

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE  
FEDERAL DE RONDÔNIA



# RELATÓRIO 5º. TRIMESTRE AVALIAÇÃO AMBIENTAL

UNIR

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

Laboratório  
**BIOGEOQUÍMICA  
AMBIENTAL**  
Wolfgang C. Pfeiffer

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

Julho/2010

**Coordenação:**

Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos ([bastoswr@unir.br](mailto:bastoswr@unir.br))

**Equipe Ambiental:**

Dr. Márcio Rodrigues de Miranda (UNIR/UFRJ)  
MSc. Ronaldo de Almeida (UNIR/UFRJ)  
MSc. Elisabete Lourdes Nascimento (UNIR/UFRJ)  
MSc. Joiada Moreira da Silva (UNIR)  
Biol. Roberta Carolina Ferreira Galvão (UNIR)  
Biol. Dario Pires de Cavalho (UNIR)  
Biol. Igor Bruno Barboza de Holanda (UNIR)  
Biol. Marília Higino Mussy (UNIR)  
Biol. Maria Thereza Souza Bastos (UNIR)  
Biol. Juliana Moreira de Menezes (UNIR/UFRJ)  
Quím. Maria Cistina Nery do Nascimento (UNIR)  
Quím. Victor Luís de França Machado (UNIR)  
Charlliene Lima da Silva (Iniciação Científica/UNIR)  
Leidiane Caroline Lauthartte (Iniciação Científica/UNIR)  
Júlia Yuones Herrmann (Iniciação Científica/UNIR)  
Lauana Almeida Neres (Iniciação Científica/UNIR)  
Lury Leitão Bernardino (Iniciação Científica/UNIR)  
Tieme Ezita Miranda da Silva (Iniciação Científica/UNIRON)  
Clénia Rodrigues de Oliveira (Auxiliar de Laboratório/UNIR)  
Francisco Martho Nogueira Militão Junior (Agente Administrativo/UNIR)

**Consultores:**

Dr. Olaf Malm (UFRJ)  
Dr. Jean Remy Davee Guimarães (UFRJ)  
Dr. Ene Glória da Silveira (UNIR)  
Biol. Ricardo José Bastos Guimarães (UFRJ)  
Biol. Levi Ribeiro de Amorim (UFRJ)

**BIOGEOQUÍMICA  
AMBIENTAL  
Wolfgang C. Pfeiffer**

## 1 APRESENTAÇÃO

O presente relatório, referente ao 5º. Trimestre do contrato UNIR/RIOMAR/MESA 005/2009, tem por objetivo apresentar os resultados do monitoramento das concentrações de metais pesados, com ênfase ao mercúrio, nas amostragens bióticas e abióticas realizadas no período de abril/2010 a junho/2010.

As atividades realizadas tiveram como objetivo coletar e analisar as amostras abióticas (perfis de sedimentos de fundo, água, material particulado e solos) e bióticas (plânctons, macrófitas, invertebrados aquáticos e peixes), assim como apresentar um quadro resumindo o estudo de um ano nas medidas de taxa potencial de metilação nas áreas indicadas no PBA Santo Antônio.

A amostragem compreendeu o estudo de mercúrio (Hg), além de outros elementos químicos (Fe, Zn, Cd, Cr, Cu, Mn, Co, Ni e Pb), nas matrizes bióticas e abióticas que continuam em processo de análises no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer/UNIR. Todas essas atividades estão em cumprimento ao que dispõe a LICENÇA PRÉVIA N° 251/2007 nos itens 2.7 e 2.8 relacionado ao estudo do Programa de Hidrobiogeoquímica do Mercúrio no Rio Madeira - UHE Santo Antônio.

As atividades mencionadas foram e estão sendo realizadas para estabelecer parâmetros de comparação na medida em que houver mudança na dinâmica do mercúrio e outros elementos químicos logo após o início das obras do empreendimento. Desta forma apresentamos as principais atividades e resultados obtidos no 4º. Trimestre desse projeto de pesquisa, iniciado em abril/2010. Este relatório é apresentado na forma de capítulos divididos por cada matriz ambiental estudada.

Laboratório  
**BIOGEOQUÍMICA  
AMBIENTAL**  
Wolfgang C. Pfeiffer

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Geral

➤ Efetuar monitoramento ambiental no pré-enchimento do Reservatório de Santo Antonio determinando as concentrações de poluentes organo-metálicos, a exemplo do mercúrio.

### 2.2 Específicos

- Quantificar os teores de mercúrio total (Hg-T) e metil-mercúrio (MeHg) em matrizes ambientais;
- Quantificar os corpos d'águas da área de estudo quanto às principais variáveis físico-químicas;
- Quantificar as concentrações de elementos químicos (Pb, Cd, Cr, Zn, Mn, Fe, Co e Ni) nos compartimentos ambientais bióticos e abióticos;
- Identificar áreas potenciais de metilação do mercúrio;
- Promover treinamento na identificação, manipulação e armazenamento do mercúrio metálico aos responsáveis da construção civil da obra na etapa de movimentação de terras.
- Estruturar bancos de dados georreferenciados das matrizes bióticas e abióticas;
- Utilizar métodos estatísticos univariados, multivariados e geoestatísticos como ferramenta para o monitoramento do mercúrio durante a fase de pré-enchimento visando sua capacidade mitigadora e preditiva;



**Laboratório**  
**BIOGEOQUÍMICA**  
**AMBIENTAL**  
**Wolfgang C. Pfeiffer**

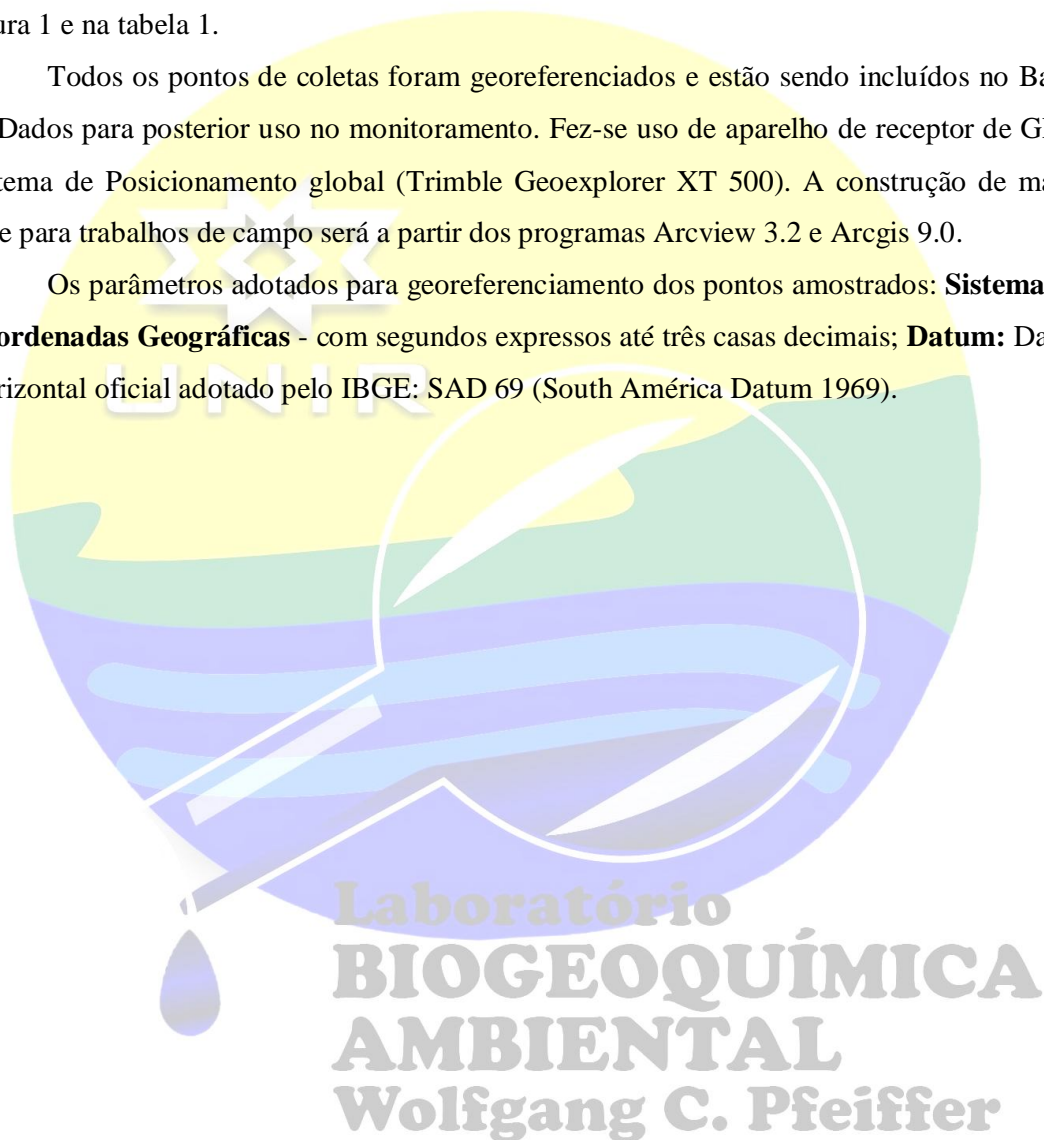
### 3 ÁREA DE ESTUDO

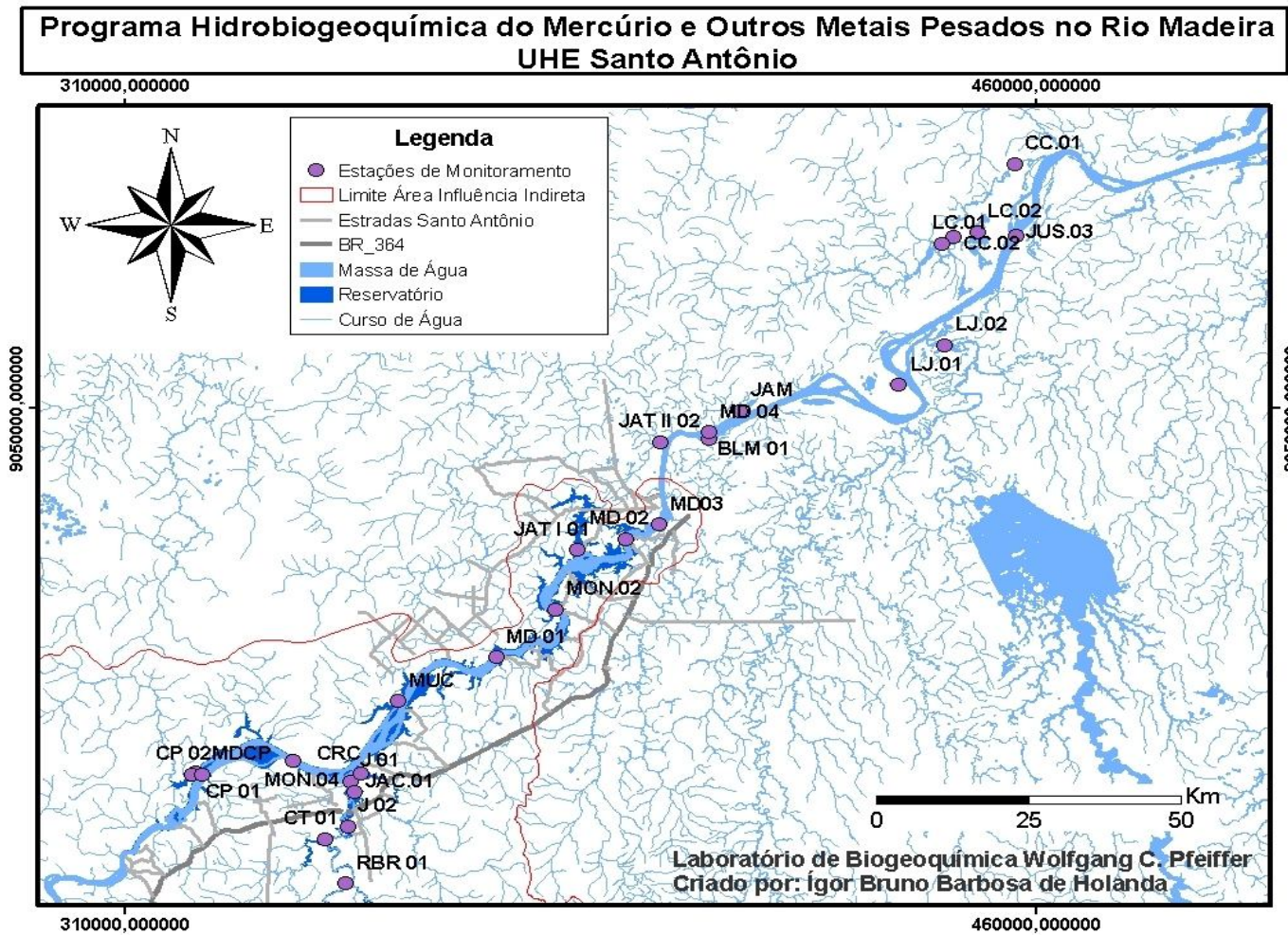
A área em estudo compreende trechos a montante e jusante da área considerada de influência do aproveitamento hidrelétrico de Santo Antônio (Figura 1).

A escolha das estações de coletas na área de estudo compreende primeiramente as áreas indicadas no EIA-RIMA como áreas com potencial para organificação de Hg. Além destas áreas, as amostragens se estenderam as outras estações de coletas apresentadas na figura 1 e na tabela 1.

Todos os pontos de coletas foram georeferenciados e estão sendo incluídos no Banco de Dados para posterior uso no monitoramento. Fez-se uso de aparelho de receptor de GPS - Sistema de Posicionamento global (Trimble Geoexplorer XT 500). A construção de mapas base para trabalhos de campo será a partir dos programas Arcview 3.2 e Arcgis 9.0.

Os parâmetros adotados para georeferenciamento dos pontos amostrados: **Sistemas de Coordenadas Geográficas** - com segundos expressos até três casas decimais; **Datum:** Datum Horizontal oficial adotado pelo IBGE: SAD 69 (South América Datum 1969).





**Figura 1.** Área de estudo no Rio Madeira evidenciando as estações de monitoramento.

**Tabela 1.** Localização das estações de monitoramento com as coordenadas geográficas em UTM e código das amostras.

Código das Estações de Monitoramento	Coordenadas: UTM/Datum: Sad 69/ Zona: 20L		Descrição das Estações de Monitoramento
	Longitude	Latitude	
BLM 01	406273,967	9044400,601	Igarapé Belmont
CP 01	321618,051	8983355,312	Primeira Estação do Rio Caripunas
CP 02	321048,621	8982950,455	Segunda Estação do Rio Caripunas
CT 01	342919,204	8971136,310	Rio Contra
J 01	347109,686	8981698,192	Rio Jací-Parana
J 02	346781,596	8973505,777	Meandro do Rio Jací-Parana
JAT I 01	384539,715	9024006,687	Rio Jatuarana I
JAT II 01	398124,206	9043686,424	Rio Jatuarana II
MD 01 c	371247,682	9004371,914	Centro do Rio Madeira Próximo às Corredeiras do Morrinho
MD 01 d	371857,628	9004062,776	Margem Direita do Rio Madeira Próximo às Corredeiras do Morrinho
MD 01 e	370825,017	9004875,974	Margem Esquerda do Rio Madeira Próximo às Corredeiras do Morrinho
MD 02 c	392579,799	9025917,021	Centro do Rio Madeira à Montante de Santo Antonio
MD 02 d	392969,560	9025859,343	Margem Direita do Rio Madeira à Montante de Sto Antonio
MD 02 e	392009,605	9026026,354	Margem Esquerda do Rio Madeira à montante de Sto Antonio
MD 03 c	398060,995	9028624,335	Centro do Rio Madeira à Jusante de Santo Antônio
MD 03 d	398297,548	9028324,917	Margem Direita do Rio Madeira à Jusante de Santo Antônio
MD 03 e	397742,539	9028988,359	Margem Esquerda do Rio Madeira à Jusante de Santo Antônio
MD 04 c	406280,354	9045466,597	Centro do Rio Madeira à Jusante de Santo Antônio em Frente ao Igarapé Belmont
MD 04 d	406654,284	9044698,531	Margem Direita do Rio Madeira à Jusante de Santo Antônio em Frente ao Igarapé Belmont

Código das Estações de Monitoramento	Coordenadas: UTM/Datum: Sad 69/ Zona: 20L		Descrição das Estações de Monitoramento
	Longitude	Latitude	
MD 04 e	405931,343	9045982,887	Margem Esquerda do Rio Madeira à Jusante de Santo Antônio em Frente ao Igarapé Belmont
MDCP c	322645,757	8982927,388	Centro do Rio Madeira Próximo ao Rio Caripunas à Montante de Sto Antônio
MDCP d	323530,105	8982763,213	Margem Direita do Rio Madeira Próximo ao Rio Caripunas à Montante de Sto Antônio
MDCP e	321891,249	8983259,754	Margem Esquerda do Rio Madeira Próximo ao Rio Caripunas à Montante de Sto Antônio
RBR 01	346294,888	8963076,064	Rio Branco
MON.04	337644,209	8985604,160	Rio Madeira, cerca de 10km à montante da foz do rio Jaciparaná
JAC.01	347854,513	8979745,398	Rio Jaciparaná, cerca de 4km à montante de sua foz
CRC	348959,069	8983085,517	Rio Caracol, cerca de 1km à montante de sua foz
MUC	355055,982	8996406,935	Rio Mucuí, margem esquerda do rio Madeira
MON.02	380990,093	9013074,405	Rio Madeira, cerca de 10km à montante da Cachoeira de Teotônio
JAM	411313,267	9049368,889	Rio Jamarí, cerca de 10km à montante de sua desembocadura no rio Madeira
LJ.01	437489,779	9054141,675	Lago de jusante, cerca de 33 Km à jusante da Cachoeira de Santo Antônio
LJ.02	445013,860	9061446,853	Lago de jusante, cerca de 70 Km à jusante da Cachoeira de Santo Antônio
JUS.03	456786,590	9081491,730	Rio Madeira, cerca de 20km à jusante da desembocadura do rio Jamarí
CC.01	456523,281	9094430,811	Canal Cuniã, cerca de 10km à montante da foz do canal do lago
CC.02	446412,536	9081241,608	Canal Cuniã, cerca de 42km à montante da foz do canal do lago
LC.01	444580,760	9079905,869	Lago Cuniã, cerca de 2,5km à montante de CC.02
LC.02	450429,046	9082089,966	Lago Cuniã, cerca de 6,5km à montante de CC.02



**BIOGEOQUÍMICA  
AMBIENTAL**  
Wolfgang C. Pfeiffer

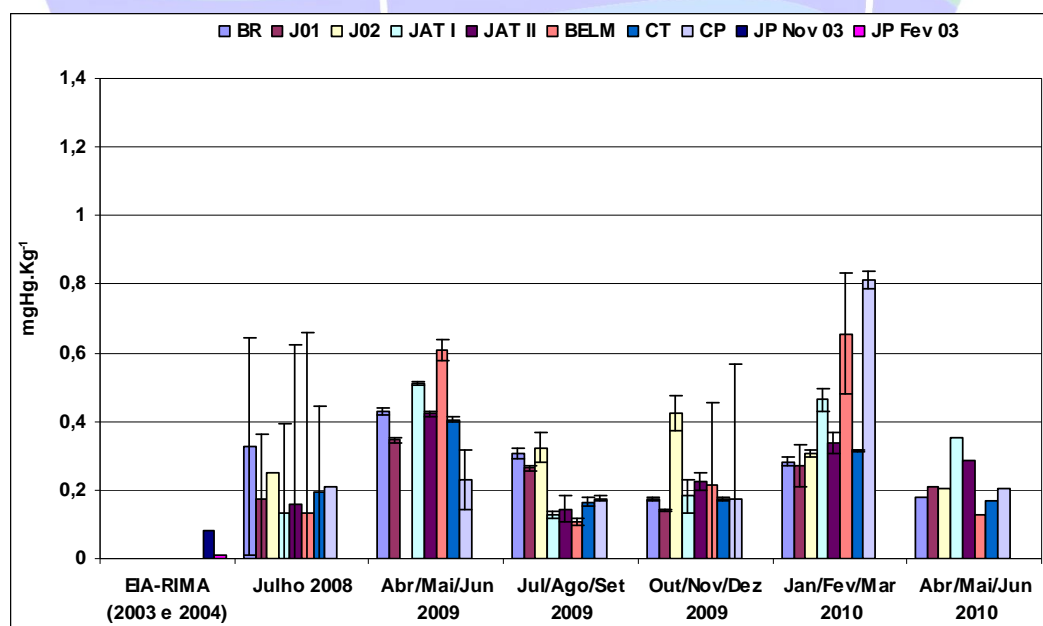


## CAPITULO I

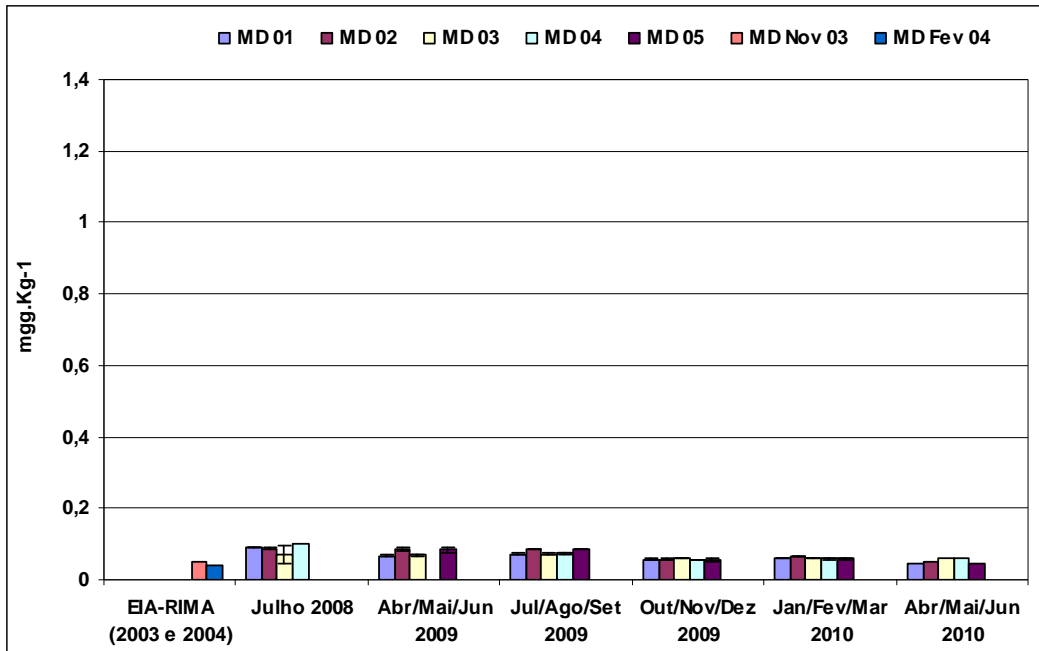
### I.1. Material Particulado em Suspensão (MPS)

As amostras de MPS foram obtidas a partir da água sub-superficial (cerca de 20 cm de profundidade) coletadas em frascos de 5 litros de polietileno e mantidas sob refrigeração até o Laboratório de Biogeoquímica Ambiental/UNIR para processo de filtração a vácuo em filtro millipore de celulose de  $0,45\mu\text{m}$  de porosidade. Após esse procedimento obteve-se resultados de massa de sólidos em suspensão por volume de água filtrada ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) e os teores de Hg e outros metais pesados ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ). Esta amostragem tem como objetivo apresentar o total de sólidos em suspensão na água, assim como quantificar os teores de metais pesados, com ênfase ao Hg, que foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica de chama para Cd, Cu, Cr, Co, Fe, Mn, Ni, e Pb (AA-400, Perkin Elemer) e por geração de vapor frio para Hg total (FIMS-400, Perkin Elemer).

Com relação aos níveis de Hg no material particulado em suspensão, os maiores valores foram encontrados nos principais tributários do rio Madeira (Figura I.1), quando comparados ao rio principal. Nos pontos amostrados no rio Madeira foram encontrados valores de mercúrio mais baixos (Figura I.2).



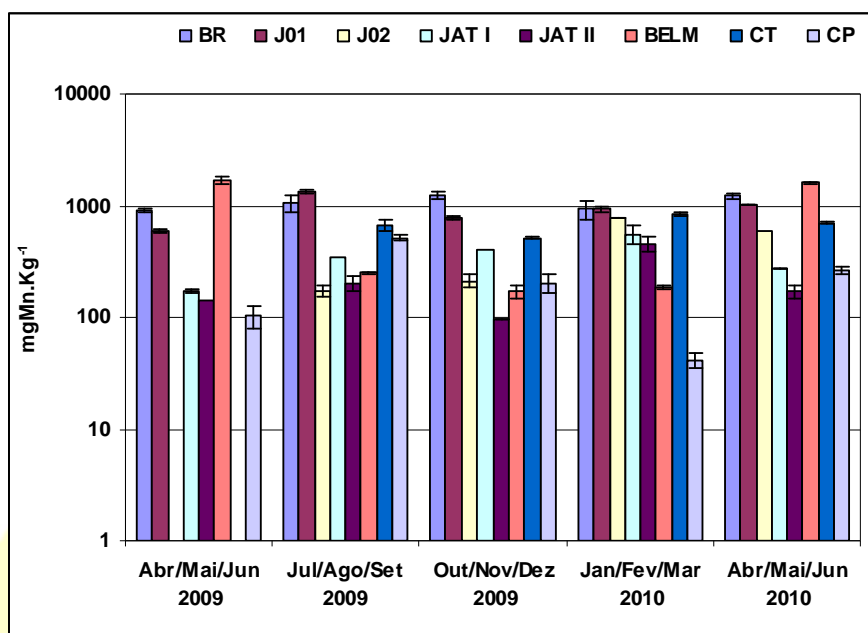
**Figura I.1:** Concentração de Hg ( $\text{mgHg.Kg}^{-1}$ ) e desvio padrão no material particulado em suspensão nos tributários estudados referentes ao encontrado no EIA-RIMA 2003 e 2004 (IBAMA, 2005), em campanha realizada em junho de 2008 e nos quatro trimestres estudados até o presente momento.



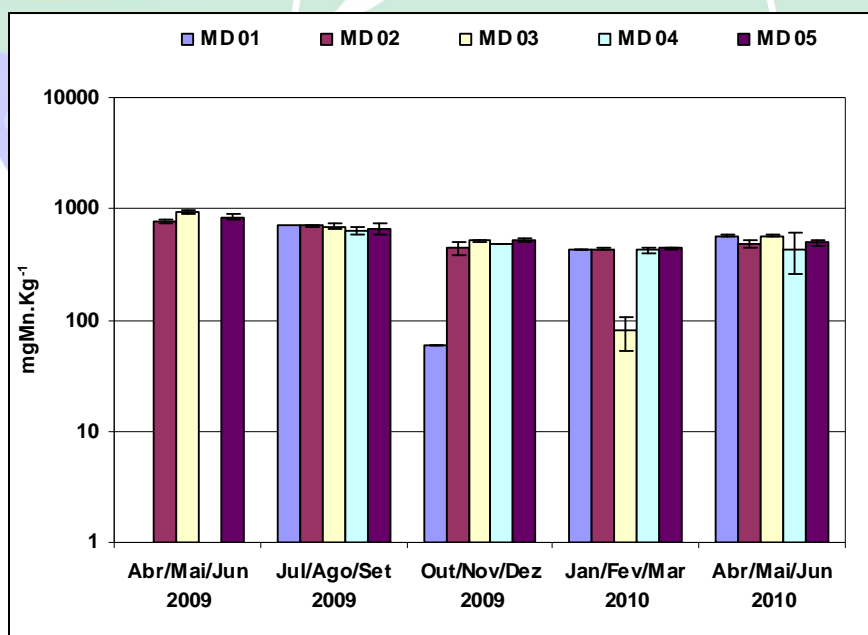
**Figura I.2:** Concentração de Hg ( $\text{mgHg.Kg}^{-1}$ ) e desvio padrão no material particulado em suspensão no rio Madeira, referentes aos valores encontrados no EIA-RIMA 2003 e 2004 (IBAMA, 2005), em campanha realizada em junho de 2008 e nos quatro trimestres estudados até o presente momento.

A região em estudo apresentou um fluxo natural nas concentrações de elementos-traço, com exceção do elemento Hg. Foram encontradas concentrações elevadas de Mn e Fe (Figuras I.3 a I.6) no MPS, que provavelmente estão relacionadas aos tipos de solos da bacia de drenagem, onde prevalece a classe dos latossolos. Os elementos considerados traçadores industriais como Cd e Cr apresentaram valores baixos (Tabela I.1), devido às baixas concentrações naturais e ao pequeno potencial poluidor da indústria regional, resultados estes que corroboram com estudo realizado por Gomes (2005). Estes fatores também refletem nas concentrações de elementos traços encontrados na água total (Tabelas I.2 a I.5).

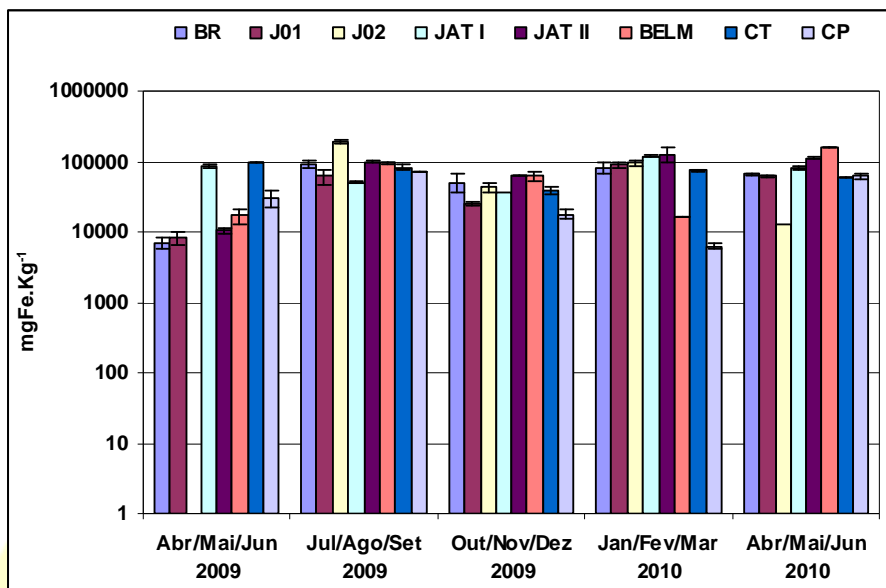
Compreender a relação elementos-traço – sólidos em suspensão, parte do princípio de uma análise conceitual. Os sólidos em suspensão variam em origem, forma e tamanho, características condicionadas por fatores como: o regime pluviométrico, que influencia diretamente no transporte e acréscimo de sedimentos; uso da terra, pois o desmatamento acelera o processo de erosão, além das atividades de mineração. Outro fator de grande relevância é a formação geológica da bacia em estudo, pois esta, junto com os demais fatores pode influenciar na dinâmica do rio e na concentração de elementos-traço nos sedimentos.



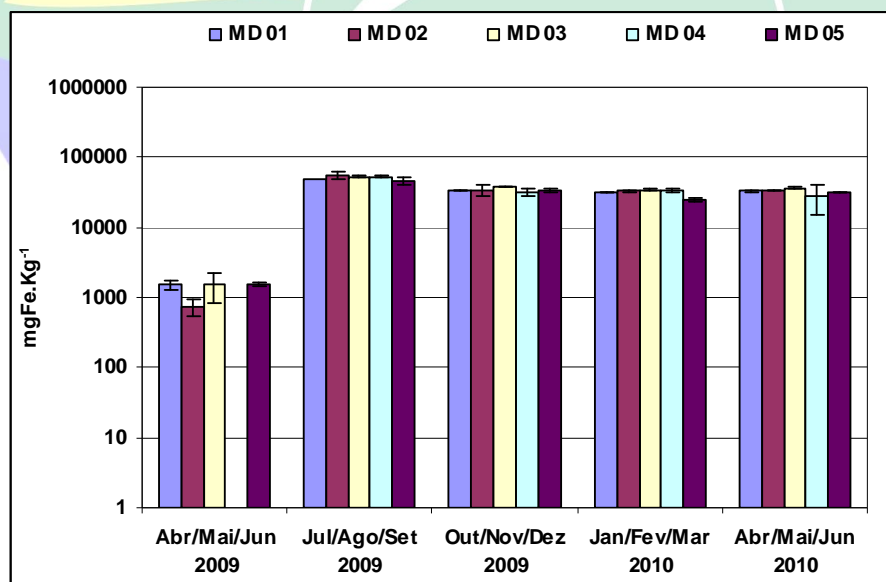
**Figura I.3:** Concentração de Mn ( $\text{mgMn.Kg}^{-1}$ ) e desvio padrão no material particulado em suspensão dos tributários nos cinco trimestres estudados até o presente momento.



**Figura I.4:** Concentração de Mn ( $\text{mgMn.Kg}^{-1}$ ) e desvio padrão no material particulado em suspensão no rio Madeira, referentes aos cinco trimestres estudados até o presente momento.



**Figura I.5:** Concentração de Fe ( $\text{mgFe.Kg}^{-1}$ ) e desvio padrão no material particulado em suspensão nos tributários, referentes aos valores encontrados nos cinco trimestres estudados até o presente momento.



**Figura I.6:** Concentração de Fe ( $\text{mgFe.Kg}^{-1}$ ) e desvio padrão no material particulado em suspensão no rio Madeira, referentes aos valores encontrados nos cinco trimestres estudados até o presente momento.

**Tabela I.1:** Concentração de Pb, Cd, Zn, Cr, Cu, Co e Ni encontrados no material particulado em suspensão (MPS) no rio Madeira e seus tributários referentes ao primeiro trimestre (abril, maio e junho/2009) do presente estudo.

Localidade	Pb	Cd	Zn	Cr	Cu	Co	Ni
	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>
BR	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT
CP	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT
J01	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT
JAT I	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	18,24	<LDT	<LDT
JAT II	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT
BELM	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT
CT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT	<LDT
MD 01	6,94	<LDT	41,93	11,11	24,41	2,51	27,32
MD 02	<LDT	<LDT	39,77	12,14	25,76	<LDT	25,80
MD 03	<LDT	<LDT	30,92	1,01	23,25	<LDT	25,60
MD 05	14,04	<LDT	38,92	14,76	24,35	5,15	25,87
LDT	0,0102	0,0102	0,0102	0,0102	0,0102	0,0102	0,0102

LDT= Limite de Detecção da Técnica.

**Tabela I.2:** Concentração de Pb, Cd, Zn, Cr, Cu e Co encontrados no material particulado em suspensão (MPS) no rio Madeira e seus tributários referentes ao segundo trimestre (julho, agosto e setembro/2009) do presente estudo.

Localidade	Pb	Cd	Zn	Cr	Cu	Co
	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>
RB	19,24	<LDT	241,95	<LDT	8,80	<LDT
CP	41,98	<LDT	358,27	<LDT	18,00	<LDT
J01	16,35	<LDT	244,66	<LDT	12,73	2,05
J02	104,77	<LDT	549,93	<LDT	195,91	<LDT
JAT I	208,95	18,96	233,15	<LDT	14,95	4,37
JAT II	236,67	20,57	231,99	<LDT	22,79	0,85
BELM	238,88	21,04	204,24	<LDT	18,32	<LDT
CT	328,73	30,00	235,45	<LDT	9,24	<LDT
MD 01	74,35	2,73	138,67	<LDT	54,76	4,82
MD 02	86,33	7,05	190,24	<LDT	20,74	3,82
MD 03	73,13	5,70	128,40	<LDT	35,69	4,51
MD 04	67,37	5,52	107,28	<LDT	20,50	3,94
MD 05	6,93	<LDT	108,28	<LDT	22,94	5,42
LDT	<b>0,0131</b>	<b>0,0131</b>	<b>0,5248</b>	<b>0,0131</b>	<b>2,83</b>	<b>0,0131</b>

LDT= Limite de Detecção da Técnica.

**Tabela I.3:** Concentração de Pb, Cd, Zn, Cr, Cu, Co e Ni encontrados no material particulado em suspensão (MPS) no rio Madeira e seus tributários referentes ao terceiro trimestre (outubro, novembro e dezembro de 2009) do presente estudo.

Localidade	Pb	Cd	Zn	Cr	Cu	Co	Ni
	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>
RB	33,59	<LDT	68,20	<LDT	7,46	<LDT	<LDT
CP	48,51	<LDT	100,23	<LDT	11,77	<LDT	<LDT
J01	26,47	<LDT	63,1641	<LDT	5,91	<LDT	<LDT
J02	106,52	<LDT	126,05	<LDT	13,39	<LDT	<LDT
JAT I	46,04	<LDT	55,26	<LDT	8,25	<LDT	<LDT
JAT II	145,93	<LDT	61,30	<LDT	11,48	<LDT	7,20
BELM	104,62	<LDT	39,18	<LDT	8,21	<LDT	<LDT
CT	38,01	<LDT	71,80	<LDT	13,49	<LDT	<LDT
MD 01	17,21	<LDT	<LDT	11,42	21,63	<LDT	23,21
MD 02	13,63	<LDT	72,78	11,38	22,32	<LDT	24,15
MD 03	11,12	*	65,67	11,14	23,05	<LDT	24,17
MD 04	12,67	<LDT	60,55	10,29	20,13	10,41	21,50
MD 05	10,20	<LDT	<LDT	12,20	27,57	11,96	18,10
<b>LDT</b>	<b>0,0050</b>	<b>0,0050</b>	<b>0,0050</b>	<b>0,0050</b>	<b>0,9027</b>	<b>0,0050</b>	<b>0,1195</b>

LDT= Limite de Detecção da Técnica.

**Tabela I.4:** Concentração de Pb, Cd, Zn, Cr, Cu, Co e Ni encontrados no material particulado em suspensão (MPS) no rio Madeira e seus tributários referentes ao quarto trimestre (janeiro, fevereiro e março/2010) do presente estudo.

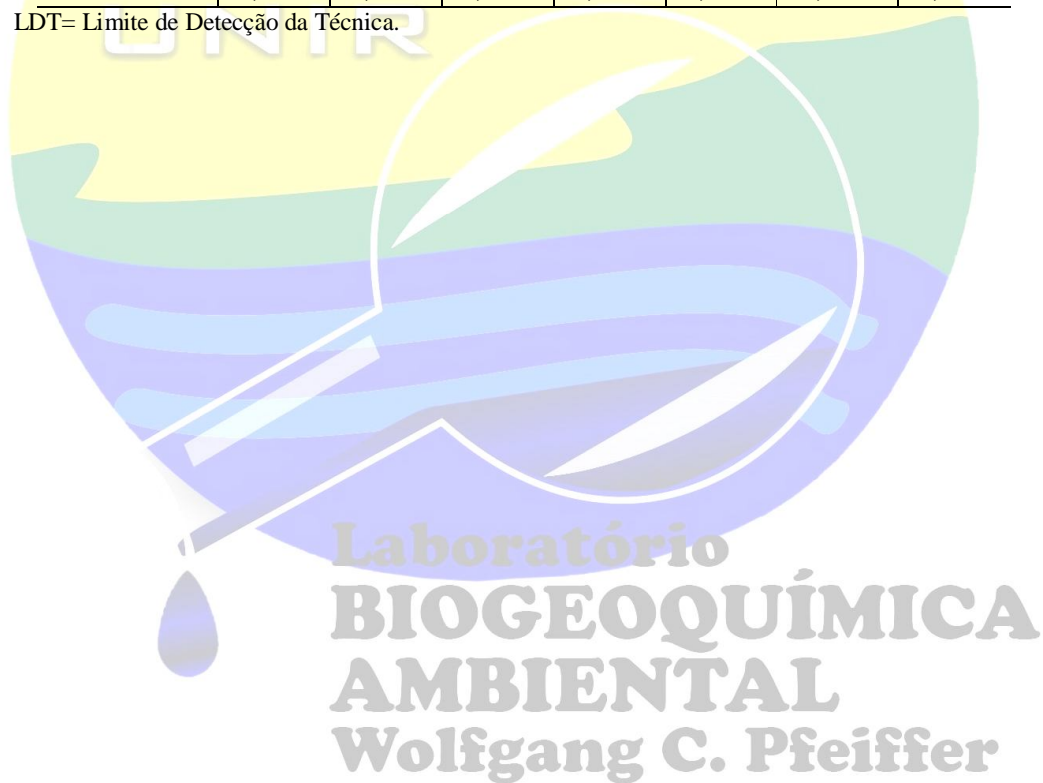
Registro do Laboratório	Pb	Cd	Zn	Cr	Cu	Co	Ni
	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>
RB	34,83	<LDT	103,86	20,50	<LDT	<LDT	13,25
CP	12,46	<LDT	114,46	<LDT	<LDT	<LDT	4,16
J01	32,06	<LDT	58,11	40,18	<LDT	<LDT	23,46
J02	46,45	<LDT	68,10	53,58	<LDT	<LDT	8,89
JAT I	40,38	<LDT	122,08	30,64	<LDT	<LDT	40,12
JAT II	82,11	<LDT	177,37	59,49	<LDT	<LDT	53,04
BELM	9,11	<LDT	22,49	<LDT	<LDT	<LDT	3,00
CT	25,81	<LDT	51,56	38,81	<LDT	<LDT	19,90
MD 01	18,82	<LDT	79,72	8,21	22,54	14,35	24,86
MD 02	19,51	0,25	76,26	9,35	22,46	14,98	23,77
MD 03	<LDT	<LDT	39,63	<LDT	22,41	13,68	24,37
MD 04	19,35	<LDT	76,91	8,12	21,60	12,23	23,60
MD 05	20,58	0,3576	77,22	9,11	23,15	14,8914	22,68
<b>LDT</b>	<b>5,5774</b>	<b>0,0001</b>	<b>11,0037</b>	<b>5,3100</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0001</b>	<b>2,2798</b>

LDT= Limite de Detecção da Técnica.

**Tabela I.5:** Concentração de Pb, Cd, Zn, Cr, Cu, Co e Ni encontrados no material particulado em suspensão (MPS) no rio Madeira e seus tributários referentes ao quinto trimestre (abril, maio e junho/2010) do presente estudo.

Localidade	Pb	Cd	Zn	Cr	Cu	Co	Ni
	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>
RB	54,65	<LDT	97,28	7,45	3,49	14,25	<LDT
CP	54,07	1,68	241,26	53,58	<LDT	108,87	<LDT
J01	<LDT	<LDT	251,94	11,52	360,18	22,78	<LDT
J02	<LDT	<LDT	49,20	<LDT	<LDT	59,56	<LDT
JAT I	2,80	1,41	105,86	64,49	<LDT	130,34	<LDT
JAT II	59,77	1,01	106,35	39,47	18,74	121,00	89,74
BELM	73,53	<LDT	78,00	26,64	28,15	156,71	<LDT
CT	51,23	0,9526	79,59	43,81	<LDT	62,57	<LDT
MD 01	13,08	<LDT	60,55	12,97	18,33	14,90	15,63
MD 02	14,91	<LDT	51,97	13,64	18,33	16,08	12,80
MD 03	266,64	<LDT	62,50	16,23	20,50	19,09	13,26
MD 04	13,07	<LDT	49,52	12,29	19,67	20,03	37,60
MD05	16,08	<LDT	59,01	8,72	18,91	<1,773	17,88
<b>LDT</b>	<b>0,5624</b>	<b>0,0468</b>	<b>5,6241</b>	<b>0,0001</b>	<b>1,1228</b>	<b>1,6872</b>	<b>0,0937</b>

LDT= Limite de Detecção da Técnica.



## CAPITULO II

### II.1 Água (AG)

Amostras de água foram coletadas utilizando-se de garrafa de Van Dorn e armazenadas em frascos de polietileno de alta densidade (HDPE), previamente descontaminados com HNO<sub>3</sub> a 5% e enxaguados com H<sub>2</sub>O milli-Q, para determinação dos metais pesados. Após a coleta as amostras foram mantidas sob refrigeração e, posteriormente, acidificadas com HCl a 37% (Fabricante Merck) na proporção de 4ml/l até momento da análise realizada por espectrofotometria de absorção atômica de chama para Cd, Cu, Cr, Co, Fe, Mn, Ni, e Pb (AA-400, Perkin Elemer) e por geração de vapor frio para Hg total (FIMS-400, Perkin Elemer).

Os resultados de cobalto, cromo, cobre, cádmio, chumbo, ferro, manganês, níquel, e zinco (Tabela II.1) na fração água total foram comparados com os valores estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, através da resolução 357 de 17 de março de 2005 para águas doces Classe I.

Ao se comparar os resultados obtidos até o momento com os valores preconizados pela resolução CONAMA-357, foi possível verificar que os elementos cobalto, cromo, cobre, cádmio, chumbo e níquel, apresentaram concentrações abaixo às preconizadas por esta resolução, com exceção apenas dos elementos, ferro, manganês e zinco, que tiveram concentrações mais elevadas, devido a composição natural do solo da bacia de drenagem, em que estes elementos são constituintes importantes.

**Tabela II.1:** Concentração de Pb, Cd, Zn, Cr, Cu, Co, Fe, Mn e Ni encontrados na fração Água Total no rio Madeira e seus tributários referentes ao quinto trimestre (abril, maio e junho/2010) do presente estudo.

Localidade	Pb	Cd	Zn	Cr	Cu	Co	Fe	Mn	Ni
	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
RB	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CP	<0,005	<0,001	0,0201	<0,001	<0,001	<0,001	0,2000	0,0051	<0,001
J01	<0,005	<0,001	0,0287	<0,001	0,0046	<0,001	0,7310	0,0113	<0,001
J02	<0,005	<0,001	0,0265	<0,001	<0,001	<0,001	0,6370	0,0111	<0,001
JAT I	<0,005	<0,001	0,0723	<0,001	0,0043	<0,001	0,7420	0,0219	<0,001
JAT II	<0,005	<0,001	0,0674	<0,001	<0,001	<0,001	0,7650	0,0164	<0,001
BELM	<0,005	<0,001	0,0638	<0,001	<0,001	<0,001	1,4000	0,0400	<0,001
CT	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MD 01	<0,005	<0,001	0,0750	<0,001	0,0080	<0,001	2,4160	0,0970	<0,001
MD 02	<0,005	<0,001	0,0768	<0,001	0,0092	<0,001	1,7890	0,0900	<0,001
MD 03	<0,005	<0,001	0,0698	<0,001	0,0097	<0,001	3,2520	0,2155	<0,001
MD 04	<0,005	<0,001	0,0701	<0,001	0,0077	<0,001	2,2740	0,0972	<0,001
MD05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Conama</b>	<b>0,0100</b>	<b>0,0010</b>	<b>0,1800</b>	<b>0,0500</b>	<b>0,0090</b>	<b>0,0500</b>	<b>0,3000</b>	<b>0,1000</b>	<b>0,0250</b>



## II.2 Metil-Mercúrio na Água (MeHg)

A transformação de um ambiente lótico em lenticó para criação de reservatório causa alterações na flutuação sazonal do nível da água, mudança no tempo de residência da água nos locais sujeitos a inundação sazonal, decomposição acelerada da matéria orgânica por processos aeróbicos e anaeróbicos. Alterando as condições físico-químicas do ambiente aquático durante a formação do reservatório constituindo fator chave para potencialização do processo de bioacumulação de MeHg nos organismos aquáticos.

Ambientes aquáticos perturbados pela criação de lagos artificiais e ricos em matéria orgânica aumentam a eficiência de transformação de Hg da sua forma inorgânica para a forma orgânica mais tóxica para os organismos (Hall et al 2008). Consequentemente ocorre bioacumulação do metilmercúrio ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ; MeHg) ao longo cadeia trófica aquática (Hall 2005). Desta forma a criação de reservatórios na Amazônia contribui para mobilização do mercúrio do solo seguido pela sua liberação na coluna d'água com posterior bioacumulação e biomagnificação e, conseqüentemente, pode contaminar a população através da ingestão de peixes contaminados (Porvari et. al. 1995; Hall, 2005).

Autores como Porvari (1985); Bodaly e Fudge, (1999); Hall, (2005); Hines e Gray (2008), tem seus estudos focados nos processos biogeoquímicos do MeHg em reservatório avaliando as condições favoráveis a metilação, demetilação, bioacumulação, e biomagnificação na cadeia trófica e exportação de MeHg a jusante.

Bodaly e Fudge (1999), observaram concentrações elevadas de Hg em peixes em regiões inundadas para criação de reservatórios. Estes autores encontraram níveis de MeHg em peixes até 3 vezes maiores do que antes da inundação. Paterson et al. (1997), encontraram um aumento de 10x nas concentrações de MeHg no zooplâncton após a inundação. Estudos realizados em lagos tropicais tem demonstrado o aumento de MeHg na biota logo após a inundação. Como exemplo, estudos realizados por Hylander et al (2005) no lago Manso (MT) conclui que os níveis de Hg na biota aumentam nos primeiros 3 anos de inundação e este aumento esta relacionado a disponibilidade de carbono orgânico dissolvido (COD) e a baixa concentração de oxigênio dissolvido (OD).

O MeHg produzido nos reservatórios é exportado a jusante durante a descarga de água rica em MeHg (Carnavam et al, 2000) resultando em concentrações de Hg ainda mais elevadas na biota a jusante do reservatório (Hylander et al 2005).

Schetagne et al (2000), em estudos realizados sobre a exportação de MeHg a jusante verificou que maior parte do metilmercúrio exportado a jusante na fase dissolvida  $>45\mu\text{m}$  e

no material particulado em suspensão corresponde a 64,3 e 33,3 de MeHg, respectivamente. O MeHg exportado por organismos na coluna d'água corresponde a 2,5%. Apesar de corresponder a uma pequena fração do MeHg desta fração pode ser diretamente assimilados pelos peixes a jusante.

## **II.2.1 Material e Métodos**

As coletas de água foram realizadas na campanha T5 (5º. Trimestre do Programa de monitoramento de Hg – Hidrobiogeoquímica Ambiental). As estações de amostragens são as estações onde estão sendo monitoradas os níveis de Hg total e outros metais como (Zn, Cd, Cu, Cr, Co, Pb, Mn, Ni e Fe) no material particulado em suspensão (MPS).

### **II.2.1.1 Coleta**

Técnicas de amostragens *ultra-clean* foram adotadas na coleta, transporte e preparo de amostras de acordo metodologia proposta pela EPA (1969). Utilizando se de luvas livre de pó foram coletadas duas alíquotas de 500 mL em frascos ambar de borossilicato previamente descontaminados em ácido nítrico. Após a coleta as amostras foram mantidas refrigeradas e no escuro até a preparação das amostras. Alíquotas para análise de metilmercúrio dissolvido (MeHgD) foram filtradas ainda em campo em filtros de acetato de celulose porosidade 45µm. As amostras foram transportadas ao Laboratório de Biogeoquímica Ambiental/UNIR onde foram acidificadas com HCl ultra puro *Merck*<sup>R</sup> e mantidas refrigeradas e no escuro até o momento da análise.

### **II.2.1.2 Análise de Metilmercúrio Total (MeHgT) e Metilmercúrio Dissolvido (MeHgD)**

As amostras de água filtradas e não filtradas foram analisadas para MeHg após a destilação, separação por cromatografia (CG) e detecção por espectrofotometria de fluorescência atômica (AFS) com geração de vapor frio. Os protocolos de destilação e análise das amostras foram baseados nos métodos desenvolvidos por (Bloom & Fitzgerald,1988; EPA, 2001).

Para análise de metilmercúrio na água total (MeHgT) e metilmercúrio dissolvido (MeHgD). Duas alíquotas de 50mL de cada amostra foram submetidas a destilação em bloco de alumínio (*DMS Brooks Rand Lab*) a 125°C com fluxo constante de N<sub>2</sub> por 5 horas. Cerca de 40mL de cada alíquota é destilada após adição de 200µL de pirrolidina ditiocarbamato de amônio (*APDC*), como agente de complexação. A alíquota é destilada em frasco de PTFE marca Savillex.

Após destilação as amostras são transferidas para frasco âmbar 40mL, adiciona-se 200µL de solução *buffer* para ajuste do pH para 4,9, posteriormente faz-se a etilação das amostras com adição de 50µL do agente derivatizante NaBEt<sub>4</sub>. As amostras são em seguida analisadas por CG-AFS (*MERX™ Automated Methyl Mercury Analytical System – Brooks Rand*).

## II.2.2 Resultados

Os dados apresentados de MeHgT e MeHgD são dados preliminares. As coletas foram realizadas entre 11 e 16 de maio de 2010. A tabela I.6 apresenta os dados para MeHgT e MeHgD na água nas estações de monitoramento na área de influencia da UHE-Santo Antonio.

**Tabela II.2:** Metilmercúrio em água total (MeHgT), água filtrada (MeHgD) e relação metilmercúrio água filtrada e metilmercúrio dissolvido na água nas estações de coletas da UHE - Santo Antonio, fase pré-enchimento, maio de 2010.

*Erro analítico*<sup>a</sup>

Reg. Lab.	Localidade	MeHgT ng.l <sup>-1</sup>	MeHgD ng.l <sup>-1</sup>	MeHgT/MeHgD %
AGJP 16152	JP01=Jaci Paraná	0,072	0,040	55,8
AGJP 16157	JP02 = Jaci Paraná/Lago Madalena	0,130	0,056	43,0
AGRB 16154	RB01=Rio Branco	0,051	0,026	51,6
AGMD 16163	MDCP=Rio Madeira/Foz rio Caripunas	0,061	0,075	123,8
AGMD 16167	MD01=Rio Madeira/Cachoeira dos Morrinhos	0,068	0,051	75,1
AGMD 16214	MD02=Rio Madeira/Montante Santo Antonio	0,049	0,051	103,9 <sup>a</sup>
AGMD 16224	MD03=Rio Madeira/Jusante Santo Antonio	0,053	0,049	93,0
AGMD 16245	MD04=Rio Madeira/Jusante Santo Antonio	0,057	0,042	74,1
AGCP 16165	CP01=Rio Caripunas	0,046	0,028	62,2
AGJT 16215	JTI=Igarapé Jatuarana/Montante Santo Antonio	0,339	0,161	47,6
AGJTII 16226	JTII= Igarapé Jatuarana II/Jusante Santo Antonio	0,140	0,064	46,2
AGCT 16169	CT01=Rio Contra	0,049	0,032	65,6
AGIB 16244	BLM01=Igarapé Belmonte/Jusante Santo Antonio	0,409	0,159	38,8

A tabela II.2 apresenta os valores médios de MeHg em ng.l<sup>-1</sup> do rio Madeira e seus afluentes, bem como a tabela II.3 apresenta resultados de estudos realizados em outros sistemas aquáticos. Os afluentes do rio Madeira apresentam valores médios de Hg superiores aos encontrados no rio Madeira. Estes valores médios são influenciados por ambientes mais lânticos identificados nos afluentes. Como exemplo, o Lago Madalena (JP02) no rio Jaci Paraná, igarapé Jatuarana I que durante o período de amostragem apresentava fluxo de água diminuído devido a força das águas do rio Madeira que afoga as margens dos igarapés.

O igarapé Belmont apresenta os maiores valores de MeHg 0,41 ng de MeHg.l<sup>-1</sup>. A bacia do igarapé Belmont é altamente impactada pelo desenvolvimento urbano e agrícola do

Município de Porto Velho. De acordo com Menezes (2007), apenas 45% da bacia do igarapé Belmont apresentava cobertura vegetal original. Atividades como terraplanagem e arruamentos, com o crescimento da capital, modificam seu curso superior o que causou o afogamento dos canais de drenagem de pequenos igarapés, que já estão transformados em canais de esgotos a céu aberto. Ressalta-se ainda que cerca de 21% da população de Porto Velho residem nesta micro bacia hidrográfica (MENEZES, 2007).

O metilmercúrio transportado pelo rio Madeira apresenta-se majoritariamente na fase dissolvida (MeHgD), enquanto que nos afluentes as proporções entre MeHgT e MeHgD variam entre 38-65%. Com os processos de ocupação humana e das características fisiográficas de cada bacia hidrográfica, o rio Branco, por exemplo, apresenta águas brancas, transporte de material orgânico grosseiro e material inorgânico particulado, entorno bastante preservado. O rio Contra é rio de águas claras e com forte correnteza. O rio Jaci Paraná é principal afluente do rio Madeira na área de estudo, apresenta águas claras e recebe águas dos tributários rio Branco e rio Contra. Na estação JP01, próximo a foz apresenta valor próximo aos encontrados no rio Madeira. Ao mesmo tempo o lago Madalena (JP02) formado pelo meandro abandonado do rio Jaci Paraná apresenta ambiente lântico e valor de MeHgT é praticamente 2 vezes maior do que JP01. O valores máximos de MeHgT e MeHgD encontrados nos afluentes foram: Belmonte 0,41 ng.l<sup>-1</sup> e Jatuarana 1 0,16 ng.l<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Tabela II.3:** Comparação das concentrações de Metilmercúrio em água (MeHg ng.l<sup>-1</sup>) filtrada e não filtrada dos rio Madeira e seus afluentes e outros estudos.

Localização do Estudo	MeHg	MeHg (ng.l <sup>-1</sup> )	Referências
Rio Madeira/ Afluentes (Alto Madeira)	MeHgT	0,046- 0,409	Este Estudo
Rio Madeira/ Afluentes (Alto Madeira)	MeHgD	0,026-0,161	Este Estudo
Rio Madeira (Alto Madeira)	MeHgT	0,049-0,068	Este Estudo
Rio Madeira (Alto Madeira)	MeHgD	0,042-0,0750	Este Estudo
Everglades (Período de seca)	MeHgT	0,035-3,8	Liu et al 20008
Everglades (Período de cheia)	MeHgT	0,038-2,8	Liu et al 20008
Rio Madeira (Baixo Madeira)	MeHgT	0,61-1,825	Bozongo et al 2002
Rio Madeira (Baixo Madeira)	MeHgD	0,30-0,647	Bozongo et al 2002
Rio Tapajós (Área de inundação periódica)	MeHgD	0,01-0,04	Roulet et al 2000
Quebec, Canadá	MeHgT	0,07-0,09	Schetagne et al 2000
Quebec, Canadá	MeHgD	0,01-0,08	Montgomery et al 2000

Poucos dados estão disponíveis na literatura que permitem uma maior comparação as concentrações de MeHg no rio Madeira. Destaca-se o trabalho realizado por Bozongo et al (2002), onde os valores encontrados mostram-se bem superiores ( $0,600 - 1,825\text{ng.l}^{-1}$ ) aos encontrados neste programa de Monitoramento. A tabela I.6 apresenta as concentrações de MeHgT e MeHgD para as 13 estações monitoradas neste programa. Comparando os dados da tabela I.6 com dados da tabela I.7 observa-se valores encontrados são 10 vezes mais baixos do que os valores encontrados por Bozongo et. al. (2002). Devemos considerar que o trabalho realizado por Bozongo et al (2002), não compreende o trecho encachoeirado do rio Madeira, mas, sim o trecho entre Porto Velho (Jusante de Santo Antonio) a foz do rio Madeira com o rio Amazonas. A estação MD04 é única estação que compreende a área estudada por Bozongo et. al. (2002) e mesmo assim não corrobora tais dados, dificultando a comparação. Os dados encontrados para o rio Madeira e afluentes estão de acordo com dados encontrados nos demais trabalhos citados na tabela II.3.

### **I.2.3 Considerações Finais**

Embora os dados obtidos até o momento para MeHg não permitirem ainda uma avaliação temporal. Os níveis de MeHg encontrados na no rio Madeira apresenta-se como níveis de *background* ambiental, uma vez que dados pretéritos ao garimpo de ouro não são disponíveis. Considerando a comparação parcimoniosa com dados de Bozongo et al (2002), observa-se um diminuição drástica nas concentrações de MeHg nas águas do rio Madeira nos últimos 8 anos.

Serão realizadas coletas nos próximos trimestres completando um ciclo sazonal. Momento que será possível uma avaliação mais aprofundada das concentrações de MeHg na água do rio Madeira e seus tributários.

Laboratório  
**BIOGEOQUÍMICA  
AMBIENTAL**  
Wolfgang C. Pfeiffer

## **CAPITULO III**

### **III.1 Sedimento (SD)**

As amostras de sedimentos de fundo foram coletadas utilizando-se de coletor pontual de sedimento em aço inox, draga de Eckman. Este equipamento permite a coleta da camada mais reativa do sedimento – os primeiros 5 cm de profundidade. Os perfis verticais de sedimento foram coletados com tubo de acrílico de dimensões 100 cm comprimento x 7,5cm de diâmetro nas áreas de remanso. Após a coleta as amostras de perfis verticais de sedimentos foram fatiadas de 5 em 5cm e acondicionadas em sacos de polietileno e mantidas resfriadas até a preparação das amostras para análise.

Para o procedimento analítico as amostras de sedimentos foram homogeneizadas 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 sedimento é transferida para um gral de porcelana e seca em estufa a temperatura de 50°C para posterior extração química e quantificação por espectrofotometria de absorção atômica de chama para Cd, Cu, Cr, Co, Fe, Mn, Ni, e Pb (AA-400, Perkin Elemer) e por geração de vapor frio para Hg total (FIMS-400, Perkin Elemer).

#### **III.1.1. Sedimento Superficial**

As concentrações de Hg total nos sedimentos superficiais de fundo do rio Madeira e seus tributários estão apresentadas temporalmente na figura III.1. A tabela III.1 mostra as médias de Hg ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) no sedimento superficial para o período de estudo. Comparando os valores médios de Hg no sedimento superficial com os valores estabelecidos pela CETESB (valores orientadores para solo e sedimento) ou pela CONAMA 344 verifica-se que os valores encontrados na bacia do rio Madeira estão abaixo deste limite. Deve ser observado que os valores orientadores estabelecidos pela CETESB e citados na tabela III.1 são a princípio mais apropriados para o estado de São Paulo. Os estudos sobre Hg no sedimento tanto no EIA-RIMA (IBAMA, 2005) quanto nos trabalhos realizados ao longo dos anos na bacia do rio Madeira tem mostrado que após o declínio do garimpo houve uma redução nos valores de Hg (Tabela III.2).

**Tabela III.1.** Valores de concentração de Hg ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) no sedimento de fundo nos tributários do rio Madeira (TB) e no rio Madeira (MD).

Mês/ano	Rios	Média ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	Mínimo ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	Máximo ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	DP ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	n
Julho, 2008	MD	0,0600	0,0390	0,0900	0,0240	04
Julho, 2008	TB	0,0800	0,0400	0,1410	0,0370	10
Agosto, 2009	MD	0,0600	0,0310	0,1280	0,0330	10
Agosto, 2009	TB	0,0900	0,0440	0,1360	0,0340	10
Novembro, 2009	TB	0,0759	0,0389	0,1180	0,0291	08
Novembro, 2009	MD	0,0526	0,0316	0,0814	0,0140	10
Fevereiro 2010	TB	0,0709	0,0303	0,1110	0,0266	06
Fevereiro 2010	MD	0,0360	0,0280	0,0460	0,0060	08
Mai 2010	MD	0,0567	0,0296	0,0876	0,0182	10
Mai 2010	TB	0,0790	0,0515	0,1178	0,0218	08
EIA-RIMA 2004	MD	0,0480	-	-	-	-
EIA-RIMA 2004	TB	0,0640	-	-	-	-
*Média da Crosta Terrestre	0,050	-	-	-	-	-
**CONAMA 344	0,170	-	-	-	-	-
***CONAMA 344	0,170-0,480					
****CETESB	0,500					

\*Referencia Kabata-Pendias (2001).

\*\*Nível que não se observa efeitos adversos a biota. Valor estabelecido para sedimentos a serem dragados.

\*\*\*Nível que se observam efeitos adversos à biota. Valor estabelecido para sedimentos a serem dragados.

\*\*\*\* Valor de Intervenção para solo e adotado para sedimento para o Estado de São Paulo.

Comparando os valores de Hg total encontrado no rio Madeira (MD) com os valores encontrados nos tributários (TB) do rio Madeira (Figura III.1), observa-se que os valores dos afluentes mostraram-se mais elevados.

Observou-se uma variação temporal nas concentrações de sedimento no período estudado, entre 2008 a 2010. A figura III.1 mostra variação temporal das concentrações de Hg total ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) no sedimento de fundo do rio Madeira e seus tributários. Considerando o ciclo hidrológico e a flutuação histórica média do nível fluviométrico do rio Madeira (Figura III.2), observa-se uma variação nas concentrações de Hg no rio Madeira. Contrário ao que ocorre com as concentrações de Hg no material particulado em suspensão no rio Madeira, as concentrações de Hg no sedimento dos tributários não apresentam grandes mudanças durante o ciclo hidrológico. O grande volume de águas do rio Madeira e sua alta vazão durante o período de cheia além de diluir Hg transportado no MPS reduz a taxa de sedimentação.

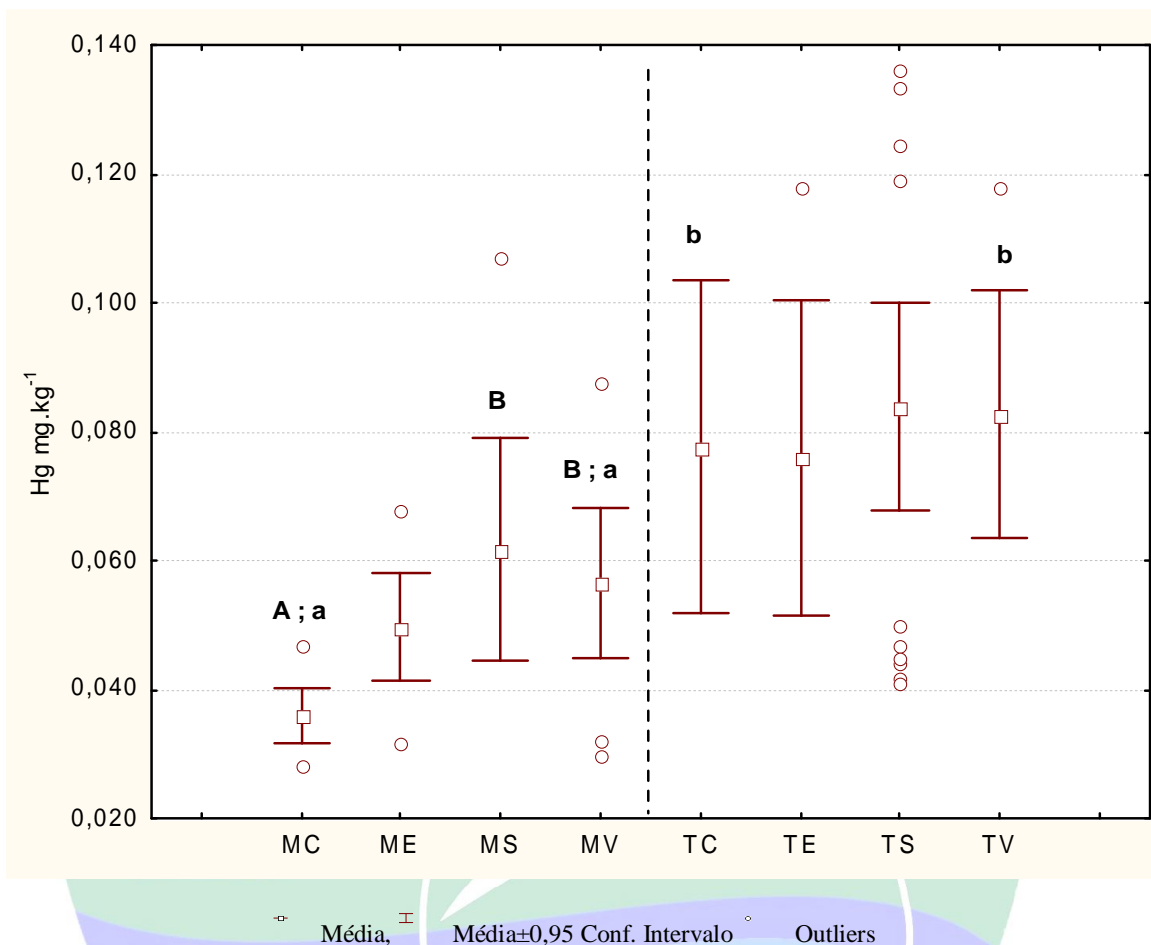
Enquanto que rios menores como os afluentes do rio Madeira são mais sensíveis a precipitações regionais e ao *run off* após os eventos precipitação. Desta forma, o monitoramento do material particulado em suspensão é importante para verificar alterações repentinas ocorridas na bacia nas microbacias dos afluentes do rio Madeira. Enquanto que o sedimento pode responder a variações mais a longo prazo.

Importante ressaltar que Pfeiffer et al (1989) encontraram no rio Mutum Paraná no final dos anos 80, tributário da margem direita do rio Madeira a montante do empreendimento UHE – Santo Antonio, uma concentração média de Hg de  $19,00 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Segundo estes autores, a alta concentração de Hg no rio Mutum-Paraná relacionava-se com a intensa utilização da foz deste rio para a manutenção de balsas e dragas utilizadas na mineração de ouro, que durante os períodos de atracagem eliminam este metal resultante da queima do amálgama de ouro/mercúrio (Au-Hg). De acordo com dados do EIA-RIMA estas concentrações de Hg diminuíram significativamente nos últimos anos variando entre  $0,124$  e  $0,134 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Esta diminuição de concentrações de Hg deve-se a dois fatores principais. Primeiramente a diminuição da manutenção de dragas nesta área ao longo do tempo e, a recuperação do mercúrio no processo de extração de ouro através da utilização da retorta (destilador de Hg – chamada pelos garimpeiros de “cadinho”) que teve um ganho efetivo nos últimos anos diminuindo seu lançamento direto nos corpos d’água da região.

Roulet et al (2000), estudando a bacia do rio Tapajós observaram que as alterações na cobertura vegetal da bacia para uso de pastagem, queima de florestas e a progressiva erosão dos solos contribuem para o aumento de Hg nos sedimentos de superfície. Tais atividades ocorrem em larga escala nas sub-bacias dos tributários do rio Madeira. Outro fator que contribui para os maiores valores de Hg no sedimento dos afluentes de sedimento nos afluentes são os solos com valores mais elevados de Hg quando comparados com os solos das margens do rio Madeira.

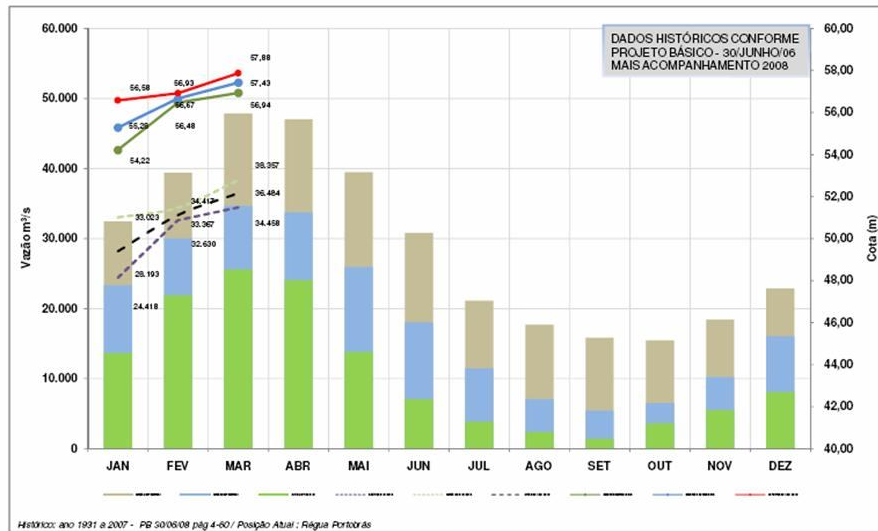
**BIOGEOQUÍMICA  
AMBIENTAL  
Wolfgang C. Pfeiffer**





**Figura III.1.** Variação temporal das concentrações de Hg total ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) no sedimento de fundo do rio Madeira e seus tributários na área de influencia da UHE Santo Antonio MC = madeira cheia, ME = madeira enchente, MS = madeira seca TC = tributários cheia, TE = tributários enchente, TS = tributários seca, TV = tributários vazante. As letras maiúsculas indicam diferença significativa (Kruskal-Wallis;  $p < 0,05$ ) entre os períodos amostrados no rio Madeira, e as letras minúsculas indicam diferença significativa (Mann-Whitney;  $p < 0,05$ ) entre o rio Madeira e os tributários *dentro* dos períodos amostrados.

Este relatório tem como finalidade também em inserir as concentrações dos outros elementos traços : Cobalto (Co); Manganês (Mn); Cromo (Cr); Níquel (Ni); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Ferro (Fe) e Zinco (Zn) em sedimento de fundo das estações de monitoramento na bacia hidrográfica do rio Madeira referente aos meses de fevereiro e maio de 2010, conforme os códigos apresentados na tabela III.1.



03 a 05 - Acompanh\_CotaVazão\_PR-2010

1/1

ENGENHARIA/PLANEJAMENTO

**Figura III.2.** Dados Históricos de vazão do rio Madeira (SAE, 2010).

**Tabela III.1 :** Período e código de coleta por trimestre

Mês/ano	Código Coleta
Julho, 2008	T0
Agosto, 2009	T2
Novembro, 2009	T3
Fevereiro, 2010	T4
Mai, 2010	T5

O **cobalto** (Co) não possui valores de referência estabelecidos para sedimento, a contribuição dos tributários apresentou concentração de  $5,69 \pm 3,01 \text{ mg.kg}^{-1}$  (média e DP), a maior concentração encontrada foi de  $12,13 \text{ mg.kg}^{-1}$  para BLM01(T4) e o menor valor de  $0,15 \text{ mg.kg}^{-1}$  para CT01 (T0) (Figura III.1a).

A contribuição do rio Madeira foi acima dos tributários com concentração  $11,48 \pm 1,89 \text{ mg.kg}^{-1}$  (média e DP) com menor valor de  $6,36 \text{ mg.kg}^{-1}$  para MD 02, no período (T0) com maior contribuição de  $15,13 \text{ mg.kg}^{-1}$  para estação MD02 e (T3) (Figura III.1b).

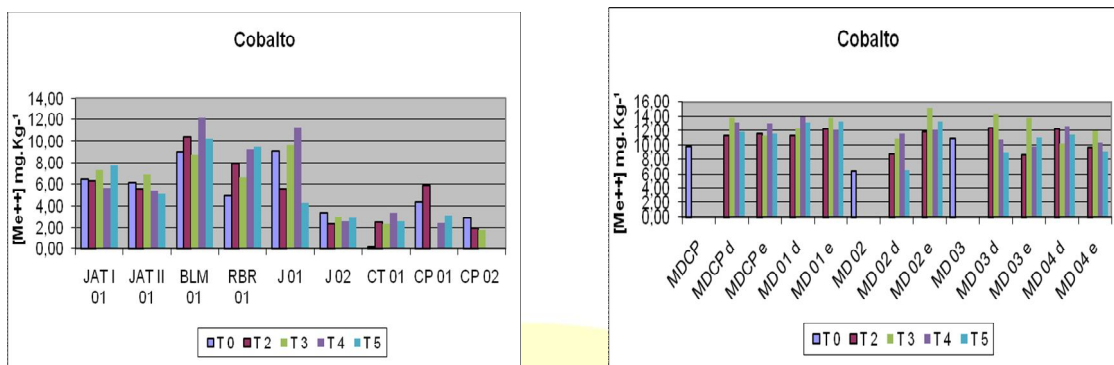


Figura III.1. Concentração de cobalto nos tributários (a) e no rio Madeira (b).

O **manganês** (Mn) não possui valores de referência estabelecidos para sedimento, a contribuição dos tributários apresentou concentração de  $157,34 \pm 206,99 \text{ mg.kg}^{-1}$  (média e DP), a maior concentração encontrada foi de  $881,30 \text{ mg.kg}^{-1}$  para RBR 01 (T5) e o menor valor de  $9,81 \text{ mg.kg}^{-1}$  para CP02 (T3) (Figura III.2a).

A contribuição do rio Madeira foi acima dos tributários com concentração  $460,70 \pm 132,59 \text{ mg.kg}^{-1}$  (média e DP), com a maior concentração  $827,60 \text{ mg.kg}^{-1}$  para a estação MD02 no período (T5) e menor concentração  $245,24 \text{ mg.kg}^{-1}$  na estação MD02d no período (T2) (Figura III.2b).

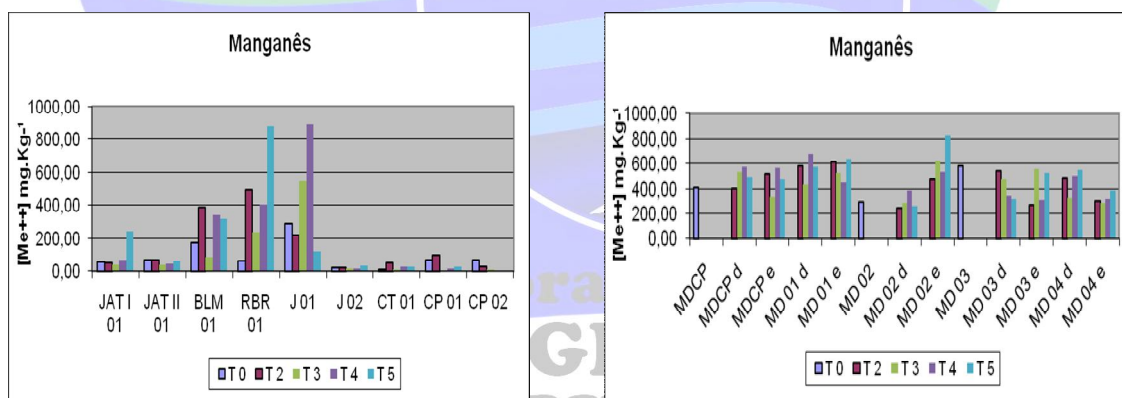


Figura III.2. Concentração de manganês nos tributários (a) e no rio Madeira (b).

O **cromo** (Cr) possui valores de referência estabelecidos em  $90 \text{ mg.kg}^{-1}$  para sedimento (CETESB), a contribuição dos tributários apresentou concentração de  $7,49 \pm 3,53 \text{ mg.kg}^{-1}$  (média e DP), a maior concentração encontrada foi de  $19,40 \text{ mg.kg}^{-1}$  para BLM01(T0) e o menor valor de  $2,28 \text{ mg.kg}^{-1}$  para JAT I (T2) (Figura III.3a).

A contribuição do rio Madeira foi acima dos tributários com concentração  $9,90 \pm 2,39$   $\text{mg.kg}^{-1}$  (média e DP), com a maior concentração  $20,23 \text{ mg.kg}^{-1}$  para a estação MD03 no período (T0) e menor concentração  $6,07 \text{ mg.kg}^{-1}$  para estação MD04d (T3). Todos os valores estão abaixo do valor de referência (Figuras III.3b).

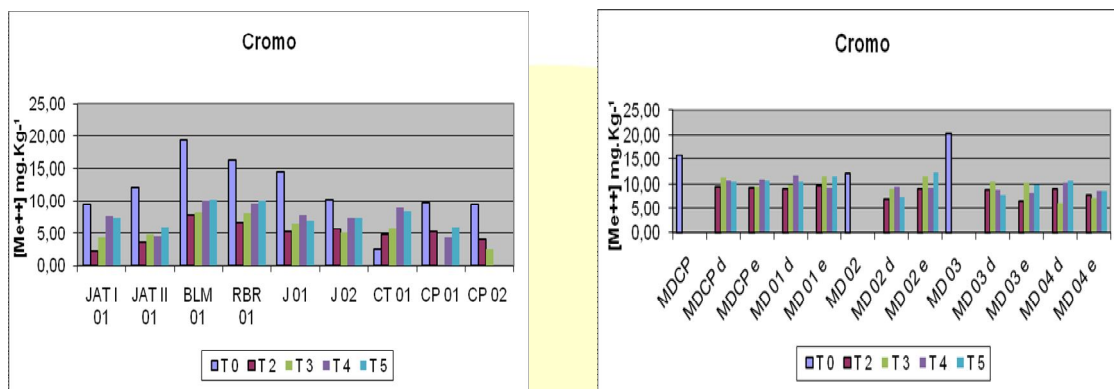


Figura III.3. Concentração de cromo nos tributários (a) e no rio Madeira (b).

O **níquel** (Ni) possui valores de referência estabelecidos em  $35,9 \text{ mg.kg}^{-1}$  para sedimento (CETESB), a contribuição dos tributários apresentou concentração de  $6,50 \pm 5,33 \text{ mg.kg}^{-1}$  (média e DP), a maior concentração encontrada foi de  $21,17 \text{ mg.kg}^{-1}$  para BLM01 (T0) e o menor valor abaixo do limite de detecção para CT01(T0) (Figura III.4<sup>a</sup>).

A contribuição do rio Madeira foi acima dos tributários com concentração  $16,51 \pm 2,70 \text{ mg.kg}^{-1}$  (média e DP), com a maior concentração  $22,80 \text{ mg.kg}^{-1}$  para a estação MD03 no período (T0) e menor concentração  $10,96 \text{ mg.kg}^{-1}$  para estação MD02d (T5). Todos os valores estão abaixo do valor de referencia (Figura III.4b).

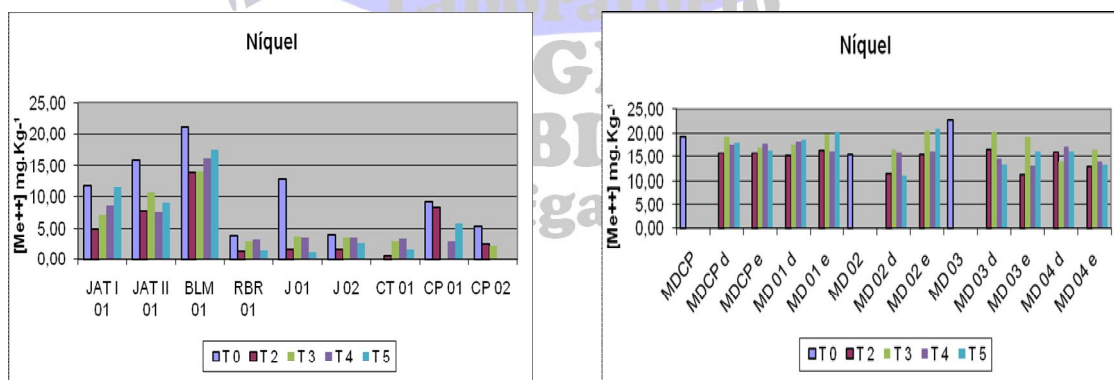


Figura III.4. Concentração de Níquel nos tributários (a) e no rio Madeira (b).

O **chumbo** (Pb) possui valores de referência estabelecidos em 91,3 mg.kg<sup>-1</sup> para sedimento (CETESB), a contribuição dos tributários apresentou concentração de 12,15 ± 3,52 mg.kg<sup>-1</sup> (média e DP), a maior concentração encontrada foi de 17,56mg.kg<sup>-1</sup> para J02 (T4) e o menor valor de 2,64 mg.kg<sup>-1</sup> para RBR01(T3) (Figura III.5<sup>a</sup>).

A contribuição do rio Madeira foi acima dos tributários com concentração 13,77 ± 2,79 mg.kg<sup>-1</sup> (média e DP), houve pouca variação entre as estações e os períodos, com a maior concentração 18,35 mg.kg<sup>-1</sup> para a estação MDCP no período (T3) e menor concentração 6,61 mg.kg<sup>-1</sup> para estação MD02d (T5). Todos os valores estão abaixo do valor de referência (Figura III.5b).

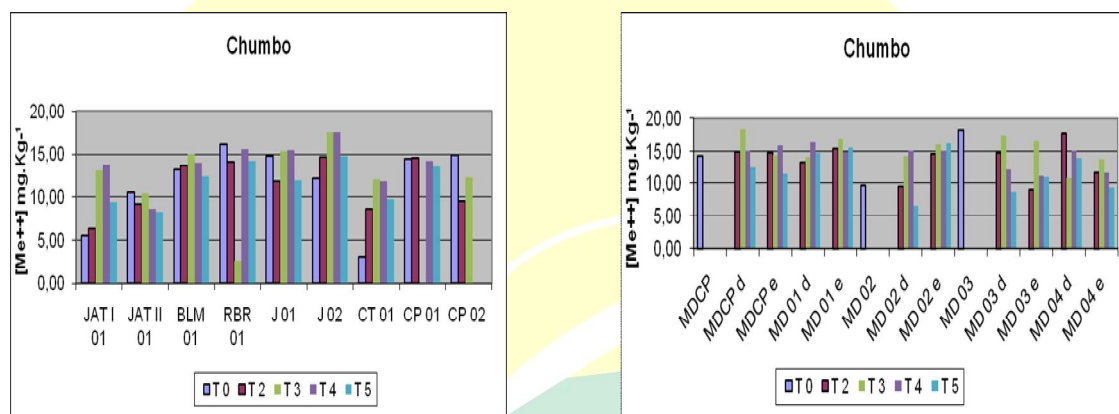


Figura III.5. Concentração de chumbo nos tributários (a) e no rio Madeira (b).

O **cobre** (Cu) possui valores de referência estabelecidos em 197 mg.kg<sup>-1</sup> para sedimento (CETESB), a contribuição dos tributários apresentou concentração de 6,56 ± 3,81 mg.kg<sup>-1</sup> (média e DP), a maior concentração encontrada foi de 16,50mg.kg<sup>-1</sup> para BLM01 (T5) e o menor valor de 0,56 mg.kg<sup>-1</sup> para CT01(T0) (Figura III.6<sup>a</sup>).

A contribuição do rio Madeira foi acima dos tributários com concentração 17,62 ± 3,57 mg.kg<sup>-1</sup> (média e DP), com a maior concentração 23,31 mg.kg<sup>-1</sup> para a estação MD01e no período (T5) e menor concentração 9,84 mg.kg<sup>-1</sup> para estação MD02d (T5). Todos os valores estão abaixo do valor de referência (Figura III.6b).

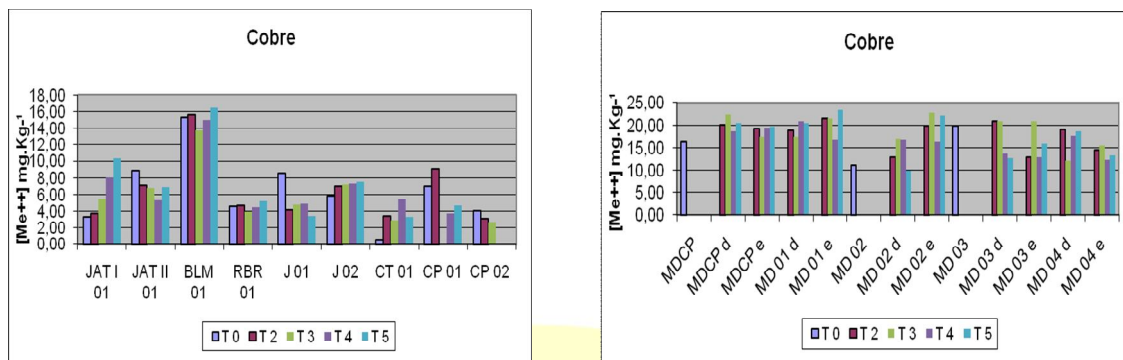


Figura III.6. Concentração de cobre nos tributários (a) e no rio Madeira (b).

O Ferro (Fe) não possui valores de referência para sedimento, a contribuição dos tributários apresentou concentração de  $20186,08 \pm 16617,92 \text{ mg.kg}^{-1}$  (média e DP), a maior concentração encontrada foi de  $60920,24 \text{ mg.kg}^{-1}$  para BLM01 (T4) e o menor valor de  $159,90 \text{ mg.kg}^{-1}$  para JATII (T0) (Figura III.7<sup>a</sup>).

A contribuição do rio Madeira foi acima dos tributários com concentração  $47387,01 \pm 16125,32 \text{ mg.kg}^{-1}$  (média e DP), com a maior concentração  $75513,20 \text{ mg.kg}^{-1}$  para a estação MD03e no período (T3) e menor concentração  $18975,63 \text{ mg.kg}^{-1}$  para estação MD02d (T5) (Figura III.7b).

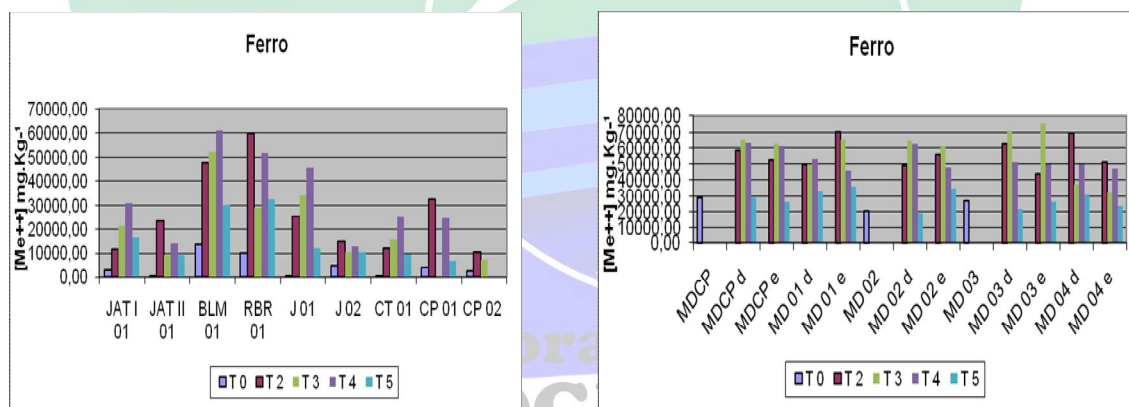


Figura III.7. Concentração de ferro nos tributários (a) e no rio Madeira (b).

O zinco (Zn) possui valores de referência estabelecidos em  $315 \text{ mg.kg}^{-1}$  para sedimento (CETESB), a contribuição dos tributários apresentou concentração de  $48,18 \pm 26,70 \text{ mg.kg}^{-1}$  (média e DP), a maior concentração encontrada foi de  $97,92 \text{ mg.kg}^{-1}$  para RBR01(T0) e o menor valor de  $9,29 \text{ mg.kg}^{-1}$  para CP02 (T3) (Figura III.8<sup>a</sup>).

A contribuição do rio Madeira foi acima dos tributários com concentração  $69,30 \pm 14,66 \text{ mg.kg}^{-1}$  (média e DP), com a maior concentração  $109,62 \text{ mg.kg}^{-1}$  para a estação MD03

no período (T0) e menor concentração 40,18mg.kg<sup>-1</sup> para estação MD02d (T5). Todos os valores estão abaixo do valor de referência (Figura III.8b).

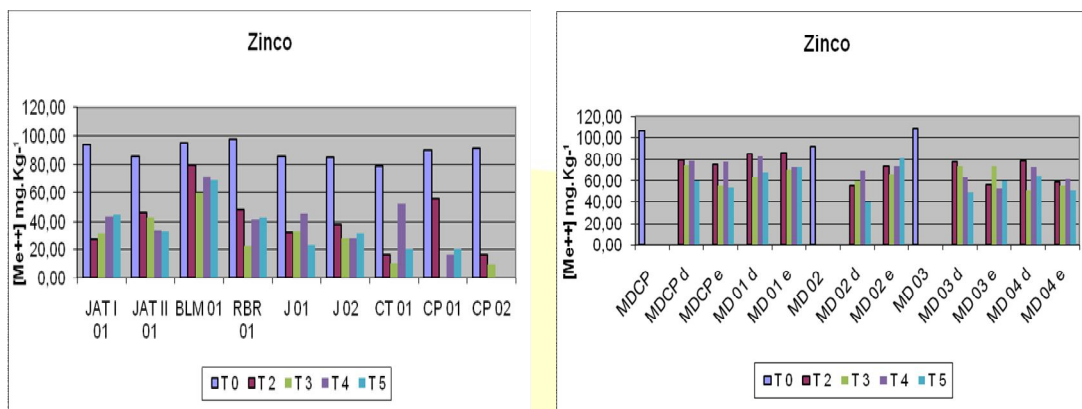


Figura III.8. Concentração de zinco nos tributários (a) e no rio Madeira (b).

As concentrações dos elementos referentes aos períodos de coleta de fevereiro e maio de 2010 não demonstraram uma alteração significativa em relação ao relatório anterior na dinâmica sazonal da região. Todos os resultados encontrados estão de acordo com a legislação e em coerência com resultados de trabalhos pretéritos na região.

Vale ressaltar, porém que nas respectivas estações de monitoramento, os tributários avaliados apresentaram maiores valores para os elementos Co; Mn; Pb; Cu; e Fe para o período de fevereiro e maio de 2010 (Tabela III.2).

Em relação às estações de monitoramento no rio Madeira somente os elementos Mn e Cu apresentaram os maiores valores neste período, entretanto, os elementos Ni, Pb, Cu, Fe e Zn apresentaram as menores concentrações para a mesma estação de coleta e referido período (Tabela III.3).

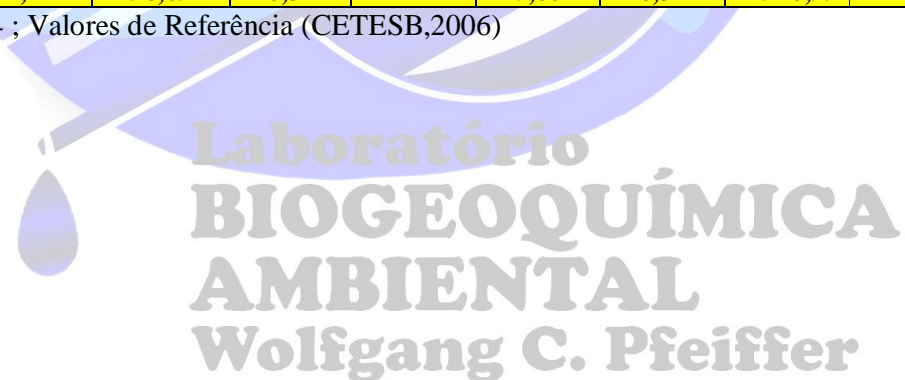
**Tabela III.2** : Tabela dos tributários do rio Madeira com média, desvio padrão, máximo e mínimo e concentração dos elementos químicos nos sedimentos por estações e período com valores de referência.

Localidade	Trimestre	Cobalto (mg.kg <sup>-1</sup> )	Manganês (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cromo (mg.kg <sup>-1</sup> )	Níquel (mg.kg <sup>-1</sup> )	Chumbo (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cobre (mg.kg <sup>-1</sup> )	Ferro (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zinco (mg.kg <sup>-1</sup> )	Mercúrio (mg.kg <sup>-1</sup> )
RBR 01	T 0	4,96	65,05	16,13	3,83	16,12	4,53	9965,96	97,92	0,1419
RBR 01	T 2	7,96	489,90	6,56	1,29	14,15	4,66	59836,28	48,39	0,1190
RBR 01	T 3	6,63	239,58	8,01	2,90	2,64	3,92	28920,90	22,60	0,1095
RBR 01	T 4	9,24	404,96	9,56	3,10	15,63	4,47	51806,36	41,56	--
RBR 01	T 5	9,45	881,30	10,08	1,47	14,24	5,19	32575,72	42,73	0,0540
CT 01	T 0	0,15	10,38	2,59	<LDT	3,04	0,56	391,31	79,00	0,1055
CT 01	T 2	2,47	52,25	4,70	0,51	8,56	3,45	12034,76	16,40	0,0720
CT 01	T 3	2,37	13,37	5,71	2,93	12,08	2,93	15445,50	10,17	0,0814
CT 01	T 4	3,38	26,46	8,89	3,32	11,85	5,38	24858,74	52,67	0,0721
CT 01	T 5	2,60	27,60	8,24	1,57	9,72	3,35	9684,90	20,53	0,0866
J 01	T 0	9,05	287,32	14,42	12,93	14,83	8,53	318,96	85,55	0,0575
J 01	T 2	5,56	221,75	5,17	1,63	11,85	4,20	25404,04	32,84	0,0910
J 01	T 3	9,63	548,60	6,46	3,69	15,32	4,79	34079,46	33,43	0,0919
J 01	T 4	11,27	769,24	7,67	3,42	15,51	4,86	45495,13	45,47	0,0903
J 01	T 5	4,32	121,08	6,92	1,11	11,97	3,38	12212,47	23,10	0,1178
J 02	T 0	3,38	24,58	10,22	4,09	12,12	5,82	4944,03	85,16	0,1090
J 02	T 2	2,34	24,75	5,54	1,53	14,70	6,97	14780,69	37,98	0,1335
J 02	T 3	2,98	17,57	5,07	3,53	17,48	7,20	10442,25	28,02	0,1180
J 02	T 4	2,61	18,53	7,24	3,47	17,56	7,28	13023,93	27,87	0,1110
J 02	T 5	2,95	34,79	7,24	2,61	14,74	7,54	10606,79	31,92	0,0785
CP 01	T 0	4,39	69,05	9,79	9,24	14,40	6,99	3814,05	89,81	0,0907
CP 01	T 2	5,90	95,92	5,12	8,32	14,51	9,04	32647,38	55,75	0,0840
CP 02	T 0	2,90	35,02	9,41	5,38	14,84	4,04	2581,53	91,37	0,1244
CP 02	T 2	1,94	28,60	4,01	2,42	9,47	3,16	10432,75	16,41	0,1360
CP 02	T 3	1,78	9,81	2,62	2,14	12,26	2,74	7269,22	9,29	0,0668
CP 02	T 4	2,46	19,69	4,32	2,82	14,22	3,72	24515,38	16,12	0,0894
CP 02	T 5	3,19	25,71	5,91	5,81	13,5	4,72	6820,85	20,72	0,0967
JAT I	T 0	6,50	55,89	9,42	11,89	5,50	3,35	2947,34	93,76	0,0856
JAT I	T 2	6,31	52,01	2,28	4,88	6,28	3,78	11442,14	27,41	0,0470



		Cobalto	Manganês	Cromo	Níquel	Chumbo	Cobre	Ferro	Zinco	Mercúrio
Localidade	Trimestre	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )
JAT I	T 3	7,26	41,97	4,29	7,10	13,02	5,37	21125,62	32,09	0,0535
JAT I	T 4	5,64	68,17	7,53	8,63	13,77	8,05	30871,19	43,64	0,0619
JAT I	T 5	7,69	240,12	7,32	11,53	9,35	10,36	16390,89	45,09	0,0748
JAT II	T 0	6,18	68,93	12,04	15,93	10,53	8,82	159,90	85,50	0,0408
JAT II	T 2	5,59	67,38	3,57	7,79	9,13	7,05	23237,82	46,12	0,0447
JAT II	T 3	6,87	37,61	4,69	10,63	10,37	6,78	9133,94	43,11	0,0472
JAT II	T 4	5,45	46,26	4,42	7,66	8,61	5,31	13995,59	34,31	0,0412
JAT II	T 5	5,13	62,22	5,89	9,10	8,24	6,87	9080,27	33,55	0,0515
BLM 01	T 0	9,02	171,86	19,40	21,17	13,19	15,35	13528,74	95,42	0,0441
BLM 01	T 2	10,48	386,42	7,70	13,87	13,62	15,63	47873,55	79,27	0,0498
BLM 01	T 3	8,73	88,09	8,12	14,10	15,06	13,80	52277,16	60,10	0,0389
BLM 01	T 4	12,13	341,30	10,02	16,22	13,93	15,05	60920,24	71,72	0,0303
BLM 01	T 5	10,26	317,27	10,13	17,51	12,35	16,50	29921,58	69,59	0,0724
Média		5,69	157,34	7,49	6,50	12,15	6,56	20186,08	48,18	0,0808
DP		3,01	206,99	3,53	5,33	3,52	3,81	16617,92	26,76	0,0303
Max		12,13	881,30	19,40	21,17	17,56	16,50	60920,24	97,92	0,1419
Min		0,15	9,81	2,28	<LDT	2,64	0,56	159,90	9,29	0,0303
*Referencia	-	ND	ND	90	-	91,3	197	ND	315	0,486
*EIA/RIMA	R.J.Parana	0,96	12,95	2,47	-	6,97	3,43	8065,72	9,12	0,036
*EIA/RIMA	R.Mutum	<LDT	0,6	3,76		0,43	1,33	2346,33	4,85	0,134
*EIA/RIMA	R.Abuna	4,27	96,69	8,37		5,68	6,34	12928,99	28,4	0,003

\*Valores encontrados EIA/RIMA – 2004 ; Valores de Referência (CETESB,2006)

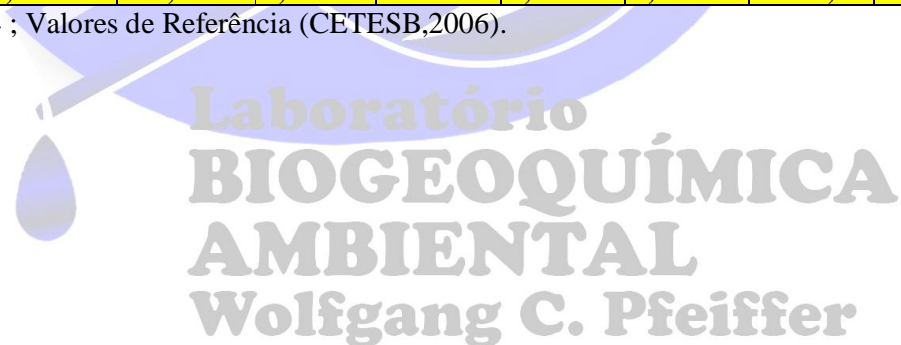


**Tabela III.3:** Tabela do rio Madeira com média, desvio padrão, máximo e mínimo e concentração dos elementos químicos nos sedimentos por estações e período com valores de referência.

Localidade	Trimestre	Cobalto (mg.kg <sup>-1</sup> )	Manganês (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cromo (mg.kg <sup>-1</sup> )	Níquel (mg.kg <sup>-1</sup> )	Chumbo (mg.kg <sup>-1</sup> )	Cobre (mg.kg <sup>-1</sup> )	Ferro (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zinco (mg.kg <sup>-1</sup> )	Mercúrio (mg.kg <sup>-1</sup> )
MDCP	T 0	9,81	407,80	15,76	19,34	14,27	16,34	28790,92	106,50	0,0396
MDCP d	T 2	11,32	399,75	9,46	15,78	14,87	20,13	58106,96	80,02	0,0510
MDCP d	T 3	13,72	535,44	11,29	19,24	18,35	22,37	65712,75	74,91	0,0581
MDCP d	T 4	13,09	574,58	10,64	17,53	15,07	18,58	63721,70	79,00	0,0400
MDCP d	T 5	11,75	494,12	10,43	18,11	12,40	20,58	29016,13	59,30	0,0504
MDCP e	T 2	11,58	517,02	9,16	15,80	14,72	19,17	52634,36	75,15	0,0490
MDCP e	T 3	11,24	337,06	9,51	16,99	14,38	17,35	63252,16	55,05	0,0375
MDCP e	T 4	12,98	565,55	10,79	17,84	15,97	19,47	60671,79	78,03	0,0400
MDCP e	T 5	11,55	471,34	10,67	16,48	11,39	19,75	26336,64	53,34	0,0729
MD 01 d	T 2	11,24	585,60	8,97	15,17	13,34	18,86	49563,86	85,97	0,1070
MD 01 d	T 3	12,24	429,95	9,85	17,51	14,03	17,40	50043,05	62,45	0,0461
MD 01 d	T 4	13,85	676,19	11,70	18,19	16,34	20,80	53265,83	83,29	0,0500
MD 01 d	T 5	13,10	574,77	10,47	18,73	14,71	20,40	33049,71	67,59	0,0630
MD 01 e	T 2	12,19	612,68	9,57	16,32	15,47	21,61	70002,11	86,44	0,0580
MD 01 e	T 3	13,82	520,87	11,41	19,88	16,90	21,61	65435,71	70,41	0,0679
MD 01 e	T 4	12,05	448,74	9,15	16,20	14,97	16,86	46018,18	73,26	0,0400
MD 01 e	T 5	13,28	635,87	11,43	20,32	15,65	23,31	35888,80	73,05	0,0550
MD 02	T 0	6,36	295,17	12,16	15,40	9,73	11,10	19983,93	92,66	0,0395
MD 02 d	T 2	8,78	245,24	6,91	11,49	9,49	12,97	49179,44	54,90	0,0310
MD 02 d	T 3	10,84	287,50	9,05	16,65	14,31	17,10	64865,24	59,37	0,0473
MD 02 d	T 4	11,53	388,16	9,37	15,93	15,01	16,73	62638,36	69,16	0,0300
MD 02 d	T 5	6,58	265,52	7,26	10,96	6,61	9,84	18975,63	40,18	0,0321
MD 02 e	T 2	11,82	473,45	8,93	15,36	14,65	19,87	55940,71	73,58	0,0910
MD 02 e	T 3	15,13	623,63	11,47	20,54	16,04	22,75	61161,55	66,27	0,0634
MD 02 e	T 4	12,08	535,15	9,19	16,11	15,04	16,43	47890,37	73,58	0,0400
MD 02 e	T 5	13,23	827,60	12,26	21,00	16,20	22,16	34511,57	81,08	0,0876
MD 03	T 0	10,92	578,20	20,23	22,80	18,12	19,97	26584,04	109,62	0,0515
MD 03 d	T 2	12,32	544,01	8,87	16,65	14,67	20,90	63043,33	78,22	0,0510
MD 03 d	T 3	14,33	478,82	10,44	20,19	17,33	20,97	70853,99	73,50	0,0536

		Cobalto	Manganês	Cromo	Níquel	Chumbo	Cobre	Ferro	Zinco	Mercúrio
Localidade	Trimestre	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )
MD 03 d	T 4	10,72	347,64	8,88	14,53	12,18	13,69	51421,06	62,54	0,0300
MD 03 d	T 5	9,09	322,44	7,81	13,26	8,69	12,66	21484,87	49,10	0,0513
MD 03 e	T 2	8,65	271,37	6,54	11,25	9,06	12,86	44132,25	55,54	0,0330
MD 03 e	T 3	13,76	557,09	10,13	19,29	16,58	20,97	75513,20	73,88	0,0510
MD 03 e	T 4	9,86	314,64	8,20	13,20	11,08	12,88	49555,09	52,70	0,0300
MD 03 e	T 5	10,99	521,03	9,77	16,10	11,03	16,01	26109,37	58,99	0,0515
MD 04 d	T 2	12,18	483,15	8,96	15,95	17,71	19,00	69772,81	79,16	0,0443
MD 04 d	T 3	10,26	327,81	6,07	13,86	10,74	12,01	37528,59	50,64	0,0316
MD 04 d	T 4	12,65	500,08	10,22	17,20	15,08	17,70	49696,56	72,57	0,0400
MD 04 d	T 5	11,39	551,97	10,62	16,26	13,86	18,73	31081,12	64,18	0,0736
MD 04 e	T 2	9,73	299,04	7,79	12,80	11,62	14,63	51415,58	58,37	0,1281
MD 04 e	T 3	11,98	284,07	7,22	16,57	13,81	15,58	31834,67	54,74	0,0407
MD 04 e	T 4	10,36	317,45	8,50	13,92	11,56	12,33	47388,24	60,95	0,0300
MD 04 e	T 5	9,20	382,60	8,51	13,32	9,28	13,21	23569,42	50,68	0,0296
Média		11,48	460,70	9,90	16,51	13,77	17,62	47387,01	69,30	0,0514
DP		1,89	132,59	2,39	2,70	2,79	3,57	16125,32	14,66	0,0211
Máx.		15,13	827,60	20,23	22,80	18,35	23,31	75513,20	109,62	0,1281
Min.		6,36	245,24	6,07	10,96	6,61	9,84	18975,63	40,18	0,0296
* Referencia	-CETESB	ND	ND	90	-	91,3	197	ND	315	0,486
* EIA/RIMA	R.Madeira	8,21	396,05	6,89	-	7,31	13,35	32459,3	69,29	0,041
* EIA/RIMA	Rio Beni	6,78	216,23	5,79	-	5,53	11,18	24923,12	52,7	0,018
* EIA/RIMA	R. Mamoré	7,11	260,72	6,04	-	5,9	8,50	24513,06	54,99	0,016

\*Valores encontrados EIA/RIMA – 2004 ; Valores de Referência (CETESB,2006).



## CAPÍTULO IV

### IV.1. Solos (SL)

A caracterização da matriz solo ocorreu com a identificação da geometria dos volumes e dos horizontes em diferentes escalas de profundidade que servirá para classificar a morfologia dos solos na área pesquisada, principalmente dos horizontes sub-superficiais associando tipo de solo com a concentração dos elementos químicos estudados e delimitando valores mais próximos do *background* natural.

Em conformidade com o plano de trabalho do projeto Hidrobiogeoquímica do Mercúrio e outros Elementos Traço no Rio Madeira, para o aproveitamento hidrelétrico de Santo Antônio (AHE-Santo Antônio), visando complementar o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e contribuir para o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) foram realizadas até o momento análises de mercúrio (Hg) e outros metais pesados: Chumbo (Pb); Cobalto (Co); Zinco (Zn); Manganês (Mn); Ferro (Fe); Cromo (Cr); Cobre (Cu); Níquel (Ni), conforme divulgado em relatório anterior.

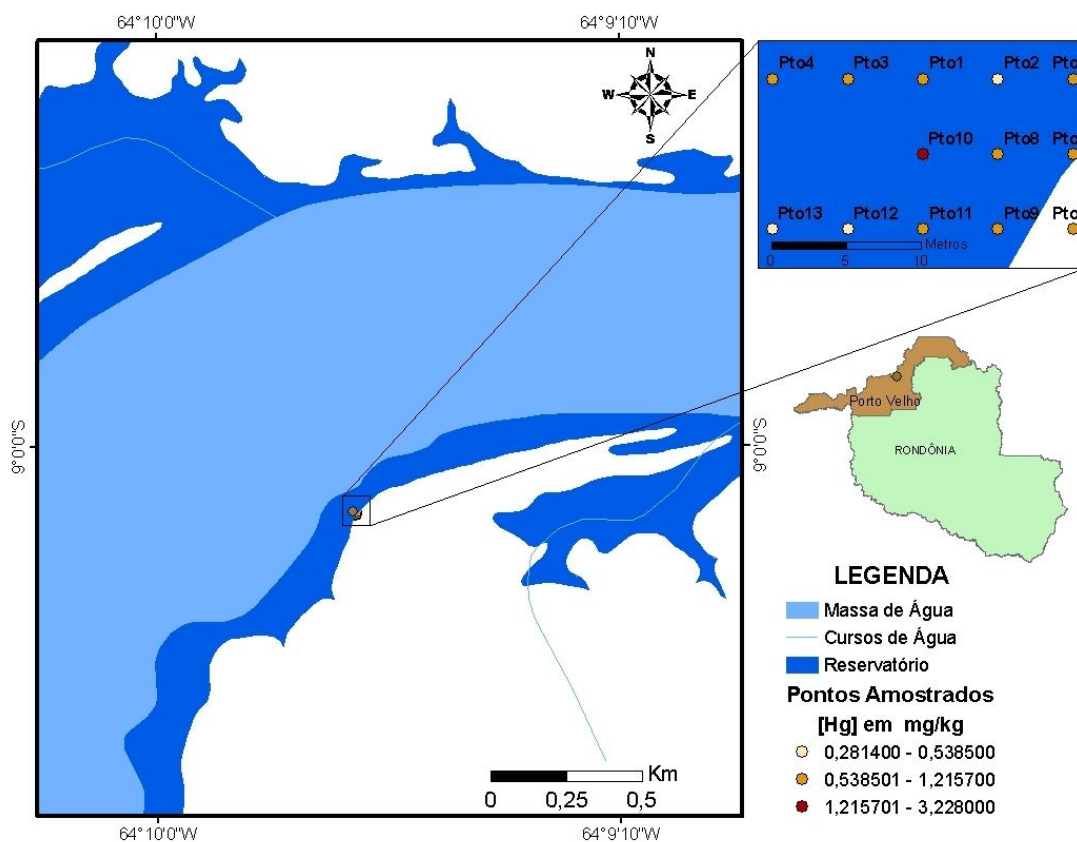
Com os resultados preliminares obtidos dentre as trinta estações de perfis de solos monitoradas, verificou-se na estação de monitoramento do perfil 19, localizada na margem direita do rio Madeira, nas proximidades da comunidade de Morrinhos, que o horizonte orgânico obteve concentração de mercúrio discrepante entre os demais horizontes sub superficiais da mesma estação, como também superior as demais estações de monitoramento e de resultados pretéritos encontrados na região.

Após repetição analítica e confirmação dos resultados, houve necessidade de nova coleta de solos que foi realizada no dia 14/05/2010 pela equipe do laboratório de biogeoquímica Ambiental Wolfgang Christian Pfeiffer – UNIR, formada pelo geógrafo Msc Joiada Moreira da Silva, pelo biólogo Msc Márcio Rodrigues Miranda e pelo biólogo Dario Pires de Carvalho, acompanhada do motorista da Santo Antonio Energia (SAE) Moisés.

A estação de monitoramento registrada como P19 contempla características de grande relevância para identificação de áreas possivelmente impactada com mercúrio, como descrito no plano de trabalho, visto que se encontra na bacia superior do rio Madeira, onde ocorreu a maior concentração da atividade garimpeira de ouro e por ter sido uma possível localidade de atracadouro para manutenção de balsas utilizadas no garimpo de ouro.

Seguindo o protocolo de coleta de solos da CETESB (2006), caracterizado pelo esquema com distribuição sistemática dos pontos de amostragem e adensamento no ponto previamente identificado (hot spot) como área contaminada, realizou-se uma amostragem no

horizonte orgânico (0-15 cm) em uma área de 200m<sup>2</sup> no total de 13 pontos com equidistância de 5 metros entre pontos (Figura IV.1).



**Figura IV.1:** Pontos adensados de coletas e a concentração de [Hg] em mg/Kg. O ponto 1 referente ao perfil 19 na região de Morrinhos.

Diante dos resultados encontrados Tabela IV.1 se faz pertinente uma amostragem ainda maior, projetada para ser realizada no mês de agosto de 2010 onde será proposto um esquema de coleta com malha de amostragem triangular, que proporciona uma hipótese mais eficiente na distribuição espacial do poluente, para podermos dimensionar e direcionar as ações a serem empregadas (CETESB 2006).

**Tabela IV.1:** Resultados de mercúrio total em solos da região de Morrinhos (Perfil 19).

Código de Laboratório	Código de Campo	Mercúrio (mg.kg <sup>-1</sup> )
SLMD 16227	PONTO 1	0,8518
SLMD 16228	PONTO 2	0,5385
SLMD 16229	PONTO 3	1,0791
SLMD 16230	PONTO 4	0,7745
SLMD 16231	PONTO 5	1,1089
SLMD 16232	PONTO 6	0,9559
SLMD 16233	PONTO 7	0,8659
SLMD 16234	PONTO 8	0,9657
SLMD 16235	PONTO 9	1,2157
SLMD 16236	PONTO 10	3,2280
SLMD 16237	PONTO 11	0,9156
SLMD 16238	PONTO 12	0,4183
SLMD 16239	PONTO 13	0,2814
*Relatório 2010	Tributários	0,1156
*Relatório 2010	R. Madeira	0,0794
**EIA/RIMA	R. Madeira	0,0854
**EIA/RIMA	R.J.Parana	0,0923
**EIA/RIMA	R.Mutum	0,0757
**EIA/RIMA	R.Abunã	0,0449

A área em questão apresenta valores até 30 vezes acima dos valores encontrados no EIA/RIMA 2004 e nos demais perfis de monitoramento, que sugere um passivo ambiental proveniente das atividades antrópicas relacionadas ao garimpo de ouro, contudo para podermos compreender a extensão dos fatos, além de dimensionar a área afetada precisamos saber a expansão da área de alagamento. Solicitamos informações ao empreendedor referente se a referida área apontada será inundada pelo empreendimento.

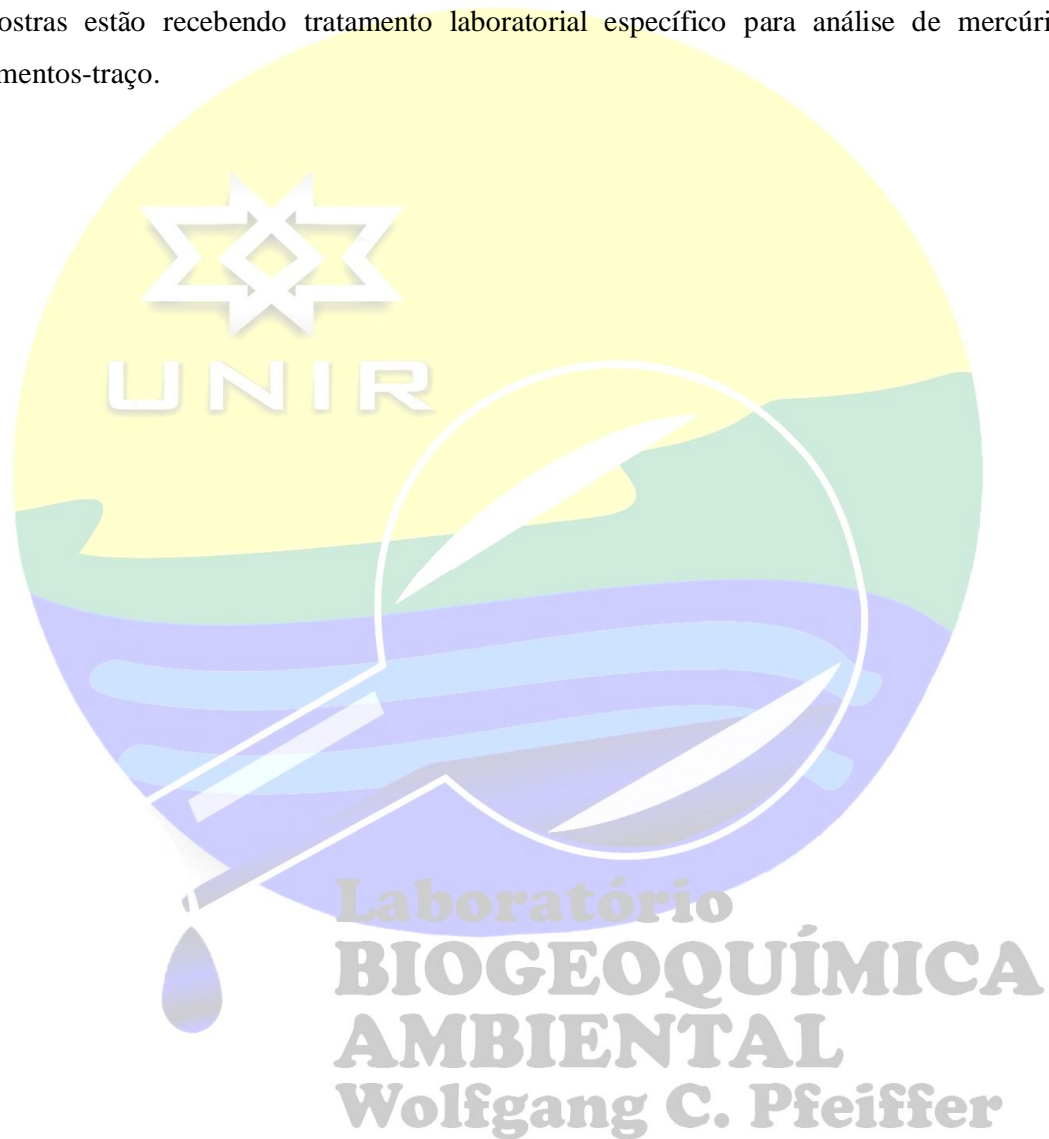
As altas concentrações de mercúrio encontradas nos solos demonstram a necessidade de monitoramento não somente na fase de pré-enchimento como também de pós-enchimento para avaliarmos as possíveis alterações sócio-ambientais que elas podem causar.

Esta área será avaliada na coleta referente ao próximo trimestre, pré-agendada para 2<sup>a</sup>. Quinzena de Agosto/2010, em que se projeta um desenho amostral que abrangerá pelo menos até a cota de inundação, com objetivos em se identificar a abrangência da anomalia.

## CAPÍTULO V

### V1. Plâncton (Séston)

As amostras de seston referentes ao quinto trimestre do presente estudo, foram coletadas no mês de maio de 2010 nas seguintes localidades: Igarapé Jaturana I e nos rios Caripunas, Contra, Branco e Jacy-Paraná, totalizando 18 amostras. No momento, estas amostras estão recebendo tratamento laboratorial específico para análise de mercúrio e elementos-traço.



## CAPITULO VI

### VI.1. Macroinvertebrados

Os macroinvertebrados bentônicos são bons bioindicadores da qualidade de água porque são geralmente mais permanentes no ambiente, pelo fato de viverem de semanas a alguns meses no sedimento (CALLISTO et al. 2005). São relativamente sésseis e muitos organismos alimentam-se de matéria orgânica produzida na coluna d'água ou daquela proveniente da vegetação marginal que cai no leito dos rios. São importantes componentes da dieta de peixes, anfíbios e aves aquáticas e por isso transferem a energia obtida da matéria orgânica morta retida no sedimento para os animais que deles se alimentam. O conjunto de organismos chamados “macroinvertebrados bentônicos” vive no fundo de corpos d'água continentais (rios e lagos). Dentre eles predominam as larvas de insetos aquáticos, minhocas d'água, caramujos, vermes e crustáceos, com tamanhos de corpo maiores que 0,2-0,5 mm (CALLISTO, 2000).

Na coleta foi utilizada uma peneira de 4mm entre nós adjacentes padronizando-se um esforço de procura de 10 minutos para o peneiramento do sedimento e da vegetação aquática marginal, além de fazer uso também de uma rede de arraste com malha de 7mm entre nós adjacentes. Os exemplares coletados foram armazenados em garrafas de polietileno com a água do rio/Igarapé onde foram coletados.

Os exemplares de camarões foram identificados no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental, conforme as chaves e descrições disponíveis em (HOLTHUIS, 1952; GARCÍA-DÁVILA, & MAGALHÃES, 2003). As larvas de insetos também foram identificadas no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer/UNIR, conforme a chave e descrições disponíveis em Constantino (2002) até o nível de ordem.

Em laboratório, os indivíduos foram lavados com água deionizada, separados por espécie, medidos quanto ao comprimento total (cm), da extremidade do rostro a porção posterior do telson, utilizando-se de um paquímetro de aço, 150mm x 0,02mm (REF – 8069 Brasfort®), e pesados em balança analítica (Modelo AM 220). Os macroinvertebrados foram armazenados em freezer (-18°C) até o dia da análise. Após a pesagem, os macroinvertebrados foram adicionados em tubos de teflon do forno de microondas específico para extração química de amostras, com frequência de 2450 MHz (comprimento de onda de 12,2 cm) e com 3 estágios (CEM, MDS-2000). Em seguida, adicionou-se 1 mL de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), 3 mL de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub> 65%) e 3 mL de permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub> 5%) em cada tubo. Após a solubilização química, as amostras foram transferidas



para frascos de polietileno de 14 mL (SARSTEDT) onde foram adicionadas duas gotas de  $\text{KMnO}_4$  a 5%. As amostras permaneceram em *overnight*. No dia seguinte, adicionou-se gotas de cloridrato de hidroxilamina à 12% aos tubos de 14 mL até viragem da coloração (titulação). Na determinação de Hg total, previamente foram preparados padrões de calibração de Hg nas concentrações de 1,00; 2,00; 5,00; 8,00 e  $10,0\mu\text{g.L}^{-1}$  e, em seguida, as concentrações foram obtidas pelo espectrofotômetro de absorção atômica com geração de vapor frio (FIMS-400 fabricado por Perkin-Elmer).

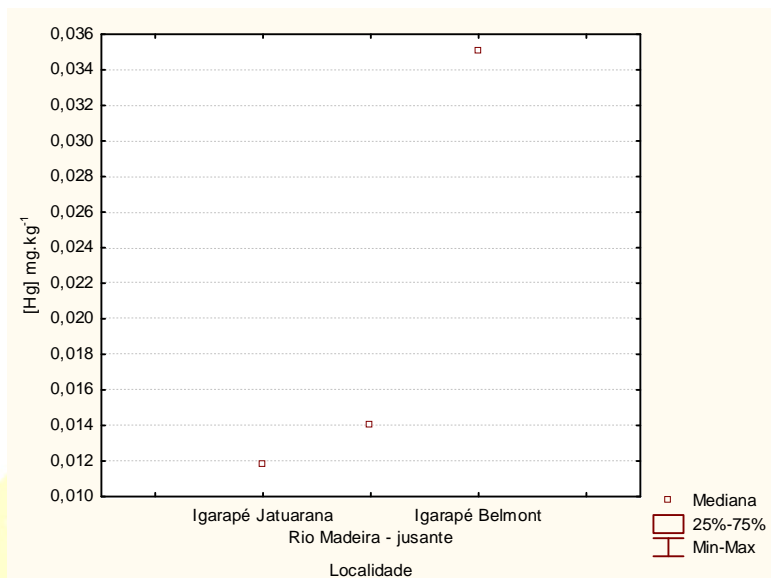
A tabela VI.1 apresenta as espécies e a quantidade de camarões amostradas em suas respectivas estações de coleta durante o trimestre abril-junho/2010. Ressalta-se que esses camarões não são comercializados. O interesse dessa matriz neste estudo é utilizá-la como bioindicador no processo de transferência de mercúrio dos sedimentos, tendo em vista que algumas espécies (principalmente as pertencentes ao gênero *Macrobrachium*) se alimentam da matéria orgânica adsorvida ao sedimento, o que proporciona a disponibilização do Hg para os níveis tróficos superiores.

**Tabela VI.1.** Espécies de camarões amostradas por localidade (período abril-junho/2010).

Localidade	Espécie	n
Rio Madeira - montante	<i>Macrobrachium depressimanum</i>	12
Igarapé Jatuarana	<i>Euryrhynchus amazoniensis</i>	02
Igarapé Belmont	<i>Euryrhynchus amazoniensis</i>	08

A figura VI.1 apresenta as concentrações de Hg em camarões por localidade neste trimestre. Nela é possível observar que os indivíduos amostrados no igarapé Belmont, pertencentes à espécie *Euryrhynchus amazoniensis*, apresentaram as maiores concentrações medianas de Hg.

**LABORATÓRIO**  
**BIOGEOQUÍMICA**  
**AMBIENTAL**  
**Wolfgang C. Pfeiffer**



**Figura VI.1.** Concentração de Hg em camarões amostrados neste trimestre por localidade.

Em estudo realizado na costa de mar de Mármara na Turquia, camarões pertencentes à espécie *Parapenaeus longirostris*, típica de ambientes marinhos, as concentrações de Hg variaram de 0,374-0,716 mg.kg<sup>-1</sup>. As concentrações encontradas por este autor estão bem acima das quantificadas neste estudo.

A Portaria N°685/1998 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece 0,500mg.kg<sup>-1</sup> como o limite máximo de tolerância de Hg permitido em peixes e produtos da pesca (exceto predadores). Ao comparar o valor limite dessa legislação com as concentrações médias de Hg encontradas neste trimestre, observa-se que os teores de Hg em camarões foram inferiores ao permitido pela ANVISA para o consumo humano.

As espécies do gênero *Macrobrachium* constituem um importante elemento da cadeia alimentar de ecossistemas aquáticos porque fazem parte da dieta de vários peixes, jacarés, tartarugas, mamíferos e pássaros aquáticos. Camarões deste gênero foram amostrados em vários pontos de monitoramento e em grandes quantidades (a exceção dos períodos de águas altas), assim recomenda-se este gênero para ser utilizado como bioindicador da contaminação por Hg em ambientes aquáticos.

Indivíduos pertencentes a outras ordens também foram amostrados, a fim de realizar a quantificação de Hg, entretanto o *n* amostral foi bem menor se comparado ao dos camarões. Em algumas localidades, apenas um indivíduo foi amostrado (Tabela VI.2).

De uma forma geral, todos os indivíduos pertencentes às três ordens amostradas apresentaram concentrações de Hg baixas. Na figura VI.2, observa-se a concentração de Hg

em três ordens de macroinvertebrados coletadas nos igarapés Jatuarana e Belmont. A ordem Coleoptera foi a que apresentou a maior concentração deste elemento.

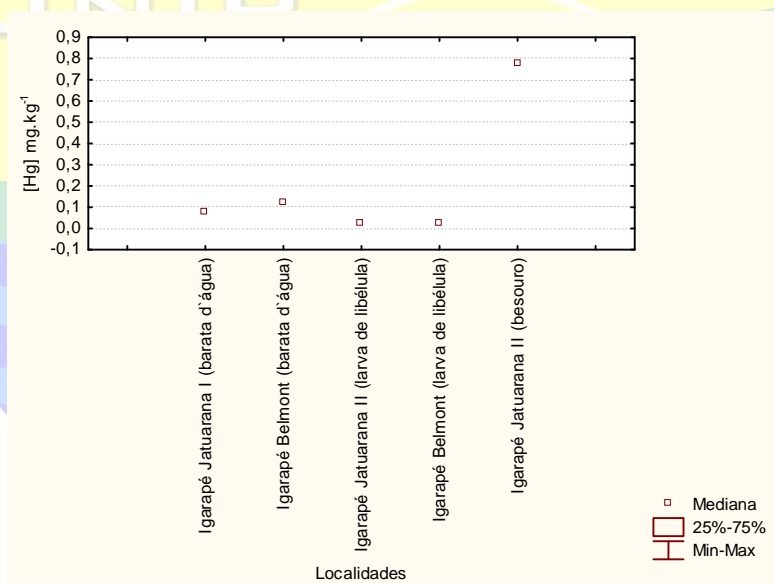
**Tabela VI.2.** Ordens amostradas em suas respectivas estações de coleta (trimestre abril-junho/2010).

Localidade	N	Ordem
Igarapé Jatuarana I	1	Blattaria *
Igarapé Jatuarana II	1	Odonata**
Igarapé Jatuarana II	1	Coleoptera***
Igarapé Belmont	2	Blattaria *
Igarapé Belmont	5	Odonata**

\*Barata d'água

\*\*Larva de libélula

\*\*\*Besouro



**Figura VI.2.** Concentração de Hg em macroinvertebrados amostrados nos igarapés Jatuarana e Belmont

Constantino (2002), relata que tanto adultos como larvas de libélula são predadores, alimentando-se de vários tipos de invertebrados e também de alguns vertebrados pequenos como girinos e pequenos peixes, o que explica as concentrações de Hg encontradas nessa ordem. Quanto aos besouros, Cremona et al. (2002), os classifica como predadores não-comestíveis, o que confere a eles o potencial de viver mais do que os predadores comestíveis

e, portanto, acumular ainda mais Hg. Esses autores quantificaram Hg total em macroinvertebrados do lago de St. Pierre e encontraram as seguintes concentrações médias deste elemento químico:  $0,060 \pm 0,006 \text{mg.kg}^{-1}$  em 98 indivíduos pertencentes à espécie *Gammarus fasciatus* (Crustacea - raspadores);  $0,085 \pm 0,029 \text{mg.kg}^{-1}$  em 2 indivíduos *Libellula* sp. (Odonata – predadores comestíveis) e;  $0,220 \pm 0,033 \text{mg.kg}^{-1}$  em 3 indivíduos pertencentes à família Dytiscidae (Coleoptera predadores não comestíveis). Comparando os resultados obtidos por Cremona et al. para Coleoptera e Odonata, com os quantificados neste trabalho percebe-se que as concentrações de Hg obtidas por eles foram mais baixas.

Os teores medianos de Hg em camarões estiveram abaixo do limite máximo estabelecido pela ANVISA para consumo humano. A espécie *Euryrhyncus amazoniensis* apresentou as maiores concentrações de Hg total. Concentrações de Hg total em larvas de libélula (predadores comestíveis) foram menores que em besouros (predadores não-comestíveis), sugerindo a hipótese de que predadores não-comestíveis acumulam mais Hg que predadores comestíveis.

Como ressaltado no relatório anual, é relevante salientar que este é o primeiro estudo de quantificação de Hg em macroinvertebrados realizado nesta região, por isso não foi realizada uma comparação entre os dados deste estudo com outros trabalhos realizados na região Amazônica.



**Laboratório**  
**BIOGEOQUÍMICA**  
**AMBIENTAL**  
**Wolfgang C. Pfeiffer**

## CAPÍTULO VII

### VII.1. Macrófitas

As macrófitas foram coletadas, pela equipe do Programa de Monitoramento de Macrófitas Aquáticas, e acondicionadas em sacos plásticos e preservadas sob refrigeração para posterior preparo para análise de metais pesados. No Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer/UNIR foram lavadas com água deionizada, a fim de remover detritos, invertebrados ou outros materiais que viessem a interferir nas concentrações dos elementos químicos.

Depois de lavadas as amostras foram secas em estufas a 40°C e trituradas em liquidificador. Pesou-se em balança analítica (Modelo AM 220) cerca de 0,50g de cada amostra em duplicata para a determinação de Hg total, cuja extração foi realizada adicionando-se 5,0ml de solução sulfonítrica (1H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:1HNO<sub>3</sub>) onde estiveram até a completa solubilização das amostras em bloco digestor a 90°C. Após as amostras terem esfriado, adicionou-se 5,0ml de KMnO<sub>4</sub> 5%. As amostras permaneceram em *overnight*. No dia seguinte, adicionou-se, por titulação, gotas de NH<sub>2</sub>.OH.HCL 12% e filtrou-se as amostras aferindo-se a um volume final de 10ml (BASTOS et al, 1998). As concentrações de Hg total foram obtidas pelo espectrofotômetro de absorção atômica com geração de vapor frio (FIMS-400), fabricado por Perkin-Elmer.

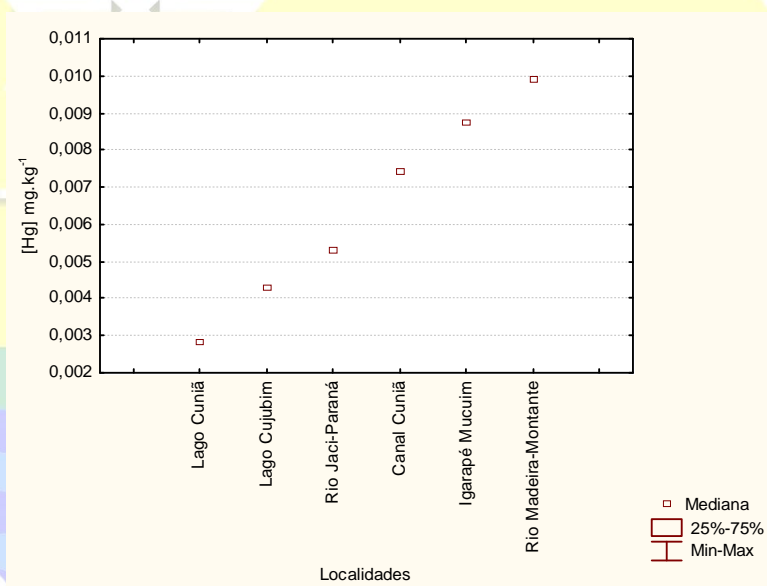
Para os demais elementos traço, pesou-se cerca de 2,0g de amostra, também em duplicata, que foram primeiramente calcinadas por 24 hs, em forno mufla a 400°C (EDG equipamentos). Em seguida, realizou-se a extração química, segundo Kalra & Maynard (1991) onde as amostras permaneceram em chapa quente até sua completa solubilização para serem filtradas em filtros (Prolab). As concentrações de Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Fe, Zn, Ni e Co foram obtidas pelo espectrofotômetro de absorção atômica por chama (GBC-AVANTA).

A tabela VII.1 apresenta a quantidade e as localidades onde foram amostradas as macrófitas pertencentes ao gênero *Eichiornia* sp. (trimestre abril-junho/2010).

De uma forma geral, as macrófitas analisadas apresentaram concentrações de mercúrio total condizente com áreas não contaminadas, embora as concentrações encontradas tenham sido superiores as do EIA-RIMA (0,0005 – 0,0020mg.kg<sup>-1</sup>). A figura VII.1 apresenta a concentração de Hg em macrófitas por localidade.

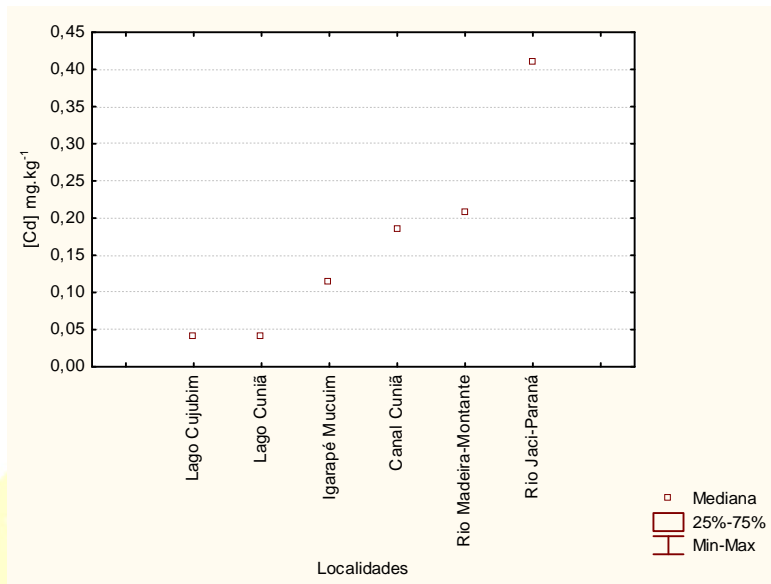
**Tabela VII.1.** Quantidade de macrófitas amostradas em suas respectivas localidades (trimestre abril-junho 2010).

n	Localidades
5	Rio Madeira (Montante)
1	Rio Jaci-Paraná
1	Igarapé Mucuí
3	Lago Cuniã
3	Canal Cuniã
1	Lago Cujubim

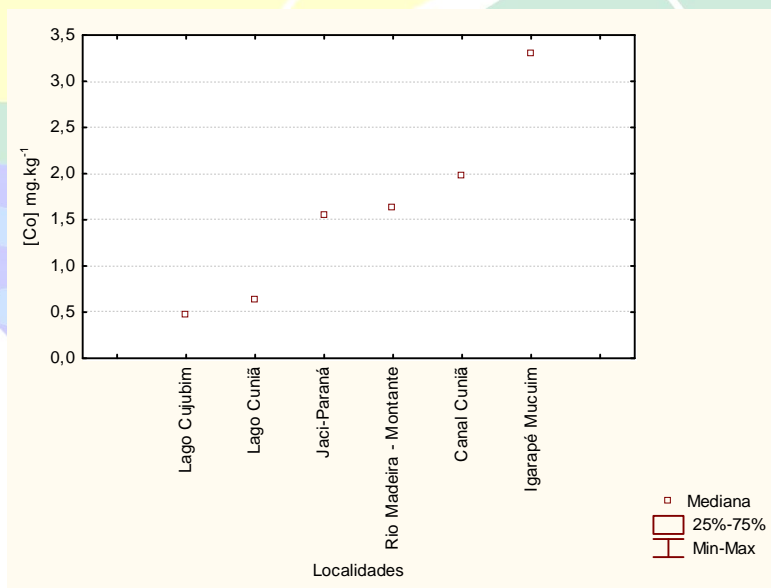


**Figura VII.1.** Concentração de Hg em macrófitas por localidade.

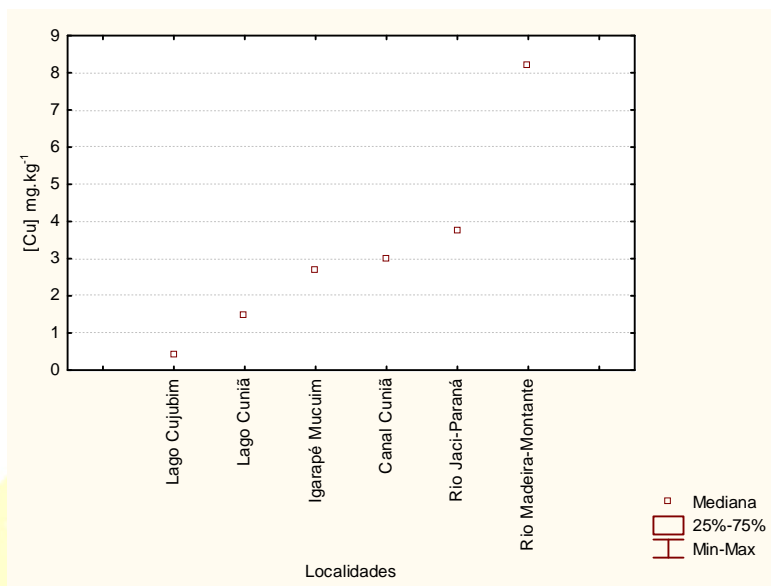
Os resultados obtidos para as concentrações de Cd, Co, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn, Fe e Mn nas amostras de macrófitas aquáticas estão representadas nas figuras VII.2; VII.3; VII.4; VII.5; VII.6; VII.7; VII.8; VII.9 e VII. 10. De uma forma geral, as macrófitas analisadas apresentaram concentrações de Co, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn e Cd condizentes com áreas não contaminadas, embora as concentrações encontradas tenham sido superiores as do EIA-RIMA (Cu= 8,87mg.kg<sup>-1</sup>; Cr= 0,64mg.kg<sup>-1</sup>; Zn= 25,26mg.kg<sup>-1</sup> e Mn= 321,41 mg.kg<sup>-1</sup>).



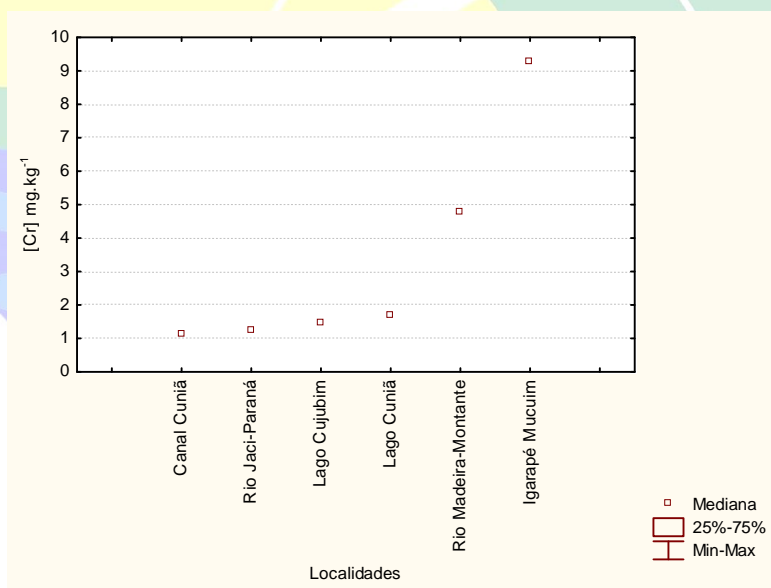
**Figura VII.2.** Concentração de cádmio em macrófitas aquáticas por localidade.



**Figura VII.3.** Concentração de cobalto em macrófitas aquáticas por localidade.

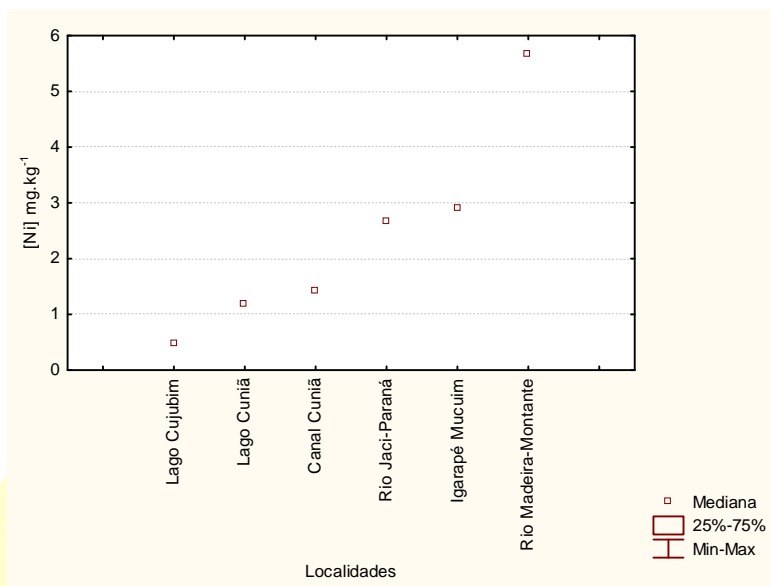


**Figura VII.4.** Concentração de cobre em macrófitas aquáticas por localidade.

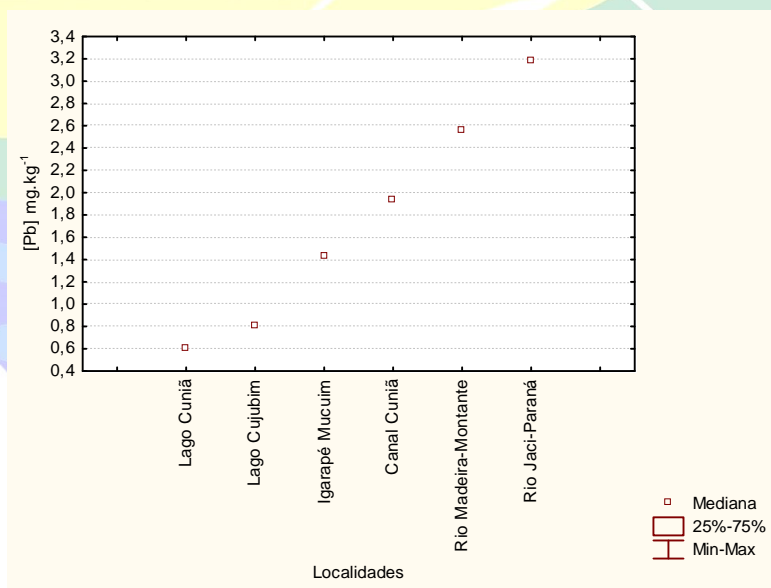


**Figura VII.5.** Concentração de cromo em macrófitas aquáticas por localidade.





**Figura VII.6.** Concentração de níquel em macrófitas aquáticas por localidade.



**Figura VII.7.** Concentração de chumbo em macrófitas aquáticas por localidade.

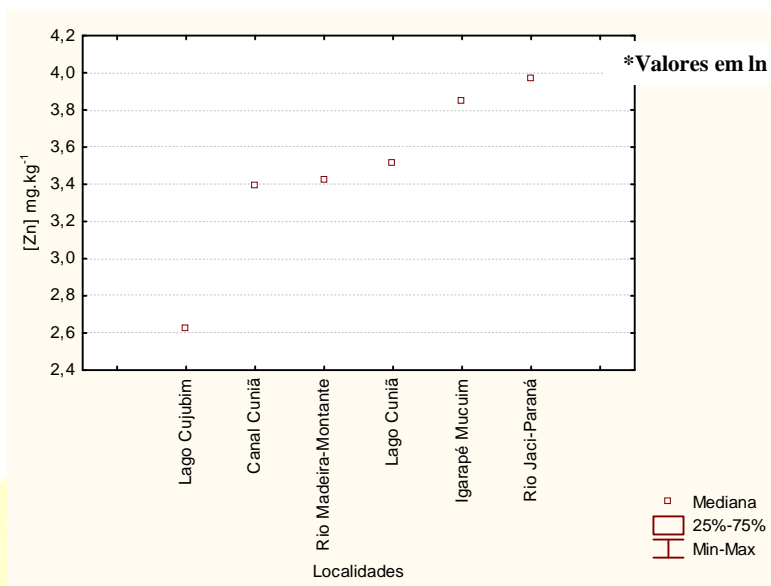


Figura VII.8. Concentração de zinco em macrófitas aquáticas por localidade.

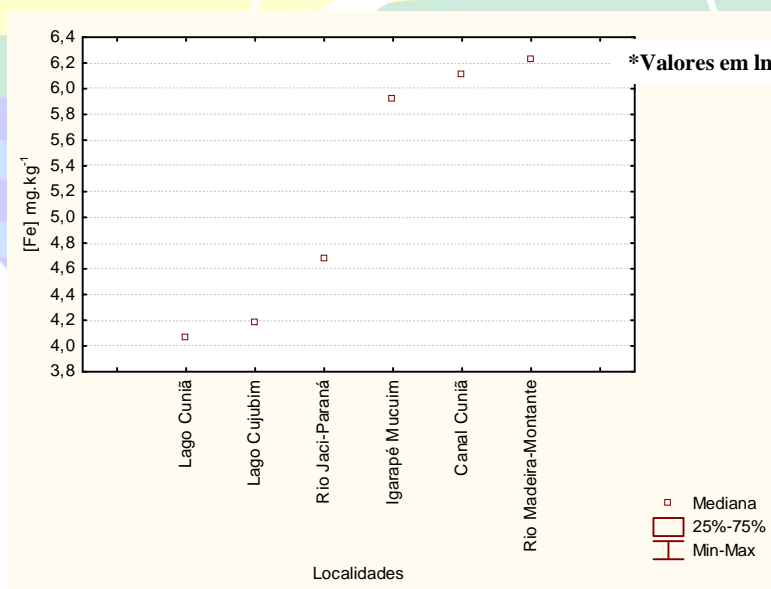
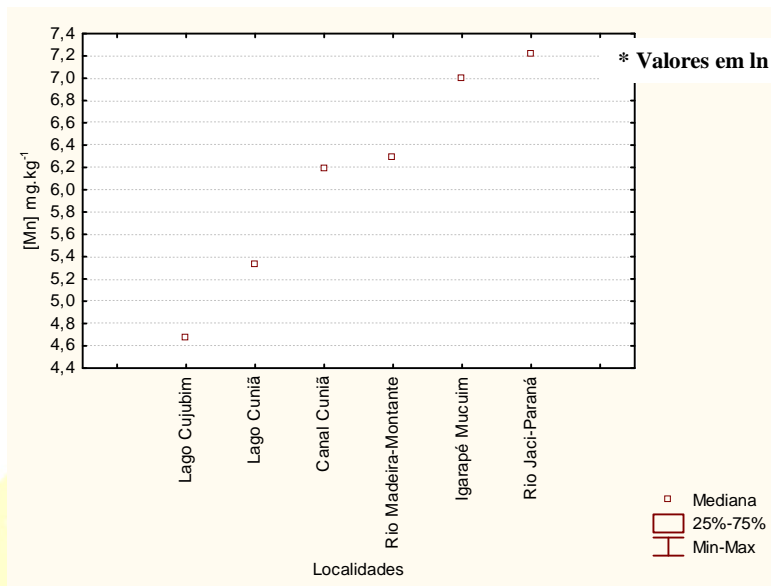
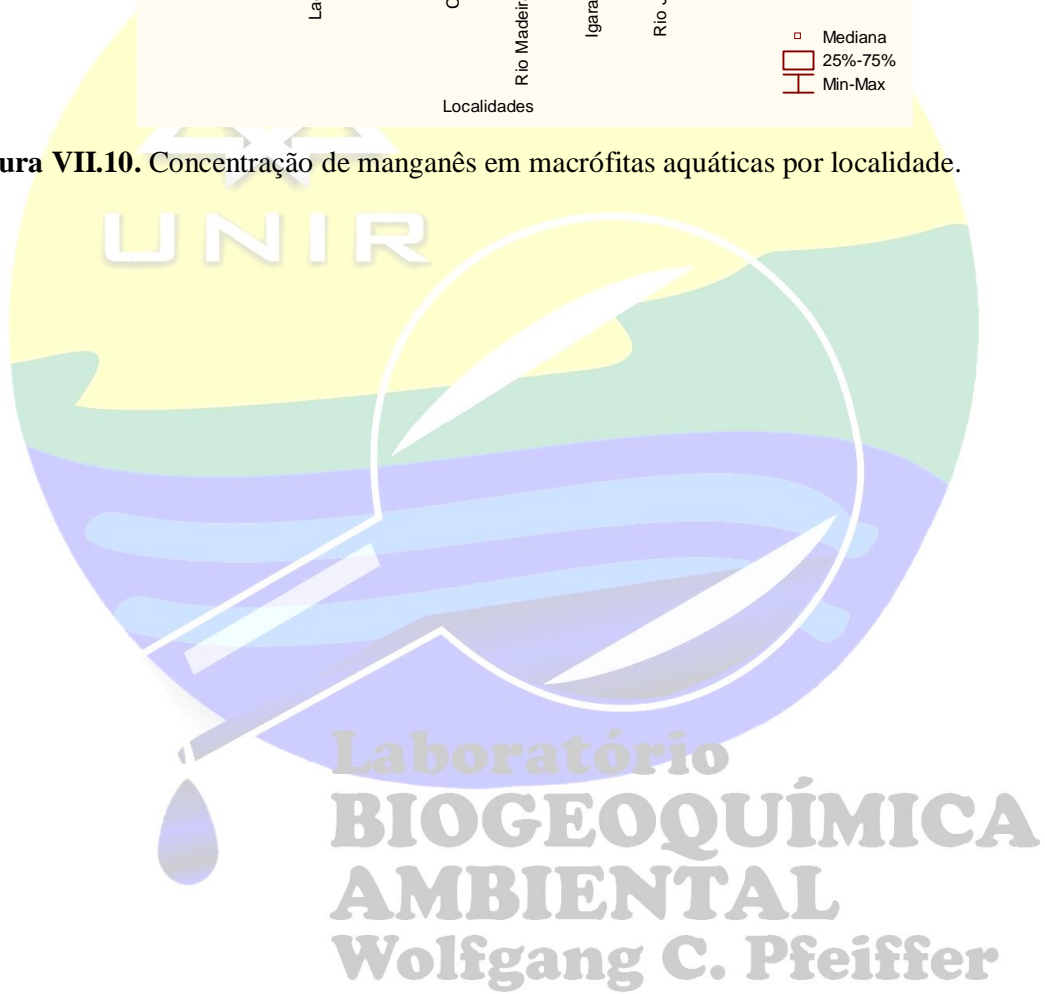


Figura VII.9. Concentração de ferro em macrófitas aquáticas por localidade.



**Figura VII.10.** Concentração de manganês em macrófitas aquáticas por localidade.



## CAPÍTULO VIII

### VIII.1. Peixes

Os níveis de concentração de mercúrio em peixes são de extremo interesse em todo o mundo, principalmente em áreas onde o peixe é o componente básico da dieta protéica da população (SILVA-FILHO et al, 2008). Do ponto de vista da toxicologia do Hg e seu potencial risco as populações humanas na região Amazônica o peixe é sem dúvida uma das variáveis mais importantes. Isso se dá em decorrência da indissociabilidade desta componente das componentes sociais e econômicas da Amazônia, como já foi mencionado por Fabre e Alonso (1998) em estudos realizados sobre recursos ícticos no Alto Amazonas.

Inserido com forte elemento na cultura do homem Amazônico que vive nas margens de rios e lagos (o Ribeirinho) o peixe não constitui apenas fonte protéica, mas um norteador da estreita relação que o homem amazônico tem com ambiente (FABRE & ALONSO, 1998). Neste sentido um estudo sobre os processos de biomagnificação em peixes não pode ser excluídos em avaliações de sistemas aquáticos. Diversas pesquisas realizadas com populações ribeirinhas da Amazônia revelaram que o peixe constitui a base da dieta alimentar desse grupo, constituindo-se assim como a principal via de exposição ao Hg para esta população (BASTOS et al, 2004; BASTOS et al, 2006; OLIVEIRA et. al, 2010).

As amostras de peixes foram coletadas através da integração com o Programa de Ictiologia. Alíquotas do tecido muscular dos indivíduos foram/estão sendo retiradas ao final de cada despesca no Laboratório de Ictiofauna/UNIR, onde se obtém também as informações de identificação, assim como dados biométricos das diversas espécies de peixes coletados. Esta atividade com a matriz peixe se iniciou em outubro/2009 devido ao atraso na obtenção de autorização do IBAMA para a utilização dos tecidos musculares para este fim.

A partir de então para determinação de Hg, as amostras foram descongeladas e pesadas em balança de precisão com peso fresco, para os de hábito alimentar carnívoros pesou-se cerca de 0,200g e os não carnívoros pesou-se 0,400g. 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  $H_2O_2$  concentrado e solução sulfunídrica 1:1 ( $HNO_3:H_2SO_4$ ), colocou-as em blocos digestores a temperatura de  $70^\circ C$  por 30 min e, em seguida foi colocada solução de  $KMnO_4$  a 5 % e devolveu-as ao bloco digestor por mais 20 minutos. Após este processo estas foram deixadas em descanso *overnight*, após este período colocou-se nas amostras gotas de cloridrato de hidroxilamina a 12% e realizou-se a leitura no

espectrofotômetro de absorção atômica por vapor frio de Hg (CV-AAS, Flow Injection Mercury System-FIMS-400 Perkin-Elmer, Germany).

Os resultados de Hg nos peixes obtidos preliminarmente são listados na tabela VIII.1. Os valores encontrados na tabela mostram que várias espécies, principalmente as predadoras se apresentam acima dos limites recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS de  $0,50\text{mg.kg}^{-1}$ ) e pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA de  $1,00\text{mg.kg}^{-1}$ ) como é o caso do *Pinirampus pirinampu* com  $1,6998\text{ mg.kg}^{-1}$ , *Hydrolycus armatus* com  $1,6572\text{ mg.kg}^{-1}$ , do *Rhaphiodon vulpinus* com  $1,8444\text{ mg.kg}^{-1}$ , *Serrasalmus rhombeus* com  $1,7026\text{ mg.kg}^{-1}$  e *Hydrolycus scomberoides* com  $2,1559\text{ mg.kg}^{-1}$ .

Valores semelhantes foram encontrados por Silva-Filho et al (2008) em uma revisão da contaminação de mercúrio em peixes onde as espécies de peixes carnívoras da região de Alta Floresta (Região Amazônica) apresentam as maiores concentrações de Hg em músculo. Silva et al (2006), realizando um estudo em três lagos: Bom Intento, Cupu e Pereira no rio Tapajós também observou níveis de Hg elevados para a espécie *Rhaphiodon vulpinus* ( $0,488 - 0,598\text{mg.kg}^{-1}$ ), porém não tão altos quanto os observados neste trabalho. Bastos et al (2008), em estudo de 14 anos (1987 – 2000) no rio Madeira, encontraram valores semelhantes aos resultados atuais.

Os resultados apresentados na figura VIII.1 demonstram claramente que o processo de biomagnificação ocorre na ictiofauna do rio Madeira e seus tributários (Igarapé Caripunas, Rio Jaci-Paraná, Igarapé Jatuarana, Igarapé Belmont, Lago Puruzinho - AM e Lago Cuniã.



**Laboratório**  
**BIOGEOQUÍMICA**  
**AMBIENTAL**  
**Wolfgang C. Pfeiffer**

**Tabela VIII.1.** Resultados das concentrações de Hg em peixes de acordo com a localidade, espécie e hábitos alimentares.

Localidade	Espécie	Nome Popular	Hábito alimentar	Hg (mg.kg <sup>-1</sup> )	D.P.	n
	<i>Acestrorhynchus falcistrostris</i>	peixe cachorro	piscívoros	0,6946	0,225	02
	<i>Anodus sp</i>	#	plactófagos	0,6761	#	01
	<i>Auchenipterichthys thoracatus</i>	bagre, barbudo	onívoros	0,1023	0,045	17
	<i>Calophysus macropterus</i>	piracatinga	onívoros	0,9870	#	01
	<i>Cichla pleiozona</i>	tucunaré amarelo	carnívoros	0,4183	#	01
	<i>Chalceus guaporensis</i>	#	insetívoros	0,1115	0,007	02
	<i>Curimatella dorsalis</i>	curimbatazinho	detritívoros	0,1116	#	01
	<i>Cynodon gibbus</i>	icanga, peixe cachorro	piscívoros	1,2217	#	01
	<i>Hemisorubim platyrhynchos</i>	jurupoca, jeripoca	carnívoros	0,6017	#	01
	<i>Laemolyta proxima</i>	aracu caneta, aracu flexa	iliófagos	0,3997	#	01
Igarapé Caripunas	<i>Leporinus friderici</i>	aracu cabeça-gorda, piau,	onívoros	0,0461	0,009	05
	<i>Pinirampus pirinampu</i>	Piranambu, Barba-chata	piscívoros	1,6998	0,285	07
	<i>Prochilodus nigricans</i>	curimatá	detritívoros	0,1130	#	01
	<i>Psectrogaster amazonica</i>	branquinha comum, cascudinha	detritívoros	0,1264	#	01
	<i>Psectrogaster rutiloides</i>	branquinha cascuda	detritívoros	0,1115	0,044	05
	<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	Peixe-cachorro, Ripa	piscívoros	0,5371	0,087	04
	<i>Rhytiodus argenteofuscus</i>	pau de negro, araçu	herbívoros	0,0270	#	01
	<i>Sorubim elongatus</i>	#	carnívoros	0,3771	0,046	06
	<i>Tatia aff. Intermedia</i>	bagrezinho	carnívoros	0,0838	#	01
	<i>Triportheus angulatus</i>	sardinha papuda	onívoros	0,3114	#	01
	<i>Triportheus cutter</i>	#	onívoros	0,4736	#	01
Rio Jaci-Paraná	<i>Acestrorhynchus heterolepis</i>	peixe cachorro	piscívoros	0,4932	0,225	03
	<i>Acestrorhynchus microlepis</i>	cachorrinho	piscívoros	0,5028	0,059	02
	<i>Ageneiosus atronatus</i>	#	insetívoros	0,0509	0,053	06
	<i>Ageneiosus inermis</i>	bocudo, fidalgo, palmito	piscívoros	0,7096	0,176	03

Localidade	Espécie	Nome Popular	Hábito alimentar	Hg (mg.kg <sup>-1</sup> )	D.P.	n
Rio Jaci-Paraná	<i>Ageneiosus ucayalensis</i>	bocudo, fidalgo, mandubé	piscívoros	0,6532	0,227	03
	<i>Auchenipterichthys thoracatus</i>	bagre, barbudo	onívoros	0,1134	0,036	84
	<i>Auchenipterus ambyiacus</i>	#	insetívoros	0,1824	#	01
	<i>Bryconops alburnoides</i>	#	onívoros	0,1691	0,034	02
	<i>Cichla pleiozona</i>	tucunaré amarelo	carnívoros	0,2472	#	01
	<i>Curimata knerii</i>	curimatã	detritívoros	0,1089	#	01
	<i>Curimatella alburna</i>	#	detritívoros	0,1030	#	01
	<i>Cynodon gibbus</i>	icanga, peixe cachorro	piscívoros	1,0915	0,376	03
	<i>Geophagus proximus</i>	acarã tinga, acarã roi roi	onívoros	0,1677	0,070	03
	<i>Hemiodus amazonum</i>	#	detritívoros	0,1287	#	01
	<i>Hemiodus microlepis</i>	flexeira, jatuaranha,	planctófagos	0,0886	#	01
	<i>Heros efasciatus</i>	Acarã-preto, Acarã-folha	carnívoros	0,2198	#	01
	<i>Hoplias malabaricus</i>	traíra	carnívoros	0,2874	0,105	11
		<i>Hydrolycus armatus</i>	cachorra, pirandirá, pirantera	piscívoros	1,6572	#
<i>Hypophthalmus edentatus</i>		mandubi, lalau, lau-lau	planctófagos	0,7112	0,211	02
<i>Hypophthalmus marginatus</i>		mapará	planctófagos	0,5362	#	01
<i>Hypoptopoma gulare</i>		#	detritívoros	0,0347	0,003	08
<i>Hypostomus pyrineusi</i>		#	detritívoros	0,0203	#	01
<i>Leporinus fasciatus</i>		piau flamengo	onívoros	0,1021	#	01
<i>Leporinus friderici</i>		aracu cabeça-gorda, piau,	onívoros	0,0364	#	01
<i>Opsodoras boulengeri</i>		#	onívoros	0,3064	0,124	04
<i>Pimelodus aff. blochii</i>		#	onívoros	0,3936	#	01
<i>Pinirampus pirinampu</i>		Piranambu, Barba-chata	piscívoros	1,1012	#	01
<i>Potamorhina latior</i>		branquinha	detritívoros	0,1382	0,081	06
<i>Prochilodus nigricans</i>		curimatã	detritívoros	0,2475	0,228	02
<i>Psectrogaster amazonica</i>		branquinha comum, cascudinha	detritívoros	0,0978	0,037	06

Wolfgang C. Pfeiffer

Localidade	Espécie	Nome Popular	Hábito alimentar	Hg (mg.kg <sup>-1</sup> )	D.P.	n
Rio Jaci-Paraná	<i>Pygocentrus nattereri</i>	piranha caju, piranha vermelha	piscívoros	0,3841	#	01
	<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	Peixe-cachorro, Ripa	piscívoros	0,7733	0,342	10
	<i>Rhytiodus argenteofuscus</i>	pau de negro, araqu	herbívoros	0,2851	#	01
	<i>Roestes molossus</i>	#	carnívoros	0,6106	#	01
	<i>Serrasalmus compressus</i>	piranha	onívoros	0,8656	#	01
	<i>Serrasalmus rhombeus</i>	piranha preta	carnívoros	0,7318	0,316	09
	<i>Trachydoras brevis</i>	#	onívoros	0,1751	#	01
	<i>Triporthes albus</i>	sardinha	onívoros	0,1908	0,090	06
	<i>Triporthes angulatus</i>	sardinha papuda	onívoros	0,1176	0,011	02
	<i>Triporthes auritus</i>	sardinha comprida	onívoros	0,4213	0,037	03
	<i>Cichla pleiozona</i>	tucunaré amarelo	carnívoros	0,5021	#	01
	<i>Hydrolycus scomberoides</i>	Cachorra, Peixe-cachorro	piscívoros	0,8180	0,282	02
	<i>Mylossoma duriventre</i>	pacu prata	herbívoros	0,0866	0,043	10
Igarapé Jatuarana	<i>Nemadoras humeralis</i>	#	onívoros	0,7764	0,119	04
	<i>Oxydoras niger</i>	Cuiú-cuiú, abotoado	onívoros	0,2987	#	01
	<i>Parauchenipterus galeatus</i>	bagre mole, cachorro do padre	insetívoros	0,2156	#	01
	<i>Potamorhina altamazonica</i>	branquinha cabeça lisa	detritívoros	0,0635	0,022	04
	<i>Potamorhina latior</i>	branquinha	detritívoros	0,1181	0,053	04
	<i>Prochilodus nigricans</i>	curimatá	detritívoros	0,0653	0,035	14
	<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	Peixe-cachorro, Ripa	piscívoros	1,8444	1,304	14
	<i>Satanoperca sp</i>	#	invertívoros	0,1492	0,013	03
	<i>Serrasalmus compressus</i>	piranha	onívoros	0,7506	#	01
	<i>Serrasalmus rhombeus</i>	piranha preta	carnívoros	1,7026	#	01
	<i>Sorubim elongatus</i>	#	carnívoros	0,8971	#	01
	<i>Sorubim maniradii</i>	#	carnívoros	0,7353	#	01
	<i>Triporthes angulatus</i>	sardinha papuda	onívoros	0,0812	#	01

Wolfgang C. Pfeiffer



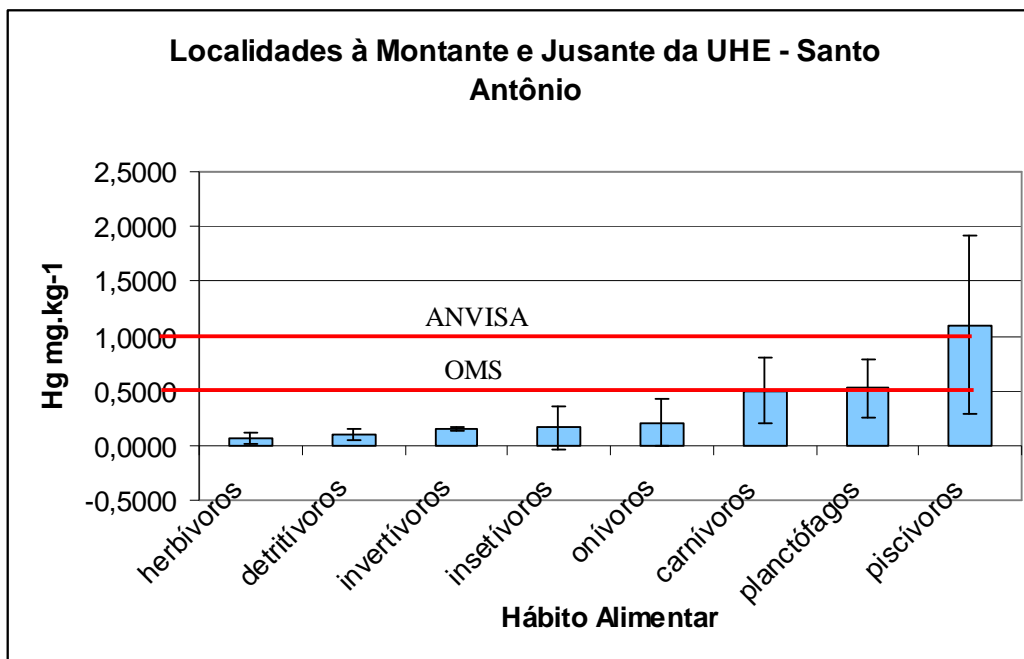
Localidade	Espécie	Nome Popular	Hábito alimentar	Hg (mg.kg <sup>-1</sup> )	D.P.	n
Igarapé Belmont	<i>Auchenipterus ambyiacus</i>	#	insetívoros	0,5285	0,256	02
	<i>Brycon amazonicus</i>	matrinxã	onívoros	0,0864	0,033	02
	<i>Cichla pleiozona</i>	tucunaré amarelo	carnívoros	0,4460	#	01
	<i>Hoplias malabaricus</i>	traíra	carnívoros	0,5353	#	01
	<i>Hydrolycus scomberoides</i>	Cachorra, Peixe-cachorro	piscívoros	2,1559	1,046	02
	<i>Leporinus fasciatus</i>	piau flamengo	onívoros	0,0970	0,037	02
	<i>Leporinus friderici</i>	aracu cabeça-gorda, piau	onívoros	0,2580	0,019	02
	<i>Leporinus trifasciatus</i>	aracu cabeça gorda	onívoros	0,0562	#	01
	<i>Myloplus asterias</i>	pacu prata	herbívoros	0,0308	#	01
	<i>Mylossoma aureum</i>	pacu manteiga, pacu comum	onívoros	0,0565	#	01
	<i>Mylossoma duriventre</i>	pacu prata	herbívoros	0,0647	0,046	38
	<i>Pimelodus aff. blochii</i>	#	onívoros	0,1864	0,031	02
	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	pescada	carnívoros	0,5711	0,200	05
	<i>Potamorhina altamazonica</i>	branquinha cabeça lisa	detritívoros	0,1295	0,068	04
	<i>Potamorhina latior</i>	branquinha	detritívoros	0,1671	0,052	02
	<i>Prochilodus nigricans</i>	curimatá	detritívoros	0,1090	0,033	23
	<i>Schizodon fasciatus</i>	piau de cabeça gorda	herbívoros	0,1028	0,031	02
	<i>Serrasalmus rhombeus</i>	piranha preta	carnívoros	0,4215	0,198	05
	<i>Sorubim elongatus</i>	#	carnívoros	0,9698	#	01
	<i>Triportheus angulatus</i>	sardinha papuda	onívoros	0,3283	0,119	03
	Lago Puruzinho	<i>Hoplias malabaricus</i>	traíra	carnívoros	0,5023	#
<i>Hydrolycus scomberoides</i>		Cachorra, Peixe-cachorro	piscívoros	0,7720	0,351	03
<i>Mylossoma aureum</i>		pacu manteiga, pacu comum	onívoros	0,0373	0,017	02
<i>Mylossoma duriventre</i>		pacu prata	herbívoros	0,0562	0,034	14
<i>Potamorhina altamazonica</i>		branquinha cabeça lisa	detritívoros	0,1242	0,036	36
<i>Potamorhina latior</i>		branquinha	detritívoros	0,1150	0,043	65

Wolfgang C. Pfeiffer

Localidade	Espécie	Nome Popular	Hábito alimentar	Hg (mg.kg <sup>-1</sup> )	D.P.	n
Lago Puruzinho	<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	Peixe-cachorro, Ripa	piscívoros	0,9482	0,130	03
	<i>Triportheus albus</i>	sardinha	onívoros	0,5816	0,218	21
	<i>Triportheus angulatus</i>	sardinha papuda	onívoros	0,1675	0,094	19
	<i>Triportheus auritus</i>	sardinha comprida	onívoros	0,1750	0,264	17
Lago Cuniã	<i>Anodus elongatus</i>	Orana cubiu, Charuto	planctófagos	0,4144	#	01
	<i>Cichla pleiozona</i>	tucunaré amarelo	carnívoros	0,3862	0,308	02
	<i>Cynodon gibbus</i>	icanga, peixe cachorro	piscívoros	0,4087	#	01
	<i>Leporinus friderici</i>	aracu cabeça-gorda, piau	onívoros	0,0942	0,045	04
	<i>Mylossoma duriventre</i>	pacu prata	herbívoros	0,0621	#	01
	<i>Pimelodus aff. blochii</i>	#	onívoros	0,2655	0,068	03
	<i>Pinirampus pirinampu</i>	Piranambu, Barba-chata	piscívoros	0,7893	#	01
	<i>Potamorhina altamazonica</i>	branquinha cabeça lisa	detritívoros	0,0313	#	01
	<i>Potamorhina latior</i>	branquinha	detritívoros	0,0551	0,031	05
	<i>Prochilodus nigricans</i>	curimatá	detritívoros	0,0470	0,017	13
	<i>Serrasalmus rhombeus</i>	piranha preta	carnívoros	0,3964	0,215	02
	<i>Serrasalmus spilopleura</i>	piranha amarela	piscívoros	0,5264	0,246	03
	<i>Triportheus angulatus</i>	sardinha papuda	onívoros	0,0846	#	01
	<i>Triportheus auritus</i>	sardinha comprida	onívoros	0,1126	#	01
	Média Geral			0,286	0,44	643
	Média dos carnívoros na área de estudo			0,841	0,71	
	Média dos não carnívoros na área de estudo			0,151	0,16	
	CMR (OMS)		Todas as espécies	0,500		
	CMR (ANVISA)		sp. não carnívoras	0,500		
	CMR (ANVISA)		sp. carnívoras	1,000		

CMR= Concentração máxima recomendável para consumo Humano.

Wolfgang C. Pfeiffer

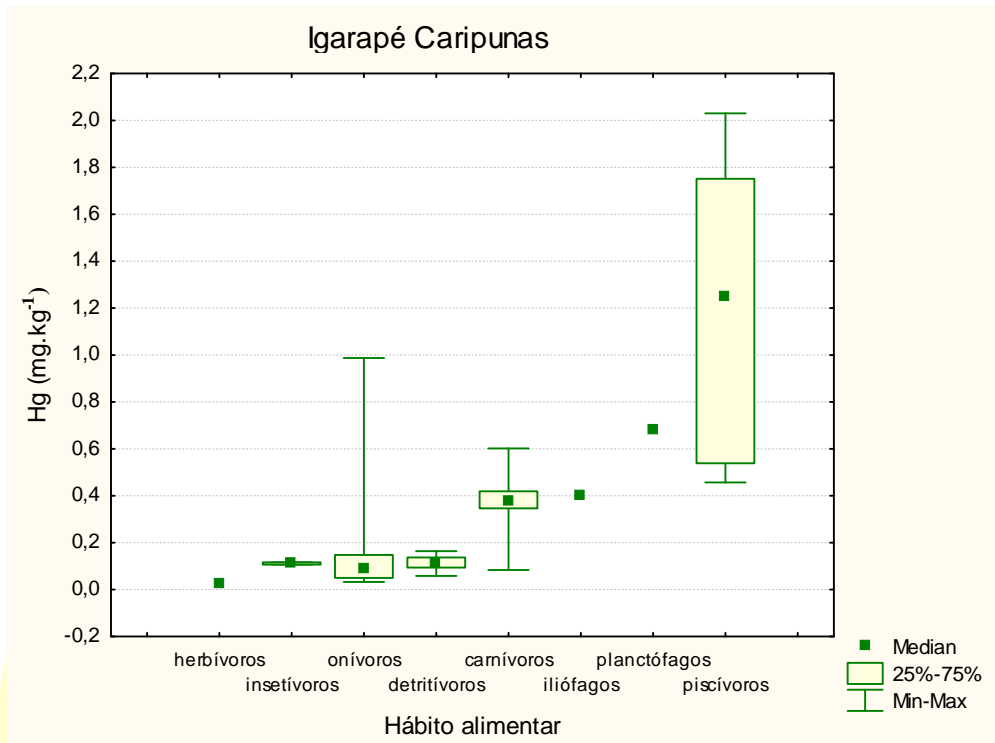


**Figura VIII.1.** Hábito alimentar de peixes e concentração de mercúrio nos afluentes do rio Madeira montante e jusante da UHE – Santo Antônio.

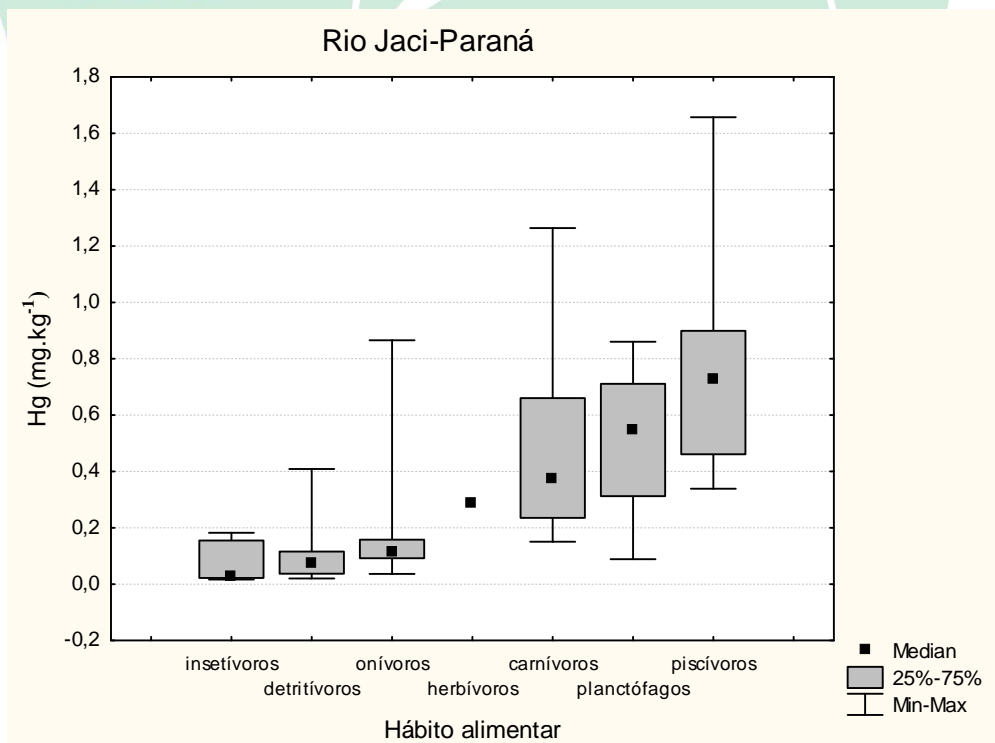
Observa-se na figura VIII.2 como o hábito alimentar dos piscívoros, por suas características especialistas, se destacam com os valores médios mais elevados, inclusive superando a legislação (ANVISA).

Analisando de forma particular cada localidade observou-se que o comportamento do hábito alimentar do tipo predatório se mantém entre os valores de mediana mais elevados (Figuras VIII.2; VIII.3; VIII.4; VIII.5; VIII.6 e VIII.7). Do ponto de vista do consumo humano estas espécies predadoras seriam as menos recomendadas para consumo humano e se mostram como bom bioindicador da biomagnificação de Hg na área estudada.

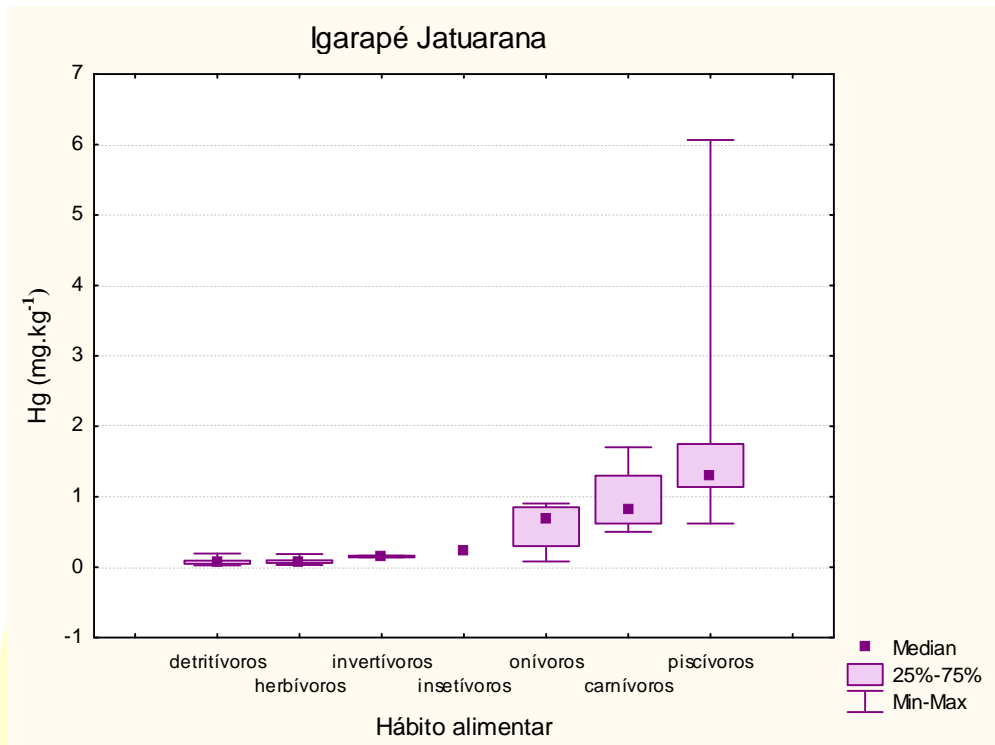
Quanto aos peixes detritívoros que apresentam baixas concentrações de Hg, do ponto de vista ecológico, pode se dizer que devido sua abundância têm um importante papel no fluxo de energia no ecossistema na ciclagem de nutrientes e na dinâmica das populações de predadores. Desta forma os peixes detritívoros assumem um papel importante na transferência da forma orgânica do Hg ( $\text{CH}_3\text{Hg}^{++}$ ) ao longo da cadeia trófica.



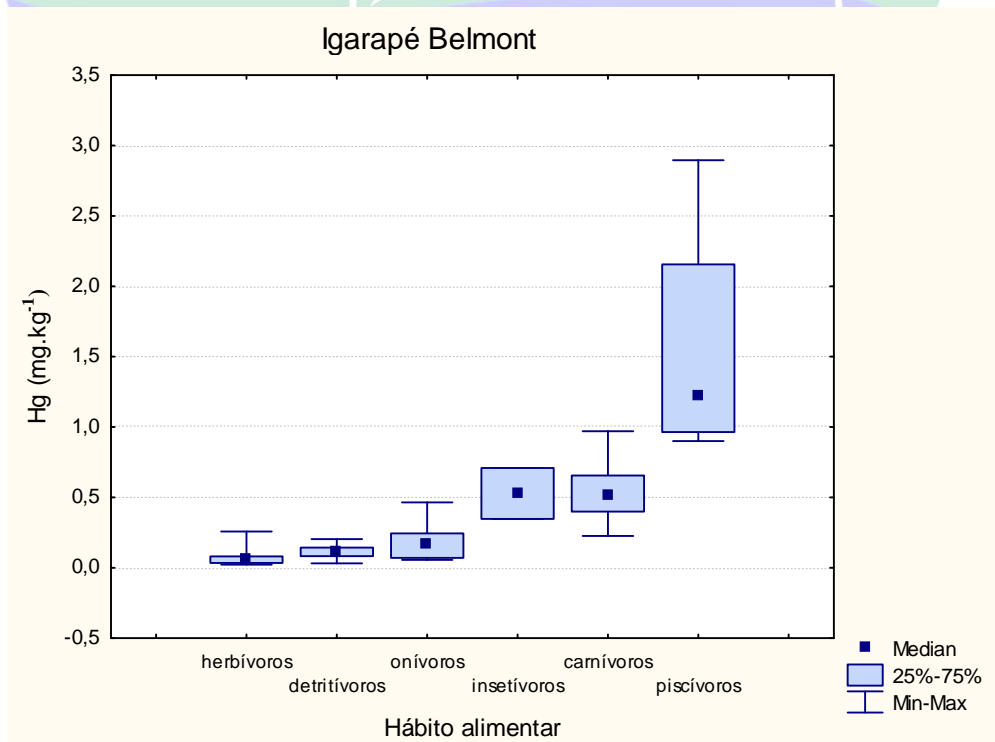
**Figura VIII.2.** Relação entre hábito alimentar de peixes e concentração de mercúrio no Igarapé Caripunas.



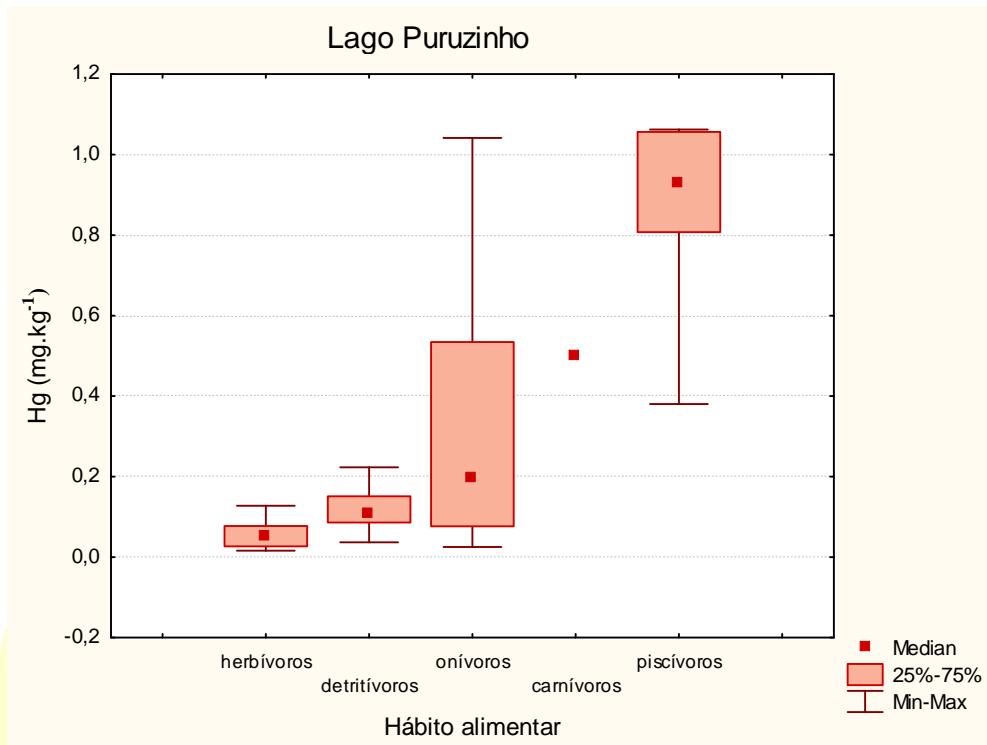
**Figura VIII.3.** Relação entre hábito alimentar de peixes e concentração de mercúrio no rio Jaci-Paraná.



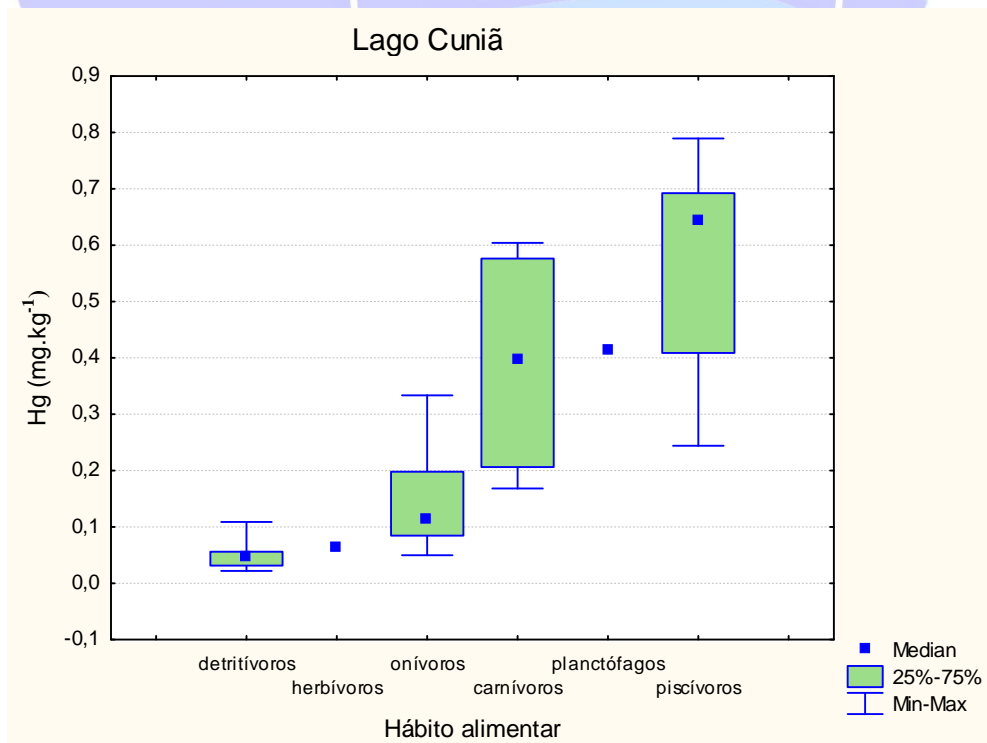
**Figura VIII.4.** Relação entre hábito alimentar de peixes e concentração de mercúrio no Igarapé Jatuarana.



**Figura VIII.5.** Relação entre hábito alimentar de peixes e concentração de mercúrio no Igarapé Belmont.

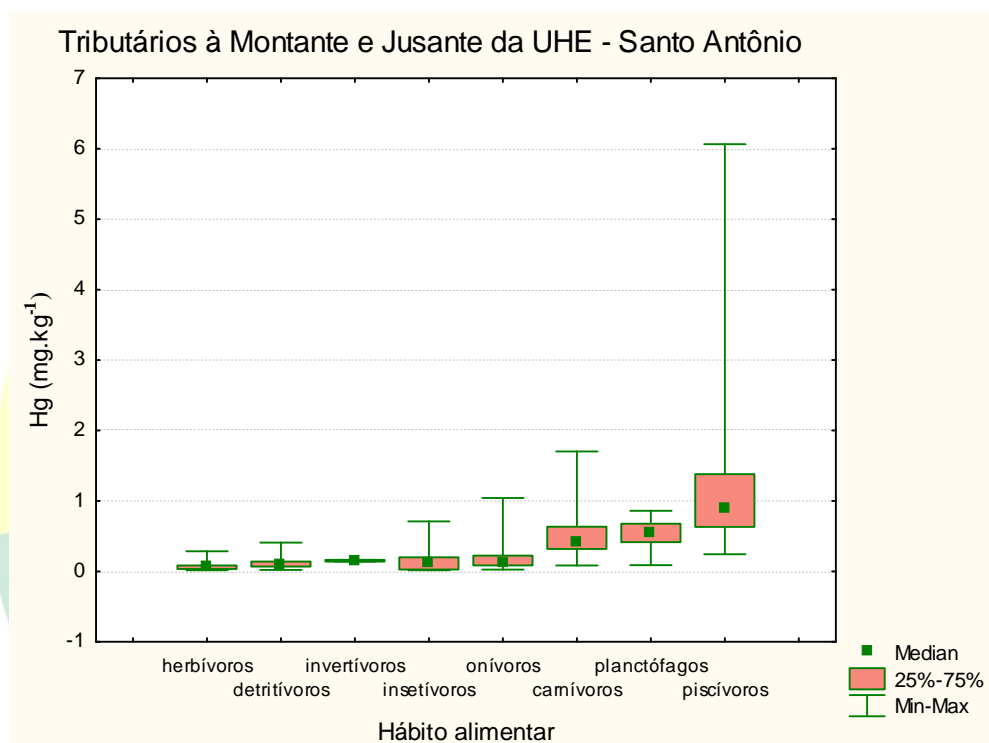


**Figura VIII.6.** Relação entre hábito alimentar de peixes e concentração de mercúrio no Lago Puruzinho.



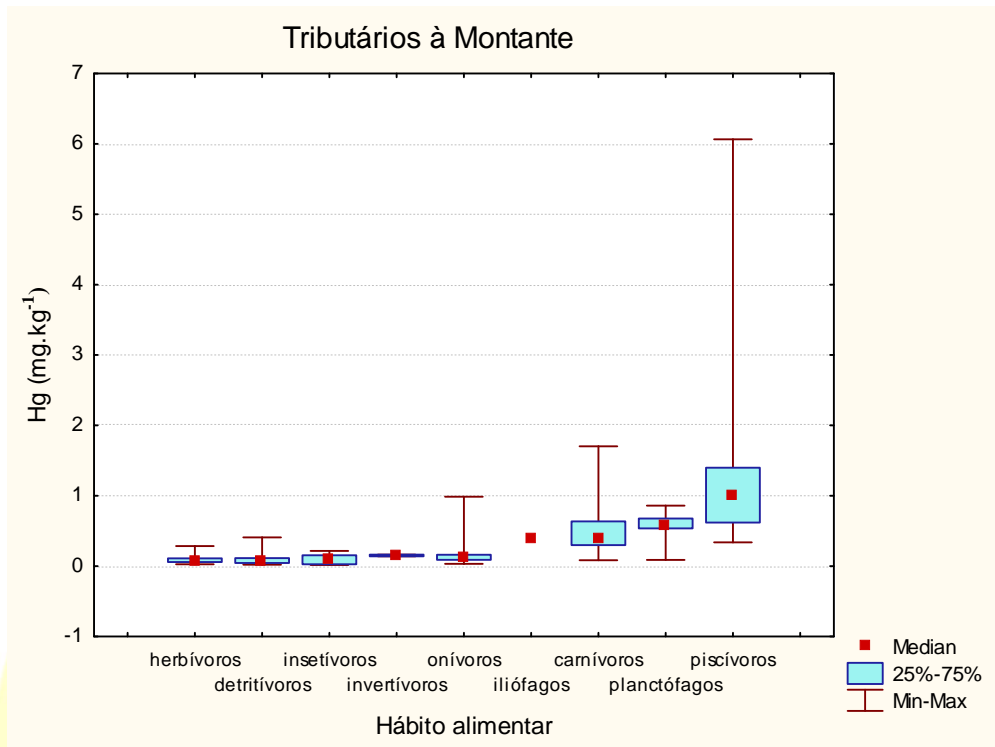
**Figura VIII.7.** Relação entre hábito alimentar de peixes e concentração de mercúrio no Lago Cuniã.

A figura VIII.8 mostra a relação entre a concentração de Hg por hábito alimentar em todas as localidades estudadas, onde se observa que as concentrações mais altas estão com as espécies predadoras e de hábitos alimentares generalistas, com exceção dos planctófagos que apresentaram concentrações mais altas que os carnívoros, seguido assim dos insetívoros, invertívoros, detritívoros e herbívoros, todos com baixas concentrações.

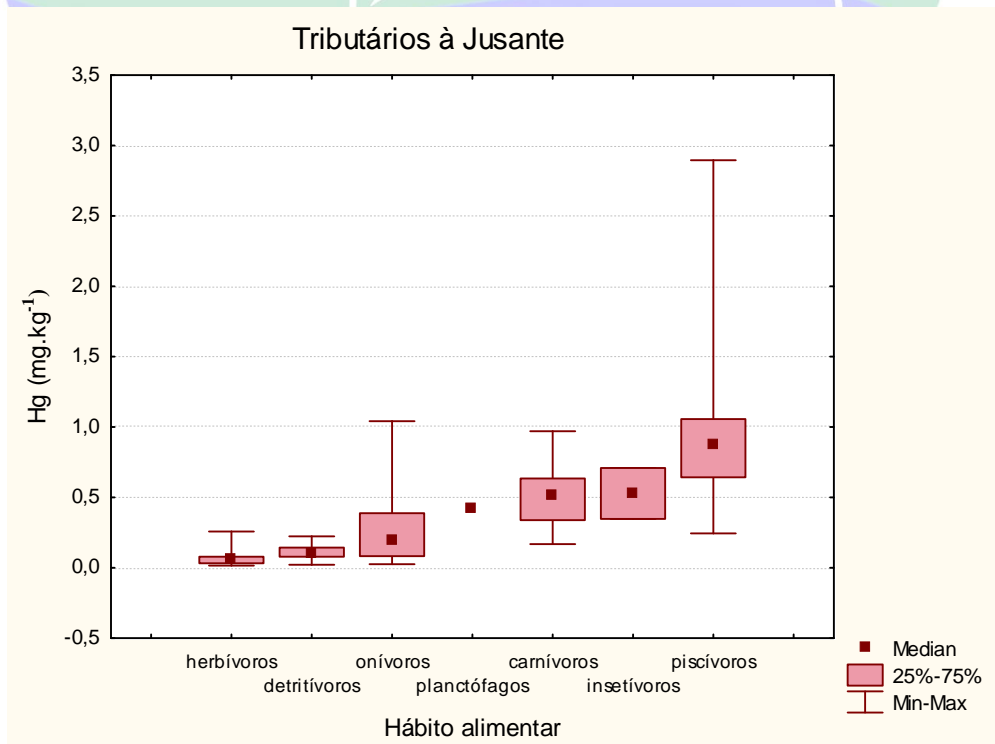


**Figura VIII.8.** Relação geral entre hábito alimentar de peixes e concentração de mercúrio nas áreas de entorno a construção da UHE – Santo Antônio.

Realizou-se também um comparativo entre os pontos a montante (Figura VIII.9) e jusante (Figura VIII.10) da construção da UHE – Santo Antônio.



**Figura VIII.9.** Tributários a montante da construção da UHE – Santo Antônio, Igarapé Caripunas, Rio Jaci-Paraná e Igarapé Jatuarana.



**Figura VIII.10.** Tributários a jusante da construção da UHE – Santo Antônio, Igarapé Belmont, Lago Puruzinho e Lago Cuniã.



## CAPÍTULO IX

### IX.1. Taxa de Metilação

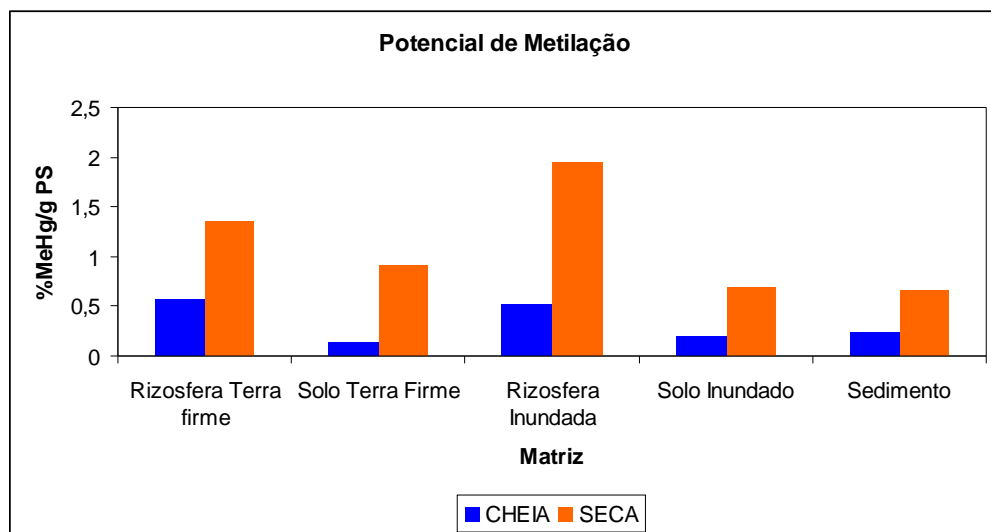
O objetivo dessa atividade foi o de mapear os sítios predominantes de produção de metilmercúrio no rio Madeira e tributários na zona de influência da construção do reservatório de Santo Antônio. Foram analisadas sazonalmente matrizes terrestres (rizosfera e solo de terra firme), matrizes semi-aquáticas (rizosfera e solo de área inundada), com exceção dos pontos localizados no rio Madeira (MDCP, MD01, MD02, MD03 e MD04) e aquáticas (sedimento).

As coletas foram realizadas em Maio/2009 (Estação Chuvosa; T1) e Agosto/2009 (Estação Vazante/Seca; T2). Após a coleta das amostras, o material foi acondicionado e levado ao Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer/UNIR para posterior processamento descrito a seguir. Utilizou-se a técnica radioquímica desenvolvida por Guimarães et al. (1995) utilizando o  $^{203}\text{HgCl}_2$  (*Isotope Products Laboratories*). O isótopo radioativo  $^{203}\text{Hg}$  apresenta meia-vida de 46,6 dias e emite radiações beta e gama, permitindo a sua determinação por espectrometria gama e cintilação líquida.

Pesou-se  $\pm 0,5\text{g}$  (peso seco) de cada uma das amostras de rizosfera, solo, macrófita (*Eichornia crassipes*) e sedimento de fundo. A seguir as amostras foram colocadas em tubos de borossilicato (50 mL) e adicionou-se 25 mL de água do local de coleta. As incubações foram realizadas durante um período de 24 horas no escuro a 25°C. Os testes foram realizados em duplicata com um controle acidificado (1 mL de HCl 4N), e foram interrompidas com 1 mL de HCl 4N, sendo congeladas imediatamente. A extração do metilmercúrio formado foi realizada após a adição de 4 mL de NaBr 3N (em  $\text{H}_2\text{SO}_4$  11%) e 1 mL de  $\text{CuSO}_4$ . Após 1 min de agitação, as amostras foram centrifugadas (1.000 rpm/5 min) e o sobrenadante recuperado. Adicionou-se coquetel de cintilação (tolueno + POP + POPOP) ao sobrenadante e as amostras foram agitadas durante 15 min. Após a adição de tiosulfato de sódio o sobrenadante foi recuperado. A medida do metilmercúrio radioativo formado foi realizada em um cintilador líquido.

### IX.2 Resultados

As médias das matrizes coletadas na estação seca (T2) foram ligeiramente maiores do que as médias da estação cheia (T1). A maior média encontrada foi a da rizosfera inundada durante a estação seca (Figura IX.1).



**Figura IX.1.** Potencial de metilação (%MeHg/g PS) das matrizes amostradas durante a estação cheia (T1) e seca (T2).

Em geral os resultados tiveram uma grande variação, não havendo um padrão para cada uma das matrizes (rizosfera, solo e sedimento) nos diferentes ambientes (Terra Firme, Área Inundada e Sedimento). Ao contrário do esperado, as médias da estação seca (T2) foram maiores que as da estação cheia (T1), sendo a maior média encontrada nas amostras de rizosfera da área inundada (Figura IX.1). Guimarães et al. (2000), avaliando o potencial de metilação em 14 diferentes localidades do Brasil obtiveram uma média de 0,60%MeHg para sedimento e 13,70%MeHg para raiz de macrófita aquática. Apenas as matrizes coletadas durante a estação seca (T2) apresentaram um valor médio superior a 0,60%MeHg, entretanto nenhuma ultrapassou os 2,00%MeHg. Em comparação com o perifiton das macrófitas (Tabela IX.1), os valores encontrados nesse estudo podem ser considerados baixos, principalmente para as amostras coletadas na estação cheia (T1).

Laboratório  
**BIOGEOQUÍMICA  
 AMBIENTAL**  
 Wolfgang C. Pfeiffer

**Tabela IX.1.** Potencial de metilação de amostras de diferentes matrizes de diversas localidades sujeitas a inundação.

Local de Coleta		Potencial de Metilação (%MeHg/g PS)			Referência
		Sedimento	Solo Inundado	Perifíton	
<b>Bacia do Rio Madeira (RO)</b>	Rio Mutum-Paraná	0,24			Guimarães et al. 1995
	Rio Mutum-Paraná (montante)	0,001			Guimarães et al. 1995
	Cachoeira do Teofônio (montante)	0,04			Guimarães et al. 1995
	Rio Novo	0,72			Guimarães et al. 1995
	Rio Jamari (jusante da Barragem)	15,84			Guimarães et al. 1995
	Reservatório de Samuel (montante)	0,07			Guimarães et al. 1995
<b>Bacia do Rio Tapajós (PA)</b>	Rio Tapajós	0,29			Guimarães et al. 1993
	Rio Rato	1,56			Guimarães et al. 1993
	Área de garimpo (abandonada)	0,20			Guimarães et al. 1993
	Tributário do Rio Rato (jusante do garimpo)	0,15			Guimarães et al. 1993
	Tributário do Rio Rato (montante do garimpo)	0,79			Guimarães et al. 1993
	Lago Capituã			44	Miranda et al. 2004
	Igapó Barroso			15	Miranda et al. 2004
	Lago Jacaré			14	Miranda et al. 2004
	Igapó Mussum			12	Miranda et al. 2004
	Rio Cupari			2,2	Miranda et al. 2004
	Rio Santo Antônio (lago)			4,4 - 32	Miranda et al. 2004
<b>Bacia do Rio Solimões (AM)</b>	Lago Catalão	0,85	0,33	0,28	Guimarães et al. 1994
<b>Bacia do Rio Negro (AM)</b>	Lago Tupé	2,1	0,02	0,047	Guimarães et al. 1994
<b>Bacia do Rio Beni (Bolívia)</b>	Lago Viejo	12		3,3 - 4,3	Miranda et al. 2004
	Lago Salinas	0,2 - 7,9		0,2	Miranda et al. 2004
	Lago La Granja	6,4		0,2 - 36	Miranda et al. 2004
	Lago San Juan	0,37			Miranda et al. 2004
	<b>Pantanal (Brasil/Paraguai)</b>	Baia Paraíso	0,3		18
	Baia Amolar	0,3		5,9	Guimarães et al. 2000
	Baia Burro	0,3		9	Guimarães et al. 2000
	Baia Cachorrada	0,3		19	Guimarães et al. 2000
	Baia Chacorore	0,3		20	Guimarães et al. 2000
	Baia Siá Mariana	0,3		34	Guimarães et al. 2000

A maioria dos trabalhos em áreas alagáveis aponta para uma maior produção de metilmercúrio durante o período de inundação (GUIMARÃES et al., 1998; 2000; ROULET et al., 2001). O pulso de inundação está associado a um efeito de borda dinâmico que afeta a zona de transição aquática/terrestre (área alagável) ao “deslocar” a região litorânea para essa zona de transição (JUNK et al., 1989), causando alterações nos ciclos biogeoquímicos (JUNK, 1997). A grande quantidade de matéria orgânica em decomposição, disponível durante a inundação gera condições anóxicas na zona de transição e na coluna d'água (JUNK, 1997). A decomposição da matéria orgânica lábil em condições anóxicas aumenta a produção de metilmercúrio (HEYES et al. 1998). Dessa forma, o processo de inundação influencia os processos de especiação das formas de mercúrio, tanto pelas alterações geradas nos ciclos biogeoquímicos, quanto pelo aumento da área em que estes processos ocorrem (COELHO-SOUZA et al., 2007). O potencial de metilação do mercúrio em sistemas aquáticos e terrestres é influenciado tanto pela especiação do mercúrio quanto por sua biodisponibilidade. Diversas variáveis ambientais interrelacionadas podem afetar as taxas de metilação. Dentre essas variáveis encontram-se os ciclos biogeoquímicos que podem afetar a formação de mercúrio (MUNTHE et al., 2007), descrito a seguir: a) Ciclo do Enxofre: a concentração de sulfato (10 - 300 $\mu$ M) pode aumentar a formação de metilmercúrio uma vez que o sulfato estimula a atividade das bactérias sulfato-redutoras (utilizam o sulfato como acceptor de elétrons), um dos principais grupos de bactérias metiladoras. Entretanto, o excesso de sulfetos se complexa com o mercúrio tornando-o indisponível para a metilação; b) pH: a absorção de mercúrio pelos microorganismos que utilizam o transporte facilitado para entrada do mercúrio na célula aumenta com o aumento da acidez; c) Matéria Orgânica: tanto a quantidade quanto a qualidade da matéria orgânica podem afetar a formação de complexos com o mercúrio e a biodisponibilidade do mercúrio para a metilação. Além disso, a matéria orgânica pode estimular a atividade das bactérias, controlando assim a produção de metilmercúrio; d) Ciclo do Ferro: assim como o enxofre e a matéria orgânica, a influência do ferro na metilação do mercúrio pode ser dependente da sua concentração e das condições físico-químicas. O ferro pode se complexar com o mercúrio afetando a sua biodisponibilidade. Além disso, o ferro funciona como acceptor de elétrons para as bactérias ferro-redutoras, um importante grupo de bactérias capazes de metilar o mercúrio em condições de laboratório; e) Tipo e atividade das bactérias: a concentração de metilmercúrio em um dado sistema é resultado do balanço entre o que foi produzido de metilmercúrio (metilação) e o que foi degradado (desmetilação). Ambos processos são mediados pela atividade de bactérias metiladoras e desmetiladoras. Atualmente há um maior conhecimento dos mecanismos enzimáticos e moleculares das

bactérias desmetiladoras do que das bactérias metiladoras. Alguns autores atribuem ao aumento da atividade das bactérias desmetiladoras uma menor concentração de metilmercúrio em um dado ambiente, em vez de uma menor atividade das bactérias metiladoras. A atividade das bactérias desmetiladoras também é dependente da concentração de sulfato, ferro e matéria orgânica, mas em uma menor escala do que as bactérias metiladoras. A importância de cada um desses fatores na produção de metilmercúrio pode variar em diferentes ambientes.

O processo de enchimento para a formação de reservatórios tende a aumentar a concentração de metilmercúrio nos diversos compartimentos bióticos e abióticos (KELLY et al., 1997; HEYES et al., 1998; PORVARI, 1998; TREMBLAY et al. 1998; SCHETAGNE et al., 2000; BOUDOU et al., 2005; MURESAN et al., 2008). Para explicar esse aumento do metilmercúrio após a inundação foram propostos dois possíveis mecanismos: 1) lixiviação do metilmercúrio já presente na matéria orgânica em decomposição durante o enchimento do reservatório; 2) aumento da taxa de metilação do mercúrio impulsionado pela decomposição da matéria orgânica inundada durante o enchimento do reservatório. Atualmente o mecanismo mais aceito é o de aumento da taxa de metilação (HALL et al., 2004). Esse fato coloca em evidência a necessidade de se avaliar o potencial de metilação durante e após as etapas de enchimento do reservatório, em especial no que concerne aos ambientes amazônicos que tem como característica uma enorme diversidade e quantidade de matéria orgânica. Tendo em vista os resultados obtidos e a complexidade dos fatores que podem afetar a formação de metilmercúrio, recomendamos um maior aprofundamento dos estudos desses fatores ambientais e um acompanhamento das medidas de potencial de metilação durante o processo de pré e pós-enchimento.



**Laboratório**  
**BIOGEOQUÍMICA**  
**AMBIENTAL**  
**Wolfgang C. Pfeiffer**

## **CAPÍTULO X**

### **X.1. Área de Movimentação de Terras**

#### **X.1.1. Monitoramento do Mercúrio na Área de Movimentação de Terras**

A área monitorada é referente aos locais onde está ocorrendo a dragagem de sedimentos e retirada de solos e rochas para implementação das turbinas do empreendimento hidrelétrico na Cachoeira de Santo Antônio.

A coleta das amostras de sedimentos consiste em caracterizar a seção horizontal e vertical da área de dragagem, a partir da amostragem de sedimentos que representem os materiais a serem dragados e ou escavados. A distribuição espacial da amostragem está sendo representativa da dimensão da área e do volume a ser dragado e as profundidades das coletas das amostras estão sendo 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 (Capítulo VI do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas - 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. As análises foram realizadas em 25/03/2010 não se constatando diferenças entre as amostras do bota-fora e as amostras das áreas da enseadeira.

O monitoramento do canteiro de obras é realizado na medida em que são realizadas escavações nas áreas onde estão sendo construídas as enseadeiras. 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. Até a presente data não foram observados valores que demonstrem contaminação de Hg nos sedimentos, rochas ou em solos das áreas escavadas.

A figura X.1 mostra o procedimento de coleta de amostras de solo e sedimento no canteiro de obras.



**Figura X.2** - Coleta de amostras de solo e sedimento no canteiro de obras da UHE –Santo Antônio.

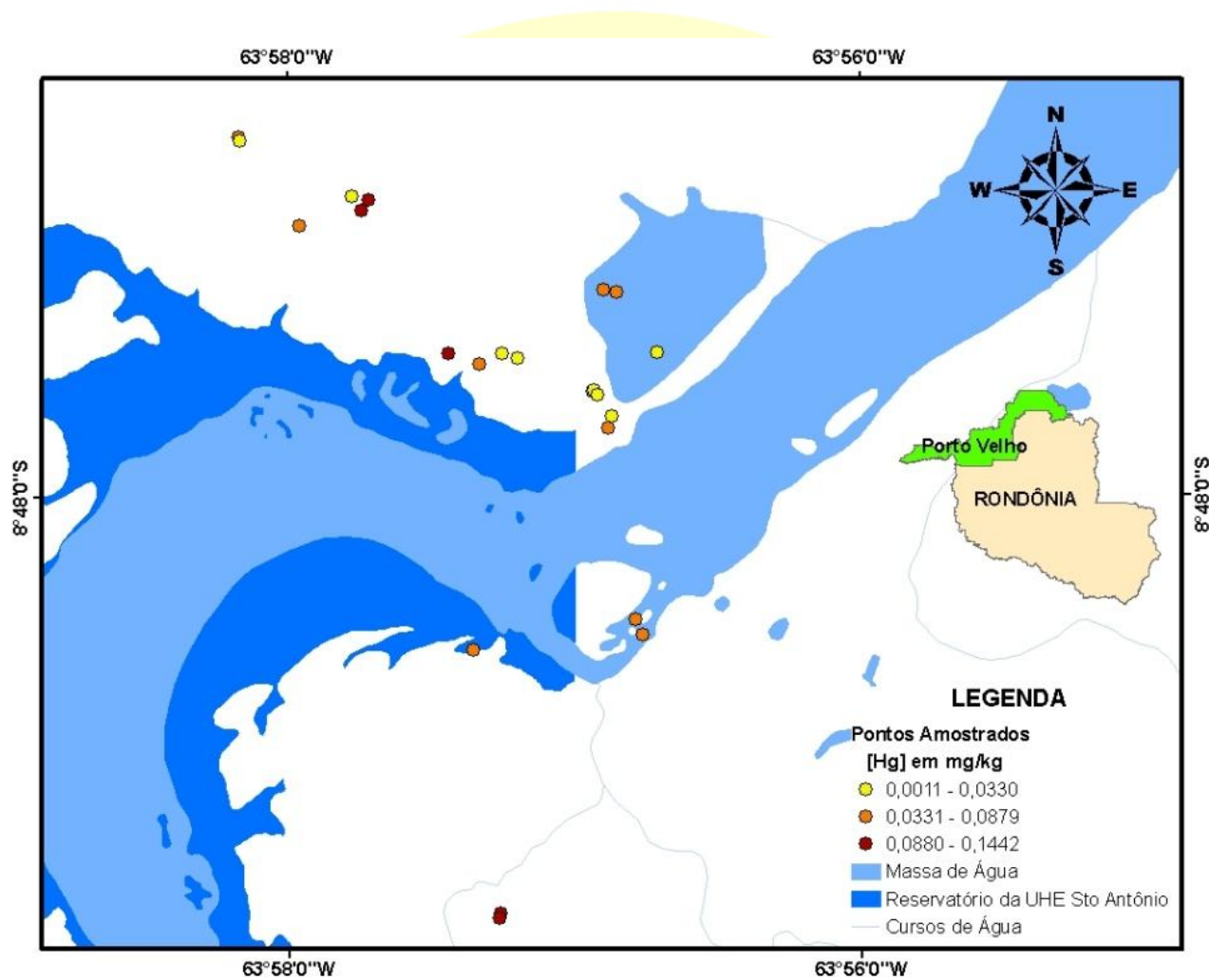
Os dados de Hg total para os pontos analisados estão apresentados na tabela X.1. A figura X.2, mostra a espacialização das concentrações de Hg ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) nos materiais escavados nas enseadeiras, canais de restituição e áreas de “bota-fora” da área de estudo. Observa-se uma grande variabilidade nas concentrações de Hg. Algumas amostras apresentam valores bem abaixo quando comparados com outras regiões do rio Madeira. Amostras com baixos valores de Hg como Cant017 (Tabela X.1) em geral são retiradas das camadas mais profundas do solo escavados pertence ao material rochoso. No bota fora este material pode diluir a concentração de Hg de materiais escavados como sedimentos e solos superficiais.

Laboratório  
**BIOGEOQUÍMICA  
AMBIENTAL**  
Wolfgang C. Pfeiffer

**Tabela X.1** - Valores médios encontrados nos sedimentos e solos do Canteiro de Obras para Hg coletados em maio/2010.

<b>Código de campo</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Código do Laboratório</b>	<b>Média (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>D.P.</b>
Cant001	395049	9024424	SLCO 16258	0,1147	0,0011
Cant002	395041	9024390	SLCO 16259	0,1055	0,0006
Cant003	394873	9026124	SLCO 16260	0,0401	0,0065
Cant004	395959	9026224	SLCO 16261	0,0393	0,0019
Cant005	395916	9026326	SLCO 16262	0,0483	0,0015
Cant006	394202	9029039	SLCO 16263	0,1442	0,0105
Cant007	394152	9028967	SLCO 16264	0,1147	0,0010
Cant008	394093	9029057	SLCO 16265	0,0258	0,0016
Cant009a	393760	9028872	SLCO 16266A	0,0684	0,0007
Cant009b	393760	9028873	SLCO 16266B	0,0689	0,0042
Cant010	393369	9029447	SLCO 16267	0,0796	0,0011
Cant011	393376	9029418	SLCO 16268	0,0330	0,0005
Cant012	395638	9027803	SLCO 16269	0,0143	0,0046
Cant013	395648	9027810	SLCO 16270	0,0013	0,0001
Cant014	395670	9027779	SLCO 16271	0,0039	0,0023
Cant015	395759	9027637	SLCO 16272	0,0049	0,0002
Cant016	395735	9027559	SLCO 16273	0,0879	0,0010
Cant017	395060	9028046	SLCO 16274	0,0030	0,0007
Cant018	395160	9028014	SLCO 16275	0,0011	0,0004
Cant019	394912	9027974	SLCO 16276	0,0502	0,0199
Cant020	394711	9028046	SLCO 16277	0,1379	0,0149
Cant021	395710	9028459	SLCO 16278	0,0615	0,0005
Cant022	395789	9028441	SLCO 16279	0,0840	0,0023
Cant023	396050	9028053	SLCO 16280	0,0326	0,0054
Média				0,0568	0,0050
Mínimo				0,0011	0,0001
Máximo				0,1442	0,0416





**Figura X.3** – Distribuição espacial e classificação por valores únicos das concentrações de Hg ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) nos materiais escavados nas enseadeiras, canais de restituição e áreas de “bota-fora”.

Os valores médios de concentração de Hg estão de acordo com os dados encontrados para outras estações de monitoramento no rio Madeira. E até o momento também se encontram em conformidade com os valores preconizados pela CETESB que adota os mesmos valores do CONAMA 344/4 (Tabela X.2).

**Tabela X. 2** - Valores de referência CETESB de elementos químicos em sedimentos.

Elementos	TEL (NIVEL 1) mg.Kg <sup>-1</sup>	PEL (NIVEL2) mg.Kg <sup>-1</sup>
Arsênio	5,9	17
Cádmio	0,6	3,5
Chumbo	35	91,3
Cobre	35,7	197
Cromo	37,3	90
Mercúrio	0,17	0,486
Níquel	18	35,9
Zinco	123	315

**Fonte:** Adaptado Relatório Critério para Avaliação de Sedimentos (CETESB, 2006) - TEL “Threshold Effect Level” ou Nível 1 - concentrações abaixo deste valor são raramente associadas a efeitos biológicos adversos. PEL “Probable Effect Level” ou Nível 2 - concentrações acima deste valor são frequentemente associadas a efeitos biológicos adversos.

O número de amostras é variável de entre coletas, pois depende do tamanho das áreas de bota fora, ensecadeiras e dos locais de escavação. À medida que há novas frentes de escavação desloca-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 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.

### **X.1.2. Monitoramento de Outros Metais Pesados na Área de Movimentação de Terras**

Além da avaliação de mercúrio, foram analisados os seguintes elementos traços: Cobalto, Manganês, Cromo, Níquel, Chumbo, Cobre, Ferro e Zinco (Tabela X.3 , X.4 e X.5). Estudo realizado por Lacerda et al (1990) mostra que as concentrações de metais pesados em

sedimentos superficial no rio madeira são altamente variáveis. Esta variação ocorre devido a natureza do material transportado pelo rio Madeira que compõe o sedimento marginal do rio Madeira. Os dados observados atualmente para Cr, Pb, Co e Cu nos sedimentos da área de escavação estão em concentrações inferiores aos valores obtidos para sedimento de fundo na bacia do rio Madeira obtidos por Lacerda et al (1990).

**Tabela X.3** - Valores médios encontrados nos sedimentos/solos do Canteiro de Obras para metais pesados coletados em Fevereiro/2010.

<b>Código Lab.</b>	<b>Co</b> (mg.kg <sup>-1</sup> )	<b>Mn</b> (mg.kg <sup>-1</sup> )	<b>Cr</b> (mg.kg <sup>-1</sup> )	<b>Ni</b> (mg.kg <sup>-1</sup> )	<b>Pb</b> (mg.kg <sup>-1</sup> )	<b>Cu</b> (mg.kg <sup>-1</sup> )	<b>Fe</b> (mg.kg <sup>-1</sup> )	<b>Zn</b> (mg.kg <sup>-1</sup> )
SLCO 15401	18,18	635,81	11,92	26,14	16,95	16,60	30430,65	94,44
SLCO 15402	13,97	513,26	12,98	27,46	17,94	17,55	40097,61	90,28
SLCO 15403	12,03	504,13	11,40	24,51	15,61	15,79	39372,80	78,77
SLCO 15404	2,02	45,38	6,70	3,46	7,02	3,40	16928,69	11,57
SLCO 15405	3,01	397,07	8,89	5,93	9,06	19,60	25817,11	44,67
SLCO 15406	6,04	206,18	8,79	9,72	9,55	7,77	26687,29	34,17
SLCO 15407	9,46	213,00	8,00	14,88	10,71	13,50	23423,30	53,64
SLCO 15408	7,90	224,12	8,68	13,49	16,41	7,45	31402,80	48,43
SLCO 15409	5,70	108,62	6,41	10,40	13,30	5,00	20273,59	33,73
SLCO 15410	4,35	472,98	4,87	5,51	27,17	9,18	25576,08	101,39
SLCO 15411	3,09	495,85	2,73	3,05	57,00	7,40	20690,86	100,16
SLCO 15412	5,35	249,17	4,66	5,67	46,35	9,38	36172,50	99,10
SLCO 15413	3,94	138,20	2,70	2,69	41,17	10,45	43986,82	102,38
SLCO 15414	3,62	117,29	4,61	3,86	45,07	10,61	43211,17	57,59
SLCO 15415	4,56	125,42	8,84	7,39	46,97	8,49	31565,40	33,63
SLCO 15416	3,77	99,90	6,69	6,91	215,01	8,00	26671,97	33,25
SLCO 15417	3,66	148,70	3,73	3,65	42,05	8,40	31442,69	74,65
SLCO 15418	4,76	160,01	6,44	9,20	51,12	15,91	20176,41	66,36
SLCO 15419	4,00	130,01	5,50	4,76	48,57	8,97	26530,44	53,44
SLCO 15420	5,01	221,67	3,82	6,44	40,88	8,92	38735,60	189,97
SLCO 15421	3,09	98,31	5,21	6,18	67,23	9,35	27547,01	29,44
SLCO 15422	19,52	966,31	1,37	6,95	70,57	10,74	28303,73	58,51
SLCO 15423	2,44	56,43	4,91	5,59	44,42	5,78	17208,41	24,83
SLCO 15424	4,12	110,15	8,51	5,94	45,60	7,90	31017,06	40,37
SLCO 15425	4,66	144,29	8,92	7,63	51,50	9,70	32346,23	53,12
MÉDIA	6,33	263,29	6,69	9,10	42,29	10,23	29424,65	64,32
MINÍMO	2,02	45,38	1,37	2,69	7,02	3,40	16928,69	11,57
MÁXIMO	19,52	966,31	12,98	27,46	215,01	19,60	43986,82	189,97
CETESB			37-90	18-36	35-91	36-197	ND	123-315

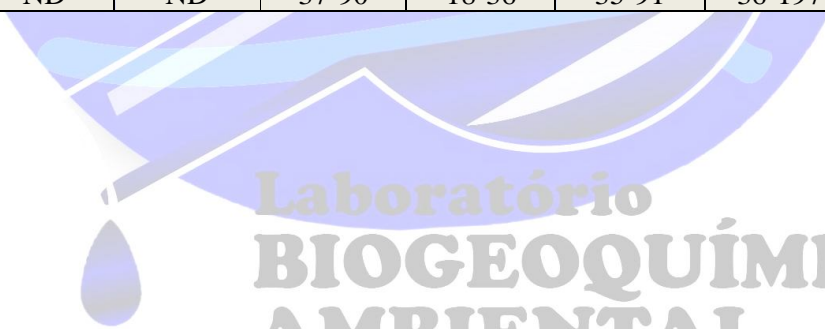
**Tabela X.4** - Valores médios encontrados nos sedimentos/solos do Canteiro de Obras para metais pesados coletados em Março/2010.

<b>Código Lab.</b>	<b>Co</b> <b>(mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Mn</b> <b>(mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Cr</b> <b>(mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Ni</b> <b>(mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Pb</b> <b>(mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Cu</b> <b>(mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Fe</b> <b>(mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Zn</b> <b>(mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>
SLCO 16089	4,06	402,43	4,94	4,44	29,47	6,47	38701,79	118,63
SLCO 16090	4,86	235,75	6,72	7,28	14,40	6,94	24111,13	31,88
SLCO 16091	2,40	25,49	7,95	3,73	11,12	4,54	25162,31	14,10
SLCO 16092	2,81	32,15	5,94	5,05	11,11	6,53	18721,86	18,71
SLCO 16093	4,49	732,00	6,05	4,36	25,30	18,45	30958,40	113,85
MÉDIA	2,53	96,84	7,02	5,38	8,08	14,49	28932,41	30,79
MÍNIMO	0,13	2,68	2,23	0,19	2,00	2,08	1718,59	3,01
MÁXIMO	11,00	479,72	13,18	18,92	19,28	66,88	61082,95	102,09
CETESB			37-90	18-36	35-91	36-197		123-315

**Tabela X.5** - Valores médios encontrados nos sedimentos/solos do Canteiro de Obras para metais pesados coletados em Maio/2010.

<b>Cód. Lab.</b>	<b>Co</b> <b>(mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Mn</b> <b>(mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Cr</b> <b>(mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Ni</b> <b>(mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Pb</b> <b>(mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Cu</b> <b>(mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Fe</b> <b>(mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Zn</b> <b>(mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>
SLCO 16258	0,30	10,64	4,03	0,52	2,96	2,08	22760,37	3,74
SLCO 16259	0,76	25,36	4,46	1,28	3,76	2,92	23588,33	7,24
SLCO 16260	11,00	300,48	8,32	18,62	13,00	18,93	35996,56	76,96
SLCO 16261	9,58	326,65	7,64	16,76	10,41	17,63	26384,25	70,44
SLCO 16262	8,94	385,68	7,37	15,34	13,24	17,20	28495,97	72,07
SLCO 16263	0,43	24,35	10,59	1,58	3,75	10,75	61082,95	10,71
SLCO 16264	0,53	26,75	13,18	1,74	2,00	6,11	52422,48	8,98
SLCO 16265	1,10	38,89	5,15	1,78	9,41	10,17	37862,16	24,73
SLCO 16266 <sup>a</sup>	2,82	46,81	10,19	8,64	16,32	66,88	6393,10	19,70
SLCO 16266B	0,53	10,50	8,14	1,38	4,98	8,37	29425,70	7,18

<b>Cód. Lab.</b>	<b>Co (mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Mn (mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Cr (mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Ni (mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Pb (mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Cu (mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Fe (mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Zn (mg.Kg<sup>-1</sup>)</b>
SLCO 16267	1,28	8,19	10,28	4,28	6,05	14,37	4407,58	4,22
SLCO 16268	0,13	5,51	7,24	1,07	3,67	6,44	18938,65	4,34
SLCO 16269	0,23	32,42	3,89	1,09	6,19	7,25	37450,26	14,58
SLCO 16270	0,23	8,93	2,23	0,19	5,48	10,09	44361,72	13,14
SLCO 16271	0,63	63,11	2,71	0,67	5,98	8,67	34304,31	34,44
SLCO 16272	5,06	479,72	13,03	7,76	19,28	30,60	37181,17	100,84
SLCO 16273	4,71	147,99	11,38	13,70	10,62	14,79	22095,21	43,62
SLCO 16274	0,36	51,01	3,81	2,75	7,85	16,26	46188,14	22,07
SLCO 16275	2,32	144,24	2,56	1,81	10,19	11,21	34953,34	102,09
SLCO 16276	0,27	37,73	4,10	0,67	7,17	9,88	39862,51	10,23
SLCO 16277	0,35	29,07	7,67	1,89	6,07	15,32	32570,27	10,25
SLCO 16278	1,07	2,68	7,18	3,31	6,82	11,44	1866,51	3,01
SLCO 16279	0,84	3,07	7,40	3,29	7,03	12,34	1718,59	3,88
SLCO 16280	7,24	114,49	5,99	18,92	11,61	18,01	14067,68	70,45
Média	2,53	96,84	7,02	5,38	8,08	14,49	28932,41	30,79
Mínimo	0,13	2,68	2,23	0,19	2,00	2,08	1718,59	3,01
Máximo	11,00	479,72	13,18	18,92	19,28	66,88	61082,95	102,09
CETESB	ND	ND	37-90	18-36	35-91	36-197	ND	123-315



**Laboratório**  
**BIOGEOQUÍMICA**  
**AMBIENTAL**  
**Wolfgang C. Pfeiffer**

## CONSIDERAÇÕES

Consideramos que até a data do presente relatório do monitoramento do programa Hidrobiogeoquímica dos metais pesados, com ênfase ao mercúrio, apresenta-se dentro da dinâmica biogeoquímica esperada, ou seja, sem grandes modificações. No entanto, uma avaliação mais detalhada será realizada na região de Morrinhos, conforme apontada no Capítulo IV (solos), além da continuidade nas coletas trimestrais dando continuidade no monitoramento sazonal durante a fase que antecede o represamento (Fase Pré-Enchimento).

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 685, de 27 de Agosto de 1998. Disponível em: [http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/685\\_98.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/685_98.htm). Acesso em: Novembro de 2009.

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

BASTOS, W.R. & LACERDA, L.D. A contaminação por mercúrio na bacia do rio Madeira: uma breve revisão. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2. p. 18-99. 2004.

BASTOS, W.R.; GOMES, J.P.O.; OLIVEIRA, R.C.; ALMEIDA, R.; NASCIMENTO, E.L.; BERNARDI, J.V.E.; LACERDA, L.D.; SILVEIRA, E.G. & PFEIFFER, W.C. Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 368, n. 1, p. 344-351, 2006.

BASTOS, WR; REBELO, MF; FONSECA, MF; ALMEIDA, R & MALM, O. A description of mercury in fishes from the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. **Acta Amazonica**, v. 38, p. 431-438, 2008.

BOUDOU, A.; MAURY-BRACHET, R.; COQUERY, M.; DURRIEU, G. & COSSA, D. Synergic effect of gold mining and damming on mercury contamination in fish. **Environmental Science and Technology**, 39:2448-2454, 2005.

BONZONGO, J.C., W.B. LYONS, M.E. HINES, J.J. WARWICK. (2002). Mercury in surface waters of three mine-dominated aquatic systems: Idrija River, Slovenia; Carson River, Nevada USA; and Madeira River, Brazil. **Geochemical Exploration and Environmental Analysis**, 2(2): 111-120.

CALLISTO, M. Macroinvertebrados bentônicos. In: Bozelli, R.L.; Esteves, F.A. & Roland, F. **Lago Batata: impacto e recuperação de um ecossistema amazônico**. Eds. IB-UFRJ/SBL. Rio de Janeiro, 139-152p. 2000.

CALLISTO, M.; GONÇALVES, J.F. & MORENO, P. **Invertebrados Aquáticos como Bioindicadores**. In: Goulart, E.M.A. (Eds). Navegando o Rio das Velhas das Minas aos Gerais, 555-567. 2005.

COELHO-SOUZA, S.A.; MIRANDA, M.R. & GUIMARAES, J..R. D. A importância das macrófitas aquáticas no ciclo do mercúrio na Bacia do Rio Tapajós (PA). **Oecologia Brasiliensis**, 11:252-263. 2007.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Critério para avaliação da qualidade de sedimento. São Paulo. Disponível em: <[www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)>. Acesso em 2 de nov. 2008. 14:55. 2006.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução Nº 357, de 17 de Março de 2005.

CONSTANTINO, R. C. Características principais das ordens de insetos. In: **Textos de Entomologia**. Versão 3. 2002.

CREMONA, F.; PLANAS, D. & LUCOTTE, M. Assessing the importance of macroinvertebrate trophic dead ends in the lower transfer of methylmercury in littoral food webs. **Aquat. Sci.** (65): 2043–2052. 2008.

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.

GARCÍA-DÁVILA, C.R. & MAGALHÃES, C. Revisão taxonômica dos camarões de água doce (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae, Sergestidae) da Amazônia peruana. **Acta Amazonica**, 33(4): 663-686. 2003.

GUIMARÃES, J.R.D.; MALM, O. & PFEIFFER, W.C. Radiochemical determination of net mercury methylation rates in sediment, water and soil samples from the Amazon region. In: International Symposium on Perspectives for Environmental Geochemistry in Tropical Countries, 1993, Niterói. **Proceedings of the International Symposium on Perspectives for Environmental Geochemistry in Tropical Countries**, 413-416. 1993.

GUIMARÃES, J.R.D.; MALM, O. & PFEIFFER, W.C. A simplified radiochemical technique for measurements of net mercury methylation rates in aquatic systems near gold mining areas, Amazon, Brazil. **Science of the Total Environment**, 175:151-162. 1995.

GUIMARÃES, J.R.D.; MEILI, M.; MALM, O. & BRITO, E.M.S. Hg methylation in sediments and floating meadows of a tropical lake in the Pantanal floodplain, Brazil. **Science of the Total Environment**, 213:165-175. 1998.

GUIMARÃES, J.R.D.; ROULET, M.; LUCOTTE, M. & MERGLER, D. Mercury methylation along a lake-forest transect in the Tapajós river floodplain, Brazilian Amazon: seasonal and vertical variations. **Science of the Total Environment**, 261:91-98. 2000.

GRAY, J. E., HINES, M. E., 2008. Biogeochemical mercury methylation influenced by reservoir eutrophication, Salmon Falls Creek Reservoir, Idaho, USA **Chemical Geology**. 2008.

HAAG, I.; KERN, U. & WESTRICH, B., Erosion investigation and sediment quality measurements for a comprehensive risk assessment of contaminated aquatic sediments. **Science of the Total Environment**. v. 266 p. 249-257. 2001.

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.

HALL, B.D. AIKEN G.R. KRABBENHOFT, D.P., MARVIN-DIPASQUALE, M., SWARZENSKI, C.M. 2008. Wetlands as principal zones of methylmercury production in southern Louisiana and the Gulf of Mexico region. **Environmental Pollution**, 154:124-134 [www.elsevier.com/locate/envpol](http://www.elsevier.com/locate/envpol). 2008.

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.

HOLTHUIS, L. B. **A general revision of the Palaemonidae (Crustacea: Decapoda: Natantia) of the Americas, II: The subfamily Palaemonidae.** /Allan Hancock Foundation Publications/, /Occasional Paper/, 12: 1-396. 1952.

HUDSON-EDWARDS, K.A.; MACKLIN, M.G.; MILLER, J.R. & LECHER, P.J. Sources, distribution and storage of heavy metals in the Rio Pilcomayo, Bolívia. **Journal of Geochemical Exploration**. v. 72. p. 229-250. 2001.

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.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE – IBAMA. Relatório de impacto ambiental das usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau. Disponível em:< [www.ibama.licenciamentos.gov.br](http://www.ibama.licenciamentos.gov.br)> Acesso em 22 de nov. de 2008. 16:25. 2005.

**Estudo de Impacto Ambiental.** Relatório Final I. Tomo B, Vol. 1/8. 287p.

JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B. & SPARKS, R.E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. 110-127. In: Dodge DP (ed) Proceedings of the International Large River Symposium. **Can Spec Publ Fish Aquat Sci**, 106. 1989.

JUNK, WJ. **The Central Amazon Floodplain: Ecology of a Pulsing System.** Springer-Verlag Berlin Heidelberg, vol 126. 1997.

KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**, 3<sup>rd</sup> ed, Boca Raton, CRC Press, 413p. 2001.

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. & SALOMONS, W. **Mercury from Gold and Silver Mining: A Chemical Time Bomb.** Springer Verlag, Berlin, 146p. 1998.

LACERDA, L. D.; SOUZA, M. & RIBEIRO, M. G. **Environ. Pollut.** 129, 247. 2004.

LIMA, H.N.; MELLO, J.W.V.; SCHAEFER, C.E.G.R. & KER, J.C. Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação. **Acta Amazônica** v.35(3). p 317-330. 2005.

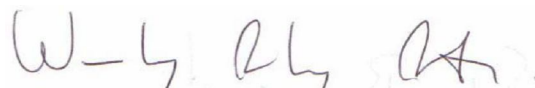
LIU, G., CAI, Y., PHILLIPI, T., KALLA, P., SCHEIDT, D., RICHARDS, J., SCINTO, L., APPELEY, C. 2008. Distribution of total and methylmercury in different ecosystem compartments in the Everglades: Implications for mercury bioaccumulation. **Environmental Pollution**, 153, 257:265

LOBÃO, V. L.; SAWAYA, P. & SANTOS, L. E. Influência da temperatura, precipitação pluviométrica e insoação na reprodução de *Macrobrachium holthuisi*. **Inst. Pesca.** (2): 109-118. 1978.

MENEZES, J. M. Variação espacial e sazonal de aspectos limnológicos associada ao uso e ocupação da micro-bacia do igarapé Belmont. Porto velho/Rondônia/Amazônia Ocidental. **Monografia.** FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA, 108P. 2007.



- MIRANDA M.R.; GUIMARÃES J.R.D.; ROULET M.; ACHA D.; COELHO-SOUZA S.; MAURO J.B.N. & IÑIGUEZ 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.
- MONTGOMERY, S., LUCOTTE, M. RHEAULT, I. Temporal and spatial influences of flooding on dissolved mercury in boreal reservoirs, *Science of the Total Environment*, 260(1-3), 147:157. 2000.
- MUNTHE, J.; BODALY, R.A.; BRANFIREUN, B.A.; DRISCOLL, C.T.; GIMOUR, C.T.; HARRIS, R.; HORVAT, M.; LUCOTTE, M. & MALM, O. Recovery of mercury-contaminated fishes. *Ambio*, 36:33-44. 2007.
- MURESAN, B.; COSSA, D.; RICHARD, S. & DOMINIQUE, Y. Monomethylmercury sources in a tropical reservoir. *Applied Geochemistry*. 23:1101-1126. 2008.
- OLIVEIRA, L.C.; SERUDO, L.R.; BOTERO, W.G.; MENDONÇA, A.G.R.; SANTOS.A.; ROCHA, J.C. & NETO, F.S.C.; Distribuição de mercúrio em diferentes solos da dacia do médio rio Negro – AM: Influência da matéria orgânica no ciclo biogeoquímico do mercúrio. *Química Nova* v.30, nº2, 274-280, 2007.
- 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, WC; LACERDA, LD; MALM, O; SOUZA, C. M. M.; SILVEIRA, EG & BASTOS, W. R. Mercury concentrations in inland waters of gold mining areas in Rondônia, Brasil.. *Science of the Total Environment*. v.87/88, p.233 - 240, 1989.
- PORVARI, P. Development of fish mercury concentrations in finnish reservoirs from 1979 to 1994. *The Science of the Total Environment*, 213: 279-290. 1998.
- ROULET, M.; GUIMARÃES, J.R.D. & LUCOTTE, M. Methylmercury production and accumulation in sediments and soils of an Amazon floodplain- effect of seasonal inundation. *Water Air Soil and Pollution*, 128:41-60. 2001.
- SANTOS, R.D. et al. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 5. ed. Viçosa: SBCS. 92 p. 2005.
- SCHETAGNE, R.; DOYON, J.F. & FOURNIER, J.J. Export of mercury downstream from reservoirs. *Science of the Total Environment*, 260:135-145. 2000.
- SILVA, D. S.; LUCOTTE, M.; ROULET, M.; POIRIER, H.; MERGLER, D.; CROSSA M. 2006. Mercúrio nos peixes do Rio Tapajós, Amazônia Brasileira. ©INTERFACEHS – **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente** - v.1, n.1, Art 6. Amazonas.
- SILVA-FILHO, E. V.; KÜTTER, M. T.; KÜTTER, V. T.; LACERDA, L. D. 2008. **Mercúrio em peixes no Brasil e sua implicação ecológica: Revisão bibliográfica**. III Congresso Brasileiro de Oceanografia – CBO. 2008. Fortaleza (CE).
- TREMBLAY, A.; CLOUTIER, L. & LUCOTTE, M. Total mercury and methylmercury fluxes via emerging insects in recently flooded hydroelectric reservoirs and natural lake. *Science of the Total Environment*, 219:209-221. 1998.

  
Wanderley Rodrigues Bastos