

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE
FEDERAL DE RONDÔNIA



**RELATÓRIO
AVALIAÇÃO AMBIENTAL**

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

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

JANEIRO/2011

Coordenação:

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

Equipe Ambiental:

Dr. Márcio Rodrigues de Miranda (UFRJ/UNIR)

MSc. Ronaldo de Almeida (UNIR/UFRJ)

MSc. Roberta Carolina F. Galvão (UNIR)

MSc. Dario Pires de Cavalho (Doutorando UNIR/UFRJ)

MSc. Marília Higino Mussy (UNIR)

Biol. Igor Bruno Barboza de Holanda (Mestrando/UNIR)

Biol. Maria Thereza Souza Bastos (UNIR)

Quím, Leidiane Caroline Lauthartte (Mestranda/UNIR)

Quím. Maria Cristina Nery do Nascimento (UNIR)

Charlliene Lima da Silva (Iniciação Científica/UNIR)

Júlia Yuones Herrmann (Iniciação Científica/UNIR)

Lauana Almeida Neres (Iniciação Científica/UNIR)

Andressa de Jesus (Iniciação Científica/UNIR)

INTRODUÇÃO GERAL

O presente relatório contém os dados obtidos no período de Abril a Setembro de 2011, referentes ao Termo Aditivo de 06 meses firmado entre a Santo Antônio Energia S.A. e o Instituto de Pesquisas Agroambientais e Organizações Sustentáveis (IEPAGRO). A finalidade desse Termo Aditivo é dar continuidade ao Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do Rio Madeira. Nesse trabalho foram realizados o monitoramento de mercúrio e demais elementos-traço nos solos da área de supressão de vegetação, remoção de solos e rochas (canteiro de obras), áreas como atividade de garimpo de ouro e nos peixes. A seguir são apresentados os resultados do Programa.

I. MONITORAMENTO DE FONTES DIFUSAS (MFD)

A exportação do mercúrio para os sistemas aquáticos é função dos ciclos biogeoquímicos, do uso da terra, da carga acumulada de mercúrio (natural e antropogênica) e do clima na bacia de drenagem (BISHOP & LEE, 1997; GABRIEL & WILLIAMSON, 2004). Na região Amazônica, o solo é considerado como o maior reservatório de mercúrio natural e a erosão desses solos a principal via de contaminação dos ecossistemas aquáticos (*e.g.*, ROULET et al., 1998b, 1999; FADINI & JARDIM, 2001; LECHLER et al., 2000; ROULET & GRIMALDI, 2001). Além disso, os solos amazônicos são considerados sumidouros do mercúrio atmosférico antropogênico (LECHLER et al., 2000; FADINI & JARDIM, 2001; OLIVEIRA et al., 2001; GUEDRON et al., 2003; 2006; 2009; GRIMALDI et al., 2008).

Na Bacia do Rio Madeira, a carga acumulada de mercúrio nos solos superficiais (0-20 cm de profundidade) é de 31 mg/m² na Floresta de Terra Firme, 18 mg/m² na pastagem, 24 mg/m² na silvicultura e 30 mg/m² na área desmatada (ALMEIDA et al., 2005). Esses valores estão na mesma faixa dos encontrados em outras áreas da região Amazônica, tais como na Guiana Francesa (ROULET & LUCOTTE, 1995), na Bacia do Rio Tapajós (ROULET et al., 1998b) e na Bacia do Rio Tocantins (AULA et al., 1994).

Em conformidade com o Projeto Básico Ambiental foram acompanhadas as atividades desenvolvidas no ecossistema terrestre na área de influência direta do empreendimento durante a implantação das estruturas físicas da barragem. As atividades desenvolvidas pelo empreendimento foram:

1. Supressão da vegetação
2. Remoção de solo e de rochas

Estes procedimentos podem contribuir com a mobilização do mercúrio para o ecossistema aquático. Tais atividades foram monitoradas quanto a sua eficiência em disponibilizar o mercúrio para o ecossistema aquático do rio Madeira, a fim de verificar sua real contribuição no ciclo biogeoquímico do mercúrio na bacia hidrográfica do rio Madeira.

I.1. SOLOS NA ÁREA DE SUPRESSÃO DA VEGETAÇÃO

Os processos envolvidos na capacidade de imobilização e de acumulação de mercúrio em um solo dependem das propriedades biogeoquímicas das localidades específicas, o que na região são influenciadas pelas várias formas de uso da terra, resultando em capacidades diferentes de acumulação e liberação de mercúrio (BASTOS & LACERDA, 2004). Quando a cobertura vegetal do solo é removida surgem as primeiras modificações no meio sendo a mais importante a perda de matéria orgânica, que é rapidamente oxidada e mineralizada. A degradação do solo resulta na deterioração do ambiente por erosão, inundação sazonal, assoreamentos de reservatório d'água, entre outros (ESPINDOLA, 2008).

I.2. METODOLOGIA

Em conformidade com o Plano Básico Ambiental da Usina Hidrelétrica de Santo Antonio (PBA - Santo Antônio) foram realizadas 16 amostragem de solos no horizonte superficial (0-20 cm) de acordo com áreas onde houve supressão de vegetação no entorno dos tributários e no rio Madeira (Figura

I.1). Após o primeiro ciclo hidrológico, esses pontos foram revisitados para uma nova coleta de solo para avaliar a influência do processo de inundação na dinâmica de elementos-traço.



Figura I.1. Área de supressão da vegetação. Foto: Marcio Rodrigues Miranda.

Para a coleta de solos foi utilizado o trado holandês, como demonstrado na figura I.2. Os pontos de amostragem foram georreferenciados utilizando-se de receptor de GPS (Sistema de Posicionamento Global por Satélite), a partir de um aparelho receptor para GPS, modelo GARMIN's[®], modelo GPS 12 XL Personal Navigator[™] (Tabela I.1 e Figura I.3).



Figura I.2. Coleta de solo na área de supressão da vegetação. Foto: Marcio Rodrigues Miranda.

Tabela I.1. Coordenadas da amostragem solo na área de supressão de vegetação.

Código de Campo	Localidade	Coordenadas	
		UTM Datum:Sad 69 Longitude	Latitude
P. 01 (S.V.)	Rio Jaci-Paraná	346428,6	8972175
P. 02 (S.V.)	Rio Jaci-Paraná	346736,7	8972409
P. 03 (S.V.)	Rio Jaci-Paraná	345738,0	8974278
P. 04 (S.V.)	Rio Jaci-Paraná	347595,1	8977181
P. 05 (S.V.)	Rio Jaci-Paraná	347798,4	8979336
P. 06 (S.V.)	Rio Jaci-Paraná	347433,5	8981327
P. 07 (S.V.)	Rio Caracol	348940,9	8983141
P. 08 (S.V.)	Rio Caracol	348951,2	8983643
P. 09 (S.V.)	Rio Madeira	351739,7	8989639
P. 10 (S.V.)	Rio Madeira	353348,6	8992654
P. 11 (S.V.)	Rio Madeira	377221,6	9006840
P. 12 (S.V.)	Rio Madeira	381150,8	9006755
P. 13 (S.V.)	Rio Madeira	382049,5	9018695
P. 14 (S.V.)	Rio Madeira	392791,4	9023793
P. 15 (S.V.)	Rio Madeira	390203,7	9023229
P. 16 (S.V.)	Igarapé Jatuarana I	384951,6	9023812

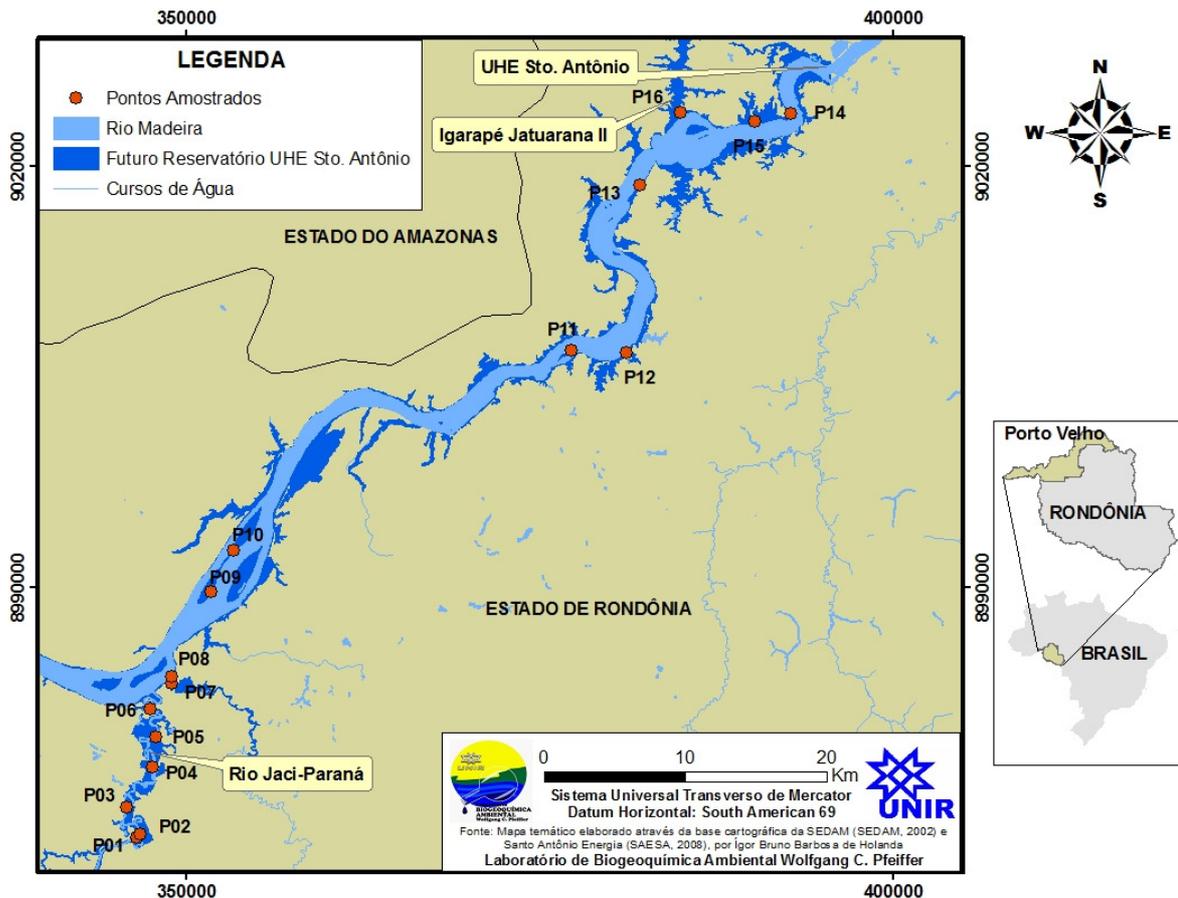


Figura I.3. Pontos de da amostragem solo da área de supressão de vegetação.

As análises dos elementos Cr, Cu, Pb, Mn, Fe, Zn, Ni, Co e Hg da matriz solo, seguiram o mesmo protocolo descrito nos relatórios anteriores. Para análise em laboratório foi retirada uma alíquota de aproximadamente 2 kg (p.u.) de solo. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos com finalidade de preservar o material e evitar possíveis contaminações e danos no transporte até o laboratório para posterior tratamento analítico. As amostras de solos passaram por um processo gravimétrico de separação (peneiração a úmido), reduzindo-as a uma fração menor que 0,075mm ou 200 *mesh*.

Para a quantificação de Hg total foi feita a solubilização das amostras seguindo protocolo da técnica proposta por Bastos et al. (1998). A análise de Hg foi realizada em espectrofotômetro de absorção atômica acoplado ao gerador de vapor frio (FIMS-400, Perkin Elmer). Equipado com um sistema de injeção de fluxo (FIAS) com amostrador automático (AS-90) utilizando *software* (Winlab-Perkin-Elmer).

Para a quantificação da fração fortemente ligada de Zn, Co, Cr, Cu, Fe, Mn e Pb seguimos protocolo proposto por Campos (2003) com sistema aberto de digestão usando HNO₃ e HCL (1:3, água régia) que equivale ao método empregado pela USEPA 3050. A quantificação das amostras foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica de chama (AA-400, Perkin Elmer).

I.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da concentração dos elementos segue apresentado: i) os solos no entorno dos tributários (Tabela I.2); ii) os solos no entorno do rio Madeira (Tabela I.3); i) solos no entorno dos tributários após a inundação (Tabela I.4) e ii) solos no entorno do rio Madeira após a inundação (Tabela I.5).

Tabela I.2. Concentração média (mg.kg⁻¹) dos elementos químicos nos solos na área de supressão de vegetação no entorno dos tributários do rio Madeira (n=9).

Localidade	Código de Campo	Co	Mn	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Zn	Hg
Rio Jaci-Paraná	P. 01 (S.V.)	1,04	19,61	4,39	1,36	8,05	2,17	4450,68	11,36	0,08
Rio Jaci-Paraná	P. 02 (S.V.)	1,88	22,32	4,37	1,95	10,7	3,56	7258,68	21,54	0,09
Rio Jaci-Paraná	P. 03 (S.V.)	1,88	13,56	3,99	1,51	8,52	3,06	4197,38	16,22	0,08
Rio Jaci-Paraná	P. 04 (S.V.)	1,85	35,98	4,17	1,64	8,45	2,94	6433,18	19,94	0,09
Rio Jaci-Paraná	P. 05 (S.V.)	3,62	92,34	4,85	2,37	10,57	4,94	9223,5	28,95	0,11
Rio Jaci-Paraná	P. 06 (S.V.)	2,98	43,86	5,05	2,61	12,59	5,52	7754,62	29,04	0,12
Rio Caracol	P. 07 (S.V.)	3,92	55,75	4,97	8,00	10,98	6,52	8697,96	33,9	0,07
Rio Caracol	P. 08 (S.V.)	3,81	55,95	4,83	6,6	9,52	6,46	9309,01	30,81	0,10
Igarapé Jaturana I	P. 16 (S.V.)	1,44	24,87	4,56	2,5	8,21	7,77	14737,07	13,44	0,11
Média		2,49	40,47	4,58	3,17	9,73	4,77	8006,90	22,80	0,09
Mínimo		1,04	13,56	3,99	1,36	8,05	2,17	4197,38	11,36	0,07
Máximo		3,92	92,34	5,05	8,00	12,59	7,77	14737,07	33,90	0,12

Tabela I.3. Concentração média (mg.kg^{-1}) dos elementos químicos nos solos na área de supressão de vegetação no entorno do rio Madeira ($n = 7$).

Localidade	Código de campo	Co	Mn	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Zn	Hg
Rio Madeira	P. 09 (S.V.)	9,64	400,30	8,06	17,71	8,26	14,9	27830,65	63,69	0,04
Rio Madeira	P. 10 (S.V.)	9,21	324,41	7,55	16,94	8,51	13,09	25767,47	66,05	0,04
Rio Madeira	P. 11 (S.V.)	9,51	386,26	7,27	17,14	8,90	15,19	29248,43	60,38	0,05
Rio Madeira	P. 12 (S.V.)	8,18	338,41	5,6	14,66	5,58	10,75	21775,17	57,97	0,05
Rio Madeira	P. 13 (S.V.)	7,33	358,36	4,99	11,54	7,58	10,16	20557,1	45,78	0,36
Rio Madeira	P. 14 (S.V.)	8,90	281,05	7,57	16,05	6,57	14,27	25730,09	57,63	0,03
Rio Madeira	P. 15 (S.V.)	5,02	44,94	4,71	10,96	7,22	9,22	15468,57	47,05	0,06
Média		8,26	304,82	6,54	15,00	7,52	12,51	23768,21	56,94	0,09
Mínimo		5,02	44,94	4,71	10,96	5,58	9,22	15468,57	45,78	0,03
Máximo		9,64	400,3	8,06	17,71	8,90	15,19	29248,43	66,05	0,36

Tabela I.4. Concentração média (mg.kg^{-1}) dos elementos químicos nos solos na área de supressão de vegetação no entorno dos tributários do rio Madeira após o período das águas altas ($n=8$).

Localidade	Código de campo	Co	Mn	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Zn	Hg
Rio Jaci-Paraná	P. 01 (S.V.)	2,11	35,85	8,38	4,5	4,74	9,54	4404,47	9,47	0,07
Rio Jaci-Paraná	P. 02 (S.V.)	3,05	52,59	6,38	3,16	4	10,37	6840,31	13,99	0,06
Rio Jaci-Paraná	P. 03 (S.V.)	2,88	37,28	8,12	3,27	5,44	11,55	4214,22	14,61	0,07
Rio Jaci-Paraná	P. 04 (S.V.)	2,69	31,37	6,1	2,76	4,4	11,76	5549,1	15,3	0,09
Rio Jaci-Paraná	P. 05 (S.V.)	3,48	62,08	6,61	4,20	4,89	13,18	6838,12	22,51	0,10
Rio Jaci-Paraná	P. 06 (S.V.)	3,15	31,04	6,59	4,10	5,14	14,52	4939,13	17,4	0,11
Rio caracol	P. 07 (S.V.)	4,79	70,51	6,03	5,26	10,78	12,92	9664,00	30,66	0,08
Rio caracol	P. 08 (S.V.)	5,77	89,00	6,59	6,91	12,53	14,71	9586,35	34,72	0,09
Média		3,49	51,22	6,85	4,27	6,49	12,32	6504,46	19,83	0,08
Mínimo		2,11	31,04	6,03	2,76	4,00	9,54	4214,22	9,47	0,06
Máximo		5,77	89,00	8,38	6,91	12,53	14,71	9664,00	34,72	0,11

Tabela I.5. Concentração média (mg.kg^{-1}) dos elementos químicos nos solos na área de supressão de vegetação no entorno do rio Madeira após o período das águas altas ($n=6$).

Localidade	Código de campo	Co	Mn	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Zn	Hg
Rio Madeira	P. 09 (S.V.)	11,46	424,69	9,52	15,82	24,75	12,08	26812,28	56,91	0,04
Rio Madeira	P. 10 (S.V.)	11,63	347,41	9,68	14,56	26,12	15,40	28187,99	59,97	0,04
Rio Madeira	P. 12 (S.V.)	9,25	247,48	8,21	11,20	20,78	10,20	24183,59	50,31	0,06
Rio Madeira	P. 13 (S.V.)	11,57	369,23	9,83	15,80	25,35	13,22	31531,98	59,83	0,04
Rio Madeira	P. 14 (S.V.)	13,50	624,04	15,76	17,88	20,45	12,16	25726,71	66,16	0,04
Rio Madeira	P. 15 (S.V.)	9,33	326,89	11,28	11,50	15,28	7,54	16976,51	55,83	-
Média		11,12	389,96	10,71	14,46	22,12	11,77	25569,84	58,17	0,04
Mínimo		9,33	247,48	8,11	11,20	15,28	7,54	16976,51	44,31	0,04
Máximo		13,50	624,04	15,76	17,88	26,12	15,40	31531,98	66,16	0,08

Em relação aos elementos Fe, Zn, Cr, Mn, Co, Cu e Ni apresentam nos solos do entorno do rio Madeira concentrações média acima dos solos no entorno dos tributários. Não houve diferenciação da concentração de Pb entre os dois ambientes.

O elemento mercúrio apresentou valores médios para os solos no entorno dos tributários semelhantes aos solos do entorno do rio Madeira, entretanto pode-se observar que este fato se deve ao valor mais elevado encontrado no P.13 (Tabela 3) próximo ao valor de prevenção da CONAMA 420 (2009). Excetuando este fato, podemos concluir que a concentração de mercúrio nos solos do entorno dos tributários são maiores que nos solos do entorno do rio Madeira.

A dinâmica dos elementos químicos encontrada nos solos da área de supressão de vegetação demonstra padrões semelhantes à encontrada na caracterização de solos na área do futuro reservatório da UHE Santo Antônio e dos trabalhos pretéritos na região. Este fato pode ser atribuído pelo curto espaço de tempo entre a supressão e a coleta dos solos para análise.

A seguir são apresentando os gráficos com os dados coletados antes e após a inundação de modo a avaliar a influência do pulso de inundação na dinâmica dos elementos-traço.

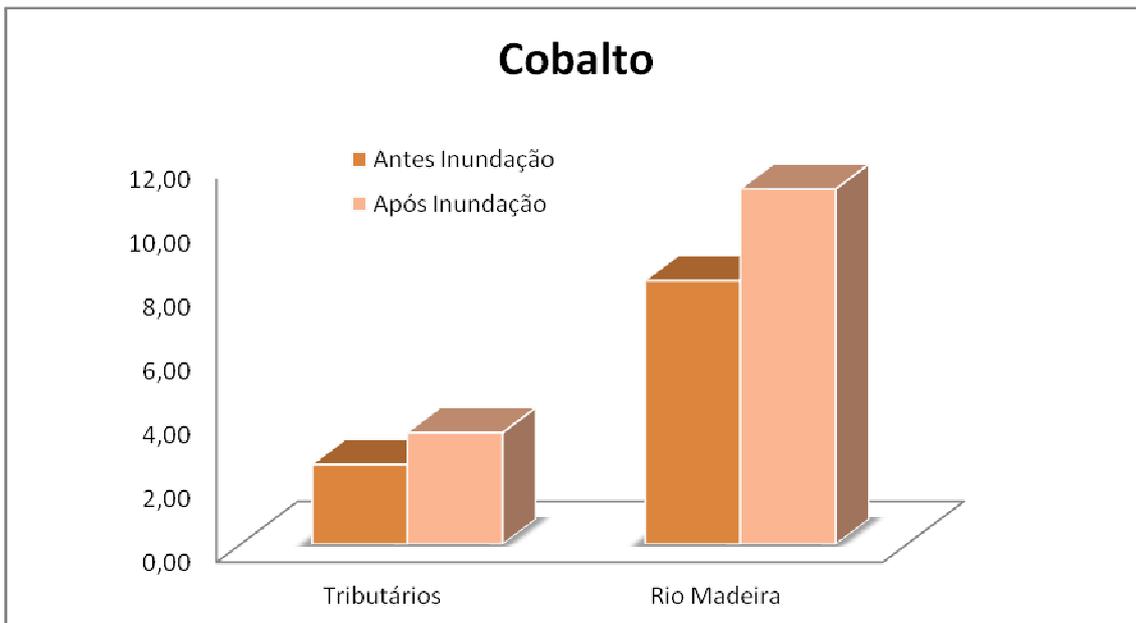


Figura I.4. Concentração de cobalto (mg.kg⁻¹) nos solos da área de supressão de vegetação coletadas antes e depois da inundação.

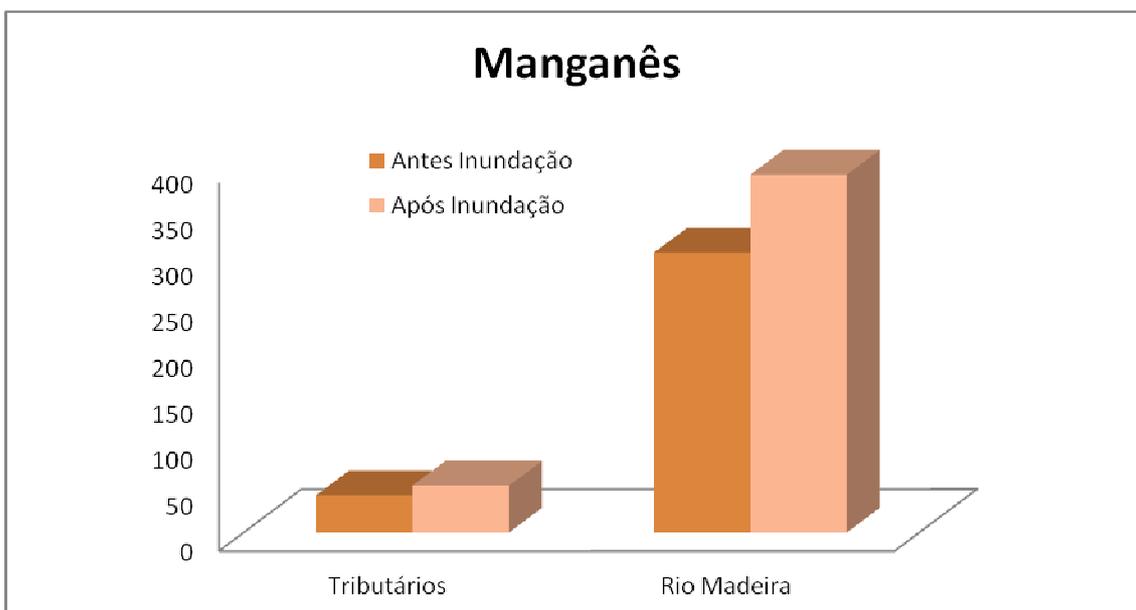


Figura I.5. Concentração de manganês (mg.kg⁻¹) nos solos da área de supressão de vegetação coletadas antes e depois da inundação.

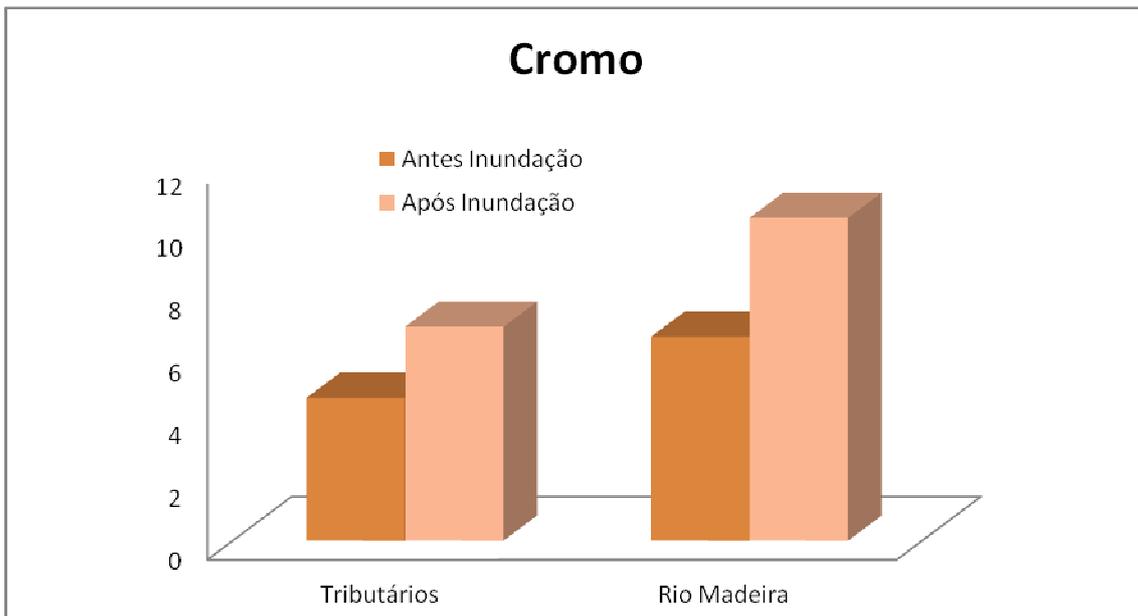


Figura I.6. Concentração de cromo (mg.kg^{-1}) nos solos da área de supressão de vegetação coletadas antes e depois da inundação.

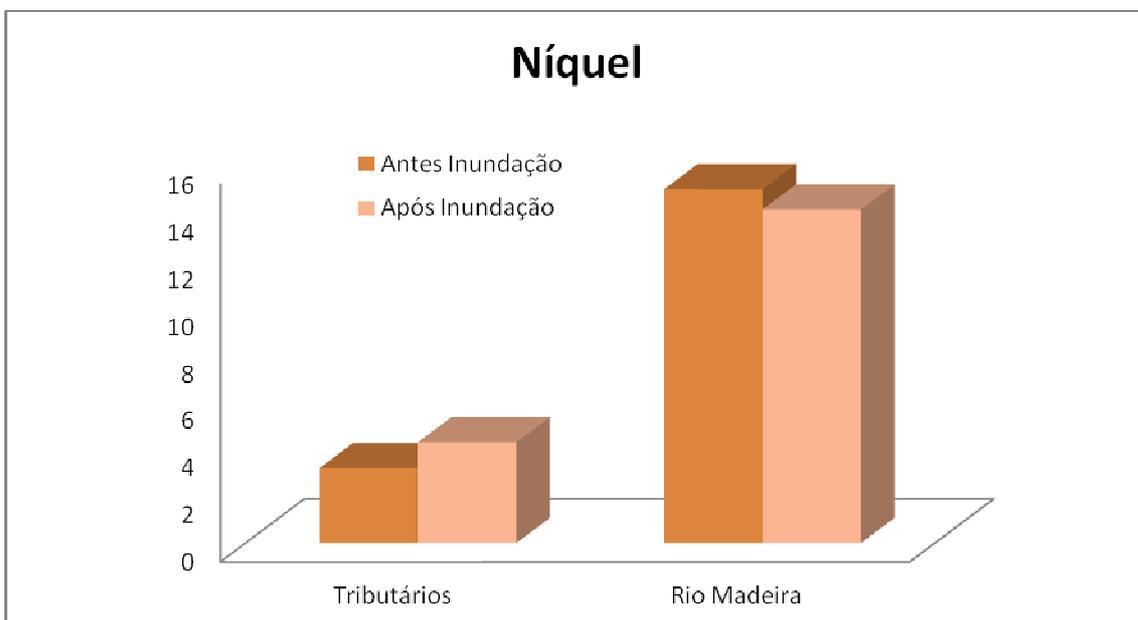


Figura I.7. Concentração de níquel (mg.kg^{-1}) nos solos da área de supressão de vegetação coletadas antes e depois da inundação.

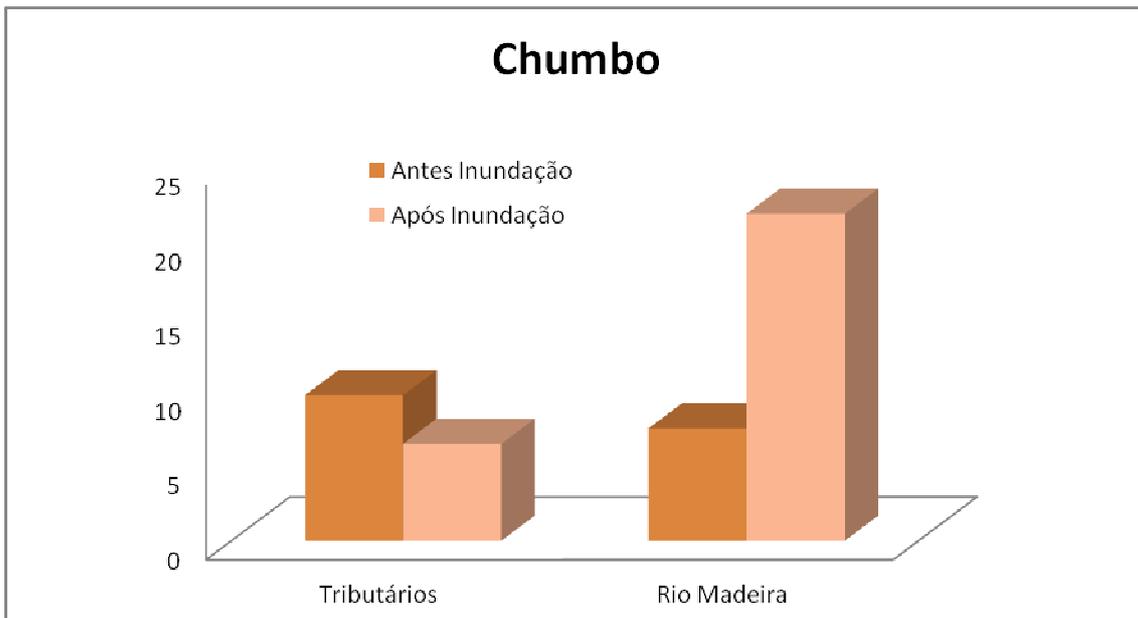


Figura I.8. Concentração de chumbo (mg.kg⁻¹) nos solos da área de supressão de vegetação coletadas antes e depois da inundação.

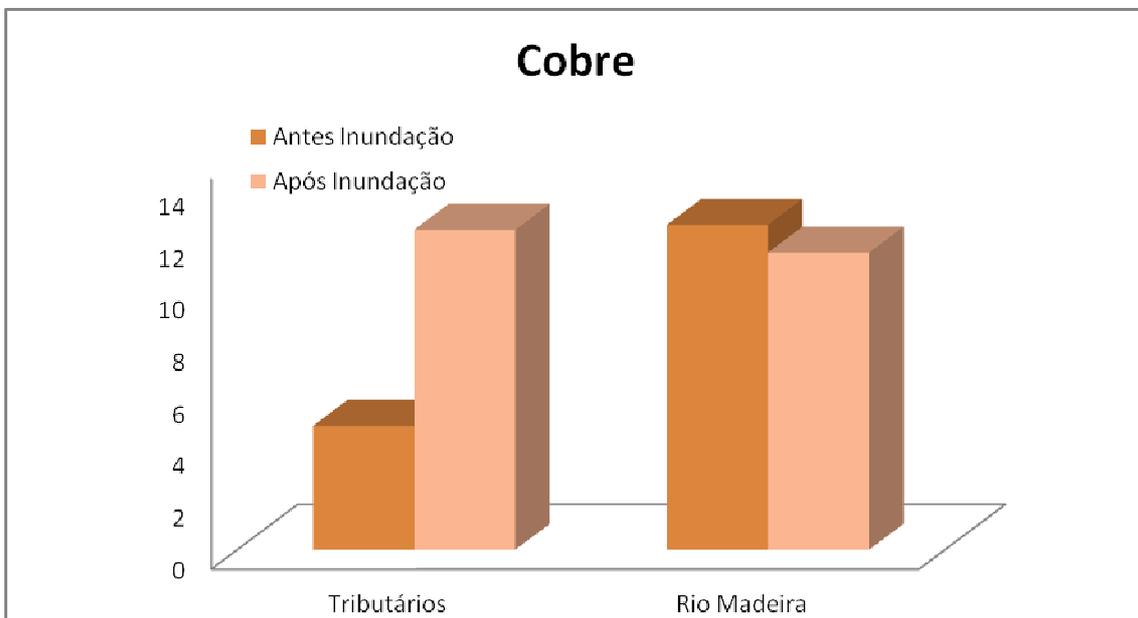


Figura I.9. Concentração de cobre (mg.kg⁻¹) nos solos da área de supressão de vegetação coletadas antes e depois da inundação.

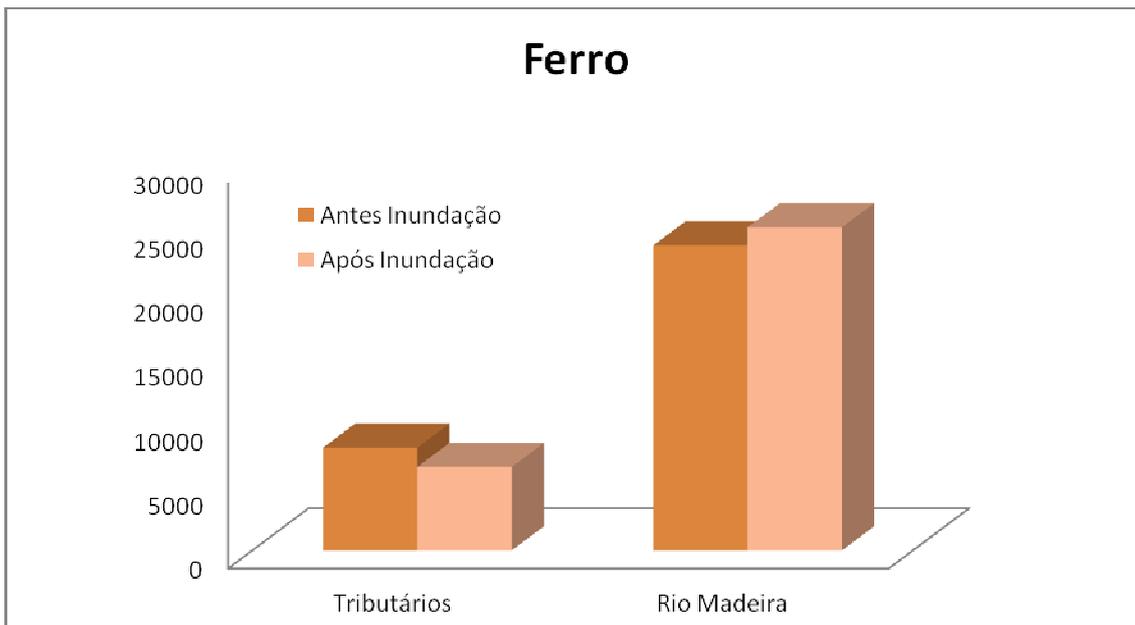


Figura I.10. Concentração de ferro (mg.kg⁻¹) nos solos da área de supressão de vegetação coletadas antes e depois da inundação.

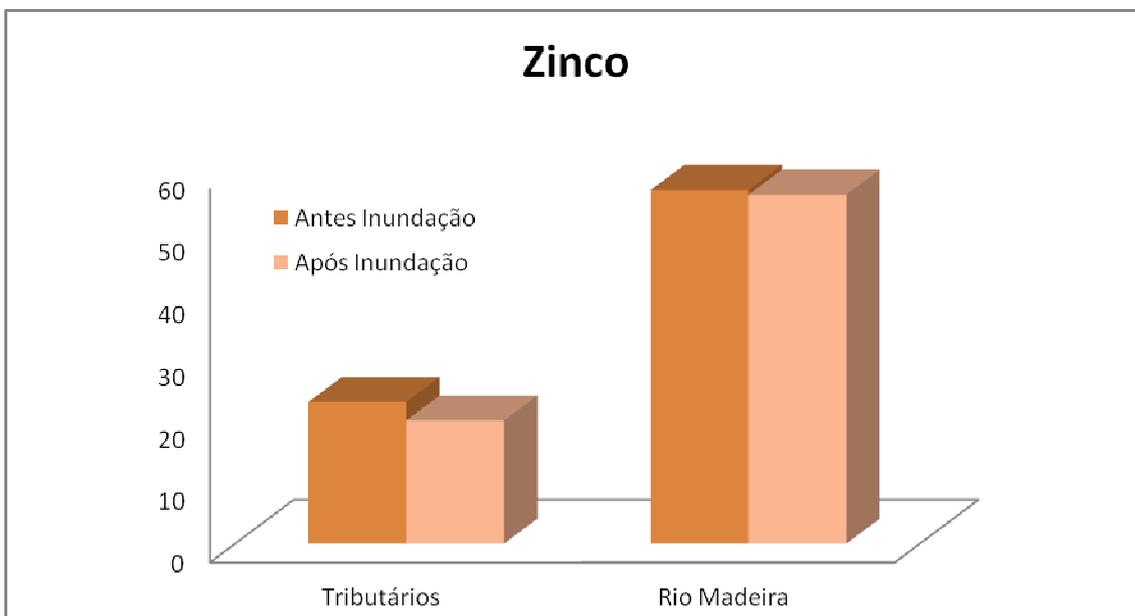


Figura I.11. Concentração de zinco (mg.kg⁻¹) nos solos da área de supressão de vegetação coletadas antes e depois da inundação.

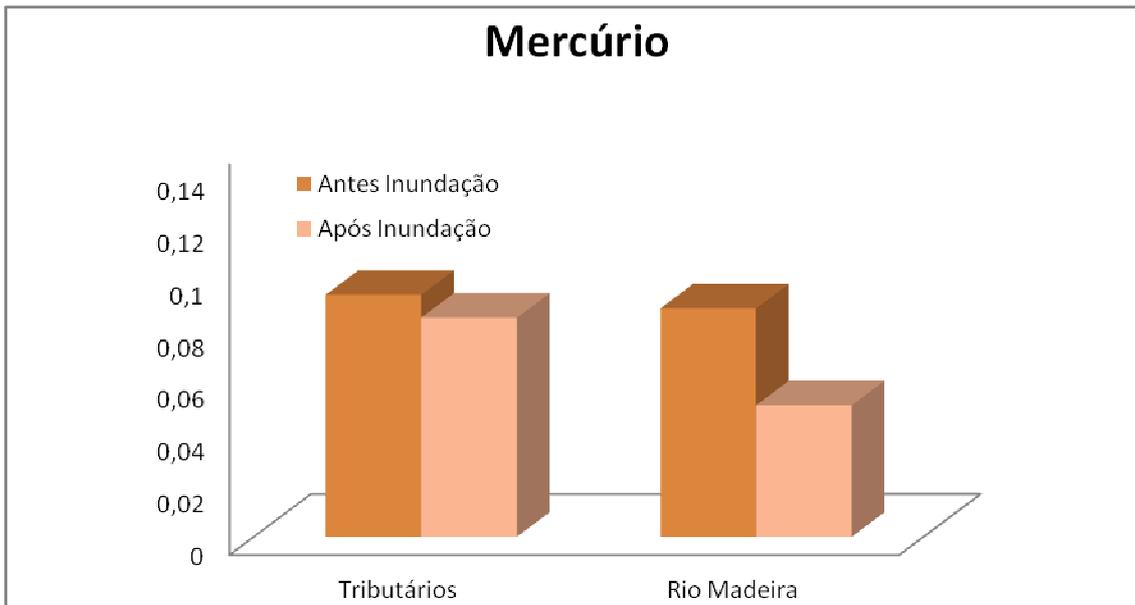


Figura I.12. Concentração de mercúrio (mg.kg⁻¹) nos solos da área de supressão de vegetação coletadas antes e depois da inundação.

De um modo geral, não houve influência significativa da inundação na concentração dos elementos-traço analisados. Entretanto, a concentração dos elementos Chumbo (Pb) nos pontos sob influência do Rio Madeira (Figura 13) e Cobre (Cu) tiveram um aumento estatisticamente significativo (Figuras 13 e 14). Ambos os elementos tiveram um aumento de cerca de três vezes com relação ao resultado obtido logo após a supressão da vegetação. Esses resultados podem demonstrar uma influência de deposição atmosférica, uma vez que os valores de chumbo e cobre analisados na água e apresentados no Relatório Consolidado de 2011 não apresentaram valores altos. Entretanto, assim como foi observado para os demais elementos-traço as concentrações de chumbo e cobre estão abaixo dos valores médios de prevenção de solos preconizado pela CONAMA 420/09.

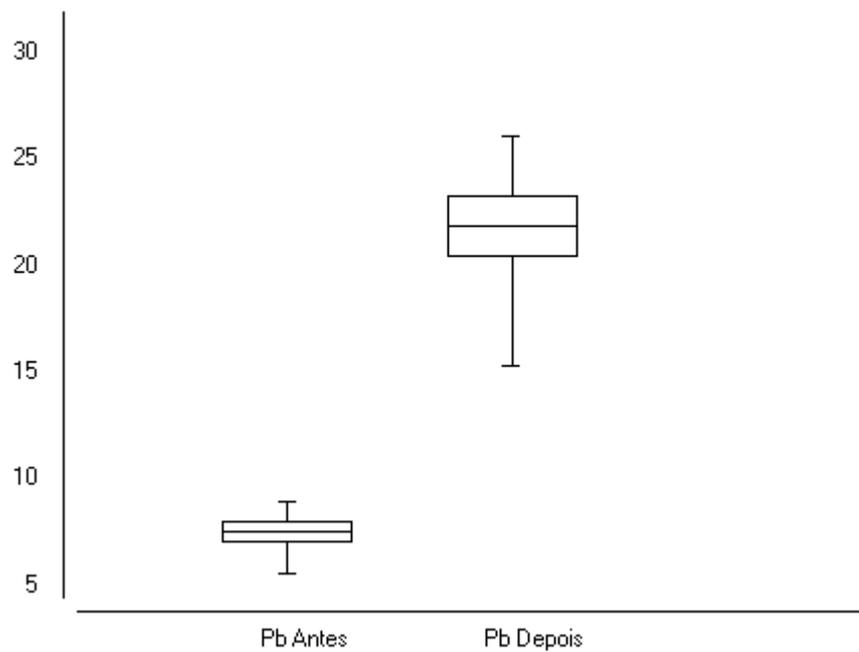


Figura I.13. Aumento da concentração de chumbo (mg.kg^{-1}) nos solos da área de supressão de vegetação sob influência da inundação do Rio Madeira.

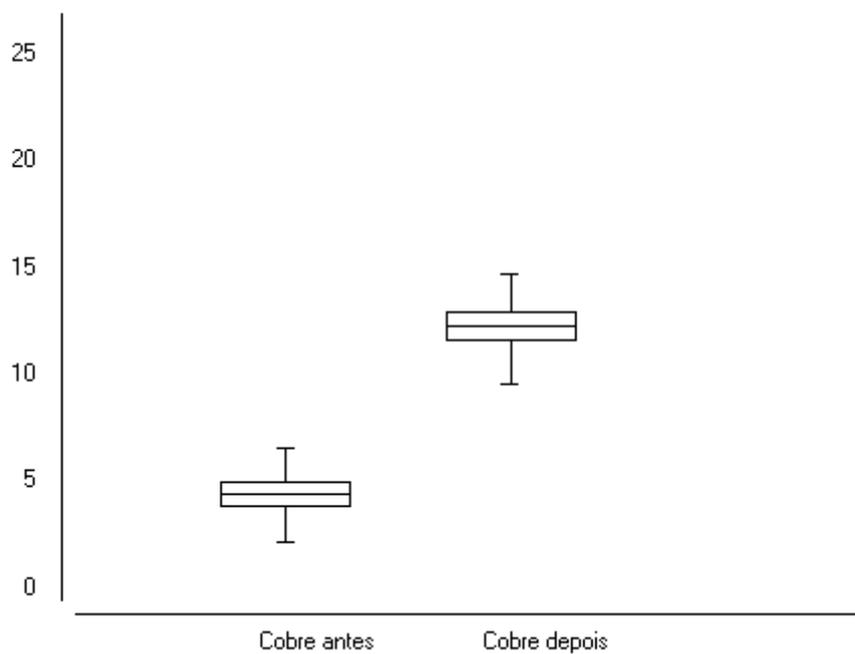


Figura I.14. Aumento da concentração de cobre (mg.kg^{-1}) nos solos da área de supressão de vegetação sob influência da inundação dos Tributários

Lima et al (2005) observaram que a inundação dos solos pode influenciar na dinâmica de alguns elementos, aumentando sua mobilização na coluna d'água. Além disso, a lixiviação do Hg para horizontes mais profundos ricos em oxidróxidos de Fe pode ser responsável pela perda de Hg nas camadas superficiais (ALMEIDA et al, 2005). Desse modo, o esperado era que caso a deposição de material por efeito da inundação fosse menor que o material lixiviado, as concentrações dos elementos-traço fossem inferiores as encontradas antes da inundação. Entretanto, como não foram observadas modificações significativas de um modo geral podemos supor que: i) a entrada dos elementos-traço através da inundação dos solos é igual a concentração dos elementos lixiviados; ii) além do material que entra através da inundação, há uma contribuição da deposição atmosférica no balanço dos elementos; e iii) as taxas de erosão e lixiviação dos solos expostos foram baixas, o que poderia diminuir a mobilização dos elementos dessa matriz.

I.4. CONCLUSÕES

- Os elementos-traço Hg, Co, Mn, Ni, Fe, Zn, Cu , Cr e Pb apresentaram concentrações abaixo dos valores médios de prevenção de solos preconizado pela CONAMA 420/09.
- Houve um aumento significativo nas concentrações de Pb e Cu após a inundação dos solos.
- Não houve modificação significativa nas concentrações de Hg, Co, Mn, Ni, Fe, Zn e Cr após a inundação dos solos.
- A dinâmica dos elementos químicos encontrada nos solos da área de supressão de vegetação demonstraram padrões semelhantes à encontrada na caracterização de solos na área do reservatório da UHE-Santo Antônio

II. REMOÇÃO DE SOLO E DE ROCHAS

II.1. CANTEIRO DE OBRAS

Os critérios para o Acompanhamento Técnico das Escavações no Leito do rio Madeira atenderam o que estava descrito na Seção 07 do Projeto Básico Ambiental e à condição específica 2.9 da LP nº 251/2007. Desse modo, durante as obras de escavação do leito do rio Madeira, será monitorada a presença de mercúrio no material escavado. Mediante amostragem, serão monitorados todos os materiais removidos, para detectar a presença de mercúrio no solo e nos sedimentos do rio. Enquanto amostras do material removido estejam sendo submetidas à análise, este deverá ser disposto em áreas que permitam sua estocagem segura. Sinalização adequada deve informar que o material não deverá ser removido ou manejado sem prévia autorização da gerência ambiental da obra.

Caso não se identifique mercúrio em concentrações que justifiquem cuidados especiais, o material extraído será disposto em depósito de material excedente, conforme especificado no projeto construtivo.

Caso se detecte presença de mercúrio acima dos teores aceitáveis pela legislação, esse material será devidamente estocado em locais e formas apropriadas para isolamento e será apresentado um plano para seu tratamento, remoção ou disposição final adequados.

II.2. METODOLOGIA

Para a coleta das amostras utilizou-se um trado holandês que permitiu a coleta de amostras de 0,1 a 1,0 m de profundidade (Figura II.1). Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos de polietileno, identificadas com código de campo e levadas ao laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer/UNIR onde receberam um código de laboratório e foram armazenadas em refrigerador a aproximadamente 4°C até o procedimento analítico.



Figura II.1. Coleta das amostras de sedimentos/solos/rochas realizada no canteiro de obras.

O número de amostras foi variável entre as coletas, pois dependeu da área dos locais de escavação (Figura II.2). À medida que havia novas frentes de escavação, deslocava-se a malha amostral, não sendo possível desta forma, coincidência de pontos e nem de material coletado devido às transformações na topografia do terreno e estabelecimento de áreas de concretagem.

As áreas de “bota-fora” estudadas apresentam materiais como sedimento, solo e fragmento de rocha. 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.

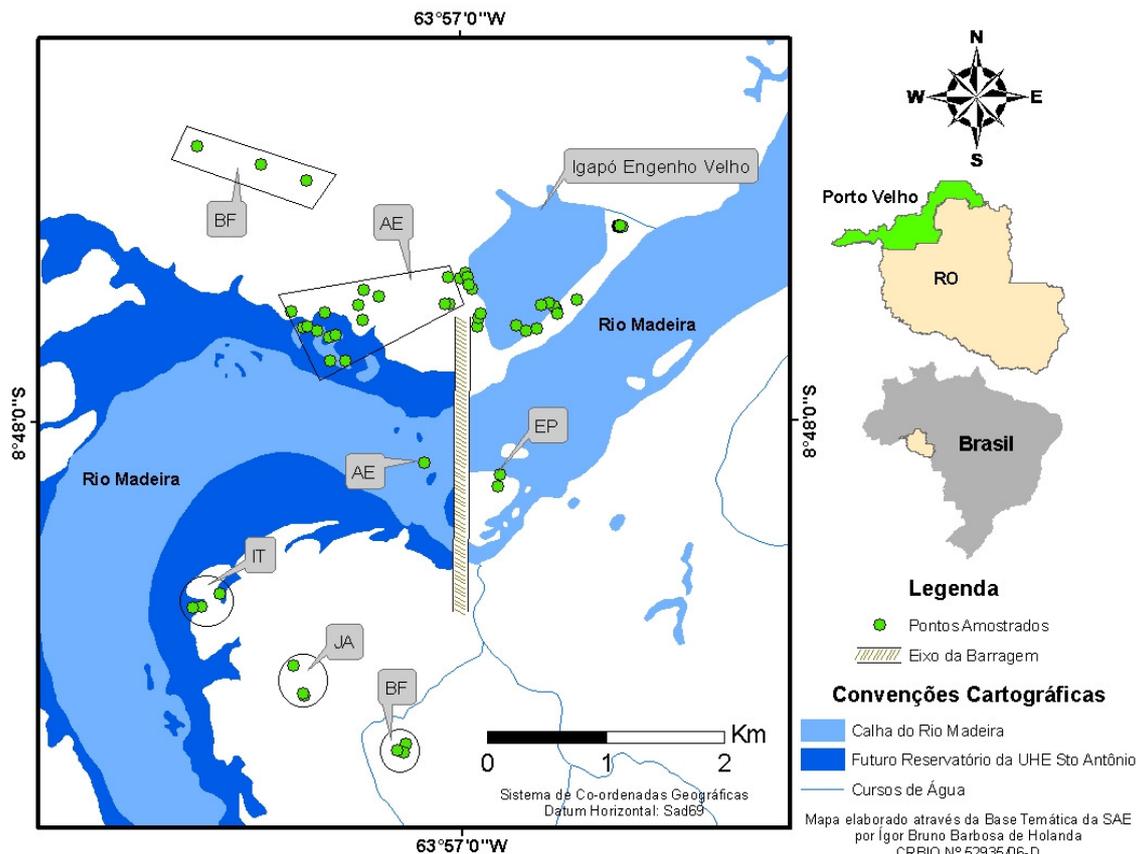


Figura II.2. Mapa de amostragem na área do Canteiro de Obras. Legenda: EP = escadaria de peixes; BF = bota-fora; EN = ensecadeira; AE = área de escavação; IT = interceptador de troncos; JA = jazida de argila.

O procedimento analítico das amostras consistiu na homogeneização a úmido nos próprios sacos de polietileno utilizados em campo, através da aplicação de água ultra-pura (Milli-Q, Millipore). Posteriormente, as amostras foram peneiradas na fração <200 mesh (<74 μm), considerada a mais ativa fisicamente em processos de adsorção por possuir maior área superficial. Em seguida, a fração fina das amostras foi transferida para um gral de porcelana e seca em estufa a temperatura de 50°C.

Para a determinação química de Hg foi feita a solubilização das amostras seguindo o protocolo da técnica proposta por Bastos et al (1998). A análise de Hg foi realizada em espectrofotômetro de absorção atômica acoplado ao gerador de vapor frio (FIMS-400, Perkin Elmer).

Para a determinação da fração fortemente ligada a matriz dos sedimentos foram analisados os metais pesados Zn, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Cd e

Pb, onde seguiu-se o protocolo proposto por Campos et al (2003), utilizando-se de sistema aberto de digestão com uso de HNO₃ e HCl na proporção 1:3 (água régia) que equivale ao método empregado pela USEPA 3050. A quantificação das amostras foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica de chama (AA-400, Perkin Elmer).

II.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

II.3.1. MERCURIO

Comparando os valores de mercúrio total encontrados no canteiro de obras com os valores encontrados nos sedimentos do rio Madeira no EIA/RIMA em 2004, observa-se que no canteiro apresenta valores mais elevados. A média da concentração de mercúrio obtida nesse estudo é superior a média encontrada no Relatório Final 2011 do mesmo Programa de Monitoramento (Tabela II.1), entretanto não há diferença significativa entre os valores.

Tabela II.1. Coordenadas geográficas em UTM, DATUM SAD 69 e valores médios de mercúrio total (Hg Total) encontrados nas amostras coletadas no Canteiro de Obras em seis meses de monitoramento (n = 58).

Código das Amostras	Coordenadas Geográficas		Hg Total (mg.kg ⁻¹)
	Latitude	Longitude	
SLCO 21489	9027914	394193,886	0,068
SLCO 21490	9027923	394228,123	0,028
SLCO 21491	9027883	394307,07	0,058
SLCO 21492	9027883	394307,07	0,068
SLCO 21493	9027629	394420,205	0,025
SLCO 21494	9027828	394415,499	0,067
SLCO 21495	9027847	394464,933	0,058
SLCO 21496	9027636	394548,88	0,035
SLCO 21497	9028175	394833,229	0,002
SLCO 21498	9027974	394689,901	0,001
SLCO 21501	9028243	395611,017	0,004
SLCO 21502	9028278	395582,938	0,012
SLCO 21503	9027926	395654,993	0,001
SLCO 21504	9027994	395666,706	0,006
SLCO 21505	9028029	395685,478	0,023
SLCO 21506	9028110	395384,796	0,002
SLCO 21507	9028342	395414,391	0,061
SLCO 21508	9028230	394700,152	0,145

Código das Amostras	Coordenadas Geográficas		Hg Total (mg.kg ⁻¹)
	Latitude	Longitude	
SLCO 21509	9028233	394698,863	0,145
SLCO 21510	9028101	394654,256	0,002
SLCO 21511	9028044	394377,249	0,036
SLCO 21512	9028048	394096,709	0,144
SLCO 21513	9026564	395832,484	0,017
SLCO 21514	9026666	395851,843	0,118
SLCO 21515	9024386	395054,759	0,094
SLCO 21516	9024305	395038,392	0,074
SLCO 21517	9024326	394987,019	0,084
SDCO 22252	9026770	395214,135	0,021
SDCO 22253	9026770	395214,135	0,024
SDCO 22270	9028034	396332,083	0,022
SDCO 22271	9028062	396319,006	0,018
SDCO 22272	9028070	396319,862	0,023
SDCO 22273	9028070	396319,862	0,024
SDCO 22274	9028099	396305,73	0,029
SDCO 22275	9028124	396261,728	0,019
SDCO 22276	9027906	396160,854	0,016
SDCO 22277	9027884	396068,965	0,009
SDCO 22278	9027932	395984,229	0,020
SDCO 22279	9028101	396193,986	0,020
SDCO 22289	9028770	396850,694	0,045
SDCO 22290	9028769	396861,076	1,446
SDCO 22291	9028773	396877,791	0,461
SDCO 22292	9028769	396841,456	0,039
SDCO 22293	9028777	396845,053	0,028
SDCO 22294	9028779	396851,189	0,041
SDCO 22295	9028779	396862,404	0,554
SLCO 22326	9028153	396499,8	0,017
SLCO 22327	9028154	396499,4	0,015
SLCO 22328	9028329	395516,4	0,016
SLCO 22329	9028380	395559,8	0,023
SLCO 22331	9029159	394217	0,021
SLCO 22333	9029452	393298	0,139
SLCO 22334	9025535	393267,7	0,068
SLCO 22335	9025552	393338,2	0,058
SLCO 22336	9025656	393496,5	0,101
SLCO 22337	9025048	394114	0,011
SLCO 22338	9024793	394199,6	0,114
SLCO 22339	9024809	394190,4	0,083
MÉDIA			0,096
MÍNIMO			0,001

Código das Amostras	Coordenadas Geográficas		Hg Total (mg.kg ⁻¹)
	Latitude	Longitude	
MÁXIMO			1,446
EIA/RIMA (2004)			0,048
Relatório Final 2011*			0,056
CONAMA 344 N1			0,170
CONAMA 344 N2			0,500

*RELATÓRIO FINAL DA AVALIAÇÃO AMBIENTAL - Hidrobiogeoquímica do Mercúrio e Outros Metais Pesados no Rio Madeira - UHE Santo Antônio – Junho de 2011

II.3.2. DEMAIS ELEMENTOS-TRAÇO

Foi possível observar que os valores máximos de Co, Mn, Cr, Pb, Cu, Fe e Zn se apresentam dentro da média regional e sem ultrapassar a legislação vigente (Tabela II.2).

Tabela II.2. Resultados de elementos-traço no Canteiro de Obras.

Amostras	Coordenadas Geográficas		Co	Mn	Cr	Cu	Ni	Pb	Fe	Zn
SLCO 21489	9027914	394193,886	1,99	10,90	13,49	3,63	3,46	13,68	8203,69	19,34
SLCO 21490	9027923	394228,123	4,97	46,36	15,56	12,35	8,79	15,38	18296,16	34,77
SLCO 21491	9027883	394307,07	2,66	20,00	8,85	2,14	3,86	10,16	2058,16	19,24
SLCO 21492	9027883	394307,07	5,58	27,26	16,63	4,73	6,00	13,05	11993,99	31,77
SLCO 21493	9027629	394420,205	11,79	332,67	18,42	14,58	19,68	14,26	21193,81	58,76
SLCO 21494	9027828	394415,499	5,40	15,86	18,40	5,39	6,38	16,56	15999,71	35,57
SLCO 21495	9027847	394464,933	2,34	11,93	9,23	3,07	4,06	13,14	4690,63	25,59
SLCO 21496	9027636	394548,88	11,09	433,48	15,81	14,10	17,29	13,07	22929,62	67,64
SLCO 21497	9028175	394833,229	6,38	198,09	8,64	11,57	3,22	124,28	41847,65	114,60
SLCO 21498	9027974	394689,901	3,47	148,45	6,15	9,57	2,83	12,42	40581,91	37,88
SLCO 21501	9028243	395611,017	3,10	19,64	7,34	4,23	2,67	13,72	37166,05	17,90
SLCO 21502	9028278	395582,938	1,06	2,86	4,80	1,34	1,32	13,72	13100,64	3,12
SLCO 21503	9027926	395654,993	7,15	52,80	59,46	8,51	14,86	11,94	43199,01	101,59
SLCO 21504	9027994	395666,706	14,84	236,97	125,08	49,64	62,37	13,96	33228,34	110,16
SLCO 21505	9028029	395685,478	12,93	289,77	71,65	26,36	28,65	15,53	27958,57	82,86
SLCO 21506	9028110	395384,796	3,82	25,17	7,41	12,44	2,48	127,16	34024,45	35,42
SLCO 21507	9028342	395414,391	1,91	5,92	18,28	5,76	3,64	9,65	9222,90	7,02
SLCO 21508	9028230	394700,152	3,92	14,08	46,09	15,01	4,09	14,78	34073,70	9,50
SLCO 21509	9028233	394698,863	3,71	17,36	36,91	13,71	4,16	15,25	35186,19	8,56
SLCO 21510	9028101	394654,256	3,08	34,01	8,60	7,42	3,22	10,71	38786,67	10,34
SLCO 21511	9028044	394377,249	3,77	32,03	12,56	6,91	3,12	14,52	31644,11	20,41

Amostras	Coordenadas Geográficas		Co	Mn	Cr	Cu	Ni	Pb	Fe	Zn
SLCO 21512	9028048	394096,709	4,52	23,93	26,20	7,89	4,64	11,89	43398,23	25,89
SLCO 21513	9026564	395832,484	2,62	25,87	9,24	2,37	4,82	23,74	2636,44	28,42
SLCO 21514	9026666	395851,843	3,52	90,03	14,67	5,83	5,31	20,77	15111,22	28,67
SLCO 21515	9024386	395054,759	1,64	10,63	18,43	2,56	2,38	8,24	10645,55	4,39
SLCO 21516	9024305	395038,392	2,38	20,40	13,68	2,99	2,68	9,06	15562,76	5,80
SLCO 21517	9024326	394987,019	7,15	52,80	59,46	8,51	14,86	11,94	43199,01	101,59
SDCO 22252	9026770	395214,135	8,52	343,30	14,13	14,46	10,09	24,20	32908,45	99,81
SDCO 22253	9026770	395214,135	7,66	434,08	16,22	12,87	10,97	17,44	21651,23	53,84
SDCO 22270	9028034	396332,083	3,23	57,26	17,00	12,49	4,07	9,27	41482,00	20,46
SDCO 22271	9028062	396319,006	9,61	331,81	17,07	15,59	15,88	11,44	24212,95	56,03
SDCO 22272	9028070	396319,862	11,03	459,78	18,26	18,23	17,49	12,81	22931,44	59,88
SDCO 22273	9028070	396319,862	6,52	121,61	12,76	28,64	14,02	15,55	10644,10	390,58
SDCO 22274	9028099	396305,73	14,94	422,01	27,04	27,69	29,17	18,90	37438,87	99,97
SDCO 22275	9028124	396261,728	8,35	88,10	17,07	18,29	16,92	15,67	9182,86	68,12
SDCO 22276	9027906	396160,854	8,60	341,59	14,79	14,11	16,20	10,37	19840,82	58,62
SDCO 22277	9027884	396068,965	6,96	198,93	10,92	10,11	12,42	6,77	9524,93	39,83
SDCO 22278	9027932	395984,229	8,25	86,49	17,72	19,77	16,45	15,76	12753,13	59,73
SDCO 22279	9028101	396193,986	8,47	77,48	16,68	24,05	17,52	16,61	8445,84	78,23
MÉDIA			6,13	132,35	22,33	12,28	10,82	19,68	23255,28	54,66
MÍNIMO			1,06	2,86	4,80	1,34	1,32	13,72	13100,64	3,12
MÁXIMO			14,94	422,01	27,04	27,69	29,17	18,90	37438,87	99,97
EIA/RIMA (2004)			5,85	366,97	7,79	8,02	-	6,79	22231,96	51,92
CONAMA 344			-	-	37,30	35,70	18,00	35,00	-	123,00
Relatório Final (2011)			4,08	153,95	8,25	10,66	6,17	19,46	31142,57	43,04

II.4. CONCLUSÃO

- A hipótese de se encontrar Hg metálico em altas concentrações na área do canteiro de obras não se confirmou, pois os valores médios de Hg total encontrados na área de movimentação de terras, assim como, as áreas de “bota foras” não superaram a legislação CONAMA 344.
- Observou-se que os valores máximos de Co, Mn, Cr, Pb, Cu, Fe e Zn ultrapassaram os valores encontrados para estes metais no solo da região, conforme registrado no EIA/RIMA (2004), no entanto os valores médios são inferiores a legislação CONAMA 344.

III. QUANTIFICAÇÃO DE MERCÚRIO EM SOLOS NAS ÁREAS IDENTIFICADAS COM ATIVIDADE DE GARIMPO DE OURO

O presente trabalho teve por objetivo complementar o que dispõe o item 7.4.2 Monitoramento de Solos, assim como o item 8 do Plano Básico Ambiental (PBA) Hidrobiogeoquímica de mercúrio (Hg) e outros elementos-traço na bacia do rio Madeira. Este estudo foi realizado para identificar áreas com concentrações de mercúrio similares a encontrada na região de Morrinhos relatado em relatórios pretéritos.

Após 24 meses de estudo avaliando os solos da bacia do rio Madeira, foi possível verificar a partir dos dados coletados que as concentrações de Hg nas sub-bacias dos tributários do rio Madeira apresentaram valores mais elevados do que os dados de solo amostrados as margens do rio Madeira.

Contudo, os dados estão de acordo com o *background* regional, exceções feitas ao horizonte superficial (0-15 cm) do perfil 19 da região da cachoeira de Morrinhos. Este apresentou as concentrações mais elevadas em um universo de 30 perfis de solos compreendendo 156 horizontes amostrados coletados entre o trecho Cachoeira de Jirau (Montante da UHE Santo Antonio) → Igarapé Belmonte (Jusante da UHE Santo Antonio).

O referido ponto revelou concentração de até $3,50 \text{ mg Hg.kg}^{-1}$ sendo aproximadamente 30 vezes maior que os valores médios de Hg encontrados em solos naturais no citado estudo, assim como em trabalhos pretéritos na região.

A região avaliada em Morrinhos contempla características de grande relevância para identificação de áreas possivelmente impactada com mercúrio, pois se encontra na bacia superior do rio Madeira. Nesta região ocorreu a maior concentração de atividade garimpeira de ouro entre os anos 70 e 90. Além disso, esta localidade pode ter sido um possível atracadouro para manutenção de balsas e dragas que utilizam o mercúrio no processo de garimpo de ouro.

Diante do exposto fez-se necessário um trabalho mais amplo que contemplasse a identificação de áreas potencialmente usadas para manutenção de balsas e avaliação da concentração de Hg do solo do seu entorno.

III.1. METODOLOGIA

III.1.2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se a montante e a jusante da construção da barragem da UHE Santo Antônio. Esse está situado como limite a montante o igarapé Caripunas (cerca de 130 km da cidade de Porto Velho) e a jusante o rio Jamari.

O trecho envolve a área do reservatório da UHE-Santo Antônio que em conformidade com o projeto de instalação, terá uma extensão de 271 km², sendo 161 km² correspondentes à área de inundação sazonal natural, e 110 km² a área que irá ser incorporada a este processo de inundação até a foz do rio Jamari.

As amostras de cada estação foram do tipo composta, formada por sub-amostras de 10 (dez) pontos amostrais, obtidas por tradagem na profundidade de 0-20 cm dentro de uma área delimitada por 200 m².

Para análise em laboratório foi retirada uma alíquota de aproximadamente 2 kg de solo em cada área amostrada. Estas foram acondicionadas em sacos plásticos com finalidade de preservar o material e evitar possíveis contaminações e danos no transporte até o laboratório para posterior tratamento analítico.

A amostragem de solo seguiu os preceitos estabelecidos pela resolução CONAMA 420/09 recomendado pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Com base em levantamento visual foram selecionadas as áreas com vestígios da atividade de mineração de ouro, foram selecionados vinte e duas áreas de 200m² cada.

As áreas de coleta foram georreferenciados utilizando o Sistema de Posicionamento Global por Satélite – GPS (sigla em inglês), a partir de um aparelho receptor GARMIN's® modelo GPS 12 XL Personal Navigator (Figura III.1 e Tabela III.1).

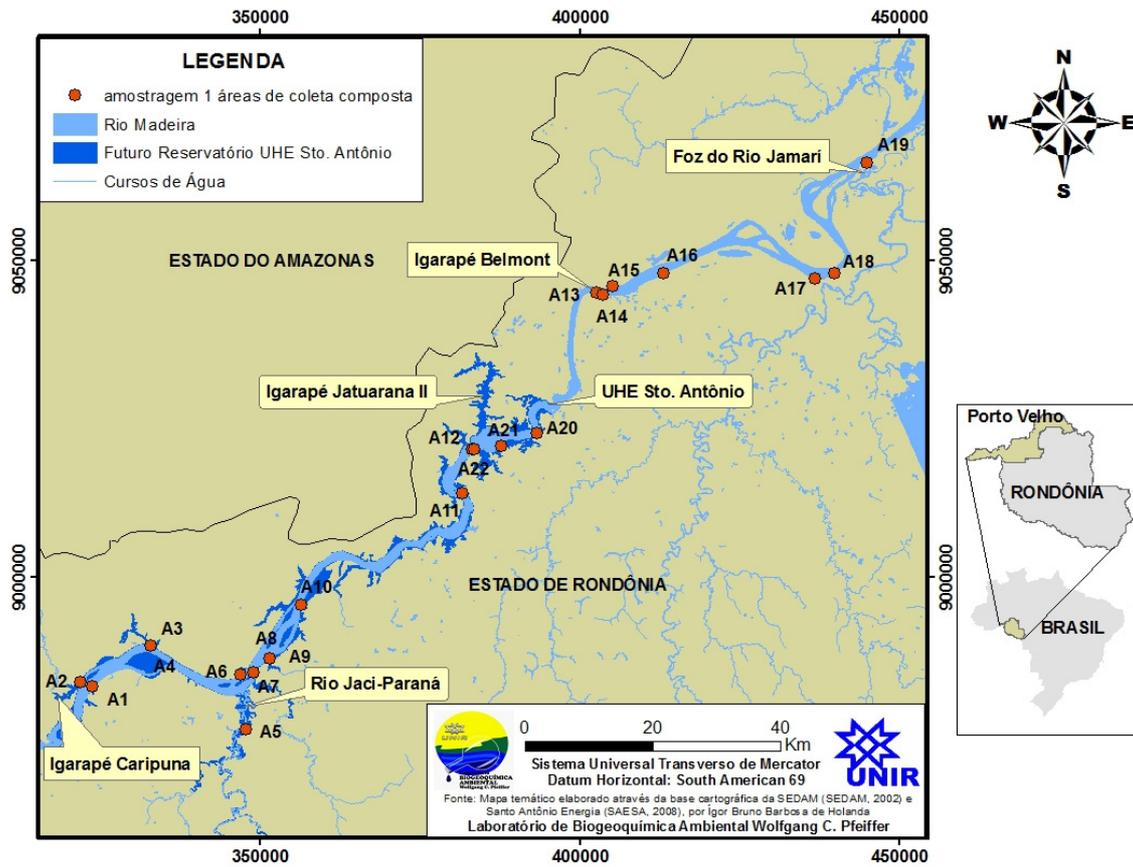


Figura III.1. Áreas identificadas com influência das atividades de garimpo de ouro.

Tabela III.1. Áreas amostradas no entorno do rio Madeira.

Ponto	Sist. Coord. UTM-SAD69			Descrição da Área Amostrada
	ZONA	LESTE	NORTE	
A1	20L	323782,6	8982835	Margem direita rio Madeira - Estrada atracadouro balsa
A2	20L	321925,5	8983492	Margem Esquerda do rio Madeira - Foz igarapé Caripuna
A3	20L	332928,7	8989238	Margem esquerda rio Madeira - Antiga casa garimpeiros vestígio balsas
A4	20L	332893,3	8989258	Margem esquerda rio Madeira - Antiga casa garimpeiros vestígio balsas
A5	20L	347730,3	8976022	Margem direita rio Jaci Paraná - Próximo a ponte vestígio balsas
A6	20L	348998,5	8985106	Margem direita rio Madeira - Após igarapé Caracol atracadouro balsa
A7	20L	346950,2	8984680	Margem esquerda rio Madeira - Antiga casa vestígio atracadouro
A8	20L	351511,9	8987311	Margem direita rio Madeira - Área manutenção e construção balsa
A9	20L	351490,9	8987287	Margem direita rio Madeira - Foz Igarapé manutenção e construção balsa
A10	20L	356405,5	8995783	Margem direita rio Madeira - Local atracadouro balsas - Porto José
A11	20L	381577,5	9013380	Margem direita rio Madeira - Próximo Ilha São Francisco presença de draga
A12	20L	383039,7	9020203	Margem direita rio Madeira - Montante cachoeira Teotônio vestígio balsas
A13	20L	402489	9044872	Margem direita rio Madeira - Próximo Igarapé Belmont presença balsas
A14	20L	403484,7	9044690	Margem direita rio Madeira - Próximo Estrada Belmont presença balsas
A15	20L	405091,7	9045933	Margem esquerda rio Madeira - Presença de dragas
A16	20L	412998,4	9048055	Margem direita rio Madeira - Próximo estrada atracadouro de balsa c/ vestígio
A17	20L	436781,3	9047235	Margem direita rio Madeira - Local construção balsas c/vestígio material
A18	20L	439701,6	9048062	Margem direita rio Madeira - Sedimento exposto coleta presença balsa
A19	20L	444787,9	9065486	Margem esquerda rio Jamari - Foz rio Jamari perto balsa inativa
A20	20L	393208,8	9022765	Margem direita rio Madeira - Próximo a draga inativa
A21	20L	387674,4	9020831	Margem direita rio Madeira - Entre as cachoeiras de Teotônio e Santo Antônio
A22	20L	383357	9020215	Margem direita rio Madeira - Presença de dragas próximas

III.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos analisados nas áreas identificadas com uso associado a atividade de garimpo de ouro, evidenciaram uma amplitude em sua concentração variando com teor mínimo de 0,0170 mg Hg.kg⁻¹ no ponto A22 e teor máximo de 1,3578 mg Hg.kg⁻¹ no ponto A 12 (tabela III.2).

Tabela III.2. Concentração de mercúrio (Hg) nas áreas amostradas no entorno do rio Madeira. Em vermelho as áreas com as maiores concentrações de Hg (n =19).

Código do Laboratório	Código de Campo	Hg (mg.kg ⁻¹)
SLMD 21931	A1	0,04694
SLMD 21932	A2	0,37337
SLMD 21934	A4	0,12513
SLMD 21935	A5	0,30679
SLMD 21936	A6	0,07057
SLMD 21937	A7	0,14012
SLMD 21938	A8	0,03536
SLMD 21939	A9	0,98646
SLMD 21941	A11	0,09572
SLMD 21942	A12	1,35791
SLMD 21943	A13	0,02199
SLMD 21944	A14	0,03483
SLMD 21945	A15	0,03805
SLMD 21947	A17	0,06961
SLMD 21948	A18	0,03675
SLMD 21949	A19	0,03714
SLMD 21950	A20	0,05503
SLMD 21951	A21	0,02985
SLMD 21952	A22	0,01702

Foi observado que as áreas avaliadas a montante da cachoeira de Teotônio tenderam a apresentar maiores concentrações de mercúrio que as áreas a jusante da cachoeira de Teotônio (Figura III.2).

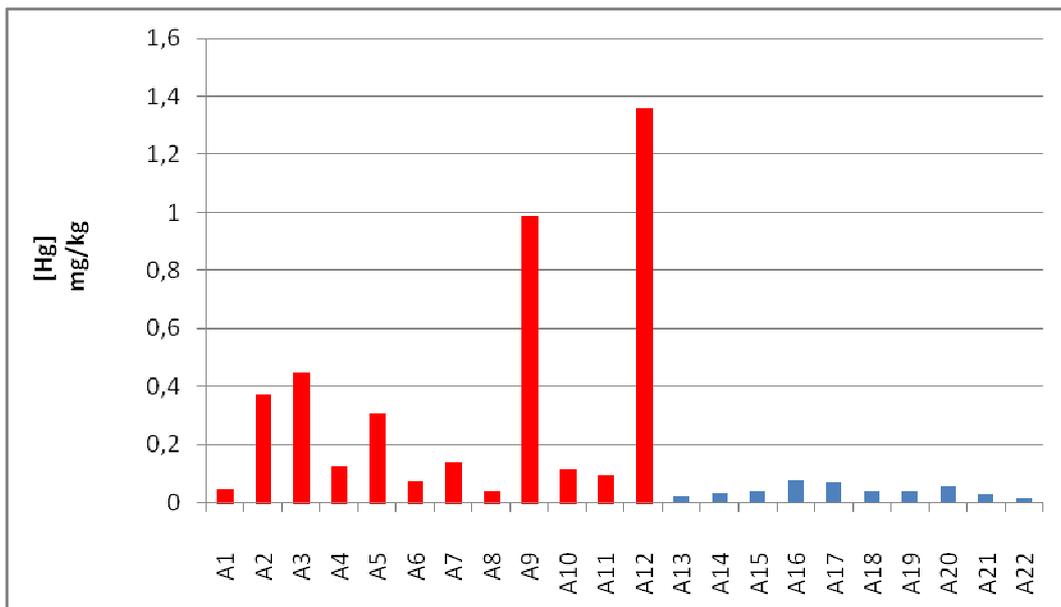


Figura III.2. Concentração de mercúrio (Hg) nas áreas avaliadas, coluna em vermelho são áreas a montante e colunas em azul são áreas a jusante da cachoeira de Teotônio.

Dentre as áreas amostradas podemos identificar que as áreas A12 e A9 apresentaram concentrações de mercúrio de 1,3579 e 0,9864 mg Hg.kg⁻¹, respectivamente, estando acima do valor de 0,50 mg Hg.kg⁻¹ preconizado pela resolução CONAMA 420/09 como valor de prevenção para este elemento.

As áreas A3, A2 e A5 apresentaram concentrações de mercúrio de 0,4463, 0,3733 e 0,3067 mg Hg.kg⁻¹, respectivamente, estando no limiar do valor encontrado na referida legislação. Vale ressaltar que estas áreas foram identificadas a montante da cachoeira de Teotônio, representando aproximadamente 40% das 12 áreas amostradas. As 10 áreas amostradas a jusante da cachoeira de Teotônio ficaram abaixo do limite preconizado pela CONAMA 420/09.

Os valores encontrados nas áreas A12 e A9 estão na mesma faixa de concentração da encontrada na região de Morrinhos (0,90 mg Hg.kg⁻¹). Isso pode levantar a hipótese de que a localidade contempla características de grande relevância para identificação de áreas possivelmente impactadas com mercúrio, pois se encontra na bacia superior do rio Madeira.

Nestes locais há registros de ocorrência atual de garimpagem de ouro, conforme comprovado, assim como houve em passado recente a maior concentração desta atividade.

Além do solo na região ser um possível compartimento de liberação de Hg para os ecossistemas aquáticos, as fontes de difícil dimensionamento, com concentrações de mercúrio associada as atividades de mineração de ouro, encontradas em solos que serão inundados reafirmam a necessidade de um acompanhamento da evolução deste contaminante no período de pós-enchimento do futuro reservatório da UHE Santo Antônio.

As concentrações mais elevadas de mercúrio em áreas distintas no entorno do rio Madeira reforçam a hipótese de fontes pontuais de mercúrio proveniente das atividades de garimpo de ouro.

III.3. CONCLUSÕES

- A hipótese de encontrar outras áreas semelhante a região de Morrinhos foi confirmada.
- As áreas a montante da cachoeira de Teotônio apresentaram concentrações mais elevadas que as áreas a jusante.
- As áreas antropizadas com atividades de mineração de ouro a montante da cachoeira de Teotônio demonstraram-se como fontes de mercúrio para o solo.
- Este trabalho reafirma a necessidade de cuidados em relação a possível disponibilização de mercúrio para o ecossistema aquático.

IV. PEIXES

A principal via de exposição não-ocupacional de metilmercúrio na Região Amazônica é através da alimentação de pescado, onde em média 85 % - 95 % se encontra na forma de metilmercúrio. Para peixes carnívoros a concentração de mercúrio não deve exceder $0,50 \text{ mg kg}^{-1}$ de Hg total (BISINOTI & JARDIM, 2004; CELO et al, 2006).

Inserido como forte elemento na cultura do homem Amazônico que vive nas margens de rios e lagos (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 excluído 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).

IV.1. METODOLOGIA

As amostras de peixes foram coletadas através da integração com o Programa de Ictiologia nas localidades demonstradas na figura IV.1. Alíquotas do tecido muscular dos indivíduos foram retiradas ao final de cada despesca no Laboratório de Ictiofauna/UNIR, onde se obtém também as informações de identificação das espécies, assim como dados biométricos das diversas espécies de peixes coletados.

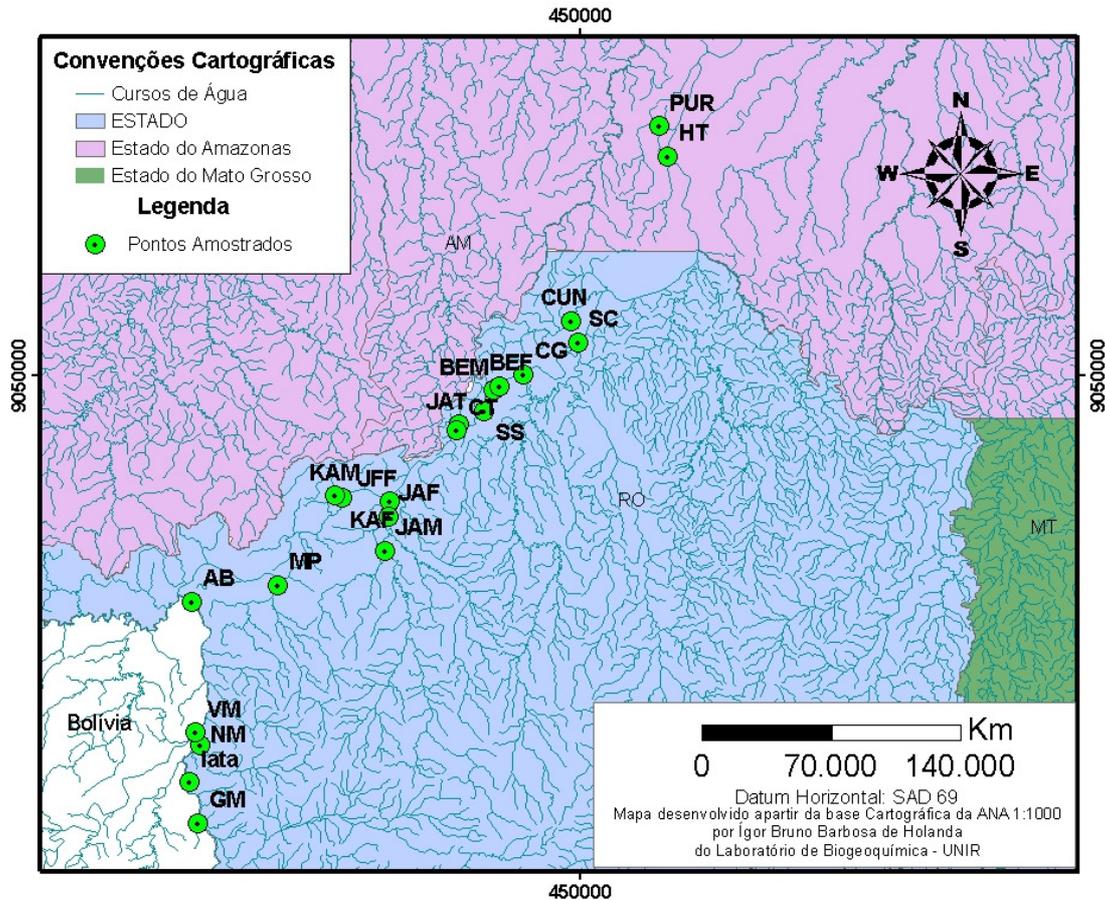


Figura IV.1. Desenho amostral dos pontos de coleta do programa de Ictiologia: GM = Guajará-Mirim; Iata = Comunidade Iata; NM = Comunidade Nova Mamoré; VM = Comunidade Vila Murтинho; AB = Comunidade Abunã; MP = Comunidade Mutum Paraná; JAM = Rio Jaci-Paraná montante; JAF = Rio Jaci-Paraná foz; JFF = Rio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

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

A digestão química foi realizada seguindo-se os métodos de Bastos et al (1998), onde foram colocados nas amostras H_2O_2 concentrado e solução sulfonídrica 1:1 ($HNO_3:H_2SO_4$). Em seguida as amostras foram colocadas em blocos digestores a temperatura de 70°C. Após 30 min foi adicionada às amostras a solução de $KMnO_4$ 5 % e recolocadas no bloco digestor por mais

20 minutos (Figura VIII.4). Após cerca de 12 h em repouso (*overnight*) foram adicionadas às amostras gotas de cloridrato de hidroxilamina a 12%. A leitura das amostras para quantificação de Hg foram realizadas no espectrofotômetro de absorção atômica por vapor frio (FIMS-400, Perkin Elmer).

IV.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela X são apresentados os resultados das concentrações de mercúrio da Ictiofauna do Igarapé Belmont e Jatuarana, do Rio Jaci-Paraná e dos Lagos do Cuniã e do Puruzinho.

Tabela X. Resultados das concentrações de mercúrio (mg.kg^{-1}) em peixes de acordo com a localidade e espécie. Em destaque (vermelho) estão os valores acima dos limites determinados pela OMS² e ANVISA³.

Localidade	Espécie	Mercúrio (média Hg Total)	Desvio Padrão	n
Igarapé Belmont - foz	<i>Pellona castelnaeana</i>	1,737	0,830	3
	<i>Potamorhina latior</i>	0,112	0,042	12
	<i>Brachyplatystoma vaillantii</i>	0,037	-	1
Igarapé Belmont - montante	<i>Mylossoma aureum</i>	0,019	0,007	3
	<i>Oxydoras niger</i>	0,112	-	1
	<i>Satanoperca sp.</i>	0,317	0,075	3
	<i>Schizodon fasciatus</i>	0,070	0,031	2
	<i>Serrasalmus rhombeus</i>	0,222	0,055	2
	<i>Sternopygus macrurus</i>	0,238	-	1
	<i>Triportheus angulatus</i>	0,293	0,200	5
	<i>Triportheus auritus</i>	0,154	0,089	2
Lago do Cuniã	<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	1,147	-	1
	<i>Ageneiosus ucayalensis</i>	0,115	-	1
	<i>Anodus sp.</i>	0,052	0,010	2
	<i>Auchenipterichthys thoracatus</i>	0,093	-	1
	<i>Auchenipterus ambyiacus</i>	0,202	-	1
	<i>Centromochlus heckelii</i>	0,249	-	1
	<i>Chaetobranchus flavescens</i>	0,053	-	1
	<i>Cichla pleiozona</i>	0,152	-	1
	<i>Hoplias malabaricus</i>	0,193	-	1
	<i>Leporinus friderici</i>	0,023	-	1
	<i>Mylossoma duriventre</i>	0,010	0,004	2
	<i>Pellona castelnaeana</i>	0,464	0,270	2

	<i>Pimelodus aff. blochii</i>	0,166		1
	<i>Potamorhina latior</i>	0,025	0,008	20
	<i>Prochilodus nigricans</i>	0,026	0,021	10
	<i>Pygocentrus nattereri</i>	0,092	0,032	7
	<i>Schizodon fasciatus</i>	0,281	-	1
	<i>Triportheus angulatus</i>	0,093	0,046	2
Rio Jaci-Paraná - foz	<i>Acestrorhynchus falcistrostris</i>	1,196	0,499	3
	<i>Acestrorhynchus heterolepis</i>	0,561	0,258	3
	<i>Auchenipterichthys thoracatus</i>	0,167	-	1
	<i>Curimata vittata</i>	0,025	-	1
	<i>Potamorhina latior</i>	0,025	-	1
	<i>Roestes molossus</i>	0,339	-	1
Rio Jaci-Paraná - montante	<i>Roestes molossus</i>	0,276	-	1
	<i>Myloplus asterias</i>	0,002	0,002	2
	<i>Acestrorhynchus falcistrostris</i>	0,195	-	1
	<i>Acestrorhynchus heterolepis</i>	0,229	0,041	3
	<i>Hypostomus pyrineusi</i>	0,011	-	1
	<i>Loricariichthys maculatus</i>	0,186	-	1
	<i>Pimelodus aff. blochii</i>	0,108	-	1
	<i>Prochilodus nigricans</i>	0,060	0,018	3
Igarapé Jatuarana	<i>Hydrolycus scomberoides</i>	1,447	-	1
	<i>Acestrorhynchus falcistrostris</i>	0,242	-	1
	<i>Acestrorhynchus heterolepis</i>	0,292	-	1
	<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	0,006	-	1
	<i>Hemidoras stenopeltis</i>	0,565	-	1
	<i>Hydrolycus scomberoides</i>	0,641	-	1
	<i>Hypostomus cf. marginatus</i>	0,071	-	1
	<i>Leporinus friderici</i>	0,038	-	1
	<i>Mylossoma aureum</i>	0,015	-	1
	<i>Mylossoma duriventre</i>	0,048	0,016	5
	<i>Pecoltia bacchi</i>	0,125	-	1
	<i>Pimelodus aff. blochii</i>	0,227	0,048	
	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	1,052	-	1
	<i>Potamorhina latior</i>	0,128	0,100	2
	<i>Prochilodus nigricans</i>	0,114	0,038	7
	<i>Psectrogaster rutiloides</i>	0,061	-	1
	<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	0,804	0,104	3
	<i>Rhythyodus microlepis</i>	0,121	-	1
	<i>Roestes molossus</i>	0,276	-	1
	<i>Schizodon fasciatus</i>	0,183	0,178	9
	<i>Sorubim maniradii</i>	0,441	0,018	2
	<i>Triportheus angulatus</i>	0,161	0,119	2
	<i>Triportheus auritus</i>	0,122	0,051	3

Lago do Puruzinho	<i>Acestrorhynchus falcirostris</i>	1,341	-	1
	<i>Acestrorhynchus microlepis</i>	0,510	-	1
	<i>Anodus orinocensis</i>	0,843	-	1
	<i>Crenicichla adspersa</i>	0,653	-	1
	<i>Curimata vittata</i>	0,190	0,232	3
	<i>Hemiodus microlepis</i>	0,102	0,027	2
	<i>Hemiodus unimaculatus</i>	0,347	-	1
	<i>Hypophthalmus marginatus</i>	0,338	-	1
	<i>Mylossoma duriventre</i>	0,040	0,022	5
	<i>Pimelodus aff. blochii</i>	0,351	0,060	2
	<i>Pinirampus pirinampu</i>	0,846	-	1
	<i>Potamorhina altamazonica</i>	0,120	0,027	13
	<i>Potamorhina latior</i>	0,154	0,094	17
	<i>Prochilodus nigricans</i>	0,224	-	1
	<i>Psectrogaster essequibensis</i>	0,038	0,001	2
	<i>Satanoperca sp.</i>	0,032		
	<i>Sorubim elongatus</i>	0,466	0,275	4
	<i>Triportheus angulatus</i>	0,147	0,099	3
	<i>Triportheus auritus</i>	0,105	-	1
CMR¹ OMS²	Todas as espécies	0,500		
CMR¹ ANVISA³	Espécies não carnívoras	0,500		
	Espécies carnívoras	1,000		

¹ Concentração Máxima Recomendável para consumo Humano

² Organização Mundial de Saúde. ³ Agência Nacional de Vigilância Sanitária

Os valores encontrados nesse estudo mostram que a concentração de mercúrio em algumas espécies se apresentam acima dos limites recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS de 0,50 mg.kg⁻¹) e pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA de 1,00mg.kg⁻¹). A maioria das espécies que se encontram acima dos limites são piscívoras: ***Rhaphiodon vulpinus*** (Cachorra-Facão), ***Hydrolycus scomberoides*** (Cachorra), ***Hemiodoras stenopeltis*** (Rego Rego), ***Plagioscion squamosissimus*** (Pescada), ***Acestrorhynchus falcirostri*** (peixe cachorro), ***Acestrorhynchus microlepis*** (Cachorrinho), ***Anodus orinocensis*** (Ubarana), ***Crenicichla adspersa*** (Guensa Branca) e ***Pinirampus pirinampu*** (Barba-Chata).

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) apresentaram

as maiores concentrações de Hg em músculo. Sampaio da Silva et al (2006), realizando um estudo em três lagos Amazônicos (Bom Intento, Cupu e Pereira) no rio Tapajós também observaram níveis de Hg elevados para a espécie *Rhaphiodon vulpinus* (0,488 - 0,598 mg.kg⁻¹), porém não tão altos quanto os observados neste trabalho. Bastos et al (2008), em estudo de analisando amostras coletadas ao longo de 14 anos (1987 – 2000) no rio Madeira, encontraram valores semelhantes aos resultados encontrados no presente trabalho. Apesar dos valores estarem acima dos limites estabelecidos, o número de amostras por espécie é muito baixo (n = 1) para se afirmar que a ingestão dos indivíduos dessas espécies pode levar a alta exposição ao metilmercúrio.

IV.3. CONCLUSÃO

- As espécies de habito alimentar piscívoro apresentaram as maiores concentrações médias de Hg, estando acima do recomendado para consumo humano pela OMS e ANVISA.
- Com relação a localização, o Lago do Puruzinho apresentou a maior incidência de pescado com valores acima do limite, seguido do Igarapé Jatuarana.

V. PERSPECTIVAS

O presente relatório teve por objetivo apresentar os resultados do monitoramento de 6 meses de estudos (março a agosto de 2011) das concentrações de elementos-traço, com ênfase ao mercúrio, nas amostragens bióticas e abióticas realizadas na área de influência direta e indireta da construção do empreendimento hidrelétrico de Santo Antônio (Fase Pré-Enchimento). Os estudos foram focados em matrizes que ainda poderiam sofrer influência do empreendimento durante a Fase de Pré-Enchimento, em função da mudança de cronograma do início do Pós-Enchimento.

Após a fase de enchimento nas áreas de inundação natural como o rio Jaci-Paraná e Igarapé Jatuarana I podem ter seu tempo de residência da água

aumentado. Fatores como a mudança na qualidade da água como maior disponibilidade de matéria orgânica nas áreas alagadas e condições anóxicas poderão favorecer a produção de MeHg tanto no sedimento quanto na coluna d'água com posterior bioacumulação pelo zooplâncton.

Para avaliar a influência do enchimento do reservatório na dinâmica de elementos-traço, será dada a continuidade da pesquisa das demais matrizes avaliadas no **Relatório Final da Avaliação Ambiental do Programa de Hidrobiogeoquímica do Mercúrio e Outros Metais Pesados no Rio Madeira - UHE Santo Antônio (2011)**. Tais estudos já se encontram em andamento.

VI. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Portaria nº 685, de 27 de Agosto de 1998.** Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/685_98.htm. Acesso em novembro de 2009.

ALMEIDA, M.D.; LACERDA, L.D.; BASTOS, W.R. & HERRMANN, J.C. 2005. **Mercury loss from soils following conversion from forest to pasture in Rondônia, Western Amazon, Brazil.** Environmental Pollution, 137: 179-186.

AULA, I.; BRAUNSCHWEILLER, H.; LEINO, T.; MALIN, I.; PORVARI, P.; HATANAKA, T.; LODENIUS, M. & JURAS, A. 1994. **Levels of mercury in the Tucuruí reservoir and its surrounding area in Pará, Brazil.** In: *Mercury pollution, Integration and Synthesis*. Watras, C. & Huckabee, J. (eds). Lewis, Boca Raton. pp 21-40.

BASTOS, W.R. & LACERDA, L.D. 2004. **A contaminação por mercúrio na Bacia do Rio Madeira : uma breve revisão.** Geochimica Brasiliensis, 18 :99-114.

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. 2006. **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,

BASTOS, W. R.; REBELO, M. de F.; FONSECA, M. de F. ALMEIDA, R. & MALM, O. 2008. **A description of mercury in fishes from the Madeira River Basin, Amazon, Brazil.** Acta Amazonica. vol. 38(3): 431 – 438. Rondônia.

BISHOP, K. & LEE, Y.H. 1997. **Catchment as a source of mercury/methylmercury in boreal surface waters.** In: *Metals ions in biological systems*. Siegel, A. & Siegel, H. (eds). Marcel and Dekker Inc. pp 114-127

BISINOTI, M.C. & JARDIM, W.F. 2004. **O comportamento do metilmercúrio (MetilHg) no ambiente.** Química Nova, Vol. 27, No. 4, 593-600.

CAMPOS, M.L.; PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.G.S.M. & CURI, N. 2003. **Baseline concentration of heavy metals in Brazilian latosols.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, Nova lorque, v. 34, n. 3-4, p. 547-557.

CELO, V.; LEAN, D.R.S. & SCOTT, S.L. 2006. **Abiotic methylation of mercury in the aquatic environment.** Science of the Total Environment 368, 126–137.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº. 357, 17 de março de 2005.**

www.mma.gov.br/port/conama/res/res04/res34404.xml.
10/03/2010.

Acesso em

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004.**

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução Conama Nº 420, de 28 de dezembro de 2009.** Disponível: ww.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620. Acesso em 10/08/2010.

ESPINDOLA, C.R. 2008. **Retrospectiva crítica sobre a pedologia: um repasse bibliográfico** – Campinas, SP: Editora da UNICAMP.

FABRÉ, N.N. & ALONSO, J.C. 1998. **Recursos ícticos no Alto Amazonas: sua importância pra as populações ribeirinhas.** Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Sér. Zool., 14(1): 19-55.

FADINI, P.S. & JARDIM, W.F. 2001. **Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury?** Science of the Total Environment, 275: 71-82.

GABRIEL, M.C. & WILLIAMSON, D.G. 2004. **Principal biogeochemical factors affecting the speciation and transport of mercury through the terrestrial environment.** Environmental Geochemistry and Health, 26: 421-434.

GRIMALDI, C.; GRIMALDI, M. & GUEDRON, S. 2008. **Mercury distribution in tropical soil profiles related to origin of mercury and soil processes.** Science of the Total Environment, 401:121-129.

GUEDRON, S.; GRIMALDI, C.; CHAUVEL, C.; SPADINI, L. & GRIMALDI, M. 2003. **Determination of mercury atmospheric origin in French Guianese soils.** Journal of Physics IV France, 107:585-588.

GUEDRON, S.; GRIMALDI, C.; CHAUVEL, C.; SPADINI, L., & GRIMALDI, M. 2006. **Weathering versus atmospheric contributions to mercury concentrations in French Guiana soils.** Applied Geochemistry, 21:2010-2022

GUEDRON, S.; GRANGEON, S.; LANSON, B.; & GRIMALDI, M. 2009. Mercury speciation in a tropical soil association; Consequence of gold mining on Hg distribution in French Guiana. Geoderma, 153:331-346

LECHLER PJ, MILLER JR, LACERDA LD, VINSON D, J.C. & BONZONGOLYONS, WB. 2000. **Elevated mercury concentrations in soils, sediments, water and fish of the Madeira River Basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichments?** Science of the Total Environment, 260:87–96.

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

OLIVEIRA, S. M. B.; MELFIA, J.; FOSTIER, A. H.; FORTI, M. C.; FAVARO, D. I. T. & BOULET, R. 2001. **Soils as an important sink for mercury in the amazon.** *Water, Air and Soil Pollution*, Netherlands, v. 126, n. 3-4, p. 321 – 337.

OLIVEIRA, R.C.; DÓREA, J.G.; BERNARDI, J.V.E.; BASTOS, W. R.; ALMEIDA, R. & Manzatto, A.M. 2010. **Fish consumption by traditional subsistence villagers of the Rio Madeira (Amazon): impact on hair-mercury.** *Annals of Human Biology*, v. 36, p. 1-14.

SAMPAIO DA SILVA, D.; LUCOTTE, M.; ROULET, M.; POIRIER, H.; MERGLER, D., CROSSA, M., 2006. **Mercúrio nos peixes do Rio Tapajós, Amazônia brasileira.** *InterfacEHS*, 1:1–31.

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).

ROULET, M. & LUCOTTE, M. 1995. **Geochemistry of mercury in pristine and flooded ferraltic soils of a tropical rain forest in French Guiana, South America.** *Water, Air and Soil Pollution*, 80:1079-1088.

ROULET, M., LUCOTTE M., SAINT-AUBIN, A., TRAN, S., RHÉAULT, I., FARELLA, N., DE JESUS DA SILVA, F., DEZENCOURT J., SOUSA-PASSOS, C.J., SANTOS SOARES, G., GUIMARÃES, J.R.D., MERGLER, D. & AMORIM, M. 1998. **The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós river valley, Pará state, Brazil.** *Science of the Total Environment*, 223:1-24.

ROULET, M., LUCOTTE, M., FARELLA, N. SERIQUE, G., COELHO, H., PASSOS, C.J.D., DA SILVA, E.D., DE ANDRADE, P.S., MERGLER, D., GUIMARÃES, J.R.D. & AMORIM, M. 1999. **Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems.** *Water, Air, and Soil Pollution*, 112: 297-313

ROULET, M & GRIMALDI, C. &. 2001. **Le mercure dans lês sols d'Amazonie.** *In: Le mercure en Amazonie: role de l'homme et de l'environnement, risques sanitaires.* IRD Éditions, Paris. pp 121-165.