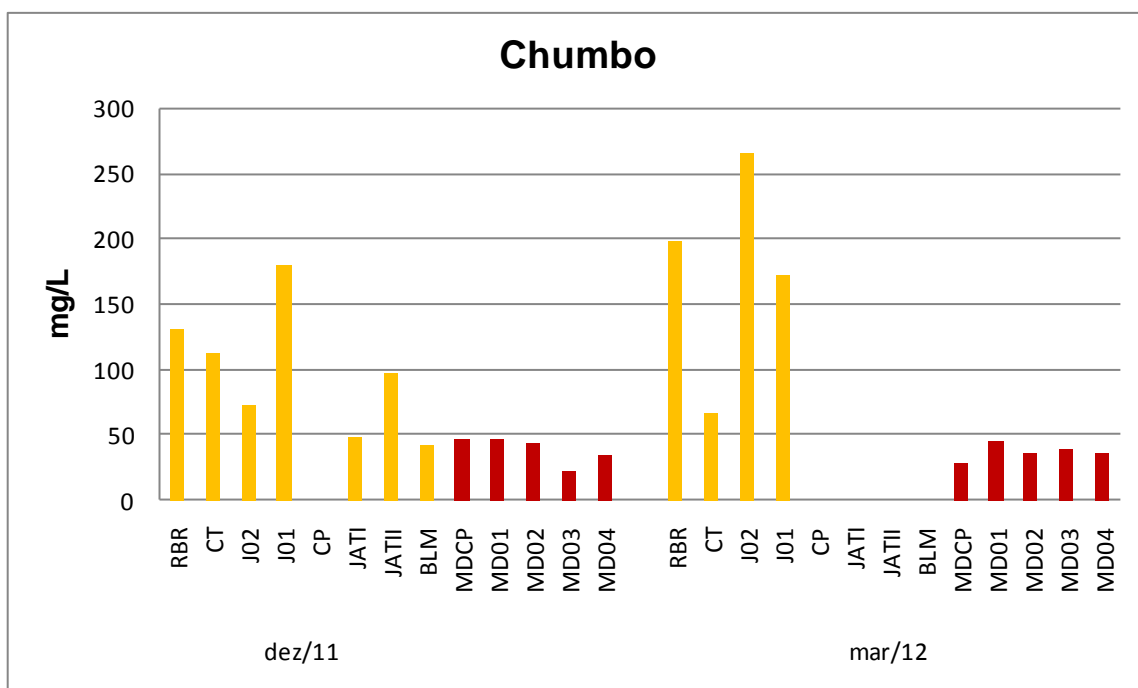


Figura V.4. Concentração média de chumbo no MPS nas amostras de água nos meses de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

No período avaliado a concentração média de cromo no MPS nos tributários (n=16) foi de $52,39 \pm 23,32$ mg/kg e no rio Madeira (n=10) de $18,81 \pm 11,22$ mg/kg. A concentração média de cromo no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários foi, respectivamente, de $62,34 \pm 17,84$ mg/kg e $42,45 \pm 24,92$ mg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, de $18,21 \pm 11,21$ mg/kg e $9,01 \pm 1,54$ mg/kg (Figura V.5).

No mesmo período hidrológico, enchente e águas alta na fase de pré-enchimento (2009-2011), o teor médio de cromo nos tributários foi, respectivamente, de $46,54 \pm 23,46$ mg/kg e $28,35 \pm 14,87$ mg/kg e no rio Madeira de $16,10 \pm 6,14$ mg/kg e $12,41 \pm 3,62$ mg/kg. Observa-se uma tendência de acréscimo na concentração média do cromo nos tributários na fase de enchimento e estabilização quando comparamos com a fase de pré-enchimento, entretanto no rio Madeira os valores se mantiveram semelhantes em ambas as fases e períodos.

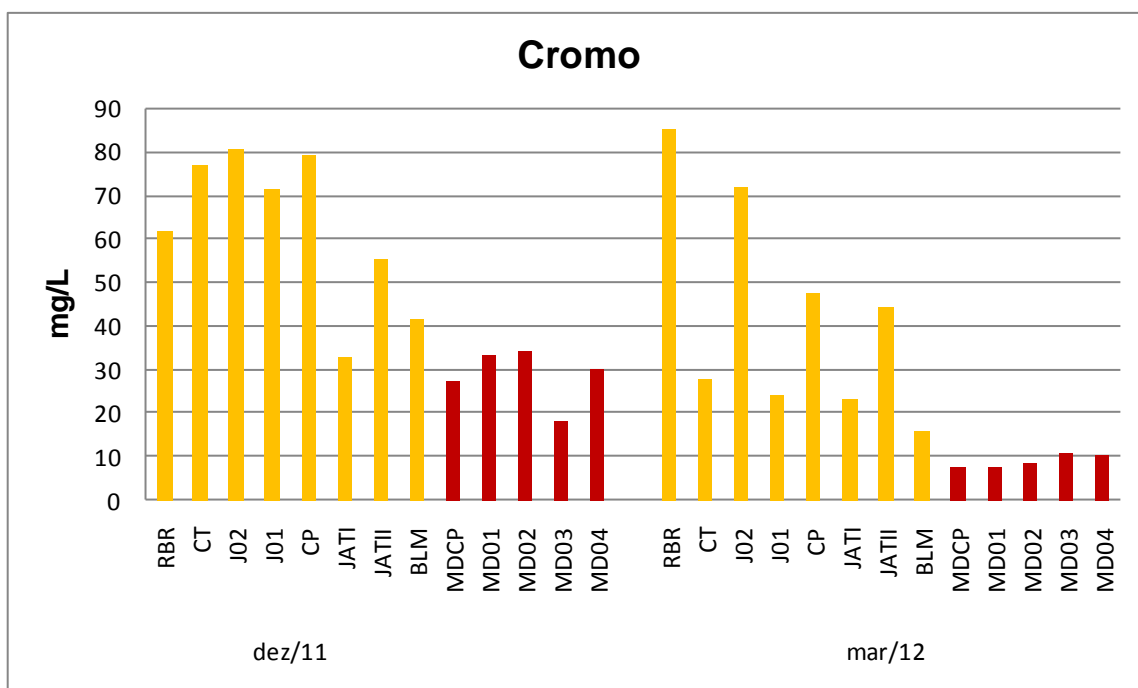


Figura V.5. Concentração média de cromo no MPS nas amostras de água nos meses de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

No período avaliado a concentração média de ferro no MPS nos tributários (n=16) foi de $71090,31 \pm 29323,2$ mg/kg e no rio Madeira (n=10) de $34619,61 \pm 5200,42$ mg/kg. A concentração média de ferro no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários foi, respectivamente, de $55487,95 \pm 18535,4$ mg/kg e $86692,67 \pm 30701,04$ mg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, de $31618,42 \pm 5345,61$ mg/kg e $37620,85 \pm 3123,46$ mg/kg (Figura V.6).

No mesmo período hidrológico, enchente e águas alta na fase de pré-enchimento, o teor médio de ferro nos tributários foi, respectivamente, de $49447,60 \pm 20587,61$ mg/kg e $63483,24 \pm 34049,56$ mg/kg e no rio Madeira $36201,29 \pm 2491,51$ mg/kg e $30673,54 \pm 3609,39$ mg/kg. Observou-se nos tributários uma tendência de acréscimo na concentração média de ferro no período de águas altas na fase de enchimento e estabilização, enquanto no período de enchente os valores se mantiverem próximos quando comparamos com a fase de pré-enchimento. No rio Madeira os valores de ferro se mantiveram semelhantes em ambas as fases e períodos.

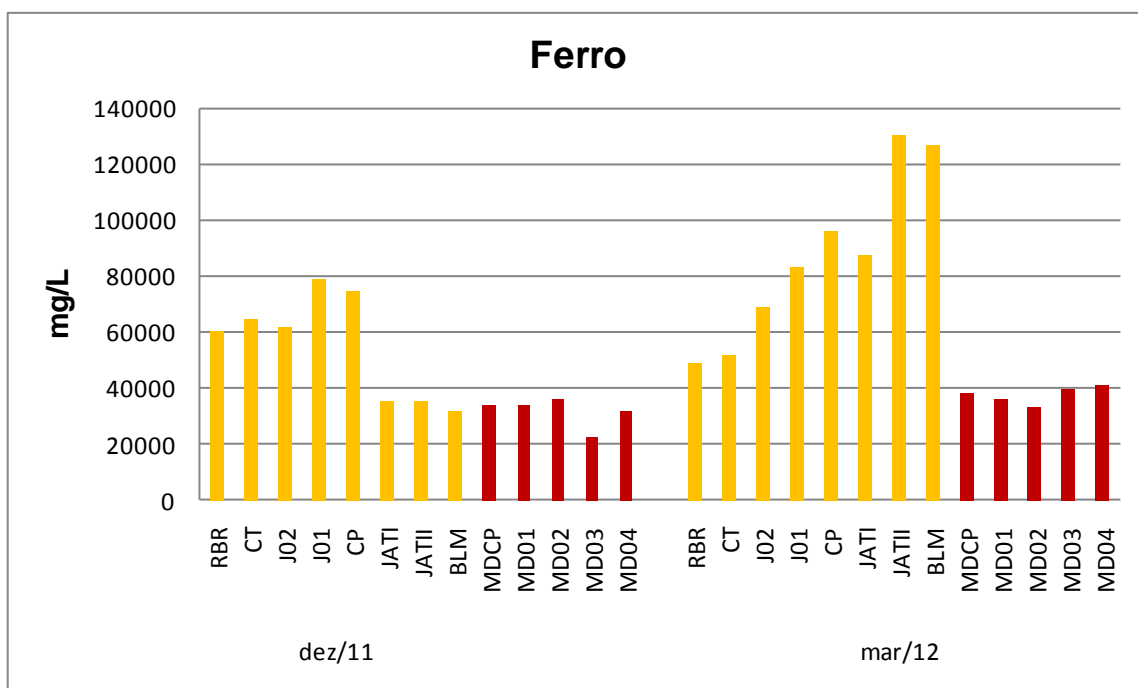


Figura V.6. Concentração média de ferro no no MPS nas amostras de água nos meses de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

No período avaliado a concentração média de manganês no MPS nos tributários (n=16) foi de $467,23 \pm 366,84$ mg/kg e no rio Madeira (n=10) de $456,23 \pm 39,16$ mg/kg. A concentração média de manganês no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários foi, respectivamente, de $548,79 \pm 464,64$ mg/kg e $385,82 \pm 239,38$ mg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, de $473,76 \pm 33,48$ mg/kg e $438,7 \pm 39,16$ mg/kg (Figura V.7).

No mesmo período hidrológico, enchente e águas alta na fase de pré-enchimento (2009-2011), o teor médio de manganês nos tributários foi, respectivamente, de $711,03 \pm 771,98$ mg/kg e $527,1 \pm 388,2$ mg/kg e no rio Madeira $535,14 \pm 192,3$ mg/kg e $365,84 \pm 167,3$ mg/kg. Observou-se uma tendência de decréscimo na concentração média de manganês nos tributários na fase de enchimento e estabilização quando comparamos com a fase de pré-enchimento, entretanto no rio Madeira os valores se mantiveram semelhantes em ambas as fases e períodos.

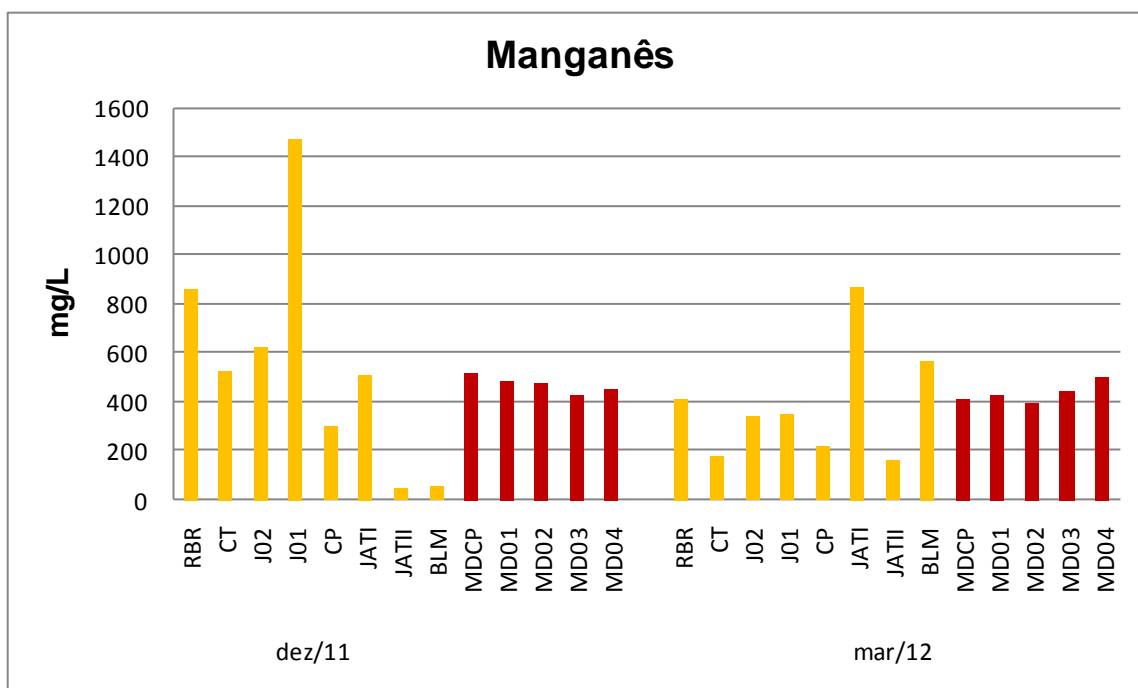


Figura V.7. Concentração média de manganês no MPS nas amostras de água nos meses de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

No período avaliado a concentração média de níquel no MPS nos tributários (n=16) foi de $3,45 \pm 10,3$ mg/kg e no rio Madeira (n=10) de $18,92 \pm 5,21$ mg/kg. A concentração média de níquel no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários foi, respectivamente, de $2,02 \pm 5,71$ mg/kg e $4,89 \pm 13,88$ mg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, de $15,36 \pm 4,78$ mg/kg e $27,48 \pm 2,58$ mg/kg (Figura V.8).

No mesmo período hidrológico, enchente e águas alta na fase de pré-enchimento (2009-2011), o teor médio de níquel nos tributários foi, respectivamente, de $22,09 \pm 11,20$ mg/kg e $17,20 \pm 17,20$ mg/kg e no rio Madeira $26,02 \pm 5,24$ mg/kg e $25,07 \pm 1,57$ mg/kg. Observou-se uma tendência de decréscimo na concentração média de níquel nos tributários na fase de enchimento e estabilização quando comparamos com a fase de pré-enchimento, entretanto no rio Madeira os valores se mantiveram semelhantes.

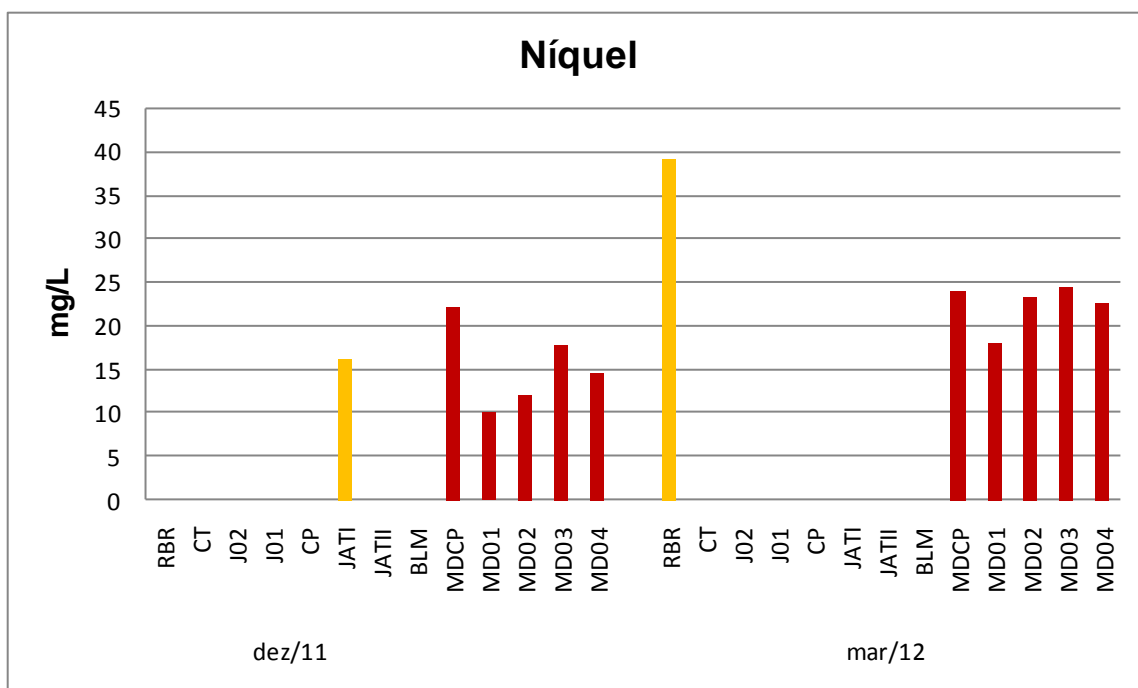


Figura V.8. Concentração média de níquel no MPS nas amostras de água nos meses de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

No período avaliado a concentração média de zinco no MPS nos tributários (n=16) foi de $145,49 \pm 59,24$ mg/kg e no rio Madeira (n=10) de $85,34 \pm 19,11$ mg/kg. A concentração média de níquel no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários foi, respectivamente, de $125,02 \pm 28,04$ mg/kg e $165,97 \pm 71,19$ mg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, de $97,07 \pm 20,57$ mg/kg e $73,60 \pm 7,39$ mg/kg (Figura V.9).

No mesmo período hidrológico, enchente e águas alta na fase de pré-enchimento (2009-2011), o teor médio de níquel nos tributários foi, respectivamente, de $59,77 \pm 28,04$ mg/kg e $70,23 \pm 43,21$ mg/kg e no rio Madeira $72,96 \pm 6,50$ mg/kg e $62,77 \pm 20,03$ mg/kg. Observou-se uma tendência de acréscimo na concentração média de zinco nos tributários e no rio Madeira na fase de enchimento e estabilização quando comparamos com a fase de pré-enchimento.

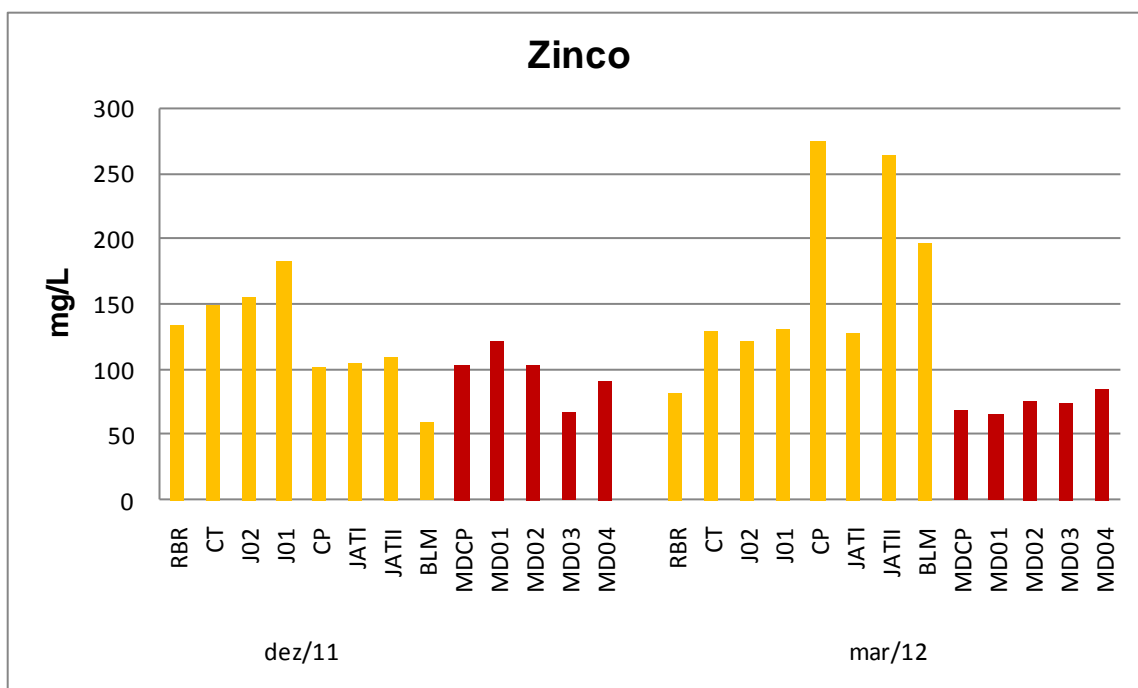


Figura V.9. Concentração média de zinco no MPS nas amostras de água nos meses de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

No período avaliado a concentração média de mercúrio no MPS nos tributários (n=16) foi de $0,21 \pm 0,07$ mg/kg e no rio Madeira (n=10) de $0,07 \pm 0,02$ mg/kg. A concentração média de mercúrio no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários foi, respectivamente, de $0,18 \pm 0,04$ mg/kg e $0,23 \pm 0,09$ mg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, de $0,08 \pm 0,02$ mg/kg e $0,05 \pm 0,02$ mg/kg (Figura V.10).

No mesmo período hidrológico, enchente e águas alta na fase de pré-enchimento (2009-2011), o teor médio de mercúrio nos tributários foi, respectivamente, de $0,15 \pm 0,08$ mg/kg e $0,29 \pm 0,19$ mg/kg e no rio Madeira $0,06 \pm 0,01$ mg/kg (média \pm DP) e $0,05 \pm 0,007$ mg/kg. Observou-se que o teor médio de mercúrio nos tributários e no rio Madeira na fase de enchimento e estabilização se mantiveram próximos aos encontrados na fase de pré-enchimento em ambos os períodos avaliados.

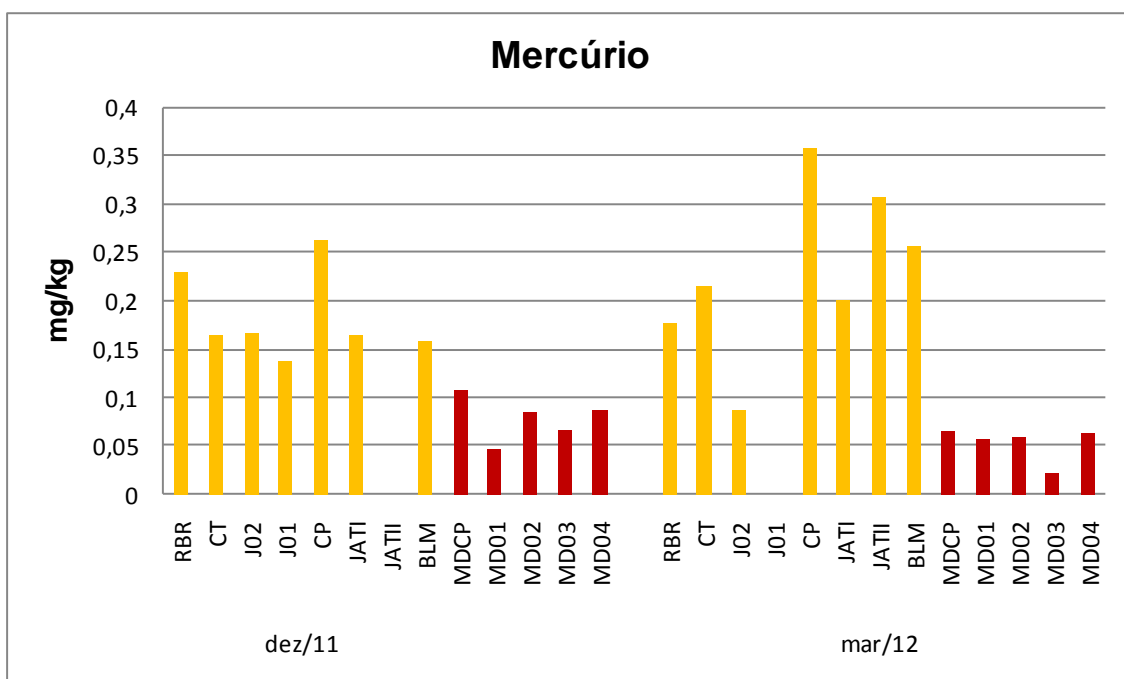


Figura V.10. Concentração média de mercúrio no MPS nas amostras de água nos meses de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

V.2. Considerações

- Os tributários demonstraram maior discrepância na concentração dos elementos em relação ao rio Madeira, refletindo ambientes mais heterogêneos;
- Observa-se que os elementos mercúrio, zinco, ferro, cromo e chumbo apresentaram nos meses avaliados teores médios mais elevados nos tributários em relação ao rio Madeira;
- Os elementos cobalto e níquel apresentaram teores médios mais elevados no rio Madeira quando comparados com os tributários;
- Os elementos manganês e cobre mantiveram teores semelhantes entre os tributários e rio Madeira;
- Em relação às fases avaliadas pode-se observar que os elementos cromo, cobre e zinco apresentaram concentrações mais elevadas nos tributários na fase de enchimento e estabilização quando comparado com o período de pré-enchimento;
- Em relação às fases avaliadas pode-se observar que os elementos cobalto, manganês e níquel apresentaram concentrações médias inferior nos tributários na fase de enchimento e estabilização quando comparado com o período de pré-enchimento;
- No rio Madeira com exceção dos elementos chumbo e zinco todos os elementos se mantiveram semelhantes quando comparamos as fases e períodos avaliados;
- O elemento chumbo e zinco apresentaram concentrações maiores nos tributários e rio Madeira no período de enchimento e estabilização;

- Há de se acompanhar durante o período de pós-enchimento a dinâmica dos elementos avaliados, principalmente nos tributários, pois o aumento na concentração de determinados elementos pode estar associado à influência antropogênica nas áreas que ocorreram supressão de vegetação.

VI. SEDIMENTO DE FUNDO (SD)

As amostras de sedimento de fundo foram coletadas utilizando a draga de Heckman. Este equipamento permite a coleta da camada mais reativa do sedimento de fundo – aproximadamente 5 cm de profundidade. Após a coleta, as amostras de sedimento de fundo foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas resfriadas até a preparação da amostra no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental WCP/UNIR. No laboratório, uma pequena alíquota dos sedimentos foi retirada, na sua fração total, acondicionadas em potes coletores de plástico rígido e liofilizadas para retirada de toda umidade para a então, extração química e quantificação do Metil-Hg.

O restante das 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, por possuir maior área superficial. Em seguida, a fração fina do sedimento foi transferida para um gral de porcelana e seca em estufa a temperatura de 40°C para posterior extração química e quantificação dos elementos Hg, Cu, Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn.

Para a extração do Metil-Hg foi pesado 0,5g de peso seco da amostra em tubos de teflon, em duplicata, em seguida adicionou-se 3,0 mL de hidróxido de potássio 25% em meio metanol e foi levada à estufa a temperatura de 70°C durante 4 horas, com agitação das amostras de hora em hora. Ao término da extração, as amostras foram guardadas ao abrigo da luz, para evitar qualquer tipo de degradação do Metil-Hg e, então foram analisadas dois dias depois, tempo suficiente para a estabilização das amostras. Após os dois dias, foi realizada a etilação do Metil-Hg, visto que o equipamento (CG-AFS) faz leitura somente na forma de etilmetilmercúrio. O processo de etilação foi feito com 300 μL de ácido acético e acetato de sódio (Solução tampão, pH 4,5), seguido de 30 μL da amostra e 50 μL de NaBEt₄ a 1 %. As amostras foram aferidas com água Milli-Q em menisco invertido nos *vials* de 40 mL próprios para a análise no cromatógrafo gasoso acoplado ao espectrofotômetro de fluorescência atômica (CG-AFS, Brooks Rand).

Para extração e determinação de Hg-T foi pesado 0,5 gramas de peso seco da amostra de sedimento em tubos de ensaio de vidro, em duplicata, em seguida foi adicionado 1,0 mL de água ultrapura (Milli-Q, Millipore) e mais 5,0 mL da solução química de HNO₃ e HCl (3:1), agitou-se manualmente e então as amostras foram levadas para o bloco digestor a temperatura de 70°C por 30 minutos. Após o esfriamento das amostras à temperatura ambiente adicionou-se 6,0 mL de KMnO₄

a 5% e foram levadas novamente ao bloco digestor por mais 30 minutos a 70°C. Passado os 30 minutos, as amostras foram retiradas do bloco e, quando atingiram a temperatura ambiente, foram cobertas com filme de PVC, para evitar contaminação, e deixadas “overnight” por cerca de 12 horas.

No dia seguinte foi adicionado 1,0 mL de hidroxilamina 12% e então as amostras foram filtradas em filtros de papel celulose (Whatman) com suporte de funis de polipropileno e o filtrado foi acondicionado em tubos tipo *falcon* de 14,0 mL. Por fim, a determinação de Hg-T foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica acoplada ao gerador de vapor a frio (FIMS-400, Perkin Elmer).

Já para a extração e quantificação dos demais metais pesados, foi pesado cerca de 2,0 gramas de peso seco das amostras em béqueres em duplicata. Foram adicionados 10,0 mL de HNO₃ e levados à chapa quente até a total evaporação do ácido. Em seguida, foi adicionado 15,0 mL da solução química de HNO₃ e HCl (3:1) e levados novamente à chapa quente, até a total evaporação do ácido. Por fim, foi adicionado 15,0 mL de HCl 0,1N, filtrados 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 mL para a então leitura no espectrofotômetro de absorção atômica de chama (AA-400, Perkin Elmer).

VI.1. Resultados

Na tabela VI.1 está apresentado os resultados da concentração média de Hg-T e Metil-Hg e nas tabelas VI.2 e VI.3 os resultados dos demais metais pesados no sedimento de fundo coletados durante os períodos de: início de enchimento do Reservatório em dezembro de 2011 e início da etapa de estabilização de enchimento em março de 2012.

Tabela VI.1. Concentração de Hg-T e Metil-Hg ($\mu\text{g}/\text{kg}$) no sedimento de fundo do rio Madeira e seus tributários durante o período de pós-enchimento em dezembro de 2011 e março de 2012.

Localidade	Longitude	Latitude	Dezembro de 2011				Março de 2012		
			Hg Total ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	MeHg ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	% MeHg		Hg-T ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	MeHg ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	% MeHg
Jacy-Paraná	347106,2	8981699	96,38	0,19	0,20		90,82	0,12	0,13
Lago Madalena (Jacy-Paraná)	346781,6	8973506	101,29	0,36	0,35		-	-	-
Rio Branco	346291,4	8963077	104,77	1,47	1,40		114,51	0,19	0,17
Rio Contra	342915,8	8971137	45,23	0,09	0,20		65,73	0,03	0,05
Igarapé Jatuarana I	384536,3	9024008	143,66	1,47	1,02		106,01	5,94	5,60
Rio Caripunas	321045,1	8982951	25,82	0,26	1,01		68,22	0,36	0,53
Igarapé Jatuarana II	398120,8	9043688	30,73	0,17	0,55		40,00	0,46	1,15
Igarapé Belmont	406274,0	9044401	40,65	0,52	1,28		63,80	0,70	1,10
Rio Madeira MDCP (ME)	322645,8	8982927	52,29	0,48	0,92		29,84	0,05	0,17
Rio Madeira MDCP (MD)	321887,8	8983261	-	-	-		47,10	0,11	0,23
Rio Madeira MD01 (ME)	371247,7	9004372	31,35	0,28	0,89		55,89	0,19	0,34
Rio Madeira MD01 (MD)	371854,2	9004064	-	-	-		43,97	0,12	0,27
Rio Madeira MD02 (ME)	392579,8	9025917	32,74	0,39	1,19		32,28	0,15	0,46
Rio Madeira MD02 (MD)	392966,2	9025860	-	-	-		49,37	0,15	0,30
Rio Madeira MD03 (ME)	398061,0	9028624	13,09	0,16	1,22		24,87	0,05	0,20
Rio Madeira MD03 (MD)	398294,2	9028326	-	-	-		33,53	0,06	0,18
Rio Madeira MD04 (ME)	406280,4	9045467	21,00	0,25	1,19		-	-	-
		Média	56,85	0,47	0,88		57,73	0,58	0,72
		D.P.	40,69	0,46	0,42		27,57	1,49	1,39
		Mínimo	13,09	0,09	0,20		24,87	0,03	0,05
		Máximo	143,66	1,47	1,40		114,51	5,94	5,60

ME= Margem Esquerda. MD= Margem Direita.

Tabela VI.2. Concentração dos metais pesados Co, Mn, Cr, Ni, Pb, Cu, Fe e Zn (mg/kg) nos sedimentos de fundo do rio Madeira e seus tributários durante o período de início de enchimento do Reservatório em dezembro de 2011.

Localidade	Longitude	Latitude	Co	Mn	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Zn
			(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Jacy-Paraná	347106,2	8981699	2,46	3,82	2,51	0,51	13,67	4,58	3836,31	13,54
Lago Madalena (Jacy-Paraná)	346781,6	8973506	3,00	33,10	3,85	1,79	16,36	8,10	6659,38	21,26
Rio Branco	346291,4	8963077	8,22	551,43	5,59	1,71	10,58	5,74	27163,63	28,74
Rio Contra	342915,8	8971137	1,17	31,85	2,01	0,14	7,63	2,28	1647,19	6,61
Igarapé Jatuarana I	384536,3	9024008	1,09	20,84	5,24	<LDT	9,32	6,43	6562,08	9,02
Rio Caripunas	321045,1	8982951	12,99	440,27	5,98	9,83	1,68	16,78	25663,85	51,89
Igarapé Jatuarana II	398120,8	9043688	4,04	32,99	1,41	2,42	5,71	4,52	3736,05	7,74
Igarapé Belmont	406274,0	9044401	9,33	238,92	6,66	8,89	15,14	18,26	28667,03	38,84
Rio Madeira MDCP (montante)	322645,8	8982927	11,99	675,56	7,48	12,42	8,63	22,91	27211,92	43,86
Rio Madeira MD01 (montante)	371247,7	9004372	10,35	409,76	6,62	11,71	13,98	17,37	24314,92	58,26
Rio Madeira MD02 (montante)	392579,8	9025917	11,01	451,80	8,48	10,11	12,68	17,40	25447,18	56,90
Rio Madeira MD03 (jusante)	398061,0	9028624	7,06	206,52	3,98	7,79	6,76	9,96	15387,02	34,11
Rio Madeira MD04 (jusante)	406280,4	9045467	8,83	335,96	5,64	8,67	9,49	13,08	21365,36	43,78
		Média	7,04	264,06	5,03	6,33	10,13	11,34	16743,22	31,89
		D.P.	4,21	230,23	2,16	4,63	4,18	6,64	10666,27	18,85
		Mínimo	1,09	3,82	1,41	0,14	1,68	2,28	1647,19	6,61
		Máximo	12,99	675,56	8,48	12,42	16,36	22,91	28667,03	58,26

<LDT= Menor que Limite de Detecção da Técnica.

Tabela VI.3. Concentração dos metais pesados Co, Mn, Cr, Ni, Pb, Cu, Fe e Zn (mg/kg) nos sedimentos de fundo do rio Madeira e seus tributários durante o período de estabilização de enchimento do Reservatório em março de 2012.

Localidade	Longitude	Latitude	Co	Mn	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Zn
			(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Jacy-Paraná	347106,2	8981699	9,92	116,63	8,63	4,42	18,47	4,89	13473,37	20,54
Rio Branco	346291,4	8963077	2,60	529,88	5,58	2,37	2,26	17,07	10718,84	18,64
Rio Contra	342915,8	8971137	2,16	754,86	7,78	3,37	3,78	13,54	5965,38	14,73
Igarapé Jatuarana I	384536,3	9024008	2,61	21,61	10,53	6,58	10,37	8,39	8392,61	8,60
Rio Caripunas	321045,1	8982951	2,85	14,70	5,81	5,08	16,23	4,17	3854,13	10,00
Igarapé Jatuarana II	398120,8	9043688	9,61	61,97	11,63	19,06	16,62	13,66	8580,71	22,21
Belmont	406274,0	9044401	12,42	251,63	12,51	26,27	17,72	19,08	23530,38	46,71
Rio Madeira MDCP (margem direita)	323526,6	8982764	14,14	429,43	13,19	31,88	22,06	24,63	19717,63	50,22
Rio Madeira MDCP (margem esquerda)	321887,8	8983261	13,10	300,65	10,15	24,35	15,78	20,41	14385,22	29,34
Rio Madeira MD01 (margem direita)	371854,2	9004064	11,19	375,06	11,28	25,59	16,49	21,27	13239,13	40,07
Rio Madeira MD01 (margem esquerda)	370821,6	9004877	10,95	285,90	8,85	19,69	16,18	18,80	15727,77	33,99
Rio Madeira MD02 (margem direita)	392966,2	9025860	17,91	308,51	13,31	32,51	22,60	25,65	15293,79	36,01
Rio Madeira MD02 (margem esquerda)	392006,2	9026027	12,78	171,80	12,24	27,89	16,18	18,82	12654,50	24,52
Rio Madeira MD03 (margem direita)	398294,2	9028326	11,01	130,24	10,69	20,43	13,86	16,32	11189,00	30,04
Rio Madeira MD03 (margem esquerda)	397739,2	9028989	11,32	170,57	11,10	22,22	11,91	15,36	10930,48	18,52
		Média	9,64	261,56	10,22	18,11	14,70	16,14	12510,20	26,94
		D.P.	4,84	202,44	2,44	10,81	5,71	6,40	5029,17	12,63
		Mínimo	2,16	14,70	5,58	2,37	2,26	4,17	3854,13	8,60
		Máximo	17,91	754,86	13,31	32,51	22,60	25,65	23530,38	50,22

No período avaliado (Dezembro de 2011 – enchimento e Março de 2012 – estabilização) a concentração média de Hg-T no sedimento de fundo dos tributários avaliados (n=15) foi de $75,84 \pm 34,10 \mu\text{g/kg}$ e no rio Madeira (n=13) de $35,95 \pm 12,88 \mu\text{g/kg}$. A concentração de Hg-T no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários foi, respectivamente, de $73,56 \pm 43,39 \mu\text{g/kg}$ e $78,44 \pm 26,37 \mu\text{g/kg}$ e no rio Madeira foi, respectivamente, de $30,09 \pm 14,77 \mu\text{g/kg}$ e $39,61 \pm 10,95 \mu\text{g/kg}$ (Figura VI.1).

Dentre os tributários avaliados, na campanha de dezembro de 2011 o rio Caripunas apresentou menor concentração de Hg-T ($25,82 \mu\text{g/kg}$), enquanto na campanha de março de 2012 o Igarapé Jatuarana II apresentou a menor concentração ($40,00 \mu\text{g/kg}$). Ao se avaliar os maiores valores encontrados, o Igarapé Jatuarana I apresentou concentração $143,66 \mu\text{g/kg}$, na campanha de dezembro de 2011, e o rio Branco apresentou concentração de $114,51 \mu\text{g/kg}$, na campanha de março de 2012. No mesmo período hidrológico, enchente e águas alta na fase de pré-enchimento (2010-2011), o teor de Hg-T nos tributários foi, respectivamente, de $56,99 \pm 27,51 \mu\text{g/kg}$ e $48,66 \pm 21,59 \mu\text{g/kg}$ e no rio Madeira $36,40 \pm 7,94 \mu\text{g/kg}$ e $36,47 \pm 8,04 \mu\text{g/kg}$.

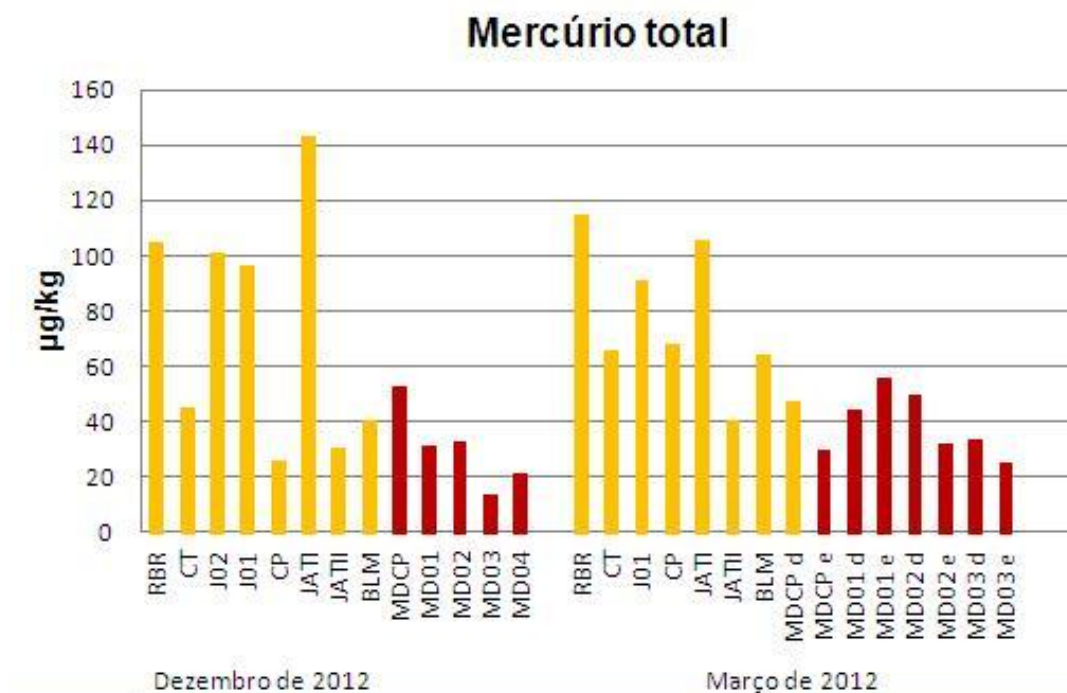


Figura VI.1. Valores médios de Hg-T ($\mu\text{g/kg}$) em sedimentos de fundo do rio Madeira e seus tributários nos períodos de dezembro/2011 e março/2012. As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

No período avaliado (Dezembro de 2011 – enchimento e Março de 2012 – estabilização) a concentração média de Metil-Hg no sedimento dos tributários avaliados (n=15) foi de $0,84 \pm 1,54 \mu\text{g/kg}$ e no rio Madeira (n=13) de $0,21 \pm 0,15 \mu\text{g/kg}$. A concentração de Metil-Hg no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários foi, respectivamente, de

0,57 ± 0,62 µg/kg e 0,34 ± 0,14 µg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, 1,11 ± 2,14 µg/kg e 0,11 ± 0,05 µg/kg (Figura VI.2).

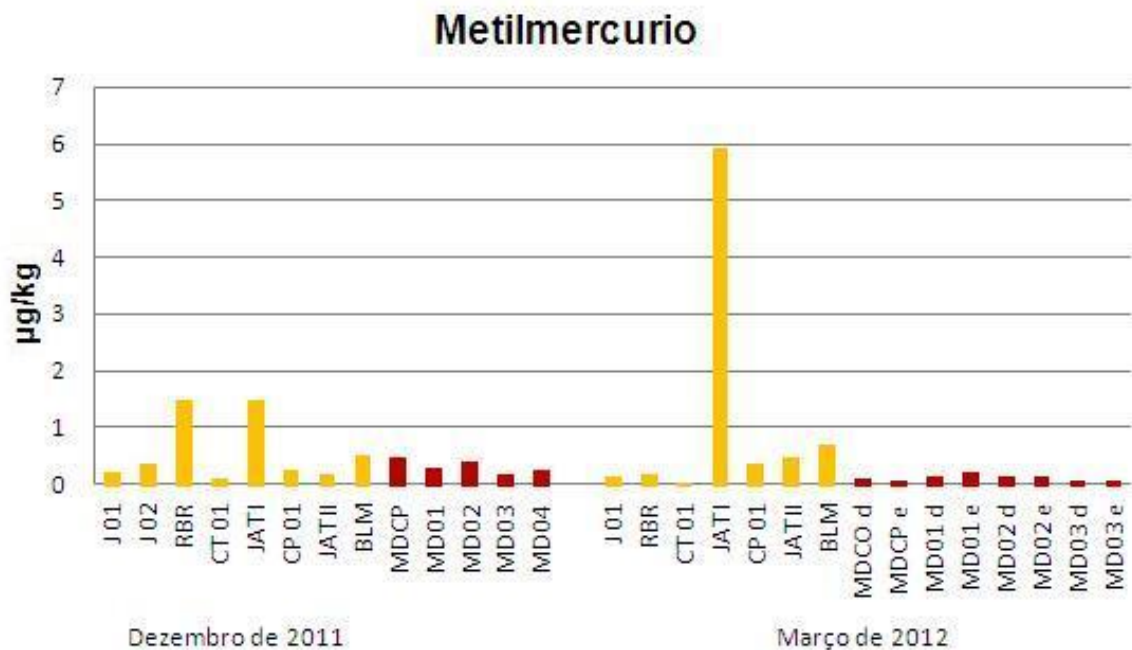


Figura VI.2. Valores médios de Metil-Hg (µg/kg) em sedimentos de fundo do rio Madeira e seus tributários nos períodos de dezembro/2011 e março/2012. As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

A concentração média de cobalto no sedimento dos tributários avaliados (n=15) foi de 5,63 ± 4,25 mg/kg e no rio Madeira (n=13) de 11,66 ± 2,60 mg/kg. A concentração de cobalto no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários, foi respectivamente, de 5,29 ± 4,37 mg/kg e 6,02 ± 4,42 mg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, de 9,85 ± 1,97 mg/kg e 12,80 ± 2,37 mg/kg. Dentre os tributários avaliados, na campanha de dezembro de 2011 o Igarapé Jatuarana I apresentou a menor concentração de cobalto (1,09 mg/kg), enquanto na campanha de março de 2012 o rio Contra apresentou a menor concentração (2,16 mg/kg). Ao se avaliar os maiores valores encontrados, o rio Caripunas apresentou concentração 12,99 mg/kg, na campanha de dezembro de 2011, e o Igarapé Belmont apresentou concentração de 12,41 mg/kg na campanha de março de 2012.

No mesmo período hidrológico, enchente e águas alta na fase de pré-enchimento (2010-2011), o teor de cobalto nos tributários foi, respectivamente, de 5,92 ± 3,59 mg/kg e 8,27 ± 5,23 mg/kg e no rio Madeira 10,32 ± 1,14 mg/kg e 13,44 ± 1,32 mg/kg (Figura VI.3).

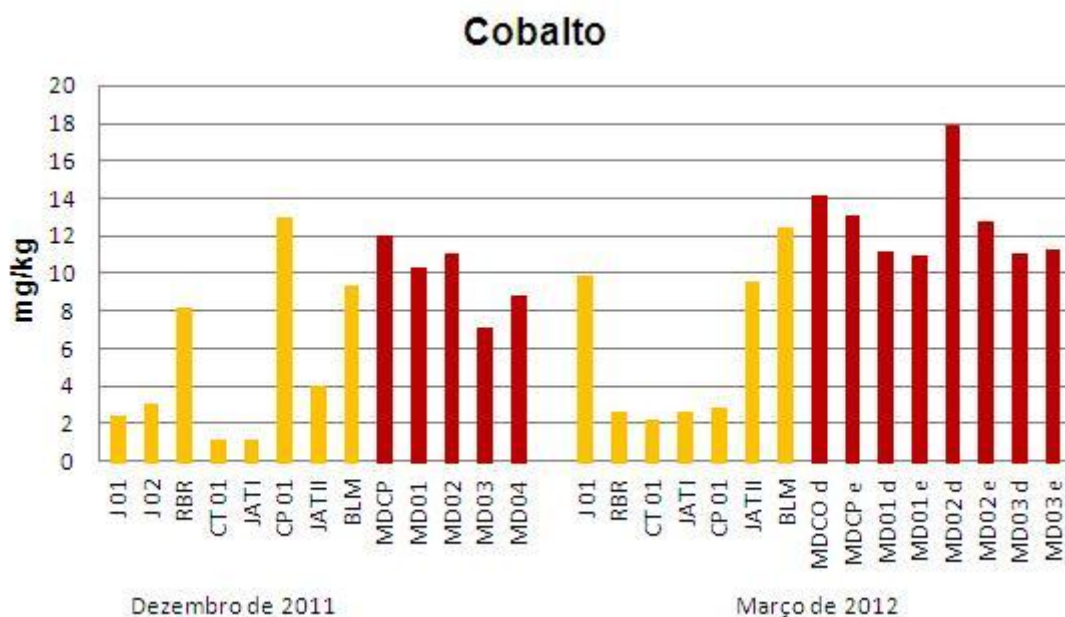


Figura VI.3. Concentração média de cobalto no sedimento de fundo nos períodos de dezembro/2011 e março/2012. As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

A concentração média de cobre no sedimento dos tributários avaliados (n=15) foi de $9,83 \pm 5,91$ mg/kg e no rio Madeira (n=13) de $18,61 \pm 4,46$ mg/kg. A concentração de cobre no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários, foi respectivamente, de $8,34 \pm 5,92$ mg/kg e $11,54 \pm 5,84$ mg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, de $16,14 \pm 4,91$ mg/kg e $20,16 \pm 3,64$ mg/kg (Figura VI.4).

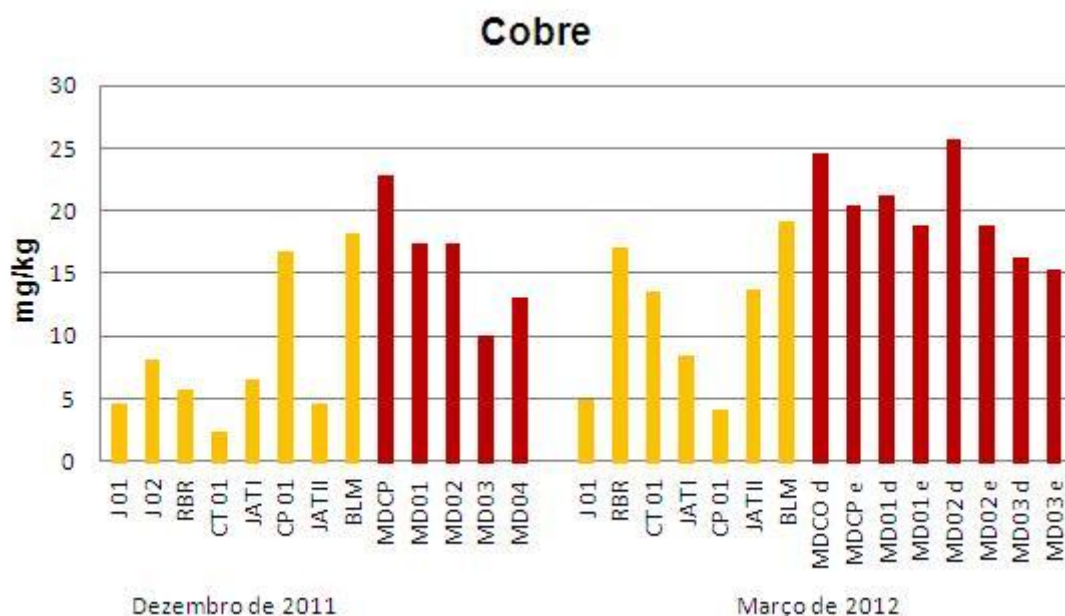


Figura VI.4. Concentração média de cobre no sedimento de fundo das amostragens de dezembro/2011 (enchente) e março/2012(águas altas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

Dentre os tributários avaliados, na campanha de dezembro de 2011 o rio Contra apresentou a menor concentração de cobre (2,28 mg/kg), enquanto na campanha de março de 2012 o rio Caripunas apresentou a menor concentração de cobre (4,17 mg/kg). Ao se avaliar os maiores valores encontrados, o Igarapé Belmont apresentou concentração 18,26 mg/kg, na campanha de dezembro de 2011. Já na campanha de 2012, o Igarapé Belmont apresentou concentração de 19,08 mg/kg. No mesmo período hidrológico, enchente e águas alta na fase de pré-enchimento (2010-2011), o teor de cobre nos tributários foi, respectivamente, de $8,27 \pm 5,57$ mg/kg e $11,34 \pm 6,92$ mg/kg e no rio Madeira $18,27 \pm 3,00$ mg/kg e $19,50 \pm 2,07$ mg/kg.

A concentração média de chumbo no sedimento de fundo dos tributários avaliados (n=15) foi de $11,04 \pm 5,80$ mg/kg e no rio Madeira (n=13) de $14,36 \pm 4,69$ mg/kg. A concentração de chumbo no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários, foi respectivamente, de $10,01 \pm 4,99$ mg/kg e $12,21 \pm 6,81$ mg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, de $10,31 \pm 2,97$ mg/kg e $16,88 \pm 3,70$ mg/kg (Figura VI.5).

Dentre os tributários avaliados, na campanha de dezembro de 2011 o rio Caripunas apresentou a menor concentração de chumbo (1,68 mg/kg), enquanto na campanha de março de 2012 o rio Branco apresentou a menor concentração de cobre (2,26 mg/kg). Ao se avaliar os maiores valores encontrados, o Lago Madalena (Jacy-Paraná) apresentou concentração 16,36 mg/kg, na campanha de dezembro de 2011, e o ponto de Jacy-Paraná apresentou concentração de 18,47 mg/kg, na campanha de março de 2012.

No mesmo período hidrológico, enchente e águas alta na fase de pré-enchimento (2010-2011), o teor de chumbo nos tributários foi, respectivamente, de $9,83 \pm 3,79$ mg/kg e $14,62 \pm 3,52$ mg/kg e no rio Madeira $9,55 \pm 2,22$ mg/kg e $13,75 \pm 1,74$ mg/kg.

A concentração média de cromo no sedimento de fundo dos tributários avaliados (n=15) foi de $6,38 \pm 3,36$ mg/kg e no rio Madeira (n=13) de $9,46 \pm 2,92$ mg/kg. A concentração de cromo no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários, foi respectivamente, $4,16 \pm 1,99$ mg/kg e $8,92 \pm 2,74$ mg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, de $6,44 \pm 1,73$ mg/kg e $11,35 \pm 1,52$ mg/kg (Figura VI.6).

Dentre os tributários avaliados na campanha de dezembro de 2011 o Igarapé Jatuarana II apresentou a menor concentração de cromo (1,41 mg/kg), enquanto na campanha de março de 2012 o rio Branco apresentou a menor concentração e cromo (5,58 mg/kg). Ao se avaliar os maiores valores encontrados, o Igarapé Belmont apresentou a concentração de 6,66 mg/kg, na campanha de dezembro de 2011. Já na campanha de 2012, o Igarapé Belmont apresentou concentração de 12,51 mg/kg.

No mesmo período hidrológico, enchente e águas alta na fase de pré-enchimento (2010-2011), o teor de cromo nos tributários foi, respectivamente $6,46 \pm 1,29$ mg/kg e $9,60 \pm 2,75$ mg/kg e no rio Madeira $8,21 \pm 1,31$ mg/kg e $11,48 \pm 0,82$ mg/kg.

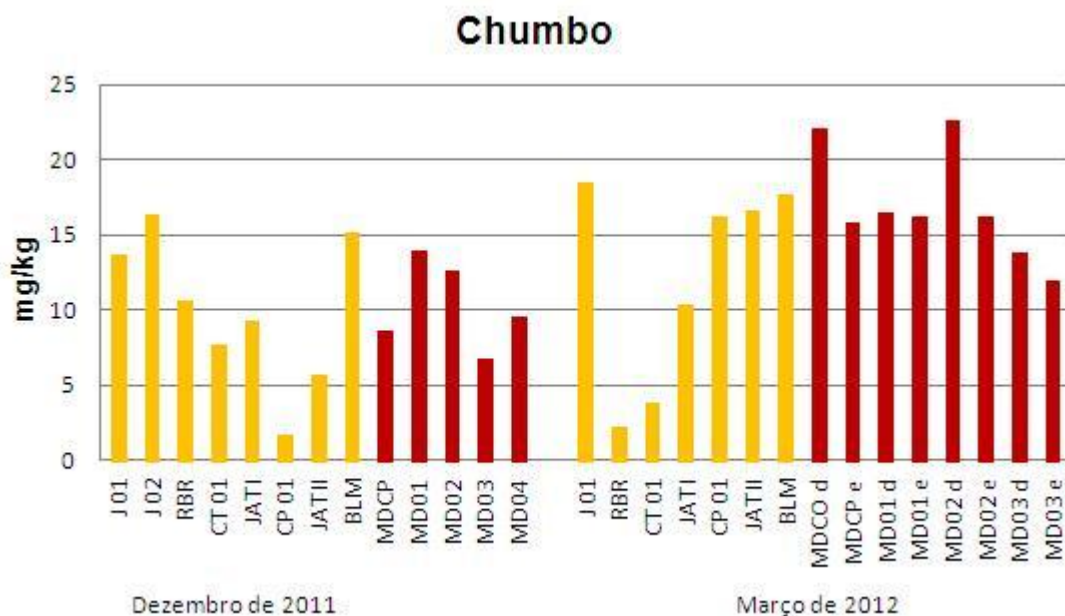


Figura VI.5. Concentração média de chumbo no sedimento de fundo referente aos meses de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

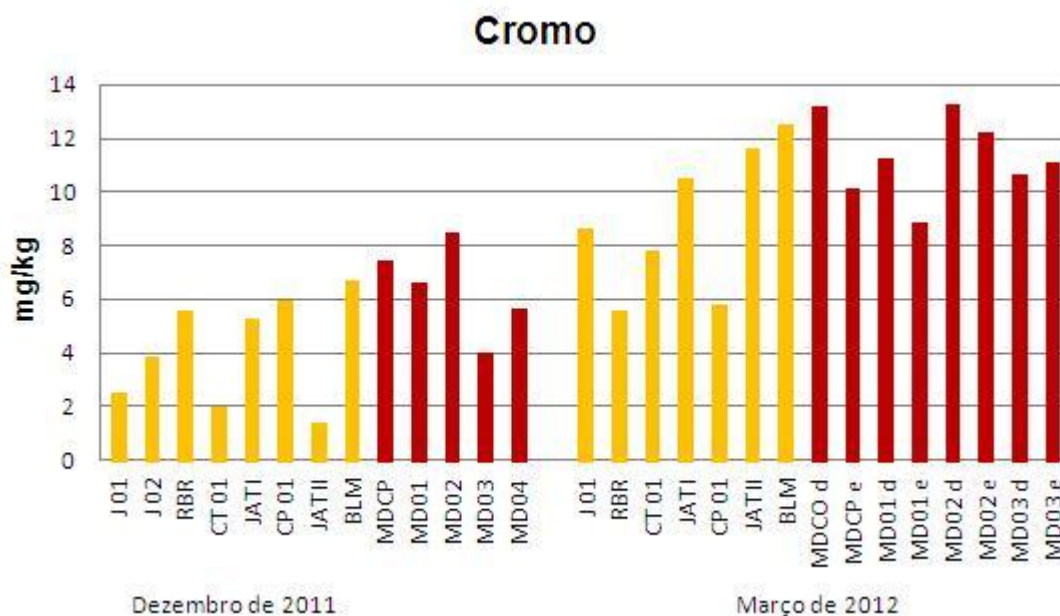


Figura VI.6. Concentração média de cromo no sedimento de fundo nas campanhas de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

A concentração média de ferro no sedimento de fundo dos tributários avaliados (n=15) foi de $11896,73 \pm 9482,00$ mg/kg e no rio Madeira (n=13) de $17451,07 \pm 5556,87$ mg/kg. A concentração de ferro no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários foi, respectivamente, de $12991,94 \pm 11872,94$ mg/kg e $10645,06 \pm 6472,86$ mg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, de $22745,28 \pm 4630,42$ mg/kg e $14142,19 \pm 2854,82$ mg/kg (Figura VI.7).

Dentre os tributários avaliados na campanha de dezembro de 2011 o rio Contra apresentou a menor concentração de ferro (1647,19 mg/kg), enquanto na campanha de março de 2012 o rio Caripunas apresentou a menor concentração de ferro (3854,13 mg/kg). Ao se avaliar os maiores valores encontrados, o Igarapé Belmont apresentou concentração 28667,03 mg/kg, na campanha de dezembro de 2011. Na campanha de 2012, o maior valor também foi encontrado o Igarapé Belmont, com concentração de 23530,38 mg/kg.

No mesmo período hidrológico, enchente e águas altas na fase de pré-enchimento (2010-2011), o teor de ferro nos tributários foi, respectivamente, de $18024,92 \pm 10399,33$ mg/kg e $13840,86 \pm 9577,04$ mg/kg e no rio Madeira $27819,64 \pm 5023,43$ mg/kg e $22865,53 \pm 3236,01$ mg/kg.

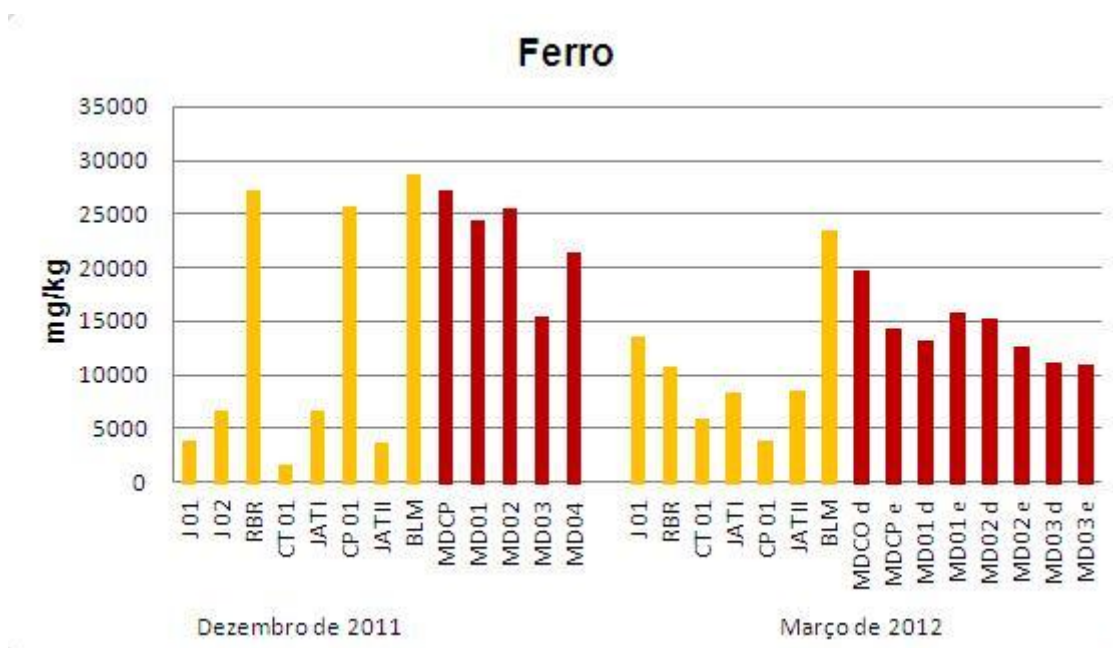


Figura VI.7. Concentrações média de ferro no sedimento de fundo nas campanhas dos meses de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

A concentração média de manganês no sedimento de fundo dos tributários avaliados (n=15) foi de $206,97 \pm 246,13$ mg/kg e no rio Madeira (n=13) de $327,06 \pm 147,57$ mg/kg. A concentração de manganês no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários,

foi, respectivamente, de $169,15 \pm 217,04$ mg/kg e $250,18 \pm 286,91$ mg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, de $415,92 \pm 172,47$ mg/kg e $271,52 \pm 105,68$ mg/kg (Figura VI.8).

Dentre os tributários avaliados na campanha de dezembro de 2011 o ponto do rio Jacy-Paraná apresentou a menor concentração de manganês (3,82 mg/kg), enquanto na campanha de março de 2012 o rio Caripunas apresentou a menor concentração de manganês (14,70 mg/kg). Ao se avaliar os maiores valores encontrados, o rio Branco apresentou concentração 551,43 mg/kg, na campanha de dezembro de 2011. Na campanha de março de 2012, o maior valor foi encontrado no rio Contra, com concentração de 754,86 mg/kg.

No mesmo período hidrológico enchente e águas alta na fase de pré-enchimento (2010-2011), o teor de manganês nos tributários foi, respectivamente, de $184,05 \pm 171,78$ mg/kg e $186,58 \pm 141,05$ mg/kg e no rio Madeira $468,91 \pm 88,44$ mg/kg e $403,37 \pm 74,91$ mg/kg.

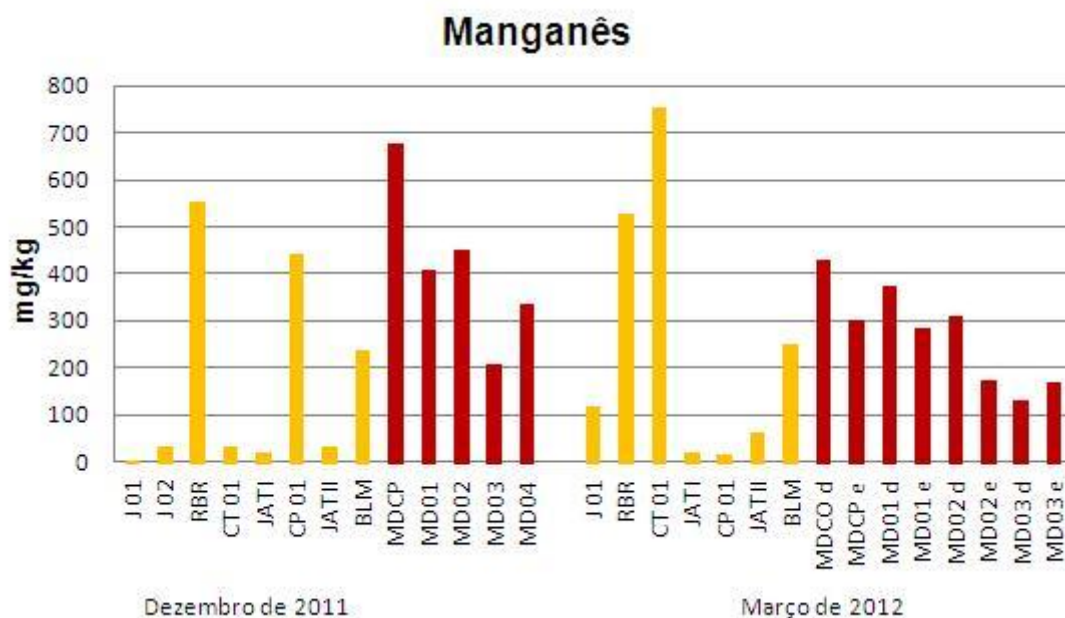


Figura VI.8. Concentração média de manganês no sedimento de fundo nas campanhas dos meses de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

A concentração média de níquel no sedimento de fundo dos tributários avaliados (n=15) foi de $9,93 \pm 11,10$ mg/kg e no rio Madeira (n=13) de $16,05 \pm 8,86$ mg/kg. A concentração de níquel no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários foi, respectivamente, de $3,61 \pm 4,01$ mg/kg e $16,25 \pm 12,56$ mg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, de $10,14 \pm 1,96$ mg/kg e $19,75 \pm 9,58$ mg/kg (Figura VI.9).

Dentre os tributários avaliados na campanha de dezembro de 2011, o rio Contra apresentou a menor concentração de níquel (0,14 mg/kg), enquanto na campanha de março de 2012 o rio Branco apresentou a menor concentração de níquel (2,37 mg/kg). Ao se avaliar os maiores valores encontrados, o rio Caripunas apresentou concentração 9,83 mg/kg, na campanha de dezembro de

2011. Na campanha de março de 2012 o maior valor foi encontrado no Igarapé Jatuarana I, com concentração de 32,51 mg/kg.

No mesmo período hidrológico, enchente e águas alta na fase de pré-enchimento (2010-2011), o teor de níquel nos tributários foi, respectivamente, de $8,40 \pm 7,16$ mg/kg e $11,00 \pm 9,74$ mg/kg e no rio Madeira $18,02 \pm 1,81$ mg/kg e $18,77 \pm 1,90$ mg/kg.

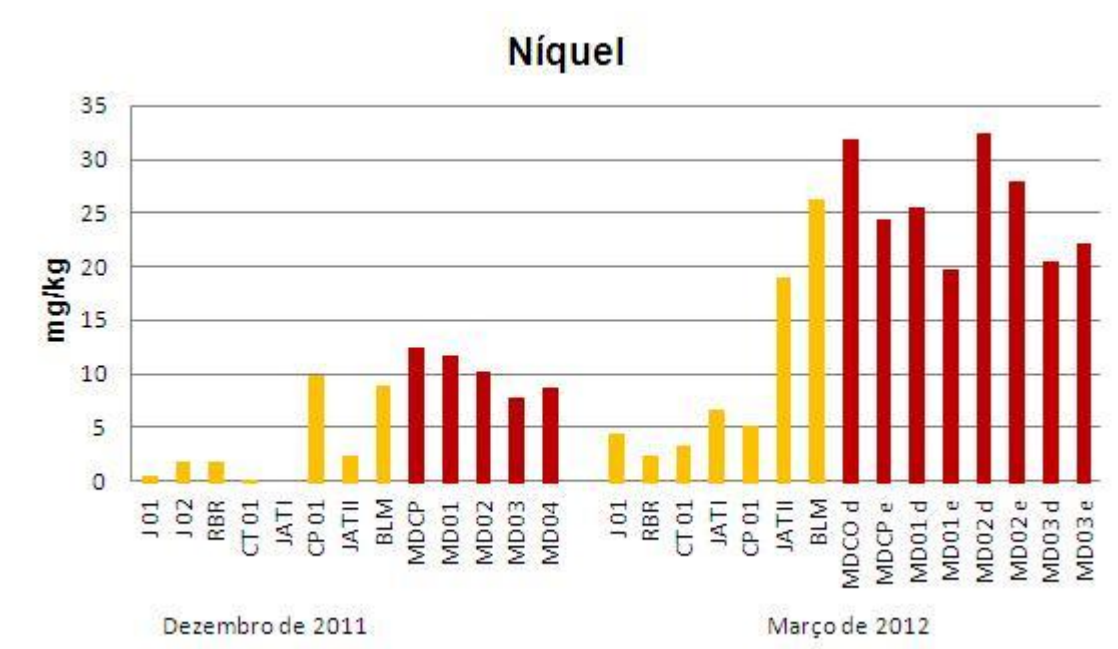


Figura VI.9. Concentração média de níquel no sedimento de fundo nas campanhas dos meses de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

A concentração média de zinco no sedimento de fundo dos tributários avaliados (n=15) foi de $21,27 \pm 14,38$ mg/kg e no rio Madeira (n=13) de $38,43 \pm 11,98$ mg/kg. A concentração de zinco no mês de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas) nos tributários, foi respectivamente, de $22,20 \pm 16,49$ mg/kg e $20,20 \pm 12,77$ mg/kg e no rio Madeira foi, respectivamente, de $47,38 \pm 10,13$ mg/kg e $32,84 \pm 9,71$ mg/kg (Figura VI.10).

Dentre os tributários avaliados, na campanha de dezembro de 2011, o rio Contra apresentou a menor concentração de zinco (6,61 mg/kg), enquanto na campanha de março de 2012 o Igarapé Jatuarana I apresentou a menor concentração de zinco (8,60 mg/kg). Ao se avaliar os maiores valores encontrados, o rio Caripunas apresentou concentração de 51,89 mg/kg na campanha de dezembro de 2011. Na campanha de março de 2012 o maior valor foi encontrado no Igarapé Belmont, com concentração de 46,71 mg/kg.

No mesmo período hidrológico, enchente e águas altas na fase de pré-enchimento (2010-2011), o teor de zinco nos tributários foi, respectivamente, de $39,71 \pm 19,62$ mg/kg e $41,05 \pm 24,71$ mg/kg e no rio Madeira $62,04 \pm 7,72$ mg/kg e $61,03 \pm 7,98$ mg/kg.

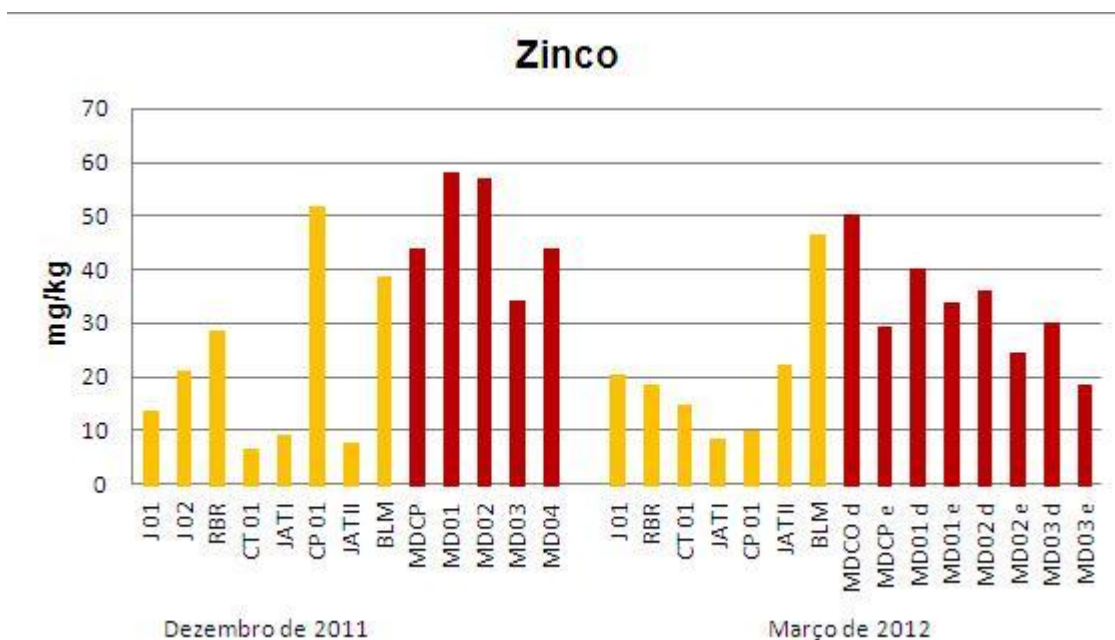


Figura VI.10. Concentração média de zinco no sedimento de fundo nas campanhas dos meses de dezembro de 2011 (enchente) e março de 2012 (águas altas). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

VI. Considerações

- A concentração média de Hg-T nos sedimentos de fundo se mantém dentro dos níveis normais;
- Destaque para o rio Jatuarana 1 que além de apresentar as mais elevadas médias de Hg-T vem também com os maiores percentuais de Metil-Hg, cerca de 6%;
- Os demais tributários, assim como também as estações no rio Madeira, apresentam percentuais de Metil-Hg abaixo de 1%.

VII. PEIXES (PX)

As amostras de peixes (tecido muscular) foram obtidas junto ao Programa de Ictiofauna, portanto se fez uso da malha amostral do referido Programa de monitoramento (Figura VII.1). Após as pescas no Laboratório de Ictiologia/UNIR foram retirados tecidos musculares do maior número de espécimes, onde se obteve também as informações de identificação das espécies, assim como dados biométricos das diversas espécies de peixes coletados.

As análises de Hg-T foram realizadas selecionando espécies de diferentes hábitos alimentares por localidade de coleta. Esse procedimento nos permite avaliar a variabilidade de concentração de Hg nas diversas espécies o que poderá subsidiar orientação de consumo humano, caso ocorra teores que superem a faixa de consumo preconizada pela legislação brasileira.

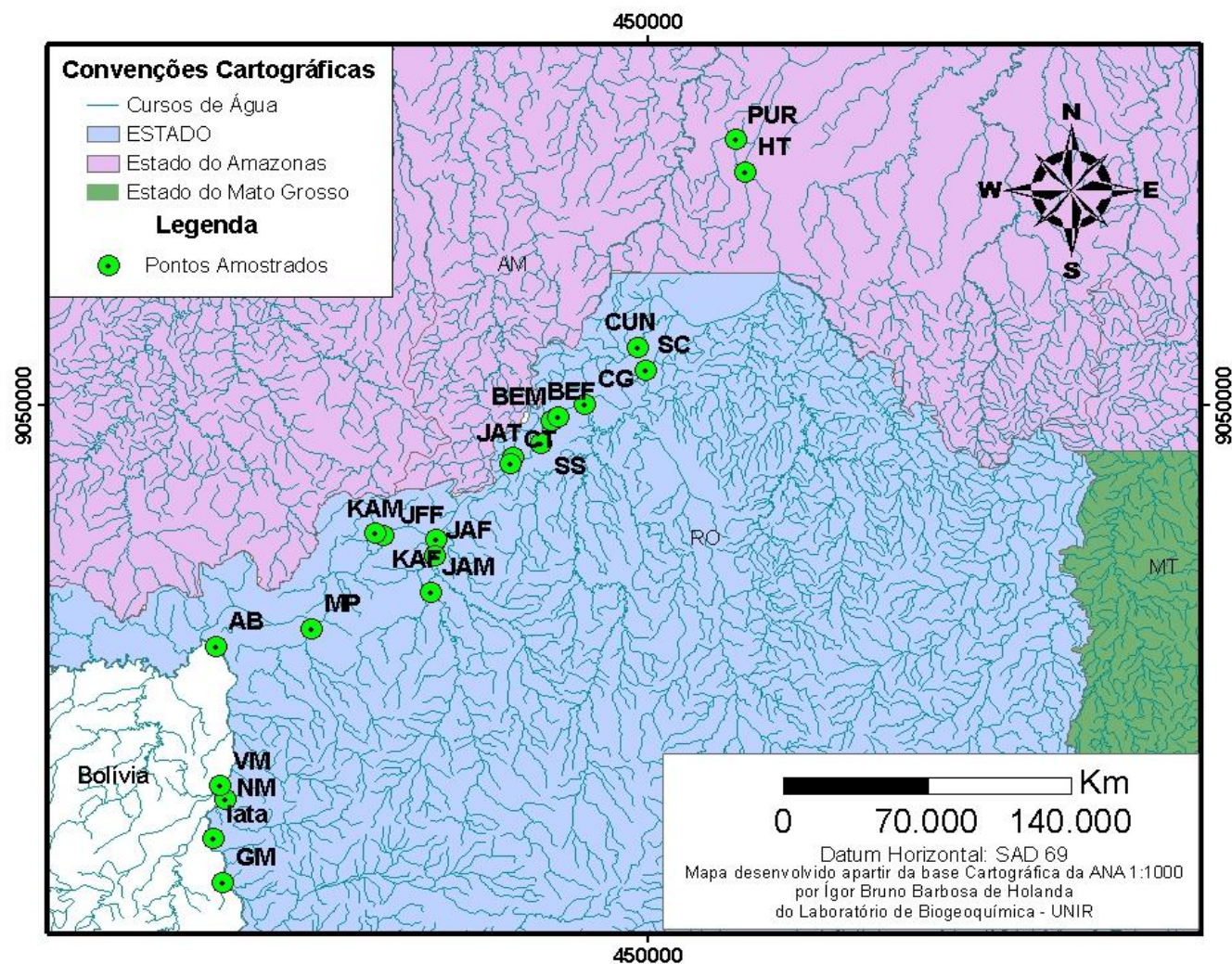


Figura VII.1. Desenho amostral dos pontos de coleta do programa de Ictiologia: GM = Guajará-Mirim; Iata = Comunidade Iata; NM = Comunidade Nova Mamoré; VM = Comunidade Vila Murтинho; AB = Comunidade Abunã; MP = Comunidade Mutum Paraná; JAM = Rio Jaci-Paraná montante; JAF = Rio Jaci-Paraná foz; JFF = Rio Jaci-Paraná foz foz; KAF = Igarapé Caripunas foz; KAM = Igarapé Caripunas montante; JAT = Igarapé Jatuarana; SS = São Sebastião; CT = Comunidade Teotônio; BEM = Igarapé Belmont montante; BEF = Igarapé Belmont foz; CG = Comunidade Cujubim Grande; SC = Comunidade São Carlos; CUN = Lago Cuniã; PUR = Lago Puruzinho; HT = Comunidade Humaitá.

Para a determinação de Hg-T as amostras de tecido muscular foram descongeladas e pesadas em balança de precisão (peso fresco), para os de hábito alimentar carnívoros pesou-se cerca de 0,200g e os não carnívoros pesou-se cerca de 0,400g, ambos peso úmido (p.u.). Para o controle de qualidade analítico utilizou-se uma amostra de referência certificada DORM-2 (NRC–Canadá).

A digestão química foi realizada seguindo-se os métodos de Bastos et al (1998), onde foram colocados nas amostras H₂O₂ concentrado e solução sulfonídrica 1:1 (HNO₃:H₂SO₄). Em seguida as amostras foram colocadas em blocos digestores a temperatura de 70°C. Após 30 min foi adicionada às amostras a solução de KMnO₄ 5 % e recolocadas no bloco digestor por mais 20 minutos. Após cerca de 12 h em repouso (*overnight*) foram adicionadas às amostras gotas de cloridrato de hidroxilamina a 12%. A leitura das amostras para quantificação de Hg-T foi realizada no espectrofotômetro de absorção atômica por vapor frio (FIMS-400, Perkin Elmer).

VII.1. Resultados

Na tabela VII.1 e na figura VII.2 são apresentados os valores das concentrações média de Hg-T da ictiofauna por hábitos alimentares, considerando os períodos que antecedem o enchimento do reservatório e do pós-enchimento. Há necessidade ainda em se ampliar o n amostral, porém até o momento não se observa diferenças significativas entre os períodos.

Tabela VII.1. Concentração média de Hg-T em diferentes hábitos alimentares de espécies de peixes da bacia do rio Madeira coletados nos períodos de pré-enchimento e do início da estabilização do represamento da UHE-Santo Antônio.

Hábito Alimentar	Pré-Enchimento				Pós-Enchimento		
	Média (mg/kg)	DP	n		Média (mg/kg)	DP	n
Iliófagos	0,2379	0,1189	21		-	-	-
Insetívoros	0,3358	0,2434	47		-	-	-
Invertívoros	0,1710	0,1025	11		-	-	-
Lepdófagos	0,2358	0,1191	21		-	-	-
Herbívoros	0,1067	0,1821	183		0,0220	0,0001	03
Detritívoros	0,1014	0,0796	518		0,1140	0,0677	03
Planctívoros	0,4090	0,2773	93		0,3443	0,3186	02
Onívoros	0,2265	0,2104	544		0,1810	0,3263	11
Carnívoros	0,4179	0,2968	201		0,1541	0,0982	06
Piscívoros	0,9362	0,8752	461		0,5206	0,4118	10
		Total	2100			Total	35

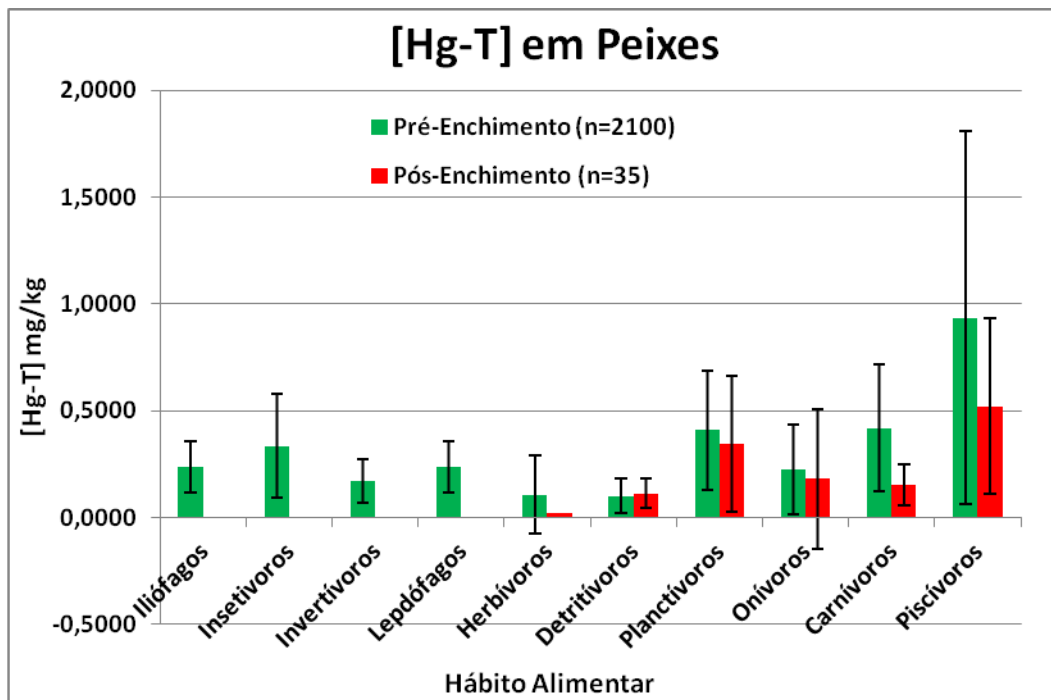


Figura VII.2. Valores médios de Hg-T em peixes de diferentes tipos de hábitos alimentares do rio Madeira.

VII.2. Considerações

- Até o momento não se observa diferenças entre as concentrações de Hg-T nas espécies de peixes antes e depois do represamento da UHE-Santo Antônio, embora seja necessário ampliar o **n** amostral do pós-enchimento/estabilização;
- Espécimes com valores próximo a 1,00mg/kg de Hg-T estão sendo separadas para as determinações de Metil-Hg, assim como, sendo ampliado o **n** amostral e analítico do período de estabilização.

VIII. MACRÓFITAS AQUÁTICAS (MA)

Conforme proposto no item 4.2 do Programa Básico Ambiental (PBA) e de acordo com o EIA-RIMA (2004) que prevê um favorecimento da proliferação de bancos de macrófitas aquáticas no reservatório da UHE Santo Antônio em sua fase de enchimento e operação, este relatório visa apresentar as primeiras concentrações de mercúrio total (Hg-T), cobalto (Co), Cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), ferro (Fe) e manganês (Mn) em macrófitas aquáticas amostradas no período de estabilização, referentes à coleta realizada no mês de abril de 2012. A evolução das concentrações destes elementos, referentes ao mesmo período durante os dois anos iniciais de monitoramento, também serão apresentadas.

As macrófitas aquáticas são plantas vasculares com grande capacidade de absorver e concentrar poluentes, sendo, portanto bastante utilizadas em biomonitoramento aquático. Nesse

sentido, Coelho-Souza et al. (2006) relatam que as macrófitas aquáticas desempenham um papel importante no ciclo do Hg, pois suas raízes constituem principal local de formação do metilmercúrio (Metil-Hg), composto neurotóxico biomagnificado na cadeia trófica.

Dentre as macrófitas, destaca-se a *Eichornia crassipes* que vem sendo utilizada em diferentes estudos: tratamento de esgoto urbano (ZIMMELS et al. 2006), fito-remediação (FAYED & ABD-EL-SHAFY 1985; MISRHA & TRIPATHI 2008; AGUNBIADE et al. 2009), além das investigações quanto às concentrações de Hg, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe e Mn em suas raízes, talos e folhas.

VIII.1. Material e Métodos

VIII.1.1. Amostragem

As macrófitas foram coletadas manualmente em abril de 2012 (Figura VIII.1) pela equipe do laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer. Essas macrófitas foram retiradas de bancos de macrófitas (Figuras VIII.2 e VIII.3) que foram selecionados com base em sua extensão (30 a 500 m²) e distância (1,0 km entre localidades), tendo em vista o retorno a esses bancos em futuras amostragens, a fim de verificar sua provável proliferação, bem como investigar a evolução das concentrações dos metais durante o período de estabilização. Por ser mais eficiente na absorção de metais pesados a espécie *Eichornia crassipes* (MISRHA, et al. 2009) foi selecionada para ser utilizada no monitoramento. Essas macrófitas foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados e refrigerados.

VIII.1.2. Análises de laboratório

Em laboratório, as macrófitas foram lavadas com água deionizada (Figura VIII.4), secas em estufas a 40°C (Figura VIII.5) e trituradas em moinho (De Leo equipamentos).

Pesou-se cerca de 0,5g de amostra (peso seco) em duplicata em balança analítica (modelo AM 220), cuja extração foi realizada adicionando-se 1,0 mL de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (Merck[®]), 6,0 mL de ácido nítrico concentrado (HNO₃) (Merck[®]), permanecendo até a completa solubilização em bloco digestor (TECNAL[®]) a 90°C (Figura VIII.6). Após as amostras terem esfriado, adicionou-se 6,0 mL de permanganato de potássio (KMnO₄ 5%) (Merck[®]). As amostras permaneceram em overnight. No dia seguinte, adicionou-se, por titulação, gotas de cloridrato de hidroxilamina (NH₂.OH.HCl 12%) (Merck[®]) e filtrou-se as amostras aferindo-se a um volume final de 13 mL (BASTOS et al. 1998). As concentrações de Hg-T foram obtidas pelo espectrofotômetro de absorção atômica com geração de vapor frio (FIMS-400), fabricado por Perkin-Elmer (Figura VIII.7).

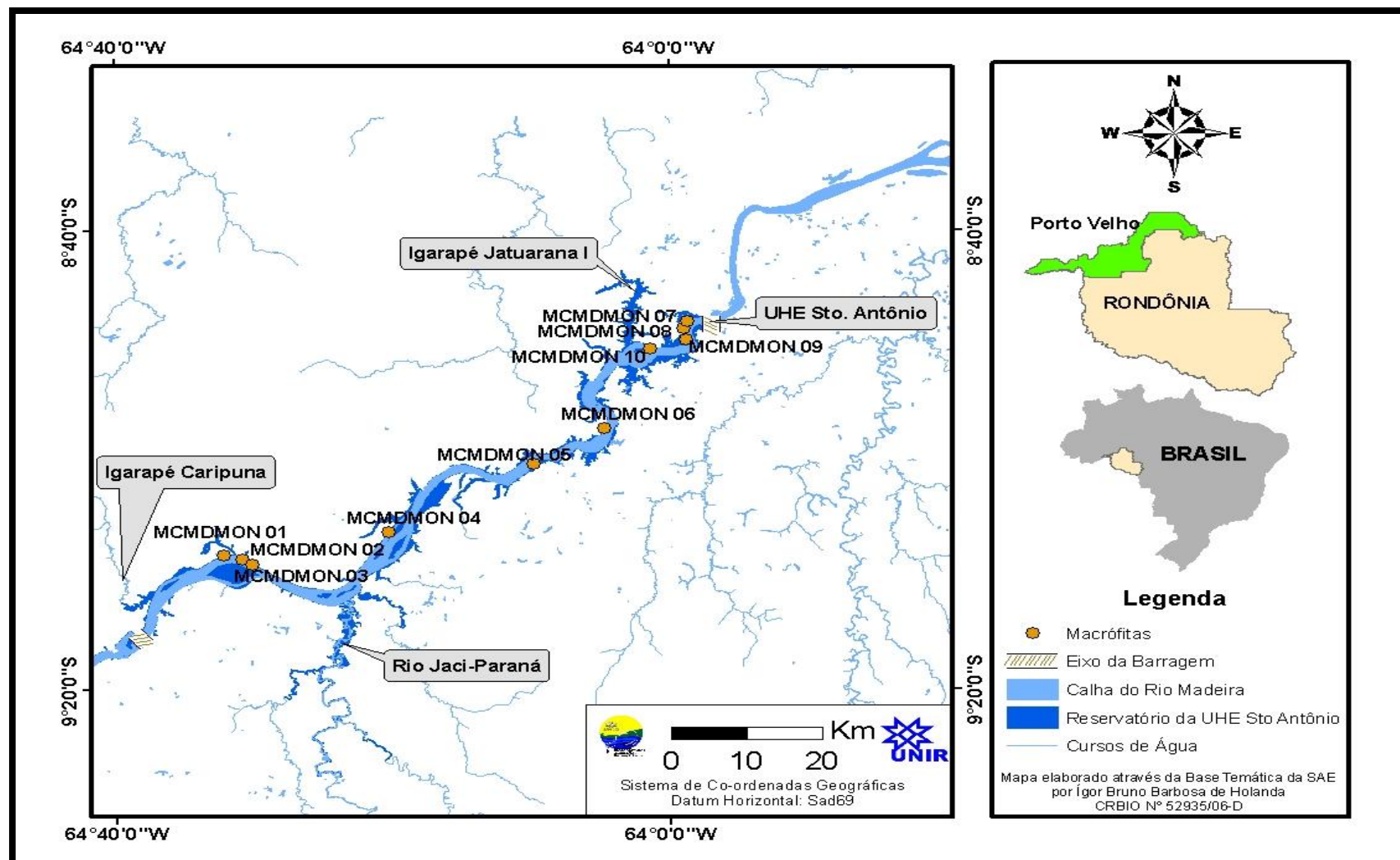


Figura VIII.1. Locais onde foram amostradas as *Eichornia crassipes* em abril de 2012.



Figura VIII.2. Banco de macrófitas.
Foto: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental.



Figura VIII.3. *Eichornia crassipes*.
Foto: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental.



Figura VIII.4. Lavagem das macrófitas.
Foto: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental.



Figura VIII.5. Secagem das macrófitas.
Foto: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental.

Para os demais elementos traço, pesou-se cerca de 5,0 g de amostra, também em duplicata, que foram primeiramente calcinadas por 48hs, em forno mufla (EDG equipamentos) a 450° C (Figura VIII.8). Em seguida, realizou-se a extração química, adicionando-se 05 mL de HNO₃ concentrado, às amostras que permaneceram em processo de evaporação em chapa aquecedora (Quimis[®]) até sua evaporação, 05 mL de ácido clorídrico (HCl) (Merck[®]), sofrendo novo processo de evaporação em chapa quente (figura 09). Em seguida adicionou-se 15 mL de HCl 0,1 N e as amostras foram filtradas em filtros (Prolab JP40) aferindo-as a um volume final de 15 mL (Kalra & Maynard, 1991). As concentrações de Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe e Mn foram obtidas pelo espectrofotômetro de absorção atômica por chama (*A-Analyst*).



Figura VIII.6. Solubilização química das macrófitas.

Foto: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental.



Figura VIII.7. Quantificação de Hg-T nas macrófitas.

Foto: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental.



Figura VIII.8. Calcinação das macrófitas em forno mufla.

Foto: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental.



Figura VIII.9. Solubilização química das amostras em chapa quente.

Foto: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental.

É importante destacar que para controle de qualidade das análises químicas, as amostras foram solubilizadas em duplicata acompanhadas de dois brancos controles, cujo valor médio, foi subtraído de possíveis contaminações do ambiente de trabalho ou reagentes utilizados nas extrações químicas. Todo o material utilizado foi lavado com sabão neutro e por 24hs permaneceram em solução de ácido nítrico 5% para descontaminação. Para se ter certeza do grau analítico dos resultados obtidos, utilizou-se uma amostra de referência certificada IAEA-140 (International Atomic Energy Agency – Analytical Quality Control Services), analisada também em duplicata, que apresentou 105% de recuperação, atestando assim a confiabilidade da análise química.

VIII.1.3. Resultados e Discussão

O gradual enchimento do reservatório favoreceu a proliferação de bancos de macrófitas às margens do rio Madeira, conforme previsto no EIA-RIMA. Esses bancos estendem-se de 30 a 500 m², sendo *Eichornia crassipes* a espécie predominante. É importante destacar que a biodiversidade das macrófitas aquáticas era extremamente reduzida durante a fase do pré-enchimento do reservatório. Pode-se dizer que esse incremento na ocorrência de macrófitas às margens do rio

Madeira pode estar associado ao aumento no processo de sedimentação, conforme ocorreu no reservatório da UHE Mogi-Guaçu (CAVENAGHI et al. (2005).

As concentrações médias de Hg, Co, Cr, Pb, Ni, Cu, Zn, Fe e Mn em 10 macrófitas aquáticas (*Eichornia crassipes*) amostradas no rio Madeira, em abril de 2012 (período de águas altas), estão expressas na tabela VIII.1.

As concentrações de metais pesados em *Eichornia crassipes* apresentadas na tabela xxx são referentes ao período de estabilização do reservatório (abril de 2012). Ao compará-las com as concentrações dos metais pesados durante o pré-enchimento, apenas abril de 2010 (n = 03) e abril de 2011 (n = 02), percebe-se que Co, Cr, Pb, Ni, Cu, Fe e Mn apresentaram um aumento considerável em 2011, ao contrário do Hg e do Zn que apresentaram decréscimo em suas concentrações (Figuras VIII.10 e VIII.11).

A tabela VIII.2 apresenta comparações entre as médias das concentrações dos metais em macrófitas nos períodos de pré-enchimento e estabilização do reservatório. Percebe-se que para todos os metais houve um decréscimo nas concentrações (em mg.kg^{-1}).

Sobre as concentrações de metais em macrófitas, Olivero & Beatris (1998) encontraram níveis de Hg em *Eichornia crassipes* de um pântano que recebe descargas de Hg de uma mina de ouro na Colômbia que variaram entre 0,219 a 0,277 mg.kg^{-1} . Molina et al. (2010) quantificaram concentrações de Hg que variaram entre 0,064 a 0,102 mg.kg^{-1} em macrófitas no período de águas altas da planície de inundação do rio Beni. Os valores encontrados por Olivero e Brito (1998) foram superiores aos deste monitoramento, enquanto as concentrações mais baixas quantificadas por Molina et al. foram semelhantes às do período de pré-enchimento do reservatório (2010).

Em folhas de *Eichornia crassipes* Pfeiffer (1986) encontrou concentrações médias Pb, Cr, Cu e Zn inferiores às quantificadas para o período de pré-enchimento e estabilização do reservatório da UHE Santo Antônio (2,6 - 5,2 mg.kg^{-1} ; 0,6 - 1,6 mg.kg^{-1} ; 5,3 - 10,4 mg.kg^{-1} e 70 - 100,9 mg.kg^{-1} , respectivamente).

De uma forma geral, as macrófitas analisadas apresentaram concentrações de Hg, Co, Cr, Pb, Ni, Cu, Zn, Fe e Mn condizentes com às de áreas não contaminadas, entretanto, é importante destacar que as concentrações médias encontradas são superiores às do EIA-RIMA (Hg: 0,0005 – 0,0020 mg.kg^{-1} ; Cu= 8,87 mg.kg^{-1} ; Cr= 0,64 mg.kg^{-1} ; Zn= 25,26 mg.kg^{-1} e Mn= 321,41 mg.kg^{-1}).

Tabela VIII.1. Concentrações médias de metais pesados (mg/kg)* em *Eichornia crassipes* amostradas no rio Madeira em abril de 2012.

Data da Coleta	Código de Campo	Código de Laboratório	Coordenadas		Hg*	Co*	Mn*	Cr*	Ni*	Pb*	Cu*	Fe*	Zn*
			Longitude	Latitude									
24/04/2012	MCMDMON04	MCMD 28455	352928,98	8993303,31	0,0042	2,11	803,11	0,67	4,26	5,47	10,67	300,20	18,15
24/04/2012	MCMDMON03	MCMD 28456	334858,54	8988058,23	0,0043	2,42	470,06	1,17	6,68	5,00	13,30	466,44	16,13
24/04/2012	MCMDMON05	MCMD 28457	372073,80	9004321,36	0,0047	2,26	635,01	0,65	6,75	4,79	12,87	108,54	25,08
24/04/2012	MCMDMON01	MCMD 28458	331133,51	8989464,91	0,0071	2,69	895,70	0,66	3,90	6,18	10,07	127,24	21,79
24/04/2012	MCMDMON02	MCMD 28459	333451,42	8988915,01	0,0044	2,56	915,83	0,69	3,86	5,89	9,23	174,22	18,10
24/04/2012	MCMDMON06	MCMD 28460	381420,58	9010036,97	0,0033	2,32	679,90	0,60	5,23	5,79	10,63	121,92	19,83
25/04/2012	MCMDMON07	MCMD 28474	392495,66	9027244,27	0,0044	2,32	542,06	0,67	4,96	5,68	9,22	174,00	20,10
25/04/2012	MCMDMON08	MCMD 28475	391905,71	9026180,48	0,0042	2,21	478,33	0,83	6,57	6,18	10,38	186,45	21,93
25/04/2012	MCMDMON09	MCMD 28476	392289,49	9024280,26	0,0047	2,37	935,15	0,83	5,67	6,14	10,27	179,43	20,92
25/04/2012	MCMDMON10	MCMD 28477	387591,55	9022889,47	0,0042	2,35	669,65	0,67	3,93	5,82	10,28	125,73	21,58

Tabela VIII.2. Concentrações médias de metais pesados (mg/kg)* em *Eichornia crassipes* amostradas no rio Madeira no pré e pós-enchimento da UHE-Santo Antonio.

Metais*	PRÉ-ENCHIMENTO		ESTABILIZAÇÃO	
	Média ± DP	Min - Max	Média ± DP	Min - Max
Hg	0,0060 ± 0,0018	0,0043 - 0,0094	0,0045 ± 0,0010	0,0033 - 0,0071
Co	4,47 ± 3,47	1,62 - 10,00	2,36 ± 0,17	2,11 - 2,69
Cr	5,98 ± 3,59	1,69 - 10,18	0,74 ± 0,17	0,60 - 1,17
Pb	8,15 ± 6,45	1,37 - 16,27	5,69 ± 0,48	4,79 - 6,18
Ni	11,66 ± 7,19	5,62 - 22,50	5,18 ± 1,19	3,86 - 6,75
Cu	19,65 ± 15,02	3,38 - 38,66	10,69 ± 1,36	9,22 - 13,30
Zn	26,24 ± 10,31	13,05 - 40,47	20,36 ± 2,51	16,13 - 25,08
Fe	1130,22 ± 1172,14	191,95 - 3384,08	196,42 ± 109,61	108,54 - 466,44
Mn	2650,86 ± 2050,24	295,99 - 5686,60	702,48 ± 177,40	470,06 - 935,15

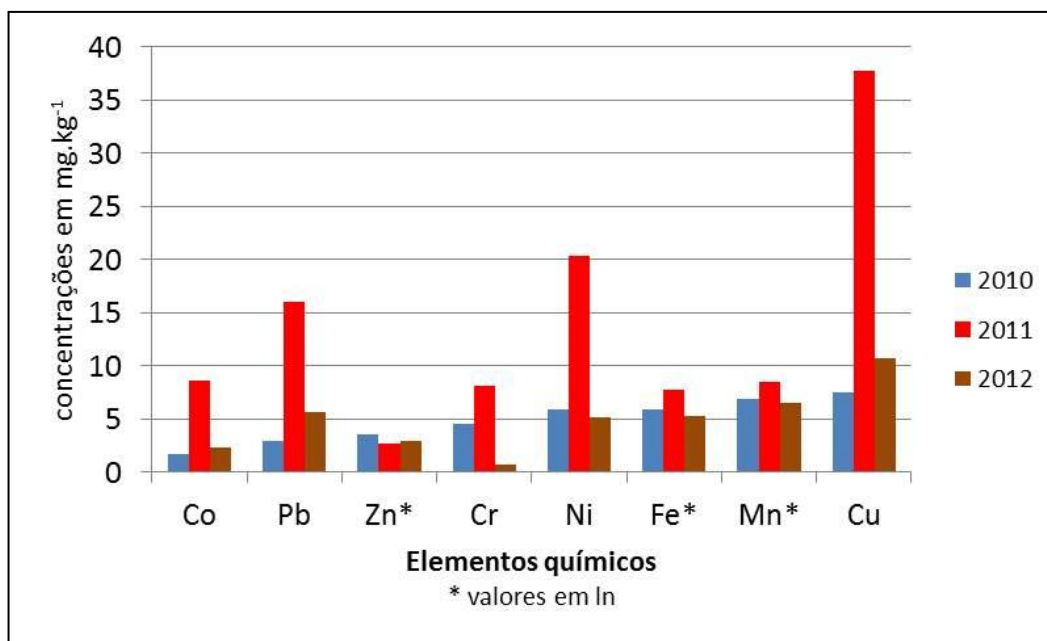


Figura VIII.10. Concentrações de Co, Pb, Zn, Cr, Ni, Fe, Mn e Cu (mg.kg^{-1}) em *Eichornia crassipes* amostradas no rio Madeira no período de cheia (abril de 2010, 2011 e 2012).

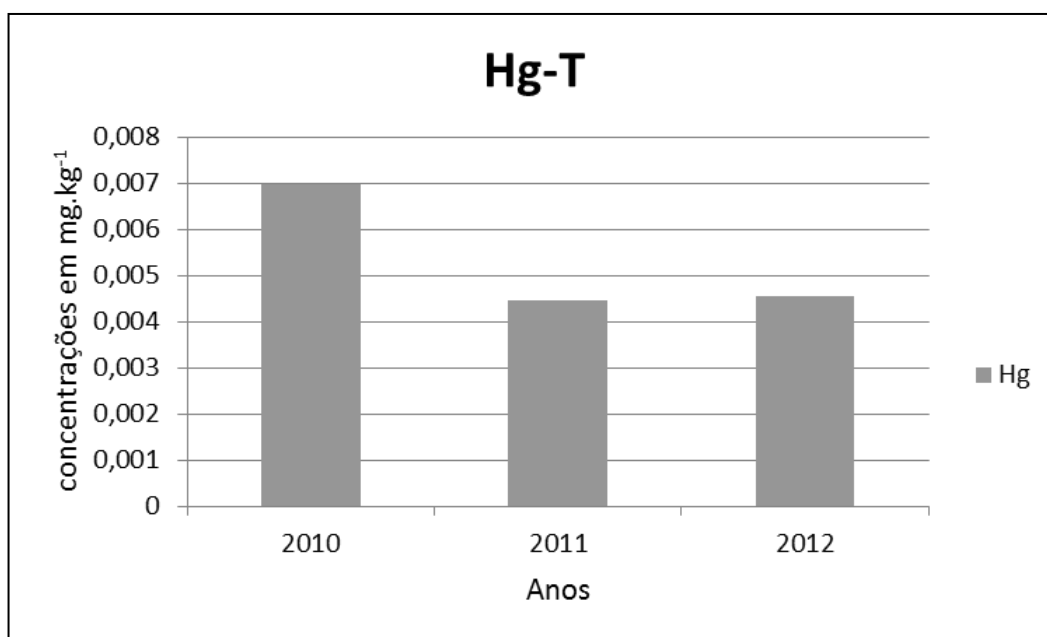


Figura VIII.11. Concentrações de Hg-T (mg.kg^{-1}) em *Eichornia crassipes* amostradas no rio Madeira no período de cheia (abril de 2010, 2011 e 2012).

A figura VIII.12 apresenta as concentrações médias de todos os metais pesados monitorados transformadas por ln (log natural), considerando os anos de 2010, 2011 e 2012.

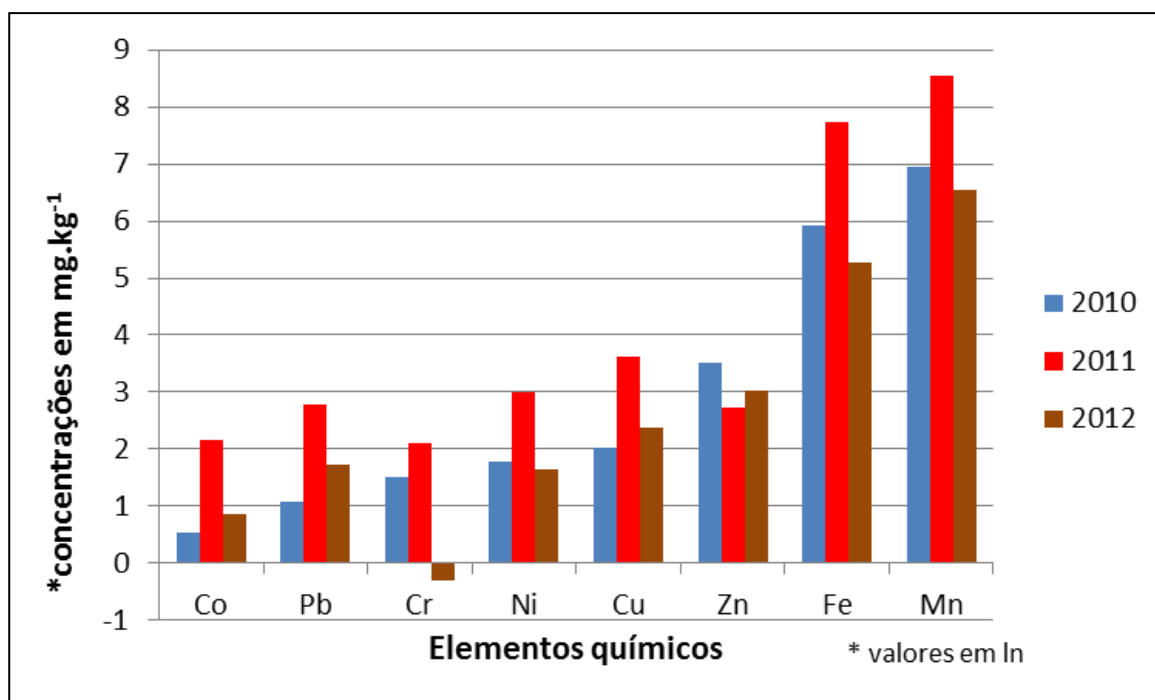


Figura VIII.12. Concentrações médias dos metais pesados em *Eichornia crassipes* amostradas no rio Madeira nos anos de 2010, 2011 e 2012.

VIII.4. Considerações

- Houve um leve decréscimo nas concentrações média dos metais pesados em macrófitas aquáticas comparando os períodos de pré-enchimento e estabilização;
- Até o momento as macrófitas apresentam concentrações de Hg, Co, Cr, Pb, Ni, Cu, Zn, Fe e Mn condizentes com às de áreas não contaminadas.

IX. PLÂNCTONS (PL)

A amostragem de plâncton (zooplâncton e fitoplâncton) está sendo realizada conforme cronograma na tabela III.1, nos ambientes lânticos formados pelo reservatório como Jaci-Paraná, Jatuarana e Teotônio. Para amostragem e análise de plâncton foi utilizado como referencia base estudos realizados por Tremblay et al (1998).

As amostras de plânctons foram coletadas com o auxílio de redes de arraste com abertura de malha entre 25 e 68µm. Processos utilizando-se de lavagem com água ultra-pura e centrifugação foram utilizados com objetivos de retirar os sólidos em suspensão que permanecerem aderidos às amostras. Estas amostras foram então liofilizadas para a posterior determinação de Hg-T e MeHg.

A figura IX.1 apresenta o histórico dos valores médios de Hg-T no fitoplâncton <25µm das amostragens realizadas de maio de 2009 a março de 2012.

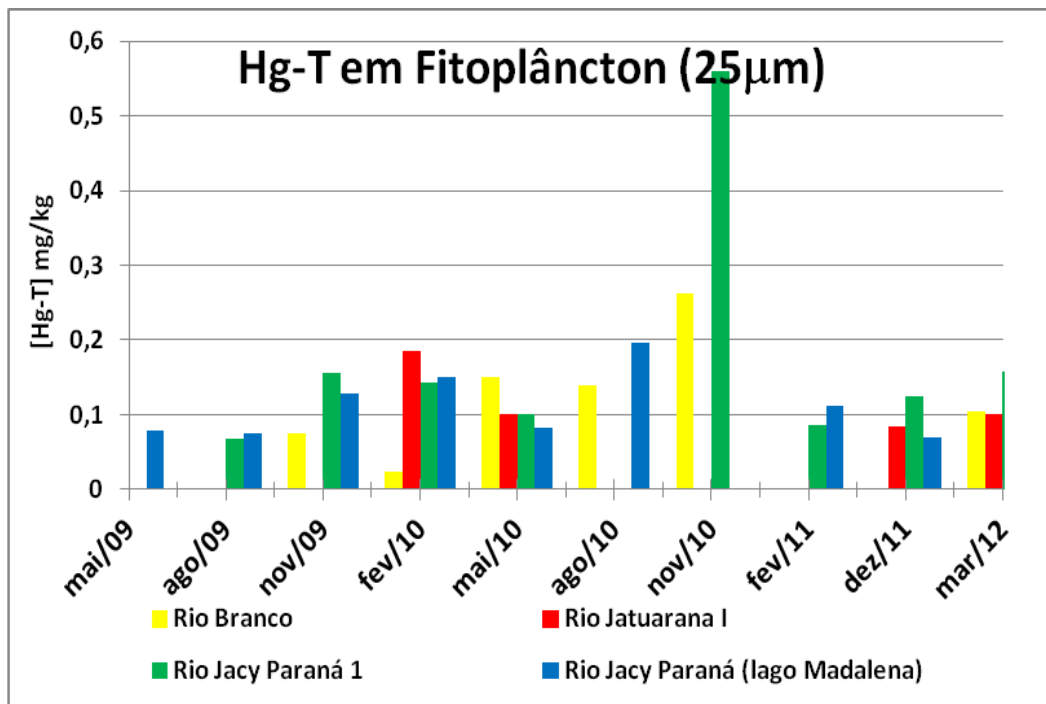


Figura IX.1. Histórico da concentração média de Hg-T no fitoplâncton nos tributários do rio Madeira.

As figuras IX.2 e IX.3 apresentam o histórico dos valores médios de Hg-T no zooplâncton <70µm e <160µm das amostragens realizadas de maio de 2009 a março de 2012.

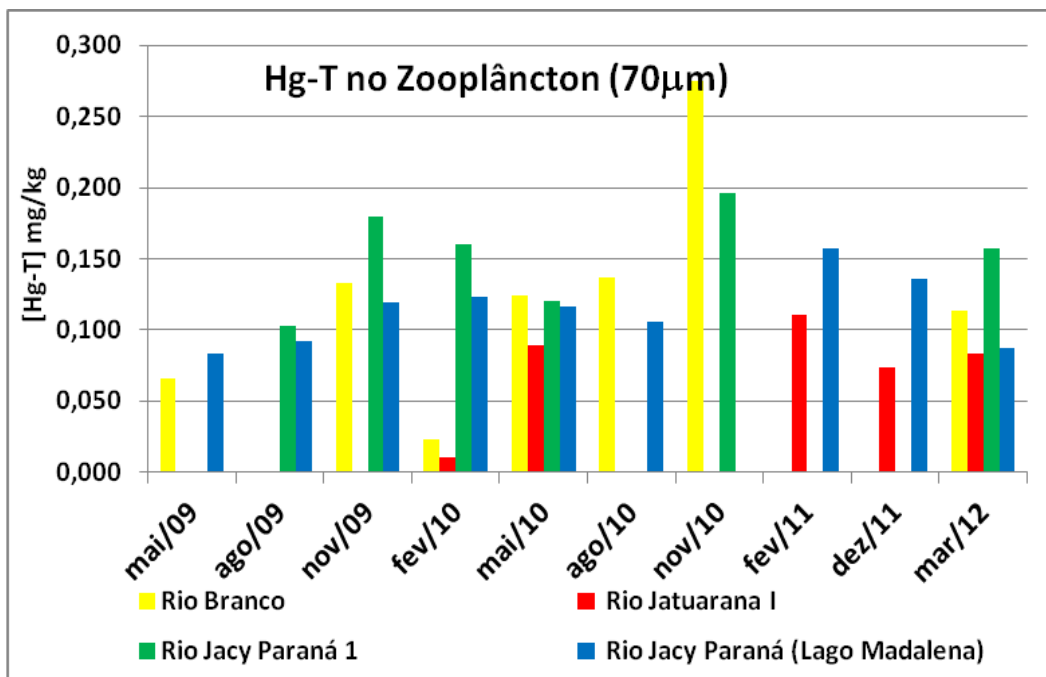


Figura IX.2. Histórico da concentração média de Hg-T no zooplâncton (70µm) nos tributários do rio Madeira.

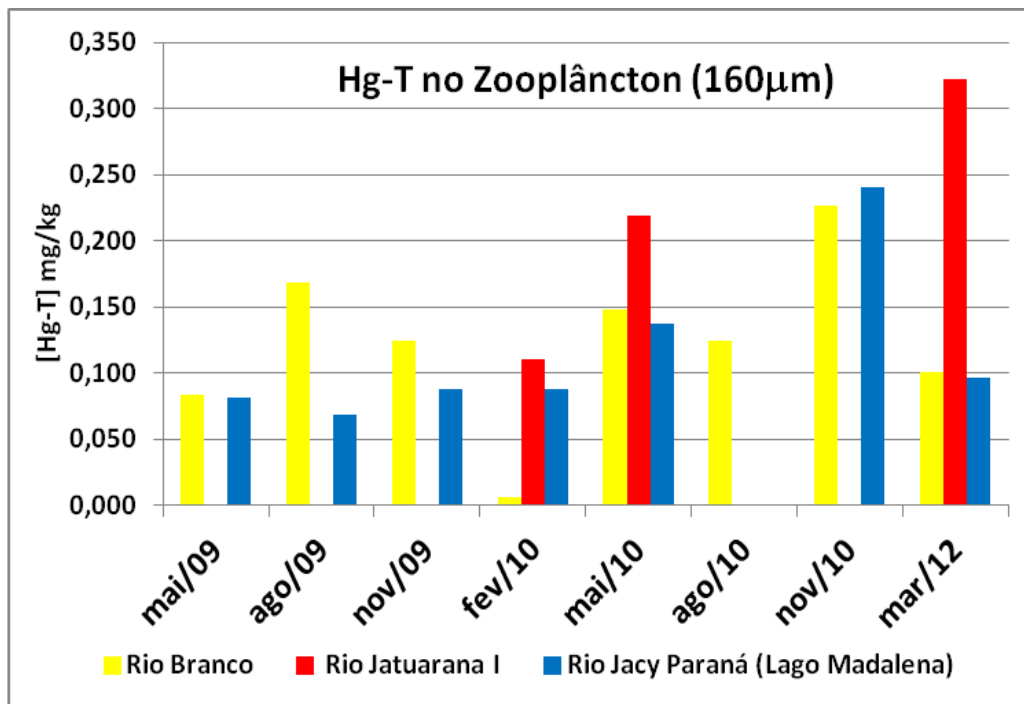


Figura IX.3. Histórico da concentração média de Hg-T no zooplâncton (<160µm) nos tributários do rio Madeira.

IX.1. Considerações

- Tanto o fito como zooplâncton não apresentaram variações acima do esperado nas concentrações de Hg-T ao longo do monitoramento até o momento;
- Destaque para os níveis de Hg-T no zooplâncton (>160mm) no rio Jatuarana I que se apresenta 3 vezes mais elevado que nos rios Branco e Jacy-Paraná, que será acompanhado com mais atenção nos meses seguintes.

X. CANTEIRO DE OBRAS (CO)

X.1. Monitoramento de Hg na Área de Movimentação de Terras

Atividades desenvolvidas no ecossistema terrestre na área de influência direta do empreendimento, como a remoção de sedimentos, de solo e de fragmentos de rochas que estão sendo realizadas durante a implantação das estruturas físicas da barragem, nesse momento na margem esquerda do rio Madeira. Estes procedimentos podem contribuir como a mobilização do Hg para o ecossistema aquático. Estas atividades foram monitoradas quanto a sua eficiência em disponibilizar Hg para o ecossistema aquático do rio Madeira, a fim de verificar sua real contribuição no ciclo biogeoquímico do Hg na bacia do rio Madeira.

Essas amostras foram coletadas, conforme cronograma na tabela III.1, com trado tipo holandês e armazenada em sacos de polietileno no Canteiro de Obras (CO) e nos Bota Foras (BF).

No laboratório foram separadas granulométricamente ($<74\mu\text{m}$), secas, maceradas e analisadas os teores de Hg-T. Os outros metais pesados citados nos objetivos também foram analisados.

A área monitorada é referente aos locais onde está ocorrendo a dragagem de sedimentos e retirada de solos e de rochas para implementação das turbinas do empreendimento hidrelétrico na Cachoeira de Santo Antônio. A coleta das amostras de sedimentos consistiu da caracterização da seção horizontal e vertical na área de dragagem, a partir da amostragem de sedimentos que representam os materiais a serem dragados. A distribuição espacial da amostragem é representativa da dimensão da área e do volume a ser dragado e as profundidades das coletas das amostras foram representativas da cota a ser dragada. Inicialmente adotou-se a Resolução CONAMA 344 para estabelecimento de valores orientadores para as concentrações de Hg nos sedimentos dragados. Para estudo das áreas de “bota-fora” fez-se uma adaptação da metodologia da CETESB para a investigação preliminar de áreas potencialmente contaminadas. Desta forma elaborou-se uma malha amostral no principal “bota-fora” da margem direita do rio Madeira para investigar possíveis contaminações do material transportado do canteiro de obra para áreas de “bota-fora” permanentes.

A partir do início da movimentação de terras na margem esquerda do rio Madeira também foi realizada coletas nestas áreas e nos “bota-fora”.

O monitoramento do canteiro de obras foi realizado na medida em que eram realizadas escavações nas áreas onde estavam sendo construídas as ensecadeiras. A área de construção da UHE-Santo Antônio é uma área que a todo tempo passa por mudanças físicas por causa da construção do empreendimento, podendo ocorrer mobilização de Hg que hipoteticamente pode estar depositado nos sedimentos no leito do rio e área adjacentes. A tabela X.1 apresenta as atividades realizadas na área do Canteiro de Obras durante o período de monitoramento realizado. Para a coleta das amostras utilizou-se um trado holandês que permitiu a coleta de amostras de 0,1 a 1,0 m de profundidade. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos de polietileno, identificadas com código de campo e levadas ao laboratório de Biogeoquímica/UNIR onde receberam um código de laboratório e foram armazenadas em refrigerador a aproximadamente 4° C.

O procedimento analítico das amostras consistiu da homogeneização a úmido nos próprios sacos de polietileno utilizados em campo, através da aplicação de água ultra-pura (Milli-Q, Millipore) sendo, posteriormente, peneiradas na fração <200 mesh ($<74\mu\text{m}$), considerada a mais ativa fisicamente em processos de adsorção, por possuir maior área superficial. Em seguida, a fração fina do solo/sedimento é transferida para um gral de porcelana e seca em estufa a temperatura de 50° C. Para a determinação química de Hg foi feita a solubilização das amostras seguindo protocolo da técnica proposta por Bastos *et al* (1998). A análise de Hg foi realizada em espectrofotômetro de absorção atômica acoplado ao gerador de vapor frio da Perkin-Elmer (FIMS-

400) equipado com um sistema de injeção de fluxo (FIAS) com amostrador automático (AS90) utilizando *software* Winlab-Perkin-Elmer.

Para a determinação da fração fortemente ligada dos demais metais pesados Zn, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Cd e Pb seguiu-se o protocolo proposto por Campos (2003), utilizando-se de sistema aberto de digestão com uso de HNO₃ e HCl na proporção 1:3 (água régia) que equivale ao método empregado pela USEPA 3050. A quantificação das amostras foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica de chama (Perkin-Elmer, modelo AA-400).

As figuras X.1 e X.2 apresentam as aéreas monitoradas no canteiro de obras nas margens direita e esquerda, respectivamente, e a figura X.3 apresenta imagens de alguns momentos durante as coletas. O número de amostras foi variável entre as coletas, pois dependeu da área dos locais de escavação. À medida que havia novas frentes de escavação, deslocava-se a malha amostral, não sendo possível desta forma, coincidência de pontos e nem de material coletado devido às transformações na topografia do terreno e estabelecimento de áreas de concretagem.

As áreas de “bota-fora” estudadas apresentam materiais como fragmentos de rochas, sedimento e solo. Este material é disposto nos “bota-fora” sem separação entre sedimento e solo, logo o material do “bota-fora” representa uma variabilidade de sedimento e solos e material rochoso de leito de rio. A tabela X.1 apresenta as datas e os locais em que as amostragens foram realizadas.

Tabela X.1. Datas de visitas e coletas ao Canteiro de Obras UHE-Santo Antônio.

Descrição das atividades realizadas	Data
T 1 - Coleta de sedimento na ensecadeira margem direita e treinamento de pessoal	27/02/2009
T 2 - Coleta margem direita e margem esquerda ensecadeiras e áreas de bota fora	31/07/2009
T 3 - Coleta margem direita e margem esquerda ensecadeiras e áreas de bota fora	11/12/2009
T 4 - Coleta margem direita e margem esquerda ensecadeiras e áreas de bota fora	22/02/2010
T 5 - Coleta margem direita e margem esquerda ensecadeiras e áreas de bota fora	25/03/2010
T6 - Coleta margem direita e margem esquerda ensecadeiras e áreas de bota fora	20/05/2010
T7 - Coleta margem direita e margem esquerda ensecadeiras e áreas de bota fora	24/08/2010
T8 - Coleta margem direita e margem esquerda ensecadeiras e áreas de bota fora	02/12/2010
T9 - Coleta margem direita e margem esquerda ensecadeiras e áreas de bota fora	17/02/2011
Coleta margem direita e margem esquerda ensecadeiras e áreas de bota fora	06/06/2011
Coleta margem direita ensecadeiras e no igapó	01/07/2011
Coleta no igapó	23/09/2011
Coleta margem direita e margem esquerda ensecadeiras e áreas de bota fora	29/09/2011
Coleta na margem direita ensecadeiras	29/03/2012
Coleta margem esquerda ensecadeiras e no igapó	27/04/2012
Coleta margem esquerda ensecadeiras e igapó	30/05/2012

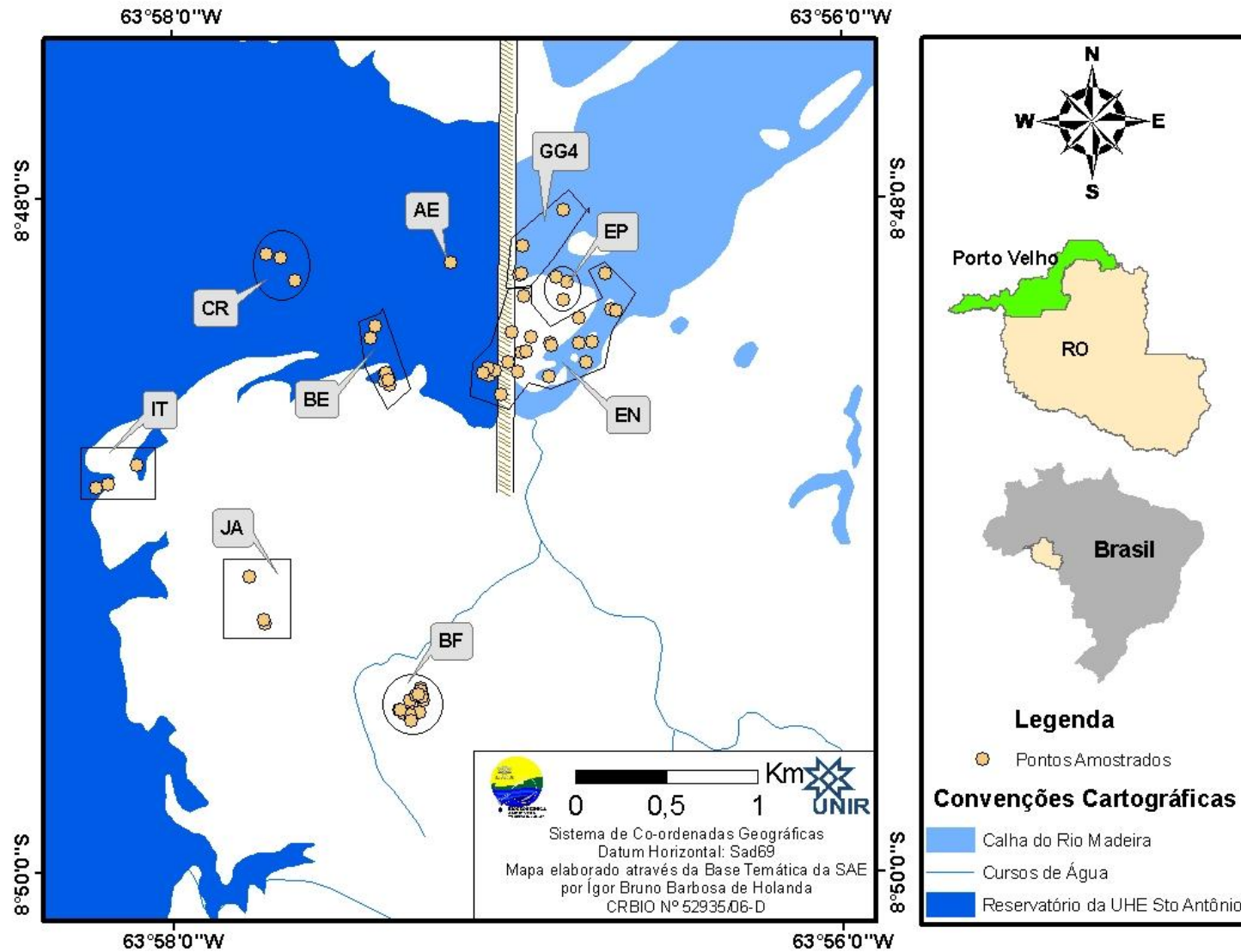


Figura X.1. Mapa de localização dos pontos de coleta na margem direita do Rio Madeira.

Legenda: EP = escadaria de peixes; GG4 = ensecadeira GG4; BE = bota-espera; AE = área de escavação; EN = ensecadeira; CR = caixa de rejeito; IT = interceptador de tronco; JA = jazida de argila.

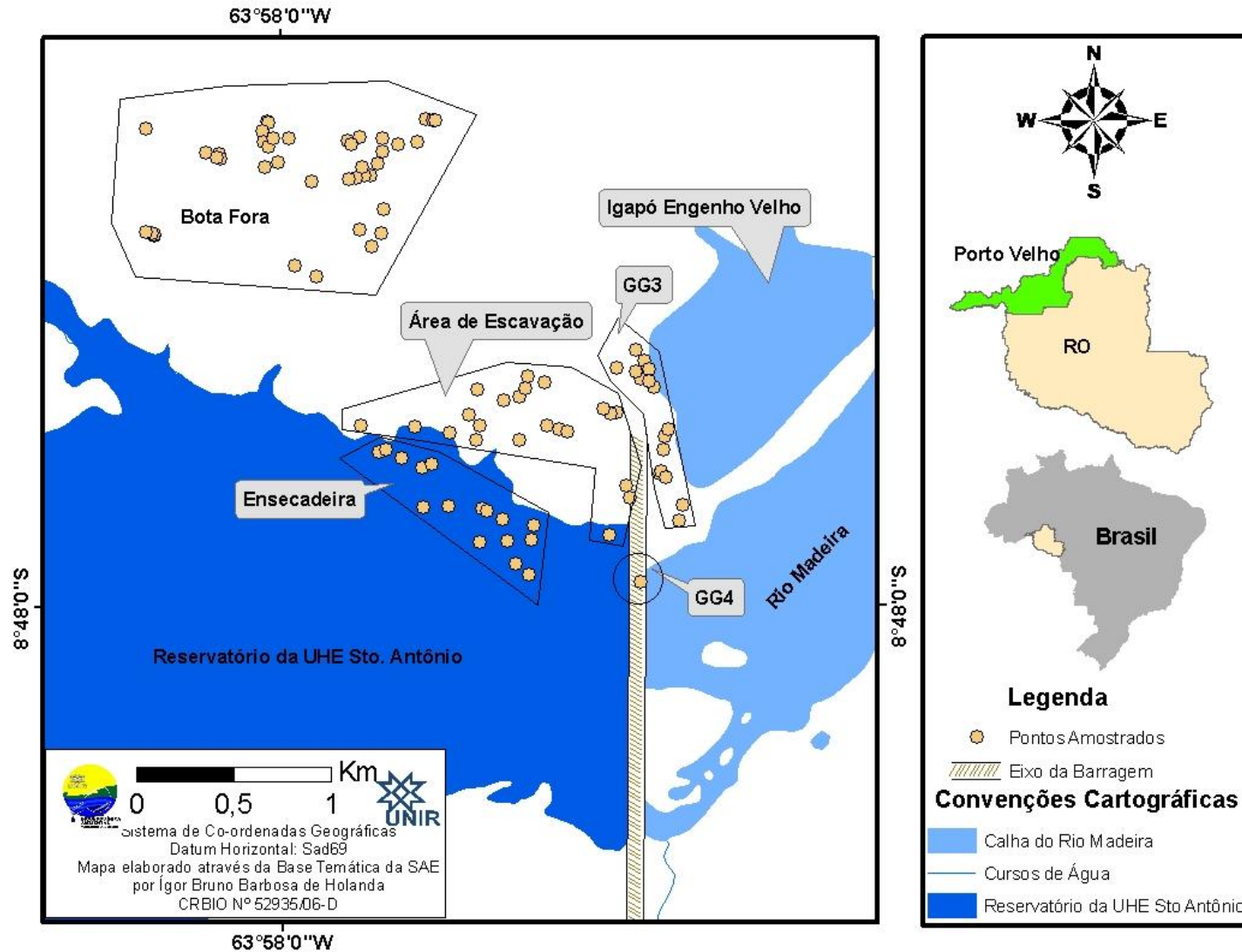


Figura X.2. Mapa de localização da área de estudo na margem esquerda do rio Madeira.

Legenda: GG3 = ensecadeira GG3, GG4 = ensecadeira GG4.



Figura X. 3. Coleta realizada no canteiro de obras.

A tabela X.2 apresenta a os períodos de coleta e os resultados das concentrações médias de Hg-T nos sedimentos, solos e fragmentos de rochas amostrados na margem direita do rio Madeira no Canteiro de Obras (Figura X.4). Nestes resultados comparando os valores de Hg-T encontrado no canteiro de obras com os valores encontrados no rio Madeira no EIA/RIMA em 2004.

Tabela X.2. Períodos das coletas e concentrações médias de Hg em mg.kg^{-1} encontrados nos sedimentos, solos e fragmentos de rochas coletados na **margem direita** do rio Madeira no Canteiro de Obras.

Data de Coleta	Hg-T (mg.kg-1)	D.P.	n
Fev/2009	0,061	0,050	06
Jul/2009	0,042	0,048	08
Dez/2009	0,079	0,032	07
Fev/2010	0,044	0,042	11
Mar/2010	0,063	0,045	05
Mai/2010	0,070	0,038	05
Ago/2010	0,034	0,017	05
Dez/2010	0,075	0,034	04
Fev/2011	0,088	0,021	05
Jun/2011	0,077	0,038	05
Ago/2011	0,023	0,002	02
Set/2011	0,063	0,033	09
Mar/2012	0,043	0,004	03
MÉDIA	0,055	0,008	75
Mín - Máx.	0,001 – 0,155		
EIA-RIMA	0,048 – 0,085		

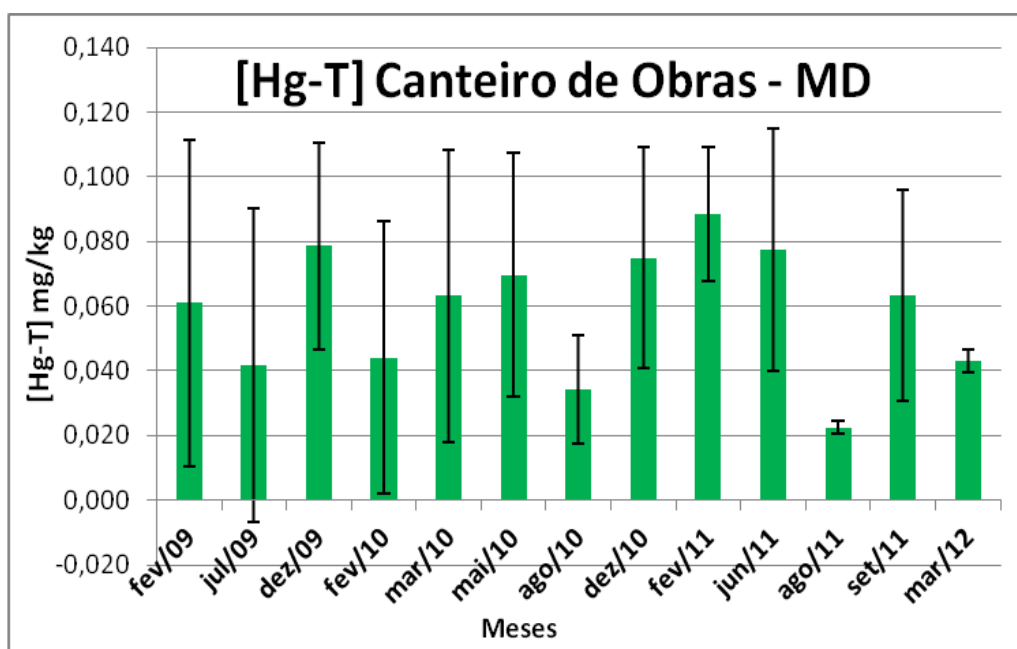


Figura X. 3. Concentrações médias de Hg-T em mg.kg^{-1} encontrados nos sedimentos, solos e fragmentos de rochas coletados na **margem direita** do rio Madeira no Canteiro de Obras ao longo dos meses das escavações.

A tabela X.3 apresenta os períodos de coleta e os resultados encontrados das concentrações médias de Hg nos sedimentos e solos amostrados na margem esquerda do rio Madeira no canteiro de obras (Figura X.4).

Tabela X.3. Períodos das coletas e concentrações médias de Hg em mg.kg^{-1} encontrados nos sedimentos e solos coletados na **margem esquerda** do rio Madeira no Canteiro de Obras.

Data de Coleta	Hg-T (mg.kg^{-1})	D.P.	n
Jul/09	0,014	0,020	03
Dez/09	0,022	0,025	03
Fev/10	0,086	0,052	14
Mar/10	0,041	0,051	02
Mai/10	0,052	0,050	16
Ago/10	0,030	0,014	03
Dez/10	0,036	0,045	07
Fev/11	0,053	0,101	09
Jun/11	0,045	0,047	22
Set/11	0,033	0,043	08
Abr/12	0,010	0,010	08
Mai/12	0,013	0,004	08
MÉDIA	0,036	0,026	103
Mín - Máx.	0,001 – 0,258		
EIA-RIMA	0,048 – 0,085		

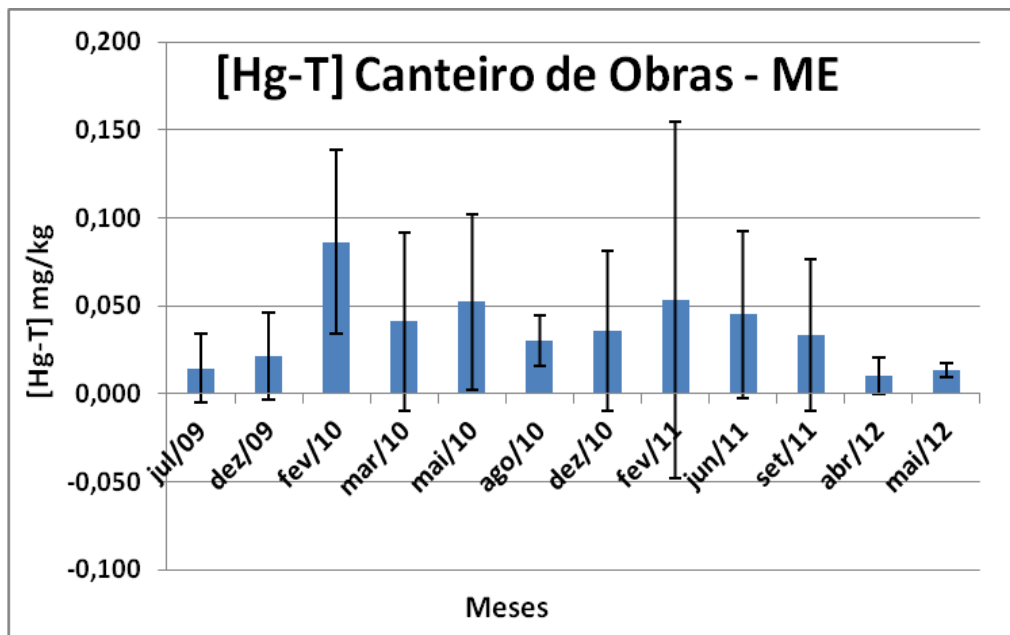


Figura X. 4. Concentrações médias de Hg-T em mg.kg^{-1} encontrados nos sedimentos, solos e fragmentos de rochas coletados na **margem esquerda** do rio Madeira no Canteiro de Obras ao longo dos meses das escavações.

X.1. Considerações

- Os resultados obtidos demonstraram que a área do canteiro de obras apresenta resultados médios de Hg-T abaixo dos valores encontrados no EIA/RIMA em 2004;
- Não se confirmando, portanto, a hipótese em se encontrar bolsões de Hg metálico na fase líquida na área das escavações.

XI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Os valores médios de Hg-T na água até o momento está de acordo com o preconizado pela resolução CONAMA 357/05;
- As concentrações médias de Hg e os outros metais pesados no MPS também não apresentam discrepância como a estabilização do Reservatório, apenas a esperada variabilidade entre a calha do rio Madeira e os seus tributários para alguns elementos;
- A concentração média de Hg-T nos sedimentos de fundo se mantém dentro dos níveis normais até o momento, sendo destaque o percentual de cerca de 6% de Metil-Hg em relação a Hg-T no rio Jatuarana I, aproximadamente 6 vezes superior aos demais tributários;
- Até o momento não se observa diferenças entre as concentrações de Hg-T nas espécies de peixes antes e depois do represamento da UHE-Santo Antônio, embora seja necessário ampliar o **n** amostral do pós-enchimento/estabilização;

- As médias de Hg-T nos peixes também até o momento não demonstram variabilidades que possam ser atribuídas à estabilização do Reservatório;
- Espécimes de peixes que apresentam concentração acima de 1,00mg/kg de Hg-T estão sendo separadas para as determinações de Metil-Hg, assim como, sendo ampliado o **n** amostral e analítico coletados do período de estabilização.
- As macrófitas aquáticas também apresentam concentrações médias dos metais pesados estudados condizentes com as de áreas não contaminadas, inclusive apresentando decréscimo para todos os elementos nos últimos 6 meses;
- As médias de Hg-T nos plânctons também se comportaram com variações dentro do esperado, destaque para o zooplâncton (>160µm) no rio Jatuarana I que se apresenta 3 vezes mais elevado que nos rios Branco e Jacu-Paraná, que será acompanhado com mais atenção nos meses seguintes;
- Até o momento não foi observada uma mudança significativa nas concentrações de mercúrio e os demais metais pesados como resultado do enchimento/estabilização do reservatório UHE-Santo Antônio.

XII. REFERÊNCIAS

- AGUNBIADE, F. O.; OLU-OWOLABI, B. I.; ADEBOWALE, K. O. 2009. Phytoremediation potential of *Eichornia crassipes* in metal-contaminated coastal water **Bioresource Technology**. 100: 4521–4526.
- ALMEIDA, M.D.; LACERDA, L.D.; BASTOS, W.R. & HERRMANN, J.C. Mercury loss from soils following conversion from forest to pasture in Rondônia, western Amazon, Brazil. **Environmental Pollution**, v. 137, p. 179-186, 2005.
- AULA, I.; BRAUNSWEILLER, H.; LEINO, T.; MALIN, I.; PORVARI, P.; HATANAKA, T.; LODENIUS, M. & JURAS, A. Levels of mercury in the Tucuruí reservoir and its surrounding area in Pará, Brazil. In: Watras, C.J. & Huckabee, J.W. (Eds.) **Mercury Pollution: Integration and Synthesis**. Lewis Publ., p. 21-40.1995.
- BASTOS, W. R., MALM, O. PFEIFER, W. C. & CLEARY, D. Establishment and analytical quality control of laboratories for Hg determination in biological and geological samples in the Amazon Brazil. **Ciência e Cultura Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science**, Rio de Janeiro. v. 50, p. 255-260. 1998.
- BASTOS, W. & LACERDA, L.D. A contaminação por Mercúrio na bacia do Rio Madeira: Uma breve revisão. **Geochimica Brasiliensis**, v. 18, n. 2, p. 99-114, 2004.
- BASTOS, W.R.; GOMES, J.P.O; OLIVEIRA, R.C.; ALMEIDA, R.; NASCIMENTO, E.L.; LACERDA, L.D.; SILVEIRA, E.G. & PFEIFFER, W.C. Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. **Sci. Tot. Environm.** v.368, p.344 – 351. 2006.
- BASTOS, W. R.; REBELO, M. de F.; FONSECA, M. de F. ALMEIDA, R. & MALM, O. A description of mercury in fishes from the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. **Acta Amazonica**. vol. 38(3): 431 – 438. Rondônia. 2008.

- BISINOTI, M.C. & JARDIM, W.F. Behavior of methylmercury in the environment. **Quím. Nova**, July/Aug., vol.27, no.4, p.593-600. ISSN 0100-4042. 2004.
- BLOON, N. & FITZGERALD, W. Determination of volatile mercury at the pictogram level by low-temperature gas chromatography with cold vapour atomic fluorescence detection. **Analytica Chimica Acta**. V.208, p. 151-161. 1998.
- BRABO, E.S.; ANGÉLICA, R.S.; SILVA, A.P.; FAIAL, K.R.F.; MASCARENHAS, A.F.S.; SANTOS, E.C.O.; JESUS, I.M. & LOUREIRO, E.C.B. Assessment of mercury levels in soils, waters, bottom sediments and fishes of Acre state in Brazilian Amazon. **Water, Air and Soil Pollution** 147: 61–77, 2003.
- BROOKS RAND LABS LLC. *CG and pyrolysis module. User's Guide*. Seattle, 2005, 14p.
- BROOKS RAND LABS LLC. *MERX QC Certificate*. Seattle, 2009, 1p.
- BROOKS RAND LABS LLC. *Merx. Automated methylmercury analytical system. User's Guide*. Seattle, 2005, 37p.
- BROOKS RAND LABS LLC. *Methyl Mercury purge and trap module. User's Guide*. Seattle, 2005, 11p.
- BROOKS RAND LABS LLC. *Methylmercury distillation system. User's Guide*. Seattle, 2005, 13p.
- BROOKS RAND LABS LLC. *Trap desorption module. User's Guide*. Seattle, 2005, 17p.
- CAVENAGHI, A.L.; VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E.; CARVALHO, F.T.; GALO, M.L.B.T.; TRINDADE, M.L.B.; CORRÊA, M.R.; SANTOS, S.C.A. 2005. **Monitoramento de problemas com plantas aquáticas e Caracterização da qualidade de água e sedimento na UHE Mogi-Guaçu. Planta Daninha**. Viçosa-MG. 23 (2): 225-231.
- COELHO-SOUZA, S.A. MIRANDA, M. R. & GUIMARÃES, J.R.D. 2007. A Importância das Macrófitas Aquáticas no Ciclo do Mercúrio na Bacia do Rio Tapajós (PA). **Oecologia. Brasiliensis**. 11 (2): 252-263.
- ELBAZ-POULICHET, F.; SEYLER, P.; MAURICE-BOUGOIN, L.; GUYOT, J.L & DUPUY, C. Trace element geochemistry in the upper Amazon drainage basin (Bolivia). **Chemical Geology**. v. 157 p. 319 – 334. 1999.
- ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY-EPA (EUA). *Method 1630: Methyl Mercury in Water by Distillation, Aqueous Ethylation, Purge and Trap, and CVAFS*. 2001.
- ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY-EPA (EUA). *Method 1669: Sampling Ambient Water for Trace Metals at EPA Water Quality Criteria Levels*. 1996.
- ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL –. Relatório Final - Leme 2004 Disponível em:< www.ibama.licenciamentos.gov.br> Acesso em 16de out. de 2008.
- EPA. UNITED STATES, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY USEPA SW-846 Method 6010B, Revision 2, December 1996.
- EPA. UNITED STATES, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S.EPA). Method 1669. Sampling Ambient Water for Trace Metals at EPA Water Quality Criteria Levels. U.S.226. Environmental Protection Agency Office of Water Engineering and Analysis Division (4303) 401. M Street S.W. Washington, D.C. 20460. 2000.
- EPA. UNITED STATES, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S.EPA). Method1630: Methyl Mercury in Water by Distillation, Aqueous Ethylation, Purge and Trap, and CVAFS, EPA 821-R-01-020, January - 1630. 2001.
- FAYED, S. E. & ABD-EL-SHAFY, H. I. 1985. Accumulation of Cu, Zn, Cd, AND Pb by aquatic macrophytes. **Environment International**. 11: 77-87.

- IBAMA. Instrução normativa nº 65, de 13 de abril de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 24 abr. 2005. Seção 1, p.144-145. 2005.
- GUIMARÃES, J.R.D., MEIL, I. M., HYLANDER, L.D. SILVA, E.C., ROULET, M., MAURO, J.B.N. & LEMOS, R.A. Mercury net methylation in five tropical floodplain regions of Brazil: high in the root zone of floating macrophyte mats but low in surface sediments and flooded soils. **Sci. Tot. Environ.** 261:99-107. 2000.
- HALL, B.D.; ST. LOUIS, V.L. & BODALY, R.A. The stimulation of methylmercury production by decomposition of flooded birch leaves and jack pine needles. **Biogeochemistry**, 68:107-129. 2004.
- HEYES, A.; MOORE, T.R. & RUDD, J.W.M. Mercury and methylmercury in decomposing vegetation of a pristine and impounded wetland. **Journal of Environmental Quality**, 27:591-599. 1998.
- HERRMANN, J.C. **Mercúrio em solos da sub bacia do rio Corumbiara/RO: Análise de Padrão espacial da dispersão**. Tese de Doutorado submetida junto ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Rio Claro/ SP. 2008.
- HYLANDER, L.D., GRÖHN, J., TROPP, M., VIKSTRÖM, A., WOLPHER, H., SILVA, E.C., MEILI, M. & OLIVEIRA, L.J. Fish Mercury Increase in Lago Manso, a New Hydroelectric Reservoir in Tropical Brazil. **Journal of Environmental Management**. 2005.
- HYLANDER, LD & MEILI, M. The rise and fall of mercury: converting a resource to refuse after 500 years of mining and pollution. **Crit Rev Environ Sci Technol** 34:1–36. 2005.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE – IBAMA Relatório de impacto ambiental das usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau, 2005. Disponível em:< www.ibama.licenciamentos.gov.br> Acesso em 22 de nov. de 2008. 16:25.
- KELLY, CA; RUDD, J.W.M.; BODALY, R.A.; ROULET, N.P.; ST. LOUIS, V.L.; HEYES, A.; MOORE, T.R.; SCHIFF, S.; ARAVENA, R.; SCOTT, K.J.; DYCK, B.; HARRIS, R.; WARNER, B. & EDWARDS, G. Increases in fluxes of greenhouse gases and methyl mercury following flooding of an experimental reservoir. **Environmental Science and Technology**, 31:1334-1344. 1997.
- LACERDA, L.D.; PFEIFFER, W.C.; OTT, A.T. & SILVEIRA, E.G. Mercury contamination in the Madeira River, Amazon - Hg inputs to the environment. **Biotropica**, 21:91-93, 1989.
- LACERDA, L. D. Amazon mercury emission. **Nature**. n. 374 p. 20 – 21, 1995.
- LACERDA, L.D. **Mercury from gold and silver mining**. Springer New York. 1998.
- LACERDA, L.D. & SALOMONS, W. **Mercury from Gold and Silver Mining: A Chemical Time Bomb**. Springer Verlag, 146 p. 1998.
- MACHADO, V. L. F. *Metilmercúrio nas águas da bacia do Rio Madeira, na área de Influência do Reservatório da Usina e Santo Antônio, Amazônia Ocidental*.(dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Rondônia – UNIR. 2011.
- MALM, O.; PFEIFFER, W.C.; SOUZA, C.M.M. & REUTHER, R. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira River basin, Brazil. **Ambio**. Stockholm. Vol. 19, no. 1, pp. 11-15. 1990.
- MALM, O. **Contaminação ambiental e humana por mercúrio na região garimpeira de ouro do rio Madeira, Amazônia**. Tese (Doutor em Ciências) - Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1991.

- MAURICE-BOURGOIN, L.M.; QUIROGA, I; CHINCHEROS, J. & COURAU, P. Mercury distribution in waters and fishes of the upper Madeira Rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. **Sci. Tot. Environm.**, 260:73-86, 2000.
- MAURO, J.B.N.; GUIMARÃES, J.R.D. & MELAMED, R. Mercury methylation in macrophyte roots of a tropical lake. **Water Air Soil Pollut.**, 127:271-280, 2001.
- McCUNNE, B. & MEFFORD, M.J. **Multivariety analysis of ecological data**, version 4.0. Mjm.software designs. Oregon, 1999.
- MIRANDA, R.M., GUIMARÃES, J.R.D., ROULET, M.; ACHA, D., COELHO-SOUZA, S., MAURO, J.B.N. & INIGUEZ, V. Mercury methylation and bacterial activity in macrophyte-associated periphyton in floodplain lakes of the Amazon basin. **RMZ Materials and Geoenvironment** 51:1218-1220. 2004.
- MIRANDA, M. R. **Formação de metil-mercúrio na bacia do rio Madeira, Rondônia**. UFRJ/IBCCFo.. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho 138 ff., 2010.
- MISHRA, V. K. & TRIPATHI, B. D. 2008. Concurrent removal and accumulation of heavy metals by the three aquatic macrophytes. **Bioresource Technology**. 99: 7091–7097.
- MISHRA, V. K.; TRIPATHI.; KIM, K-H. 2009. Removal and accumulation of mercury by aquatic macrophytes from an open cast coal mine effluent. *Journal of Hazardous Materials*. 172: 749–754
- MURESAN, B.; COSSA, D.; RICHARD, S.; DOMINIQUE, Y. Monomethylmercury sources in a tropical artificial reservoir. **Applied Geochemistry**, v. 23, p. 1101–1126, 2008.
- OLIVEIRA, S. M. B.; MELFIA, J.; FOSTIER, A. H.; FORTI, M. C.; FAVARO, D. I. T.; BOULET, R. Soils as an important sink for mercury in the amazon. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 126, n. 3-4, p. 321 – 337, 2001.
- OLIVERO, J.; BEATRIS, S. 1998. Mercury in environmental samples from a waterbody contaminated by gold mining in Colombia, South America. **Science of the Total Environment**. 217(1): 83-89.
- PESSENDA, L.C.R.; FERREIRA, J.R.; TANCRADE, A.C.F.N.S.; MARTINELLI, L.A.; HIRATA, R. & MORTATTI, J. Caracterização química das águas de alguns rios do estado de Rondônia. **Acta limnológica Brasiliensis**. v. 1. p 179-199. 1986.
- PFEIFFER, W. C.; FISZMAN, M.; MALM, O.; AZCUE, J. M. 1986. Heavy Metal Pollution in the Paraíba do Sul River, Brazil. **The Science of the Total Environment**. 58 73-79.
- PFEIFFER, W. C. & LACERDA, L. D. Mercury inputs to the Amazon region, Brazil. **Environ. Technol. Lett.**, 9:325-350, 1988.
- PFEIFFER, W.C.; MALM, O.; SOUZA, C.M.M.; LACERDA, L.D. & SILVEIRA, E.G. Mercury in the Madeira River Ecosystem, Rondonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Vol. 38, No. 3/4, p 239-245, 1991.
- PORVARI, P. Mercury levels in fish in Tucuruí hydroelectric reservoir and in River Moju in Amazônia, in the state of Pará, Brazil. **Sci. Tot. Environ**. 175: 109-117, 1995.
- ROULET, M.; LUCOTTE, M.; SAIT ALBAN, A.; TRAN, S.; RHEAULT, I.; FARELA, N.; SILVA, E.D.; DESENCOURT, J.; PASSOS, E.D.; SOARES, G.S.; GUIMARÃES, J.R.D.; MERGLER, D. & AMORIM, M. The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós River Valley, Pará State, Brazil. **Sci. Tot. Environ.**, 223:1-24, 1998.
- SHETAGNE, R., DOYON, J. F. & FOURNIER, J. J. Export of mercury downstream from reservoirs. **Science of Total Environment**, 2000. (260): 135-145.

TREMBLAY, A., LUCOTTE, M. & SHETAGNE. Total mercury and methylmercury accumulation in zooplankton of hydroelectric reservoirs in northern Québec (Canada). **Science of Total Environment**, (213): 307-315. 1998.

TUOMOLA, L. **Mercury Levels in Fish Five Years after Construction of Lago Manso Reservoir, Brazil**. Degree project in Biology. Examensarbete i biologi, 20 p, Biological Education Centre and Department of Limnology. Uppsala University. Supervisors: Lars Hylander and Edinaldo de Castro e Silva. 2005.

VERDON, R.; BROUARD, D.; DEMERS, C.; LALUMIERE, R. & LAPERLE, M. Mercury Evolution (1978-1988) in Fishes of the La Grande Hydroelectric Complex, Quebec, Canada. **Water, Air and Soil Pollution**, Vol. 56, p 405-417, 1991.

WASSERMAN, J. C.; HACON, S.; WASSERMAN, M. A. Biogeochemistry of mercury in the Amazonian environment. **AMBIO**, Suécia, v. 32, n. 5, 2003.

ZIMMELS, F. Y.; MALKOVSKAJA, K. A. 2006. Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel. **Journal of Environmental Management**. 81: 420-428

Wanderley Bastos.