



USINA HIDRELÉTRICA JIRAU

RELATÓRIO TÉCNICO PARCIAL DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO ("PMH") DO APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO JIRAU

2ª CAMPANHA DE CAMPO

EMPRESA: **VENTURO CONSULTORIA AMBIENTAL LTDA**

PERÍODO DAS ATIVIDADES: **Janeiro a Março/2010**

RESPONSÁVEL DA CONTRATADA: **Luiz Fabricio Zara**

RESPONSÁVEL DA ESBR: **Jairo Guerrero**

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	3
INTRODUÇÃO	3
ÁREA DE ESTUDO	4
METODOLOGIA	16
Etapa 1 - Ambiental	16
Parâmetros físicos e químicos	16
Água superficial	16
Solo	16
Sedimento de fundo	20
Material particulado suspenso	20
Invertebrados aquáticos	21
Plâncton	20
Peixe	20
Mamíferos aquáticos	22
Macrófitas	23
Taxa de metilação	23
Etapa 2 - Humanos	24
RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
EQUIPE TÉCNICA DE TRABALHO	74

ANEXOS

Anexo I - Questionário Estruturado para Coleta de Dados das Comunidades Tradicionais da Bacia do Rio Madeira – Rondônia.

APRESENTAÇÃO

O presente relatório técnico tem por objetivo descrever as atividades desenvolvidas no período de janeiro a março de 2010 e apresentar os resultados da 2ª Campanha de Campo do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do Aproveitamento Hidrelétrico (AHE) Jirau, realizada entre os dias 07/01 a 13/01/2010, de forma integrada ao Programa de Monitoramento Limnológico.

INTRODUÇÃO

O ciclo biogeoquímico do mercúrio é caracterizado pelas várias rotas que este composto pode seguir no ambiente, tendo destaque sua liberação do solo e da água para atmosfera, seu transporte nesta seguido da deposição atmosférica das espécies de mercúrio para a água e para o solo. Quando em contato com solo ou sedimento, pode ocorrer sorção do mercúrio na forma insolúvel seguida de metilação/demetilação. O ciclo é completado pelas rotas de precipitação, bioconversão em formas voláteis ou solúveis, reinteração deste na atmosfera ou bioacumulação na cadeia alimentar aquática ou terrestre.

O interesse no entendimento do ciclo hidrobiogeoquímico do mercúrio na Amazônia é devido à elevada toxicidade do metilmercúrio (MeHg) para os seres humanos e animais, seu acúmulo na biota e sua biomagnificação na cadeia alimentar aquática. O conhecimento do processo de organificação do mercúrio no ambiente é necessário para predizer o impacto potencial desse elemento sobre os seres humanos, bem como avaliar a qualidade de vida das populações.

O rio Madeira, via natural de integração da Amazônia Ocidental, é considerado binacional por fazer fronteira entre o Brasil e a Bolívia, sendo formado a partir do encontro dos rios Beni e Mamoré. O rio Mamoré nasce na Cordilheira Real dos Andes bolivianos, nas proximidades de Santa Cruz de La Sierra, com a denominação de Grande La Plata. Seu curso tem a extensão de 2.200 km e sua bacia de drenagem cobre uma área de aproximadamente 525.00 km². O rio Mamoré penetra em Rondônia pelo extremo sul e, entre as cidades de Costa Marques e Guajará Mirim, recebe o rio Guaporé, cujas nascentes são localizadas na Chapada dos Parecis, em Mato Grosso. Nas proximidades de Nova Mamoré, recebe o rio Beni, passando então a se chamar rio Madeira.

O desenho amostral do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico nas áreas de influência direta e indireta do AHE Jirau, na bacia do rio Madeira, está apresentado de forma detalhada no **Quadro 1** abaixo.

Quadro 01. - Pontos de amostragem com sua descrição e coordenadas UTM.

Pontos	Estações	Descrição	Coordenadas Geográficas	
			Latitude (UTM)	Longitude (UTM)
P1-MAM	MAM	Rio Mamoré	8850608	0237050
P1.2-BENI	BENI	Foz do rio Beni – Brasil	8850599	0237003
P2-MAD 1*	MAD 1*	Rio Madeira, próximo ao antigo Mad 10	8857396	0240941
P4-ARA	ARA	Igarapé Araras	8892078	0246196
P5-ABU	ABU	Rio Abunã	8929260	0232086
P6-MAD 2*	MAD 2*	Rio Madeira, próximo ao antigo Mad 20	8934406	0232598
P7-SIZ	SIZ	Igarapé Simãozinho	8936732	0236392
P8-SIM	SIM	Igarapé São Simão	8947886	0247617
P9-MAD 3*	MAD 3*	Rio Madeira, próximo ao antigo Mad 30	8937702	0266912
P10-CAS	CAS	Igarapé Castanho	8937716	0266224
P11-MTP 1	MTP 1	Rio Mutum Paraná	8929364	0282882
P12-COT	COT	Rio Cotia / Igarapé Cirilo	8929318	0282517
P13-MUT 1	MUT 1	Área alagada do Bolsão do Mutum	8936294	0287008
P14-MAD 4*	MAD 4*	Rio Madeira, próximo ao antigo Mad 40	8939250	0291294
P15-LOU	LOU	Igarapé São Lourenço	8964318	0297131
P16-CAI	CAI	Igarapé Caiçara	8960228	0299388
P17-JIR	JIR	Igarapé Jirau	8962986	0308080
P18-MAD 5*	MAD 5*	Rio Madeira, próximo ao antigo Mad 50	8965418	0309744
P19-MAD 6*	MAD 6*	Rio Madeira a jusante do AHE Jirau	8982784	0322731
P20-MTP 2	MTP 2	Foz do rio Mutum Paraná	8937680	0289508

*Pontos com estudos em transecto (A - margem direita, B - centro e C - margem esquerda)

Os pontos amostrais indicados no **Quadro 01** seguem a mesma numeração e identificação dos pontos de amostragem do Programa de Monitoramento Limnológico, com exceção do P1.2-BENI. A distribuição das estações de monitoramento na bacia do rio Madeira indicadas no **Quadro 01** pode ser visualizada no mapa apresentado na **Figura 01** e nas **Figuras 02 a 21**, contemplando as áreas de influência direta e indireta do AHE Jirau. Destaca-se a importância do ponto de monitoramento localizado no rio Beni (P1.2-BENI), entretanto por se tratar de um rio localizado em território boliviano, foi selecionada uma estação no território nacional, próxima a confluência com o rio Mamoré.

PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO DO MERCÚRIO NA MATRIZ ÁGUA

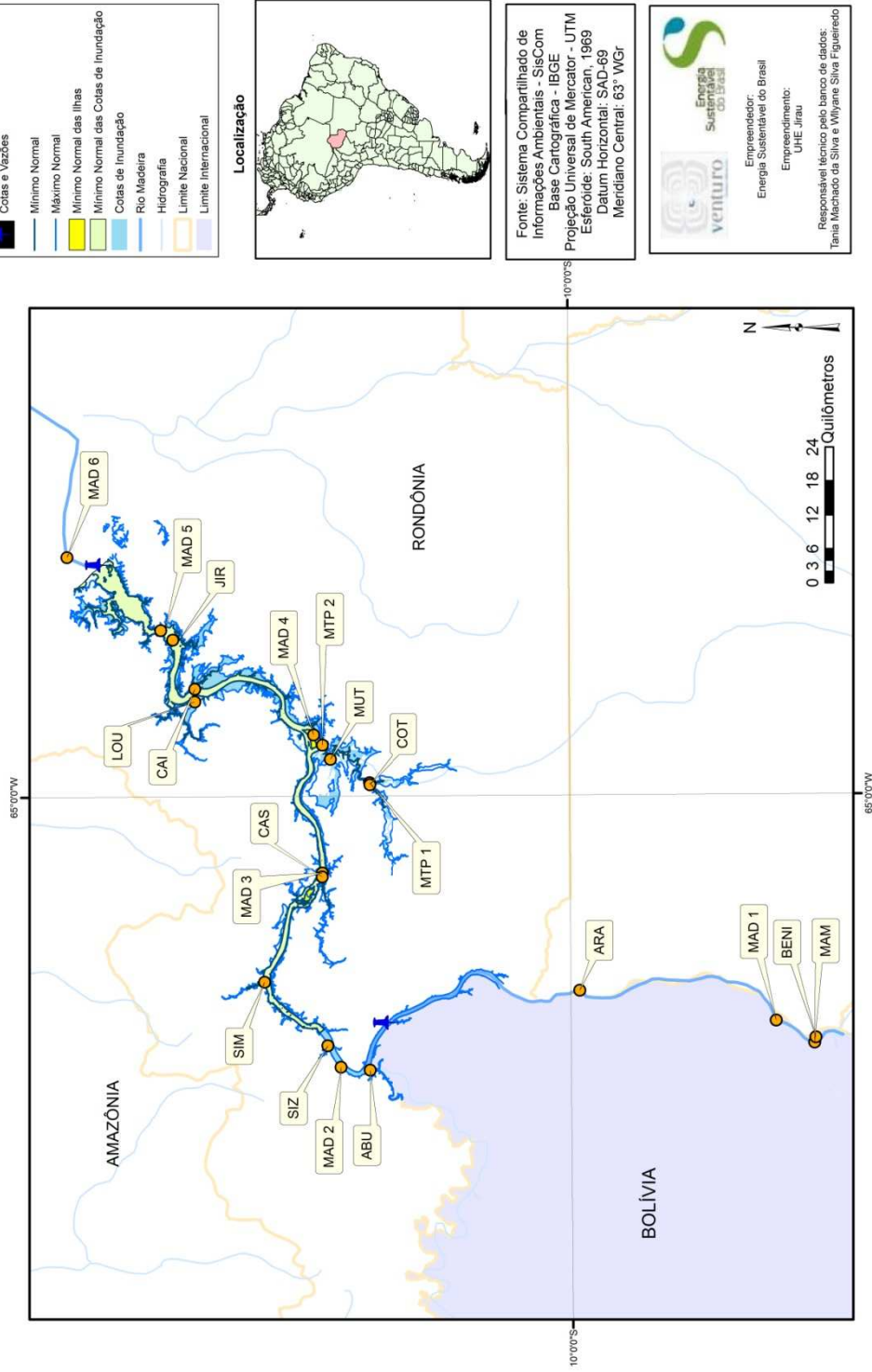


Figura 01. Mapa do desenho amostral do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico nas áreas de influência direta e indireta do AHE Jirau



Figura 02. Foto do ponto de amostragem P1-MAM, no rio Mamoré, próximo à confluência com o rio Beni. Data: 07/01/2010 (enchente).



Figura 03. Foto do ponto de amostragem P1.2-BENI, na foz do rio Beni com o rio Mamoré. Data: 07/01/2010 (enchente).



Figura 04. Foto do ponto de amostragem P2-MAD 1, no rio Madeira, após a confluência dos rios Mamoré e Beni. Data: 07/01/2010 (enchente).



Figura 05. Foto do ponto de amostragem P4-ARA, no igarapé Araras. Data: 07/01/2010 (enchente).



Figura 06. Foto do ponto de amostragem P5-ABUNA, no rio Abunã, a montante da confluência com rio Madeira. Data: 07/01/2010 (enchente).



Figura 07. Foto do ponto de amostragem P6-MAD 2, no rio Madeira, a jusante da confluência com rio Abunã. Data: 07/01/2010 (enchente).



Figura 08. Foto do ponto de amostragem P7-SIZ, no igarapé Simãozinho. Data: 07/01/2010 (enchente).



Figura 09. Foto do ponto de amostragem P8-SIM, no igarapé São Simão. Data: 07/01/2010 (enchente).



Figura 10. Foto do ponto de amostragem P9-MAD 3, no rio Madeira, a jusante da confluência com os igarapés Simãozinho e São Simão. Data: 07/01/2010 (enchente).



Figura 11. Foto do ponto de amostragem P10-CAS, no igarapé Castanho. Data: 07/01/2010 (enchente).



Figura 12. Foto do ponto de amostragem P11-MTP 1, no rio Mutum Paraná, após a confluência dos rios Mutum Paraná (direita) e Cotia (esquerda). Data: 08/01/2010 (enchente).



Figura 13. Foto do ponto de amostragem P12-COT, no rio Cotia / igarapé Cirilo, afluente do rio Mutum Paraná. Data: 08/01/2010 (enchente).



Figura 14. Foto do ponto de amostragem P13-MUT 1, na área alagada do bolsão lateral do rio Mutum Paraná. Data: 08/01/2010 (enchente).



Figura 15. Foto do ponto de amostragem P20-MTP 2, na confluência do rio Mutum Paraná com o rio Madeira. Data: 08/01/2010 (enchente).



Figura 16. Foto do ponto de amostragem P14-MAD 4, no rio Madeira, a jusante da confluência com o rio Mutum Paraná. Data: 08/01/2010 (enchente).



Figura 17. Foto do ponto de amostragem P15-LOU, no igarapé São Lourenço, afluente do rio Madeira. Data: 08/01/2010 (enchente).



Figura 18. Foto do ponto de amostragem P16-CAI, no igarapé Castanho, afluyente do rio Madeira. Data: 09/01/2010 (enchente).



Figura 19. Foto do ponto de amostragem P17-JIR, no igarapé Jirau, afluyente do rio Madeira. Data: 09/01/2010 (enchente).



Figura 20. Foto do ponto de amostragem P18-MAD 5, no rio Madeira, a montante do AHE Jirau. Data: 01/10/2009 (águas baixas).



Figura 21. Foto do ponto de amostragem P19-MAD 6, no rio Madeira, a jusante do AHE Jirau. Data: 01/10/2009 (águas baixas).

METODOLOGIA

O Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico tem uma abordagem interdisciplinar e multi-institucional nos vários níveis possíveis de interação, de modo a integrar o conhecimento do sistema ambiental e suas inter-relações com a saúde humana.

As espécies de mercúrio serão monitoradas durante todas as fases do empreendimento, obedecendo a sazonalidade regional (cheia, enchente, vazante e seca), possibilitando estudos temporais do ciclo Hidrobiogeoquímico do mercúrio associados às características hidrológicas da bacia do rio Madeira. Os períodos das campanhas de campo serão definidos com base na interpolação dos dados das estações do Sistema de Informação Hidrológico (HIDRO) da Agência Nacional de Águas (ANA) localizadas na área de abrangência do empreendimento.

ETAPA 01 - AMBIENTAL

Parâmetros físicos e químicos

A integração e a simultaneidade das campanhas de amostragem do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico e do Programa de Monitoramento Limnológico possibilitaram a obtenção dos parâmetros físicos e químicos (pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, temperatura da água e turbidez) nos 20 pontos de monitoramento das espécies de mercúrio, permitindo uma visão integrada do ciclo hidrobiogeoquímico do mercúrio na bacia do rio Madeira.

Água superficial

As amostras de água foram coletadas em garrafas de polietileno tereftalato, preservadas com ácido nítrico (HNO_3 65% ultra-puro, Merck), mantendo o pH da água inferior a 2,0 até o momento das análises. A determinação de mercúrio total (HgT) em água foi realizada segundo o método EPA 1631 adaptado.

A quantificação foi realizada usando a técnica de espectrofotometria de fluorescência acoplada ao sistema de geração de vapor frio e pré-concentração em coluna de ouro (CVFAS) pela adição ao frasco extrator de 100 mL de amostra previamente extraída pelas soluções de cloreto de bromo e cloridrato de hidroxilamina, em frasco provido de válvula com quatro vias. A redução foi feita usando 2 mL de cloreto estanoso 10% (m/v) em HCl 10% (v/v). A amostra foi purgada com argônio a uma vazão de 400 mL min^{-1} por 15 min. O gás efluente foi levado

até uma coluna de quartzo contendo em seu interior areia recoberta por ouro, usada como coluna extratora, com posterior volatilização por aquecimento. O Hg elementar foi levado pelo gás de arraste (Ar) até a cela de detecção do equipamento de fluorescência.

O mercúrio reativo (HgR) é um parâmetro definido operacionalmente que engloba todas as espécies de mercúrio passíveis de serem reduzidas a mercúrio elementar por cloreto estanoso, enquanto o mercúrio total (HgT) representa todas as espécies de mercúrio presentes na amostra de água, envolvendo uma etapa prévia de oxidação destas espécies para Hg^{+2} antes da quantificação.

A fração de mercúrio orgânico (HgORG) representa todo o estoque de espécies orgânicas presentes na água, sendo o metilmercúrio a espécie predominante, portanto a fração de HgORG é extraída com diclorometano antes da quantificação (Bisinoti *et al.*, 2007).

Solo

As amostras de perfil de solo foram coletadas em 5 cm, 20 cm, 40 cm, 60 cm e 100 cm, acondicionadas em sacos de polietileno e mantidas resfriadas a 5 °C até o momento de preparação e análise das amostras no laboratório. No laboratório, as amostras foram inicialmente homogeneizadas, posteriormente peneiradas na fração <200 mesh (<74 μm) e digeridas em meio ácido. O teor de mercúrio total (HgT) foi quantificado pela técnica de geração de vapor de mercúrio a frio acoplado a espectroscopia de absorção atômica (CVAAS).

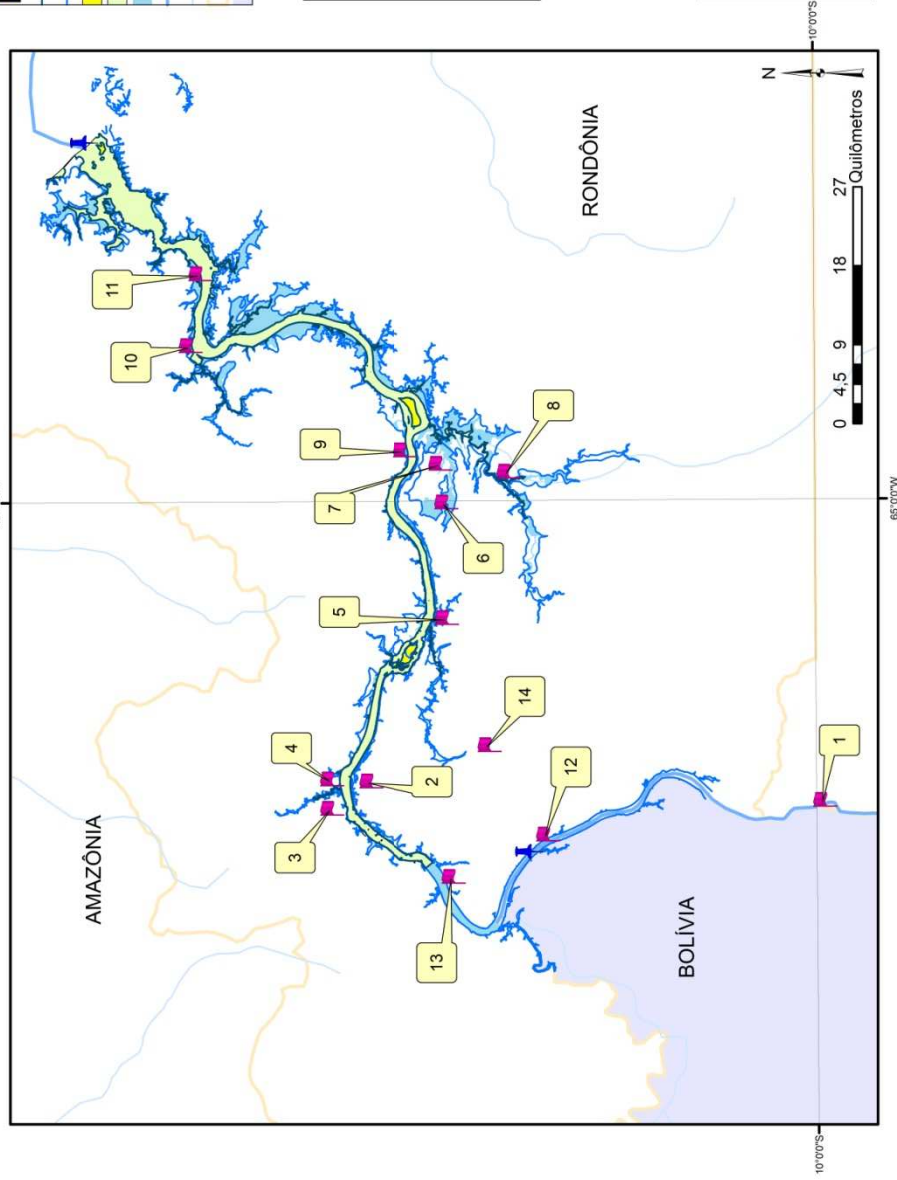
No laboratório também foram realizadas, conjuntamente à análise de elementos traços, análises granulométricas e do teor de matéria orgânica das amostras de solo, para verificação do potencial de estocagem de mercúrio no solo.

As amostras de solos foram coletadas próximo às margens do rio Madeira e seus afluentes, considerando os seguintes aspectos: áreas alagadas e/ou sazonalmente alagadas, gradientes topográficos e perfis verticais de solo, considerando ainda as diferentes unidades pedológicas. A distribuição das estações de monitoramento de solo na bacia do rio Madeira indicadas no **Quadro 02** pode ser visualizada na **Figura 22**, contemplando as áreas de influência direta e indireta do AHE Jirau.












Quadro 02 - Pontos de amostragem de solo com sua descrição e coordenadas UTM.

Pontos	Descrição	Coordenadas Geográficas	
		Latitude (UTM)	Longitude (UTM) 20 L
P1	Margem direita do rio Madeira próximo ao igarapé Araras	8850599	0237003
P2	Margem direita do rio Madeira	8944832	0248341
P3	Margem direita do igarapé Simãozinho	8949282	245225
P4	Margem esquerda do igarapé Simãozinho	8949315	248564
P5	Margem direita do rio Madeira, próximo ao ponto MAD 3	8936100	266978
P6	Margem direita do rio Madeira, próximo à área alagada do Bolsão do rio Mutum Paraná	8943127	280112
P7	Área alagada do Bolsão do rio Mutum Paraná	8936858	284540
P8	Margem direita do rio Mutum Paraná	8929086	283663
P9	Margem esquerda do rio Madeira, próximo ao ponto MAD 4	8940993	286087
P10	Margem esquerda do rio Madeira, próximo ao igarapé São Lourenço	8965448	297958
P11	Margem direita do rio Madeira, próximo ao igarapé Jirau	8964332	306148
P12	Margem direita do rio Madeira, antes da confluência com o rio Abunã	8924574	242285
P13	Margem direita do rio Madeira, próximo ao ponto MAD 2	8935343	237445
P14	Ponto de coleta fora da área de influência do AHE Jirau	8931249	252483


PROGRAMA DE MONITORAMENTO BIOGEOQUÍMICO DO MERCÚRIO NA MATRIZ SOLO



Legenda

-  Pontos de Coleta - Solo
-  Coisas e Vazões
-  Mínimo Normal
-  Máximo Normal
-  Mínimo Normal das Ilhas
-  Mínimo Normal das Cotas de Inundação
-  Cotas de Inundação
-  Rio Madeira
-  Hidrografia
-  Limite Nacional
-  Limite Internacional

Localização



Fonte: Sistema Compartilhado de
Informações Ambientais - SisCom
Base Cartográfica - IBGE
Projeção Universal de Mercator - UTM
Esteróide: South American, 1969
Datum Horizontal: SAD-69
Meridiano Central: 63° WGr



 Engenheira:
Energia Sustentável do Brasil
 Empreendimento:
UHE Jirau
 Responsável Técnico pelo banco de dados:
Tania Machado da Silva e Vinícius Silva Figueredo

Figura 22. Mapa dos pontos de coleta de solo nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira e seus tributários

Sedimento de fundo

As amostras de sedimento de fundo foram coletadas utilizando coletor pontual de sedimento (draga de Eckman), permitindo a coleta da camada mais reativa do sedimento. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos de polietileno, sendo mantidas resfriadas a 4 °C até o momento de preparação e análise das amostras no laboratório.

Os perfis verticais de sedimento foram coletados com tubo de acrílico de dimensões 100 cm comprimento x 7,5 cm de diâmetro nas áreas de remanso dos pontos mencionados no **Quadro 01**. Após a coleta, as amostras de sedimentos foram fatiadas de 5 em 5 cm, acondicionadas em sacos de polietileno e mantidas resfriadas até a preparação da amostra para análise.

As amostras de sedimento foram inicialmente homogeneizadas a úmido nos próprios sacos de polietileno utilizados em campo, sendo posteriormente secas a temperatura ambiente e homogeneizadas em gral de porcelana. Após secagem, maceração e digestão das amostras de sedimento, o teor de mercúrio total (HgT) foi quantificado pela técnica de geração de vapor de mercúrio a frio acoplado a espectroscopia de absorção atômica (CVAAS). A determinação de metilmercúrio (MeHg) nas amostras de sedimento foi realizada segundo a metodologia descrita por Bisinoti *et al.* (2007), envolvendo a digestão com hidróxido de potássio em meio alcoólico, extração com ditizona-tolueno e quantificação por cromatografia gasosa.

As análises de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em perfil de sedimento nos pontos de amostragem apresentados no **Quadro 01** foram feitos nas profundidades de 5 cm, 10 cm, 20 cm e 40 cm.

Material particulado em suspensão

As amostras de material particulado em suspensão 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. No laboratório as amostras foram passadas em filtros de fibra de vidro de 0,45 µm (GF/C), previamente pesados, com o objetivo de determinar a massa de material particulado retido nos mesmos. Os filtros foram submetidos à extração química e o mercúrio total (HgT) quantificado pela técnica de espectrofotometria de fluorescência acoplada ao sistema de geração de vapor frio e pré-concentração em coluna de ouro (CVAAF).

Invertebrados Aquáticos

As coletas dos invertebrados aquáticos foram realizadas utilizando-se redes de arraste de 250 µm para coleta na superfície da água. As amostras do substrato na superfície do sedimento de fundo foram realizadas utilizando-se draga de Eckman, que foram coletadas e peneiradas para separar os animais do folhíço.

As amostras foram identificadas em campo e conservadas a 4 °C até o momento da análise. As amostras foram digeridas e o mercúrio total (HgT) quantificado pela técnica de espectrofotometria de fluorescência acoplado a sistema de geração de vapor frio e pré-concentração em coluna de ouro (CVFAS). A determinação de metilmercúrio (MeHg) nas amostras foi realizada segundo a metodologia descrita por Bisinoti *et al.* (2007), envolvendo digestão, extração com ditizona-tolueno e quantificação por cromatografia gasosa.

Plânctons

Conforme informado no 1º Relatório Técnico Parcial, inicialmente no Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico, foi proposta a utilização de rede de fitoplâncton com abertura de malha de 25 µm. Entretanto, as amostras de fitoplâncton foram coletadas utilizando rede com abertura de malha de 15 µm, em consonância com a metodologia proposta no Programa de Monitoramento Limnológico, visando aumentar a eficiência das coletas, e posteriormente lavadas com água ultra-pura e centrifugadas para retirar os sólidos em suspensão que permaneceram aderidos às amostras.

Da mesma forma, no Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do PBA estava prevista a filtragem de 200 L de água em redes com malhas específicas para a amostragem qualitativa e quantitativa de fitoplâncton e zooplâncton. Visando o aumento da eficiência das coletas, foi necessário ajustar o volume para 1.000 L de água, em consonância com a metodologia proposta no Programa de Monitoramento Limnológico.

Desta forma, por amostra, 1.000 L de água foram filtrados em uma rede de plâncton de 68 µm de abertura de malha. As amostras foram identificadas em campo e conservadas a 4°C até o momento da análise. As amostras foram digeridas e o mercúrio total (HgT) quantificado pela técnica de espectrofotometria de fluorescência acoplado a sistema de geração de vapor frio e pré-concentração em coluna de ouro (CVFAS). A determinação de metilmercúrio (MeHg) nas

amostras foi realizada segundo a metodologia descrita por Bisinoti *et al.* (2007) envolvendo digestão, extração com ditizona-tolueno e quantificação por cromatografia gasosa.

Peixe

O monitoramento de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) foi realizado em peixes bioindicadores, cujas espécies chaves na fase de pré-enchimento são *Cichla monoculus* e *Hoplias malabaricus*. Nesta fase do monitoramento foram adquiridas diretamente nas comunidades ribeirinhas amostras de peixe da região, possibilitando a análise em 15 espécimes de Pacú (*Mylossoma aureum*), 10 espécimes de Jaraqui (*Semaprochilodus theraponera*), 15 espécimes de Piau (*Leporinus fasciatus*), 8 espécimes de Sardinha (*Triportheus albus*), 10 espécimes de Apapa (*Pellona Castelnanaeana*), 8 espécimes de Tucunaré (*Cichla monoculus*), 5 espécimes de Piranha (*Serrasalmus sp*), 10 espécimes de Surubim (*Pseudoplatystoma sp*), 20 espécimes de Dourada (*Brachyplatystoma avicans*), 5 espécimes de Traíra (*Hoplias malabaricus*), 15 espécimes de Barba-chata (*Pinirampus pirinampu*) e 5 de Piranha (*Serrasalmus sp*).

Após a coleta, o material foi acondicionado em sacos de polietileno e mantido congelado até o momento de preparação e análise. As amostras de músculo de peixe (50 a 100 g) foram digeridas em meio ácido e o teor de mercúrio total (HgT) foi quantificado pela técnica de geração de vapor de mercúrio a frio acoplado a espectroscopia de absorção atômica (CVAAS), enquanto que a análise de metilmercúrio (MeHg) envolveu as fases de digestão, extração com ditizona-tolueno e quantificação por cromatografia gasosa.

Mamíferos aquáticos

A realização das análises de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em mamíferos aquáticos e semi-aquáticos, conforme previsto no Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico, depende de uma grande relação com o Programa de Conservação da Fauna Silvestre, o qual prevê coleta de material biológico, caso algum espécime seja capturado, na área de influência do AHE Jirau. Parte deste material coletado será acondicionada e, posteriormente, serão realizadas as análises necessárias para a determinação das concentrações das espécies de mercúrio.

No mês de janeiro de 2010, durante a realização da 2ª campanha de campo, o Programa de Conservação da Fauna Silvestre do AHE Jirau ainda não havia sido iniciado, tendo em vista que a empresa Arcadis Tetraplan Ltda., contratada pela Energia Sustentável do Brasil S.A. (ESBR) para a execução deste Programa, aguardava a emissão de autorização específica pelo IBAMA.

Macrófitas aquáticas

As amostras de macrófitas aquática *Eichornia crassipes* foram encontradas no rio Mamoré (P1-MAM), e as macrófitas aquática *Eichornia azurea* na área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) sendo armazenadas em sacos de polietileno. Na Base de Operação no Canteiro de Obras do AHE Jirau foram lavadas com água ultra-pura, separadas em folhas e talos e codificadas. As amostras foram posteriormente secas em estufas a 40°C, trituradas, digeridas e os teores de HgT quantificados pela técnica de espectrofotometria de fluorescência acoplado a sistema de geração de vapor frio e pré-concentração em coluna de ouro (CVAAF). A análise de MeHg envolveu as fases de digestão, extração orgânica e quantificação por cromatografia gasosa.

Taxa de metilação

Conforme consta no Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico, a medição da taxa de metilação de mercúrio foi realizada através da técnica radioquímica de mercúrio marcado (^{203}Hg).

As amostras de solo, sedimento de fundo, água e macrófita aquática foram coletadas na área alagada do bolsão do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) e no igarapé Castanho (P10-CAS), áreas potencialmente críticas por apresentarem águas escuras. Após a coleta, as amostras sólidas foram acondicionadas em sacos de polietileno e as amostras de água em garrafas de polietileno tereftalato, sendo mantidas resfriadas a 4°C até o momento de preparação e análise das amostras no laboratório. As amostras acondicionadas foram encaminhadas para o Laboratório de Traçadores Wolfgang C. Pfeiffer do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Primeiramente, adiciona-se CuSO_4 às amostras, sendo que o Cu^{2+} proveniente deste composto proporciona a liberação do metilmercúrio que possa estar ligado ao enxofre. Posteriormente, adiciona-se NaBr , sendo que o íon Br^- deste composto reage com o metilmercúrio formando $\text{CH}_3^{203}\text{HgBr}$, que apresenta elevado coeficiente de partição em tolueno, facilitando sua extração. Após 5 minutos de agitação vigorosa, as

amostras são centrifugadas e 25 mL de sobrenadante é transferido para funis de separação. Em cada funil adiciona-se o coquetel de cintilação preparado a partir de POP (2,5-difeniloxazol), POPOP (1,4-bis-2(5-feniloxazolil)-benzeno) e tolueno. Sendo o MeHg lipossolúvel, este se desloca para a fração contendo o coquetel de cintilação possibilitando sua contagem por meio de cintilação líquida (QuantaSmart™ 2.03). Antes da contagem, os extratos são agitados com tiosulfato de sódio, visando à remoção de possíveis gotículas de água presentes no tolueno que pudessem conter ^{203}Hg inorgânico, interferindo na contagem (carry-over). Os dados em DPM (desintegrações por minuto) são corrigidos para decaimento do ^{203}Hg , eficiência da extração e extinção e utilizados para calcular a porcentagem de MeHg formado a partir do ^{203}Hg total adicionado. O método utilizado para a extração de metilmercúrio das amostras possui eficiência de 82,5-99,8% (Guimarães et al. 1995).

ETAPA 2 - HUMANA

Conforme consta no Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico, serão realizadas semestralmente intervenções nas comunidades ribeirinhas das áreas de influência direta e indireta do AHE Jirau para a avaliação do histórico ocupacional, histórico familiar, hábitos de alimentação, análise neurológica, análise neuropsicológica e avaliação de níveis de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em amostras de cabelo e leite materno de voluntários. Estima-se uma amostra total de 1.000 indivíduos, sendo distribuídas as amostragens em 04 grupos de 250 indivíduos com periodicidade semestral para cada grupo respectivamente e reamostragem bianual, sendo prevista a primeira coleta de amostras durante a 3ª campanha de campo, a ser realizada em abril de 2010.

Nesta primeira fase dos estudos de saúde humana um questionário com vários módulos foi estruturado e aplicado a 50 voluntários da comunidade tradicional de Mutum Paraná, como o principal instrumento de coleta de dados, objetivando resgatar um conjunto de informações relativas à caracterização dos grupos expostos. Durante os meses de abril e maio de 2010 será elaborado e aplicado um prontuário para a coleta de dados e anotações preliminares pelo médico responsável pela avaliação clínica, constando de: identificação do paciente, história ocupacional, histórico familiar, alimentação, hábitos (fumo, consumo de álcool e drogas, condições de saúde gerais) e específicos (gastrointestinal, cardiorrespiratório, neurológico, psíquico, dérmico, visual, auditivo).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As cotas do rio Madeira nas estações de leituras indicadas na **Figura 01** durante a 2ª campanha de campo do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico que ocorreu no período de 07/01 a 13/01/2010, estão apresentadas na **Tabela 01**.

Tabela 01. Leituras das réguas e cotas nas estações hidrológicas de Guajará Mirim e no Canteiro de Obras da AHE Jirau.

Data	Guajará Mirim					Posto Fluvial R4 – AHE Jirau				
	Cota zero		Cota 109,29 m			Cota zero		Cota 58,79 m		
	Leitura régua (m)		Cota (m)			Leitura régua (m)		Cota (m)		
	7:00 h	17:00 h	7:00 h	17:00 h	Média	17:00 h	7:00 h	7:00 h	17:00 h	Média
5/4/2010	9,11	9,13	118,4	118,42	118,41	11,22	11,16	70,01	69,95	69,98
6/4/2010	9,14	9,15	118,43	118,44	118,43	11,19	11,28	69,98	70,07	70,025
7/4/2010	9,16	9,17	118,45	118,46	118,45	11,48	11,58	70,27	70,37	70,32
8/4/2010	9,18	9,2	118,47	118,49	118,48	-	-	-	-	-
9/4/2010	9,22	9,22	118,51	118,51	118,51	11,54	11,42	70,33	70,21	70,27
10/4/2010	9,23	9,24	118,52	118,53	118,52	11,32	11,28	70,11	70,07	70,09
11/4/2010	9,25	9,25	118,54	118,54	118,54	11,38	11,5	70,17	70,29	70,23
12/4/2010	9,27	9,28	118,56	118,57	118,56	11,81	11,94	70,60	70,73	70,665
13/4/2010	9,29	9,29	118,58	118,58	118,58	12,12	12,22	70,91	71,01	70,96
14/4/2010	9,3	9,31	118,59	118,60	118,59	12,30	12,30	71,09	71,09	71,09

ND – não determinado

Considerando as cotas observadas durante o período de coleta da 2ª Campanha de campo nas estações hidrológicas no rio Madeira a montante da confluência com o rio Abuña (Guajará Mirim) e na estação no rio Madeira a montante do canteiro de Obras da AHE Jirau (Posto Fluvial R4 Porto) a fase do ciclo hidrológico da bacia do rio Madeira é característica de enchente, com base no Boletim nº 4, do Sistema de Informação Hidrológico (HIDRO) da Agência Nacional de Águas (ANA), considerando a estação hidrológica de Porto Velho.

As cotas indicadas na **Figura 23** são valores associados a uma referência de nível local e arbitrária, válida para a régua linimétrica da estação. Os dados hidrológicos utilizados neste boletim são provenientes da rede hidrometeorológica de responsabilidade da Agência Nacional de Águas - ANA, operada pelo Serviço Geológico do Brasil, e os dados de climatologia foram fornecidos pelo Sistema de Proteção da Amazônia - SIPAM.

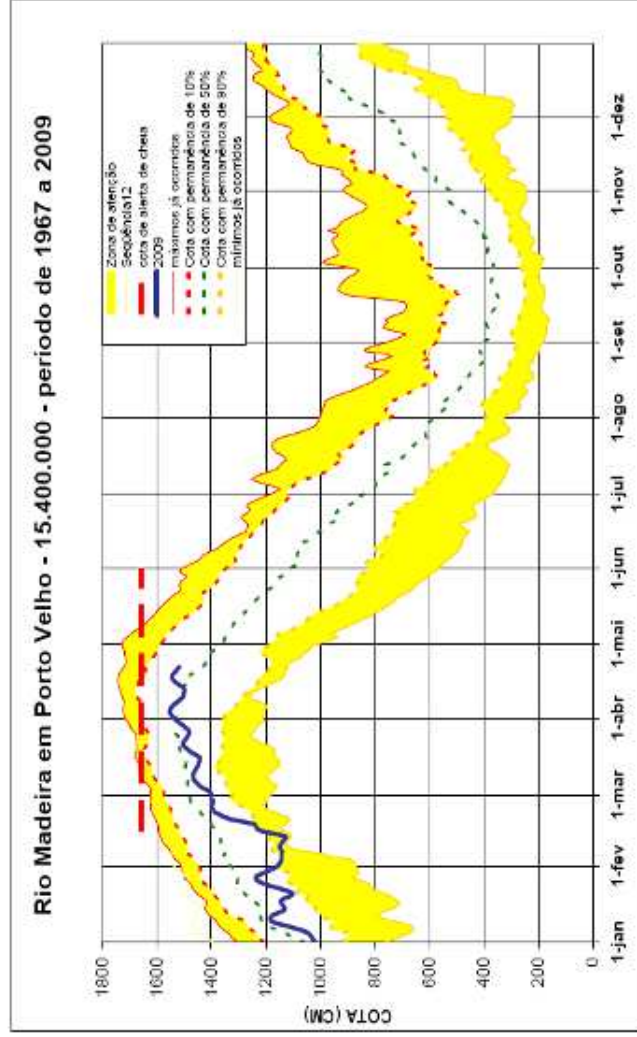


Figura 23 – Desenho Curvas elevatórias das cotas diárias observadas no rio Madeira. Adaptado do Monitoramento Hidrológico de 2009 – Boletim no 4

Parâmetros físicos e químicos

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos determinados “*in loco*” na 2ª campanha de campo na bacia do rio Madeira disponibilizados pelo Programa de Monitoramento Limnológico estão apresentados na **Tabela 02** a seguir.

Tabela 02. Resultados dos parâmetros físicos e químicos dos pontos amostrados na bacia do rio Madeira no período de enchente (07 a 13/01/2010).

Ponto	Tipo	pH	O.D. mg L ⁻¹	Turbidez NTU	Condutividade μS cm ⁻¹	Sólido Suspenso mg L ⁻¹	Temperatura °C
P1-MAM	Calha	7,0	4,56	948	98	725	28,8
P1.2-BENI	Calha	7,2	6,6	1840		593	28,10
P2-MAD 1	Calha	7,1	5,55	1240	97	580	28,8
P4-ARA	Tributário	6,0	4,32	17	5	19	27,05
P5-ABU	Calha	6,5	5,58	62	14	45	26,3
P6-MAD 2	Calha	7,0	6,13	988	78	771	26,9
P7-SIZ	Tributário	5,8	4,42	17,8	7	4	27,1
P8-SIM	Tributário	6,2	5,31	16,9	6	13	25,5
P9-MAD 3	Calha	6,8	5,6	1040	74	650	25,6
P10-CAS	Tributário	5,3	4,9	6,43	4	4	22,2
P11-MTP 1	Tributário	6,2	4,4	24,2	8	16	25,8
P12-COT	Tributário	5,8	5,79	10,7	7	8	25,7
P13-MUT 1	Lago	5,4	5,14	6,95	3	4	26,1
P14-MAD 4	Calha	6,9	6,1	1406	63	1028	27,9
P15-LOU	Tributário	5,7	5,4	13,9	4	6	25,7
P16-CAI	Tributário	5,2	3,05	17,2	8	4	26,5
P17-JIR	Tributário	5,2	3,85	12,4	5	3	25,6
P18-MAD 5	Calha	6,9	5,38	1782	88	950	28,27
P19-MAD 6	Calha	7,7	5,17	1462	81	945	29,5
P20-MTP 2	Tributário	6,1	5,41	17,9	6	8	26,3

A bacia hidrográfica do rio Madeira tem uma área total de aproximadamente 1,47 milhões de km², o que representa cerca de 23% da Bacia Amazônica, sendo aproximadamente o dobro do tamanho de qualquer outra bacia tributária, e abrange parcialmente os territórios da Bolívia (40%), Brasil (50%) e do Peru (10%). Em território brasileiro, esta bacia estende-se pelos Estados de Mato Grosso, Rondônia, Acre e Amazonas, sendo delimitada a leste pela bacia do rio Tapajós e a oeste pela bacia do rio Purus, ambos afluentes do rio Amazonas.

Os valores de pH dos pontos amostrados na calha do rio Madeira variaram na faixa de 6,8 a 7,7, com valor médio de 7,07, e, nos tributários, na faixa de 5,2 a 6,2, com valor médio de 5,75. O bolsão lateral do rio Mutum Paraná apresentou valor de 5,4 sendo concordante com os valores de águas fracamente ácidas observadas na bacia do rio Madeira e com o favorecimento de ambientes com menores valores de pH para sistemas lênticos. Os resultados observados seguem a tendência relatada pelo Estudo de Impacto Ambiental (EIA) dos AHE Santo Antônio e Jirau, indicando maiores valores de pH durante as fases de seca e enchente no rio Madeira (6,8 a 7,3) e nos tributários (5,4 a 6,5).

Os valores dos teores de oxigênio dissolvido (OD) nos pontos amostrados na calha do rio Madeira variaram de 5,38 a 6,13 mg L⁻¹, com valor médio de 5,66 mg L⁻¹, enquanto que nos tributários e no bolsão lateral do rio Mutum Paraná foram de 3,05 a 5,79 mg L⁻¹, com valor médio de 4,68 mg L⁻¹.

O valor médio de turbidez dos pontos amostrados na calha do rio Madeira (1300 NTU) é aproximadamente 85 vezes maior quando comparados ao valor médio dos pontos amostrados nos tributários e no bolsão lateral do rio Mutum Paraná (85 NTU), sendo característico de sistema com elevada hidrodinâmica. Comportamento semelhante é observado com os valores de sólidos em suspensão, sendo o valor médio dos pontos amostrados ao longo da calha do rio Madeira (820 mg L⁻¹) aproximadamente 96 vezes maior do que o valor médio dos pontos localizados nos tributários e no bolsão lateral do rio Mutum Paraná (8,5 mg L⁻¹), evidenciando o grande transporte e fluxo de material particulado suspenso pela calha do rio Madeira.

Os valores de condutividade observados ao longo do rio Madeira apresentam valores na faixa de 63 a 97 $\mu\text{S cm}^{-1}$, com valor médio 80 $\mu\text{S cm}^{-1}$, sendo em média 13 vezes maior quando comparado aos valores encontrados nos tributários e no bolsão lateral do rio Mutum Paraná, situados na faixa de 3 a 8 $\mu\text{S cm}^{-1}$, com valor médio 6 $\mu\text{S cm}^{-1}$, evidenciando o grande transporte de nutrientes pela bacia de drenagem do rio Madeira. Os pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentaram valor médio de 27,8 \pm 1,4 °C, enquanto que os pontos amostrados nos tributários apresentaram valor médio de 25,8 \pm 1,3 °C. Nos ambientes aquáticos da região Amazônica a temperatura apresenta comportamento homogêneo na massa de água, com variações pequenas na escala sazonal e espacial (LECHLER *et al.*, 2000).

Concentrações das espécies de mercúrio na água superficial

Os teores de mercúrio total (HgT), mercúrio orgânico (HgORG) e mercúrio reativo (HgR) nas amostras de água superficial coletadas na bacia do rio Madeira estão apresentados na **Tabela 3** a seguir.

Tabela 3. Resultados dos teores de mercúrio total (HgT), mercúrio orgânico (HgORG) e mercúrio reativo (HgR) nas amostras de água superficial coletadas nos 20 pontos amostrados na 2ª campanha de campo.

Ponto	Tipo	HgT (ng L ⁻¹)	HgORG (ng L ⁻¹)	HgR (ng L ⁻¹)
P1-MAM	Calha	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P1.2-BENI	Calha	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P2-MAD 1 – A	Calha	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P2-MAD 1 – B	Calha	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P2-MAD 1 – C	Calha	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P4-ARA	Tributário	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P5-ABU	Calha	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P6-MAD 2 – A	Calha	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P6-MAD 2 – B	Calha	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P6-MAD 2 – C	Calha	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P7-SIZ	Tributário	6,73	0,32	0,88
P8-SIM	Tributário	28,69	1,47	3,61
P9-MAD 3 – A	Calha	32,01	1,15	2,23
P9-MAD 3 – B	Calha	37,35	1,80	2,64
P9-MAD 3 – C	Calha	16,16	0,72	1,16
P10-CAS	Tributário	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P11-MTP 1	Tributário	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P12-COT	Tributário	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P13-MUT 1	Lago	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P14-MAD 4 – A	Calha	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P14-MAD 4 – B	Calha	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P14-MAD 4 – C	Calha	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P15-LOU	Tributário	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P16-CAI	Tributário	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P17-JIR	Tributário	< 1,02	< 0,3	< 0,3
P18-MAD 5 – A	Calha	10,97	0,47	1,44
P18-MAD 5 – B	Calha	11,02	0,34	0,79
P18-MAD 5 – C	Calha	34,91	1,23	2,52
P19-MAD 6 – A	Calha	23,32	0,91	1,70
P19-MAD6 – B	Calha	18,18	0,73	1,31
P19-MAD 6 – C	Calha	25,65	1,24	1,85
P20-MTP 2	Tributário	< 1,02	< 0,3	< 0,3

Estudos em transecto: A-margem direita do rio, B-centro do rio e C-margem esquerda do rio.

O acompanhamento das concentrações de mercúrio na bacia hidrográfica do rio Madeira é um assunto que tem atraído as atenções de muitos pesquisadores nos últimos anos (Martinelli *et al.*, 1988; Pfeiffer & Lacerda, 1989; Malm, 1997, Malm, 1998) devido à atividade garimpeira de ouro na região durante as décadas de 70 e 80. Bourgoin *et al.* (2000) mostraram que as concentrações de mercúrio total variaram nas águas ao longo da bacia do rio Madeira de 2,24 a 2,57 ng L⁻¹ na região das águas glaciais do rio Zongo (“nascente” do Madeira), para 7,0 ng L⁻¹ no trecho até Porto Velho e 9,49-10,86 ng L⁻¹ até a confluência com o rio Amazonas. Lechler *et al.* (2000) estudaram as concentrações de mercúrio em solo, sedimento, água superficial e peixe ao longo de 900 km do rio Madeira, de Porto Velho até a confluência com o rio Amazonas, sendo observados nas amostras de água valores de mercúrio total na faixa de 4 a 16 ng L⁻¹.

Os teores de mercúrio total nas amostras de água superficial na calha do rio Madeira apresentaram valores maiores que 1,02 ng L⁻¹ nos pontos P9-MAD 3 (28,51 ± 11 ng L⁻¹), P18-MAD 5 (18,97 ± 14 ng L⁻¹) e P19-MAD 6 (22,38 ± 4 ng L⁻¹), enquanto que nos tributários apenas nos igarapés Simãozinho (P7-SIZ) e São Simão (P8-SIM) foram encontrados valores maiores que 1,02 ng L⁻¹ (6,73 ng L⁻¹ e 28,69 ng L⁻¹, respectivamente). Os baixos valores de mercúrio total nas amostras de água estão associados ao período de enchente e conseqüentemente aos efeitos de diluição.

Conforme pode ser evidenciado na **Figura 24**, referente à distribuição de mercúrio total nas amostras de água superficial, esta região, apesar dos efeitos da sazonalidade, apresenta valores de mercúrio na faixa observada no período de seca (7,19 a 22,23 ng L⁻¹), indicando forte contribuição de mercúrio para a drenagem do rio Madeira.

A Resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre as classificações dos corpos de água e as diretrizes ambientais para seu enquadramento, preconiza para sistema de águas doces Classe II o padrão máximo de mercúrio total de 200 ng L⁻¹. A Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, por sua vez, que estabelece os procedimentos e as responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, preconiza o valor máximo permitido de mercúrio total de 1.000 ng L⁻¹. Desta forma, todas as amostras analisadas estão abaixo do valor determinado pela legislação brasileira para os corpos de água e consumo humano.

MONITORAMENTO HIDROGEOQUÍMICO DO MERCÚRIO TOTAL NA MATRIZ ÁGUA

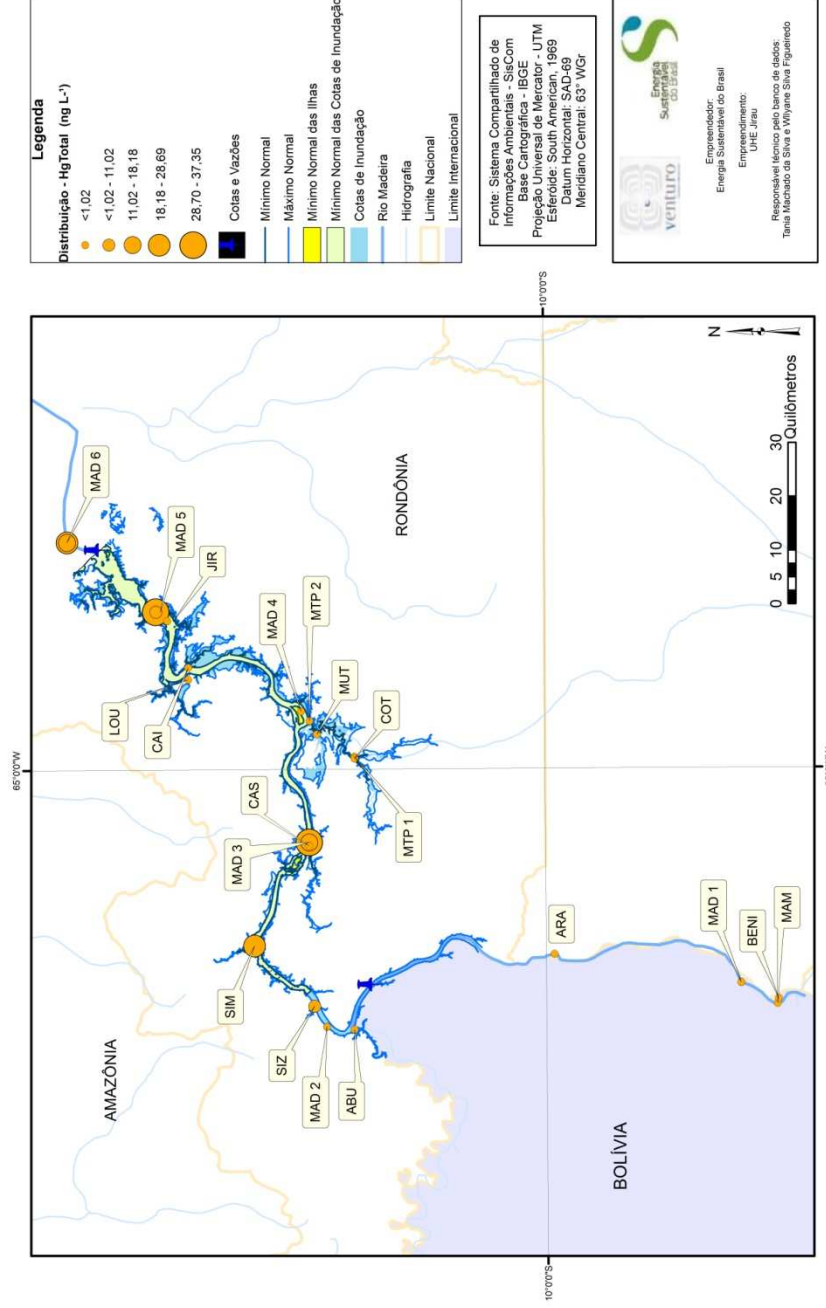


Figura 24. Distribuição dos níveis de mercúrio total nas amostras de água coletadas no rio Madeira e seus tributários

O metilmercúrio (MeHg) é a espécie mais tóxica do mercúrio e o interesse em seu estudo deve-se principalmente à capacidade do mesmo ser bioacumulado através da adsorção em corpos superficiais, na ingestão de alimentos, principalmente de peixes, bem como sua entrada antrópica no ambiente, em até um milhão de vezes ao longo da cadeia alimentar aquática.

A fração de mercúrio orgânico (HgORG) representa todo o estoque de espécies orgânicas presentes na água, sendo o metilmercúrio a espécie predominante. Os teores de mercúrio orgânico nas amostras de água superficial na calha do rio Madeira apresentaram valores maiores que $0,3 \text{ ng L}^{-1}$ nos pontos P9-MAD 3 ($1,23 \pm 0,5 \text{ ng L}^{-1}$), P18-MAD 5 ($0,68 \pm 0,5 \text{ ng L}^{-1}$) e P19-MAD 6 ($0,96 \pm 0,3 \text{ ng L}^{-1}$), enquanto que nos tributários apenas nos igarapés Simãozinho (P7-SIZ) ($0,32 \text{ ng L}^{-1}$) e São Simão (P8-SIM) ($1,47 \text{ ng L}^{-1}$). Os baixos valores de mercúrio orgânico nas amostras de água estão associados ao período de enchente e conseqüentemente aos efeitos de diluição e aos elevados valores de sólidos em suspensão, sendo o valor médio dos pontos amostrados ao longo da calha do rio Madeira (820 mg L^{-1}), conforme pode ser evidenciado nos **Figura 25**.

Nas águas, os valores de metilmercúrio raramente ultrapassam 10% do estoque de mercúrio total, sendo a concentração de mercúrio orgânico na superfície da água dependente do balanço entre as reações de metilação e desmetilação, as quais têm apresentado dependência espacial e temporal (Bisinoti *et al.*, 2004). Geralmente a metilação é favorecida com a presença de matéria orgânica e desfavorecida com o aumento da concentração de material particulado inorgânico (Bisinoti *et al.*, 2004, 2007). Os teores de mercúrio orgânico nas amostras de água superficial coletadas na calha do rio Madeira e nos tributários foram de $< 0,3$ a $1,47 \text{ ng L}^{-1}$, sendo os resultados coerentes com a literatura científica para os níveis de metilmercúrio em água superficial na região Amazônica (Bisinoti *et al.*, 2004; Fadini *et al.*, 2001; Sioli, 1985).

Os teores de mercúrio reativo nas amostras de água superficial na calha do rio Madeira apresentaram valores maiores que $0,3 \text{ ng L}^{-1}$ nos pontos P9-MAD 3 ($2,01 \pm 0,8 \text{ ng L}^{-1}$), P18-MAD 5 ($1,58 \pm 0,9 \text{ ng L}^{-1}$) e P16-MAD 6 ($1,62 \pm 0,3 \text{ ng L}^{-1}$), enquanto que nos tributários apenas nos igarapés Simãozinho (P7-SIZ) ($0,88 \text{ ng L}^{-1}$) e São Simão (P8-SIM) ($3,61 \text{ ng L}^{-1}$), conforme pode ser evidenciado nos **Figura 26**. Os níveis de mercúrio reativo foram aproximadamente de 4,5 a 13 % do estoque total de mercúrio em água superficial, estando coerentes com os resultados observado por Bisinoti *et al* (2007) em amostras de água branca na bacia do rio Negro.

MONITORAMENTO HIDROGEOQUÍMICO DO MERCÚRIO ORGÂNICO NA MATRIZ ÁGUA

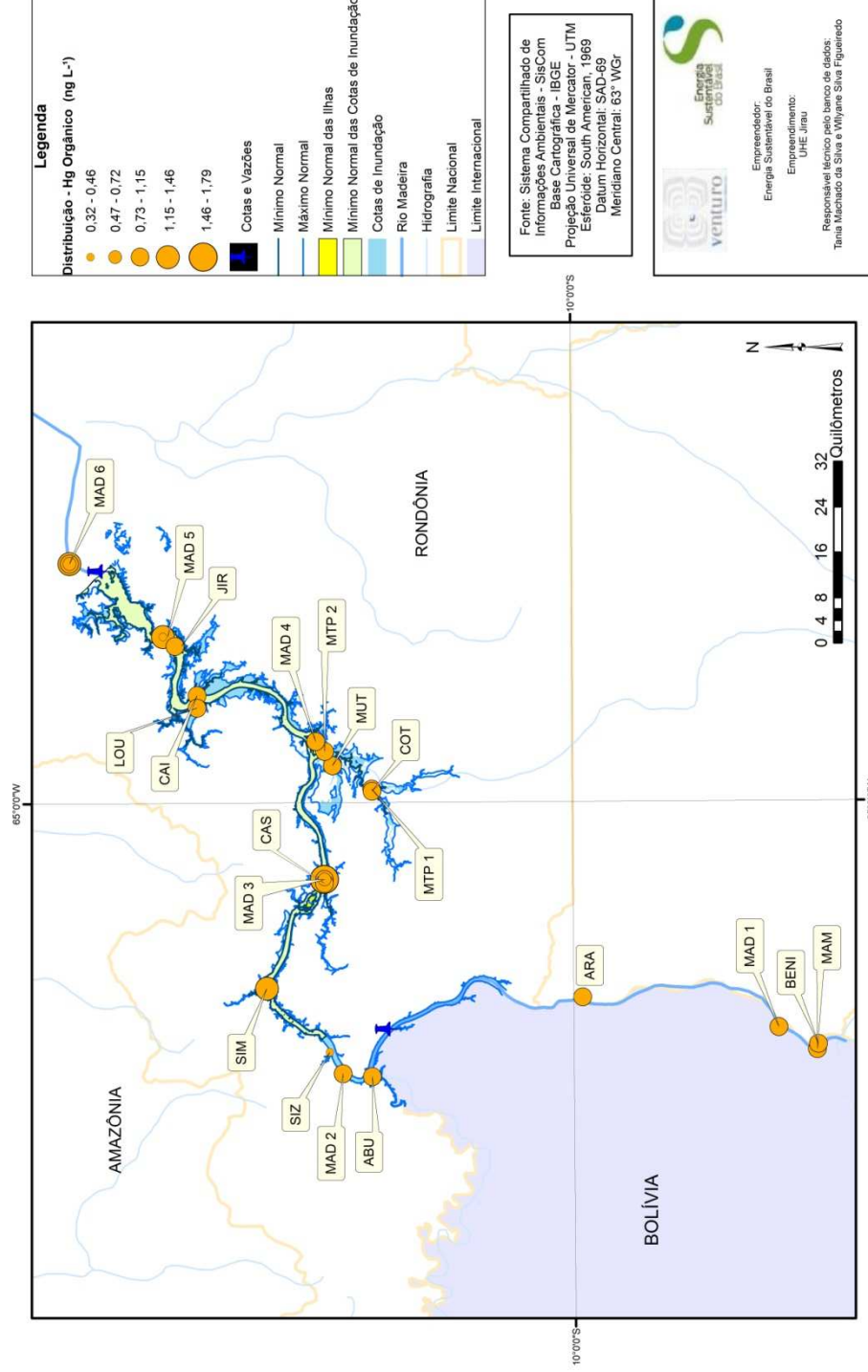


Figura 25. Distribuição dos níveis de mercúrio orgânico nas amostras de água coletadas no rio Madeira e seus tributários

MONITORAMENTO HIDROGEOQUÍMICO DO MERCÚRIO REATIVO NA MATRIZ ÁGUA

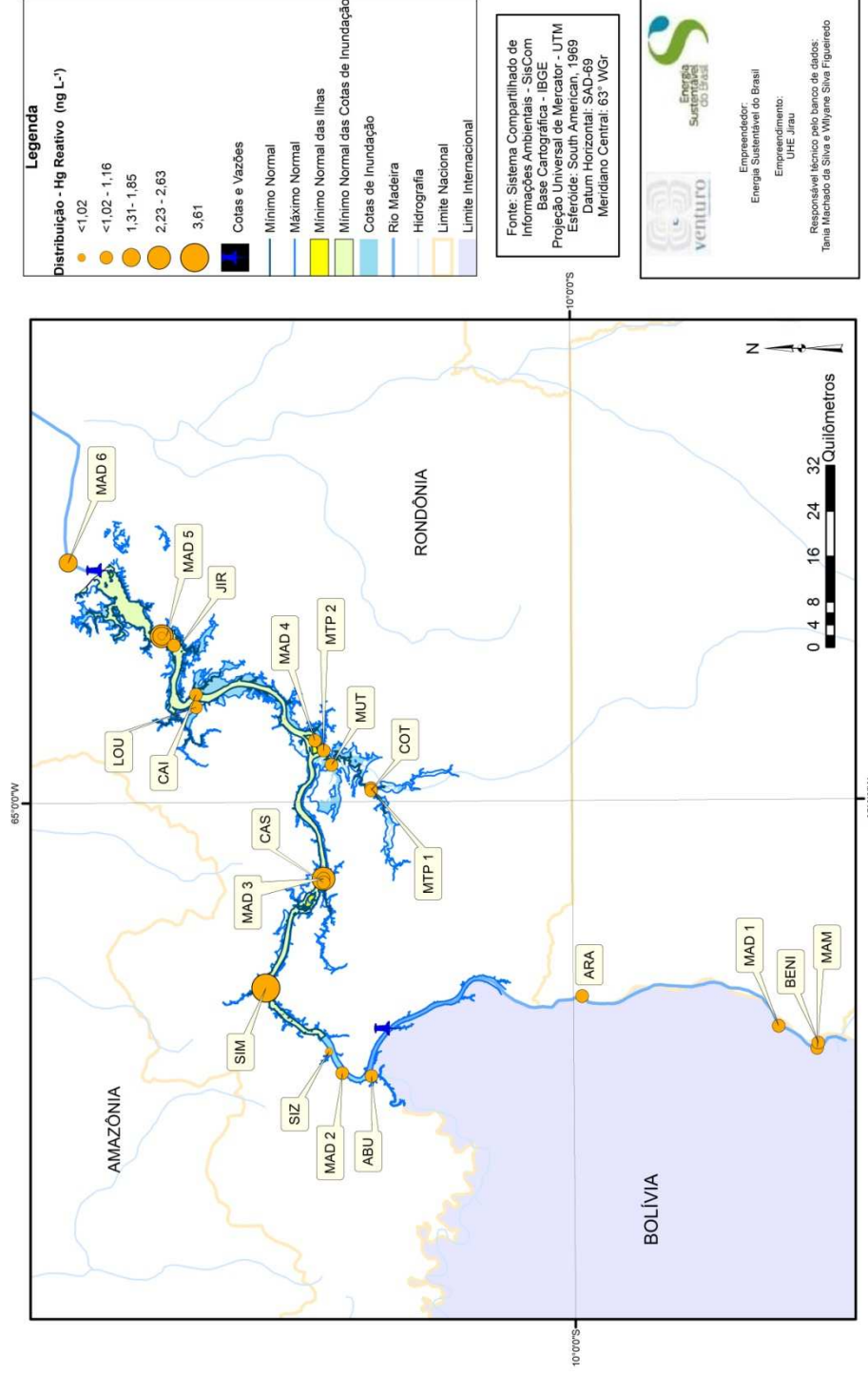


Figura 26. Distribuição dos níveis de mercúrio reativo nas amostras de água coletadas no rio Madeira e seus tributários

Concentrações das espécies de mercúrio em solo

O padrão monomodal de descarga dos rios amazônicos ou pulso de inundação, combinado com a topografia plana de grande parte da bacia (planície amazônica), inunda e drena anualmente grandes áreas adjacentes aos rios, que correspondem às planícies de inundação. As variações do nível hidrológico determinam o pulso sazonal de inundação, que, por sua vez, promove um ciclo de carreamento de sedimentos e nutrientes pelo canal do rio. Os teores de mercúrio total (HgT) nas amostras de solo coletadas na bacia do rio Madeira estão apresentados na **Tabela 4**.

Tabela 4. Resultados dos teores de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no perfil de solo (cm) em horizontes coletados na bacia do rio Madeira na 2ª campanha de campo.

Ponto	5 cm	20 cm	40 cm	60 cm	100 cm	Valor Médio
P1	146 – O	100 – A1	48,2 – A2	27,7 – A3	32,2 – B	70,82 ± 50,91
P2	114 – O	77,9 – A1	32,5 – A2	24,7 – A3	12,4 – B	52,3 ± 42,45
P3	39,6 – O	32,1 – A1	24,5 – A2	39,7 – A3	17,0 – B	30,58 ± 9,85
P4	27,7 – O	12,1 – A1	9,42 – A3	10,9 – A3	8,89 – B	13,80 ± 7,87
P5	24,5 – O	12,4 – A1	9,44 – A3	9,04 – A3	10,2 – B	13,20 ± 6,43
P6	34,7 – O	14,3 – A1	12,7 – A3	11,89 – A3	7,73 – B	16,26 ± 10,59
P7	42,3 – O	39,7 – A1	32,1 – A2	10,4 – A3	8,32 – B	26,56 ± 16,16
P8	19,6 – O	8,77 – A1	6,89 – A2	< 1,02 – A3	< 1,02 – B	11,75 ± 6,86
P9	16,9 – O	9,44 – A1	10,1 – A3	8,4 – A3	8,1 – B	10,59 ± 3,62
P10	32,1 – O	24,6 – A1	18,88 – A3	19,45 – A3	17,5 – B	22,51 ± 6,00
P11	22,8 – O	19,38 – A1	17,88 – A2	10,89 – A3	< 1,02 – B	17,74 ± 5,01
P12	24,5 – O	23,5 – A1	18,9 – A3	19,5 – A3	17,7 – B	20,82 ± 3,00
P13	203 – O	123 – A1	199 – A2	134 – A3	77,1 – B	147,22 ± 53,55
P14	53,2 – O	48,5 – A1	46,2 – A3	33,1 – A3	38,1 – B	43,82 ± 8,11

Horizontes: O, A1, A2, A3 e B, de acordo com a classificação proposta em Rocha *et. al* (2004).

Os estudos do solo tem como função básica o conhecimento de sua composição química, possibilitando estimar as consequências do alagamento na qualidade futura da água do reservatório, das possíveis emissões para a atmosfera, do impacto no aquífero quanto aos níveis de mercúrio. O estudo em perfil de 1 m são suficiente para avaliar estes possíveis efeitos, em especial quanto à qualidade de água do reservatório a ser formado, sendo que nesta profundidade encontramos apenas os horizontes mencionados nos pontos de coleta de solo. A **Figura 27** mostra a distribuição dos valores médios de mercúrio nos perfis de solo coletados nas áreas dos pulso de inundação do rio Madeira, sendo evidenciado os maiores valores na região do alto rio Madeira.

MONITORAMENTO GEOQUÍMICO DO MERCÚRIO TOTAL NA MATRIZ SOLO

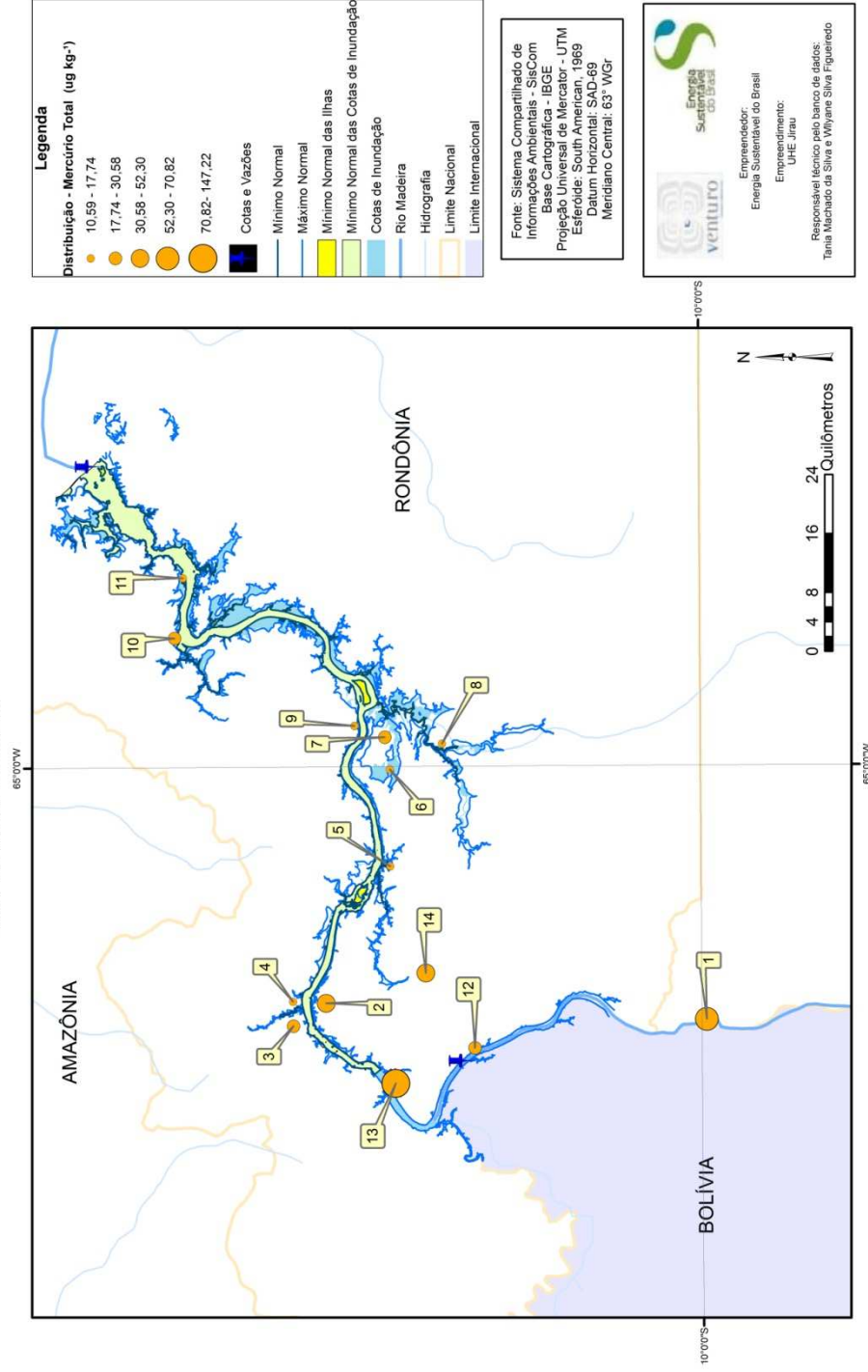


Figura 27. Distribuição dos níveis de mercúrio total nas amostras de solo da bacia do rio Madeira e seus tributários

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) dispõe sobre os valores orientadores para solos no Estado de São Paulo, sendo definido como valor de prevenção a concentração de mercúrio de $500 \mu\text{g kg}^{-1}$, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea. Este valor indica a qualidade de um solo capaz de sustentar as suas funções primárias, protegendo os receptores ecológicos e a qualidade das águas subterrâneas. O valor de intervenção, por sua vez, indica a concentração de determinada substância no solo acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana considerada um cenário de exposição genérico. Para o solo, foi calculado utilizando-se procedimento de avaliação de risco à saúde humana para cenários de exposição de mercúrio em área agrícola de $12.000 \mu\text{g kg}^{-1}$, área residencial de $36.000 \mu\text{g kg}^{-1}$ e área industrial de $70.000 \mu\text{g kg}^{-1}$. A região Amazônica apresenta elevados níveis naturais de mercúrio distribuídos nos compartimentos ambientais, entretanto todas as amostras de solo coletadas nas áreas dos pulso de inundação do rio Madeira e tributários apresentaram valores no mínimo 3,5 vezes menores do que o valor de prevenção preconizado pela CETESB.

O estado de Rondônia está inserido no domínio do embasamento cratônico antigo pertencente à Província do Tapajós, Sub-Província do Madeira, que localmente recebe a denominação de Complexo Jamari. A geologia da região é caracterizada pelo embasamento originário dos complexos gnáissicos, granitóides e supracrustais associados, por sua vez retrabalhados por rochas intrusivas, com destaque para as graníticas, e encoberta por seqüências sedimentares, com ou sem vulcânicas associadas que datam do Proterozóico Médio e Superior (RONDÔNIA, 2002). Os estudos geológicos da 2ª Aproximação do Zoneamento Ecológico de Rondônia apresentam as informações geológicas detalhadas da bacia do rio Madeira. Com base nesses estudos e na caracterização ambiental realizada durante a 2ª campanha de campo do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico foi elaborado o mapa com as principais unidades geológicas que ocorrem na área de influência direta e indireta do aproveitamento hidrelétrico UHA Jirau (**Figura 28**). Destas, as mais representativas e importantes são:

Qpt (Terraços Fluviais Pleistocênicos) – em paleocanais e relíquias de planícies aluviais (sistemas de megafans, pedimentos e wash-out), no topo de colinas (ou outros altos topográficos), compostos de material pobremente selecionado, compreendendo fragmentos de laterita, areia e argila depositados acima do nível médio dos cursos d'água atuais;

Qpa (Sedimentos Fluviais em Canais Pleistocênicos) - freqüentemente abandonados na superfície ou em paleocanais soterrados. Possuem materiais detríticos mal selecionados, compostos por areia, silte e argila, com níveis conglomeráticos;

Qha (Depósitos Aluvionares em Canais Fluviais e Planícies de Inundação dos Sistemas de Drenagens Atuais) – apresenta materiais detríticos mal selecionados, compostos de sedimentos arenosos, siltosos e argilosos, com horizontes conglomeráticos. Geralmente misturados com materiais coluvionares do Holoceno;

TQi (Coberturas Quaternárias-neogênicas Indiferenciadas) - associada com leques e canais fluviais, planícies de inundação e depósitos de lagos. Constituída de sedimentos de tamanho variado, desde laterita a argila, com lateritização significativa. As rochas geralmente têm uma idade Neogênica (Plioceno-Mioceno), podendo incorporar materiais do Quaternário;

PMPja (Supergrupo Gnaiss-Migmatito Jarú) - constituído por ortognaisses de origem granítica, granodiorítica, tonalítica, charnoquítica, enderbítica e charno-enderbítica. Os gnaisses incluem biotita-gnaisses, kinzigitos, rochas calcissilicatadas, anfibolitos, granulitos máficos e migmatitos anatexíticos. Retrabalhados no Proterozóico Médio;

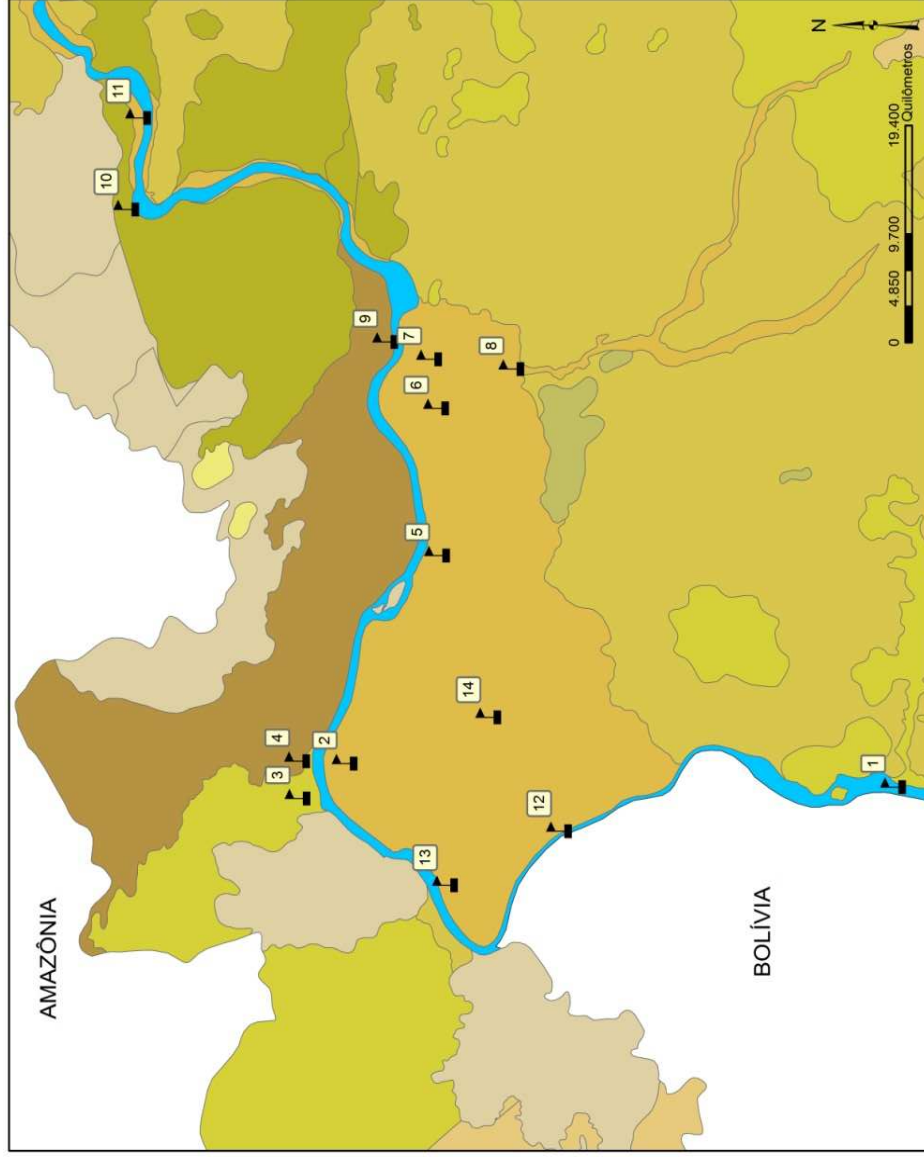
NPps (Grupo Palmeiral - São Lourenço) - composto por ortoquartzitos esbranquiçados, arenitos arcósianos de estratificação cruzada, arcósio e conglomerados;

MPmr (Grupo Meta-Vulcano-Sedimentar Mutum-Paraná-Roosevelt) – constituída por uma seqüência dobrada, porém essencialmente não-metamórfica a epimetamórfica, composta de arenito, argilito, chert, arenito hematítico, ardósia, filito, quartzito (micáceo), formação ferrífera, metatufo, gabro e diabásio;

MPyrg (Granitos Rapakivi Jovens de Rondônia) – formado por plutões de granitos sensu stricto: quartz-sienito, sienogranito, biotita-sienito, biotita-alcalifeldspato-granito e, subordinadamente, monzogranito e alcalifeldspato-granito. As primeiras variedades de rapakivi compreendem piterlito, viborgito e, em escala menor, faialita-ferrohastinsita-sienito e ferrohastinsita-biotita-quartzo-sienito;

MPteg (Suíte Intrusiva Teotônio) - é constituída de quartzo-alcalifeldspato-granito e faialita-clinopiroxênio-quartzo-alcalifeldspato-sienito, cortados por meladorito simplutônico.

MAPA GEOLÓGICO



Legenda

- ▲ Pontos de Coleta
- Laténcias laminares no Topo de Perfis Preservados
- Supergupo Grajae Mjymatto Jiru
- Grupo Palmeral - Sítio Lourengo
- Grupo (Meta) Vulcano-Sedimentar Mutupampaná-Roosevelt
- Granitos Rapakivi Jovens de Rondônia
- Granitos Jovens de Rondônia
- Supergupo Grajae Mjymatto Jiru
- Depósitos Aluvionares em Canais Fluviéis
- Cobertura Sedimentar Indiferenciada
- Rio Madeira

Localização

Fonte: Sistema Compartilhado de Informações Ambientais - SisCom Base Cartográfica - IBGE
 Projeção Universal de Mercator - UTM
 Esteróide: South American - 1969
 Datum Horizontal: SAD-69
 Meridiano Central: 63° WGr

Empreendedor:
Energia Sustentável do Brasil
 Empreendimento:
UHE Jirau

Responsável técnico pelo banco de dados:
Tania Machado da Silva e Willyane Silva Figueiredo

Figura 28. Mapa geológico da bacia do rio Madeira e seus tributários

Os solos da bacia do rio Madeira apresentam um elevado nível de complexidade, característico da região Amazônica, entretanto suas características físicas e químicas médias são relativamente satisfatórias. No geral, boa parte do território do estado de Rondônia está coberta por solos de relevo plano, drenados e derivados de materiais relativamente ricos em minerais. Todavia, não são desconsideradas possíveis zonas com solos quimicamente muito pobres, mal drenados, relevo abrupto e arenosos, os quais devem permanecer com sua cobertura vegetal original. Com base nos estudos da 2ª Aproximação do Zoneamento Ecológico de Rondônia e na caracterização ambiental realizada durante a 2ª campanha de campo do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico foi elaborado o mapa com os principais grupos de solo que ocorrem na área de influência direta e indireta do aproveitamento hidrelétrico UHA Jirau (**Figura 29**). Destes, as mais representativos e importantes são:

Areias Quartzosas ou Neossolos Quatzarenicos: grupo de solos que não apresenta horizonte diagnóstico, sendo originários de arenitos ricos em quartzo ou em aluviões ou colúvios transportados. Em geral, os solos apresentam características restritivas tanto físicas quanto químicas: baixa capacidade de retenção de umidade e fertilidade natural muito deficiente. A capacidade de troca catiônica é baixa, apresentando freqüentemente, reação bastante ácida. Essa unidade ocupa um pouco mais de 5% da superfície do Estado de Rondônia.

Cambissolos Eutróficos: grupo de solos caracterizado pela presença de horizonte “câmbico”, o qual contém uma boa proporção de minerais intemperizáveis, pouco a moderadamente profundos e ocorrência nas encostas das colinas. Este grupo de solo desenvolveram a partir de rochas ácidas possuindo em geral baixa fertilidade e reação ácida. Em função do seu relevo e características físicas são muito suscetíveis à erosão quando desprovidos de cobertura vegetal. Aproximadamente 10% dos solos do estado de Rondônia são cambissolos, dos quais os 40% apresentam caráter eutrófico.

Latossolos: grupo de solos com horizonte B ôxido e/ou kândico, sendo geralmente bastante intemperizados apresentando como principais minerais derivados da argila, caolinita, gipisita, minerais amorfos e sesquióxidos de ferro e alumínio. Em razão da forte lixiviação sua capacidade de troca catiônica é baixa, assim como a quantidade de cálcio, magnésio, potássio e sódio adsorvidos. Em geral, solos ricos em sesquióxidos de ferro e alumínio tendem a

desenvolver níveis importantes de troca aniônica, refletindo o processo químico natural de reversão da degradação desses solos através da lixiviação. Aproximadamente 46 % dos solos do estado de Rondônia são caracterizados de latossolos.

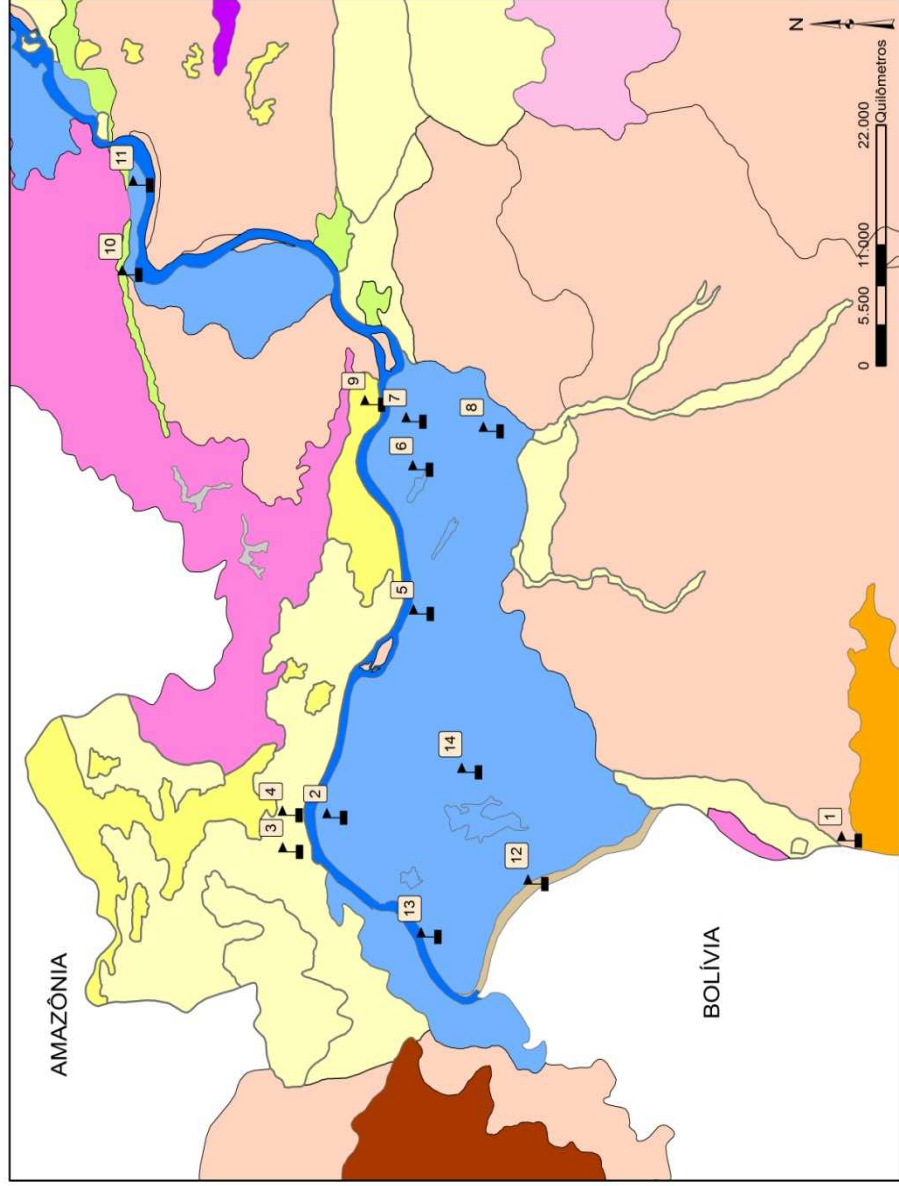
No Brasil existem seis grupos de latossolos conforme o sistema brasileiro, sendo que na área de influência direta e indireta do aproveitamento hidrelétrico de Jirau (**Figura 29**) são reconhecidos o latossolos Amarelo distrófico, Vermelho-Amarelo e Vermelho escuro distrófico.

Latossolos Amarelos: grupo de solo caracterizado pelos altos conteúdos de caolinita e hidróxidos de alumínio. A sua drenagem é, em geral, menos eficiente do que aquela que caracteriza os latossolos vermelhos, apresentando condições de oxigenação deficientes. Do ponto-de-vista da fertilidade, são pobres, bastante ácidos e geralmente distróficos e álicos. Aproximadamente 16,5 % dos solos do estado de Rondônia são caracterizados de latossolos Amarelos.

Latossolos Vermelho-Amarelos: grupo de solos geralmente pobres, ácidos, álicos e distróficos, embora seja possível encontrar áreas com solos de melhores características. Aproximadamente 13,6 % dos solos do estado de Rondônia são caracterizados de latossolos Vermelho-Amarelos.

Gleissolos distróficos: grupo de solos de ocorrência em regiões com excesso de água temporária e permanente, característico de drenagem precária com déficit acentuado de oxigênio. Este fato normalmente restringe o crescimento vegetal apesar de existirem espécies adaptadas tais como arroz, juta, algumas palmeiras, pastagem e forrageiras. Outro fato associado é o excesso de hidróxido de ferro, consequência do estado de quase permanente redução, dificultando o crescimento de espécies tolerantes à inundação. Em Rondônia, muitos desses solos se desenvolveram a partir de depósitos aluviais ao longo dos rios. Além da restrição decorrente do excesso de umidade, apresentam baixa fertilidade, pH baixo e altos níveis de saturação de alumínio. Aproximadamente 10 % dos solos do estado de Rondônia são caracterizados de gleissolos distróficos.

MAPA PEDOLÓGICO



Legenda

Pontos de Cadeia

- AD - Solos Aluviais Distróficos
- CD - Cambissolos Distróficos
- CE - Cambissolos Eutróficos
- EE - Regossolos Eutróficos
- GD - Solos Glei Distróficos
- GE - Solos Glei Eutróficos
- ID - Solos Coqueceniários Distróficos
- IUD - Latossolos Amarelos Distróficos
- LLD - Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos
- LVD - Latossolos Vermelho-Escuros Distróficos
- PAD - Podzólios Amarelos Distróficos
- PVD - Podzólios Vermelho-Amarelos Distróficos
- O - Arenas Quartzosas
- RD - Solos Litólicos Distróficos
- Rio Madeira

Localização

Fonte: Sistema Compartilhado de Informações Ambientais - SisCom Base Cartográfica - IBGE
 Projeção Universal de Mercator - UTM
 Esterótipo: South American, 1969
 Datum Horizontal: SAD-69
 Meridiano Central: 63° WGr

Empreendedor:
 Energia Sustentável do Brasil
 Empreendimento:
 UHE Jirau

Responsável técnico pelo banco de dados:
 Tania Machado da Silva e Wilyane Silva Figueiredo

Figura 29. Mapa pedológico da bacia do rio Madeira e seus tributários

Os principais grupos de solo que ocorrem na área de influência direta e indireta do aproveitamento hidrelétrico UHA Jirau estão apresentados no **Quadro 3**.

Quadro 3. - Pontos de amostragem de solo com sua descrição e classificação pedológica.

Pontos	Descrição	Pedologia
P1	Margem direita do rio Madeira próximo ao igarapé Araras	Latossolo Vermelho Escuro Distrófico
P2	Margem direita do rio Madeira	Gleissolo Distróficos
P3	Margem direita do igarapé Simãozinho	Latossolo Amarelo Distrófico
P4	Margem esquerda do igarapé Simãozinho	Latossolo Amarelo Distrófico
P5	Margem direita do rio Madeira, próximo ao ponto MAD 3	Gleissolo Distróficos
P6	Margem direita do rio Madeira, próximo a área alagada do Bolsão do Mutum	Gleissolo Distróficos
P7	Área alagada do Bolsão do Mutum	Gleissolo Distróficos
P8	Margem direita do rio Mutum	Gleissolo Distróficos
P9	Margem esquerda do rio Madeira, próximo ao ponto MAD 4	Areias Quartzosas ou Neossolos Quatzarenicos
P10	Margem esquerda do rio Madeira, próximo ao igarapé São Lourenço	Gleissolo Distróficos
P11	Margem direita do rio Madeira, próximo ao igarapé Jirau	Latossolo Vermelho-Amarelo
P12	Margem direita do rio Madeira, antes da confluência com o rio Abunã	Cambissolos Eutróficos
P13	Margem direita do rio Madeira, próximo ao ponto MAD 2	Gleissolo Distróficos
P14	Ponto de coleta fora das áreas de influência da UHE Jirau	Gleissolo Distróficos

Os resultados dos teores de matéria orgânica e análises granulométricas dos solos coletados na área de influência direta e indireta do aproveitamento hidrelétrico UHA Jirau estão apresentados na **Tabelas 5**.

Tabela 5. Resultados dos teores de matéria orgânica (% m/m) e das análises granulométricas (% m/m) do solo nos pontos amostrados na bacia do rio Madeira na 2ª campanha de campo.

Ponto	Matéria Orgânica	Areia	Silte	Argila
P1	8,89	67,77	25,19	4,85
P2	6,83	76,75	17,94	6,64
P3	4,45	79,38	16,16	4,58
P4	4,87	77,34	19,84	6,24
P5	7,19	79,39	17,48	6,80
P6	3,89	76,11	21,29	4,02
P7	7,41	64,83	26,26	5,42
P8	7,05	71,86	19,40	4,59
P9	3,81	95,17	11,13	3,28
P10	4,57	78,42	14,04	5,42
P11	5,63	79,49	17,38	4,99
P12	6,81	77,71	14,10	7,59
P13	7,06	77,44	21,36	4,03
P14	5,45	78,14	19,38	5,99

A distribuição dos elementos traço no solo e sedimento está relacionada com o conteúdo de carbono orgânico, argila, ferro, fósforo, potencial redox e enxofre, dentre outros. Os agentes orgânicos complexantes solúveis em água, tais como humatos e fulvatos, podem quelar as espécies solúveis e insolúveis na água; os últimos precipitam-se diretamente da solução para o sedimento.

As análises granulométricas dos solos coletados nas áreas dos pulso de inundação do rio Madeira apresentaram valores médios de $77,13 \pm 6,86$ % (m/m) de areia, $18,64 \pm 4,17$ % (m/m) de silte e $5,32 \pm 1,22$ % (m/m) de argila, enquanto que os valores médios de matéria orgânica foram de $5,99 \pm 1,54$ % (m/m), sendo característico de solo da região Amazônica.

Os solos possuem uma elevada capacidade de reter e armazenar elementos traço, devido ao forte acoplamento deste com o carbono presente. Os solos argilosos apresentam aparentemente uma elevada capacidade de reter elementos traço, podendo acumulá-los por muitos anos (Rocha *et. al.*, 2000 e 2003). Os maiores níveis de mercúrio total foram encontrados na camada superior do solo, com maior teor de matéria orgânica.

Os níveis de mercúrio total nos perfis de solo coletados nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira devem ser analisados com cuidado, uma vez que a integridade do perfil nem sempre é garantida, ou seja, o fato de se obter fatias do solo a partir da interface com a

atmosfera, parte do pressuposto que não houve perturbação na forma de depósito nestes segmentos de solo. Os resultados evidenciam uma tendência de diminuição da concentração em função da profundidade de coleta conforme mostram as **Figuras 30 a 34**, evidenciando o aporte mais recente deste metal seja por via atmosférica ou por via hídrica.

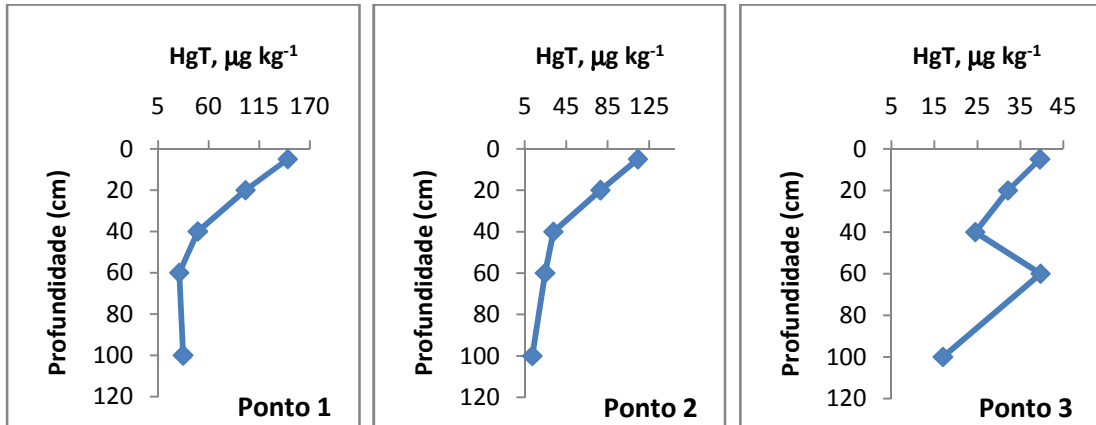


Figura 30. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do solo

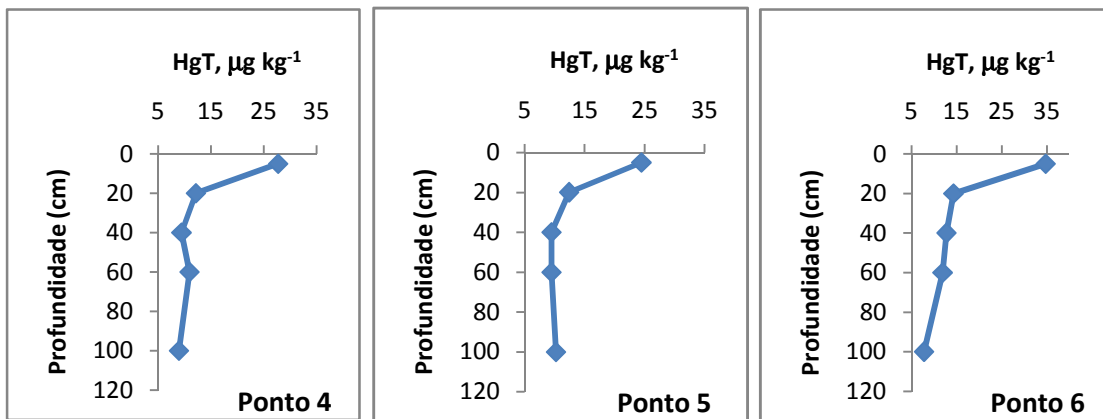


Figura 31. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do solo

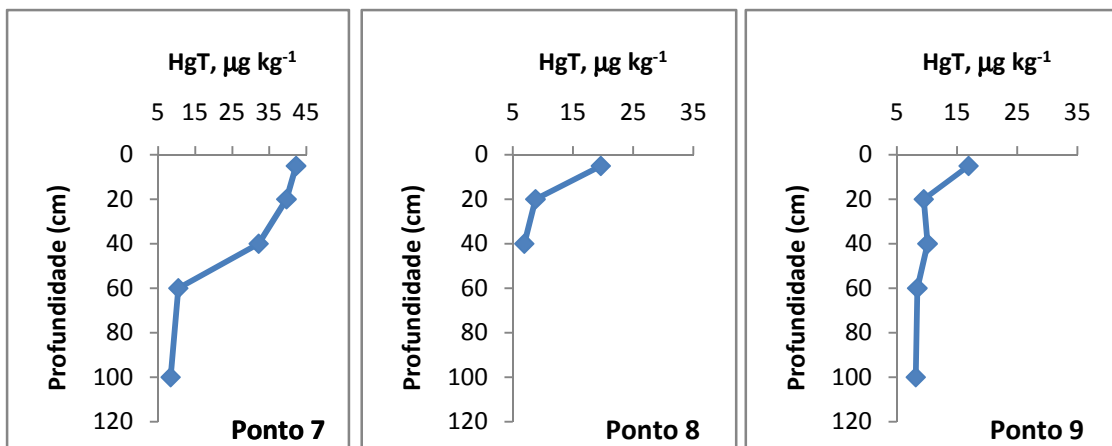


Figura 32. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do solo

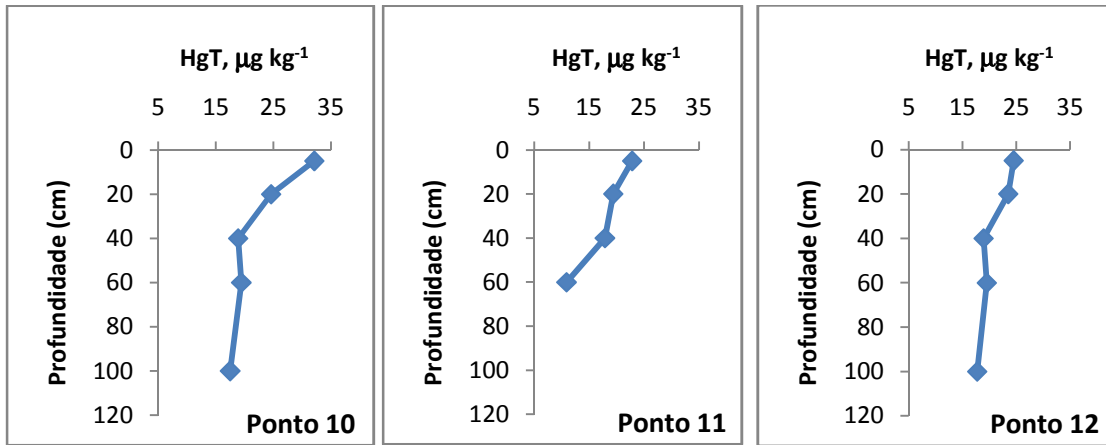


Figura 33. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do solo

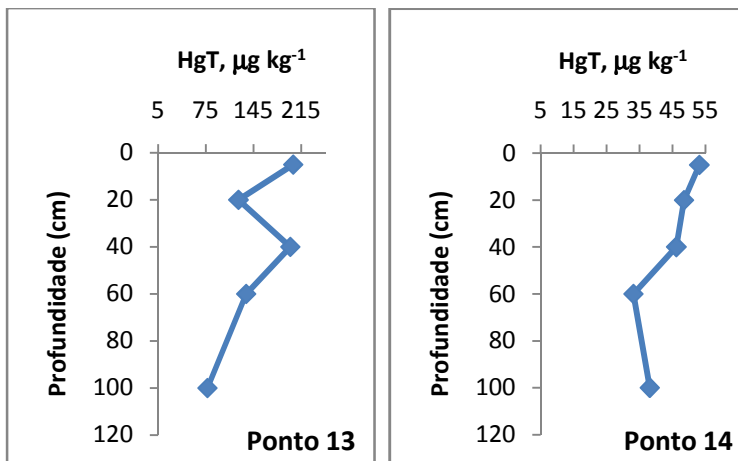


Figura 34. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do solo

Concentrações das espécies de mercúrio em sedimento

A distribuição do mercúrio nos sedimentos está relacionada ao conteúdo de carbono orgânico, argila, ferro, fósforo, potencial redox e enxofre, dentre outros. Os teores de mercúrio total nos perfis de sedimento coletados na bacia do rio Madeira estão apresentados na **Tabela 6**.

Tabela 6. Resultados dos teores de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) nos perfis de sedimento coletados no rio Madeira e tributários na 2ª campanha de campo

Ponto	Tipo	5 cm	10 cm	20 cm	40 cm
P1-MAM	Calha	42,1	36,8	28,2	30,1
P1.2-BENI	Calha	74,7	72,9	58,2	37,1
P2-MAD 1	Calha	40,1	32,8	30,3	24,6
P4-ARA	Tributário	77,2	68,4	49,4	38,7
P5-ABU	Calha	30,6	44,8	43,9	34,0
P6-MAD 2	Calha	51,1	68,1	75,2	72,0
P7-SIZ	Tributário	40,8	50,2	30,3	25,2
P8-SIM	Tributário	90,6	72,5	60,4	38,3
P9-MAD 3	Calha	40,6	56,7	50,3	40,2
P10-CAS	Tributário	89,8	81,7	45,2	34,7
P11-MTP 1	Tributário	69,8	104,0	95,7	50,3
P12-COT	Tributário	91,2	83,7	55,8	37,2
P20-MTP 2	Tributário	104,0	82,2	65,8	70,7
P13-MUT 1	Lago	265,0	139,6	100,4	68,7
P14-MAD 4	Calha	66,2	42,8	55,9	33,8
P15-LOU	Tributário	138,2	68,2	42,8	37,1
P16-CAI	Tributário	91,1	83,7	50,6	42,3
P17-JIR	Tributário	99,6	88,4	37,4	27,1
P18-MAD 5	Calha	108,2	104,0	82,7	94,1
P19-MAD 6	Calha	66,2	40,3	33,5	42,9
P20-MTP 2	Tributário	104,0	82,2	65,8	70,7

Os teores de mercúrio total nas amostras de sedimento coletadas na calha do rio Madeira ficaram entre 32,0 a 97,3 $\mu\text{g kg}^{-1}$, sendo valor médio de $56,4 \pm 22,9 \mu\text{g kg}^{-1}$, nos tributários na faixa de 36,6 a 80,7 $\mu\text{g kg}^{-1}$, sendo valor médio de $62,8 \pm 14,3 \mu\text{g kg}^{-1}$, e no bolsão lateral do rio Mutum Paraná o valor encontrado foi de 143,4 $\mu\text{g kg}^{-1}$. A **Figura 35** apresenta a distribuição dos níveis de mercúrio total no sedimento, estando os mesmos dentro dos níveis relatados pela literatura para a região Amazônica apresentados na **Tabela 7**.

MONITORAMENTO HIDROGEOQUÍMICO DO MERCÚRIO TOTAL NA MATRIZ SEDIMENTO

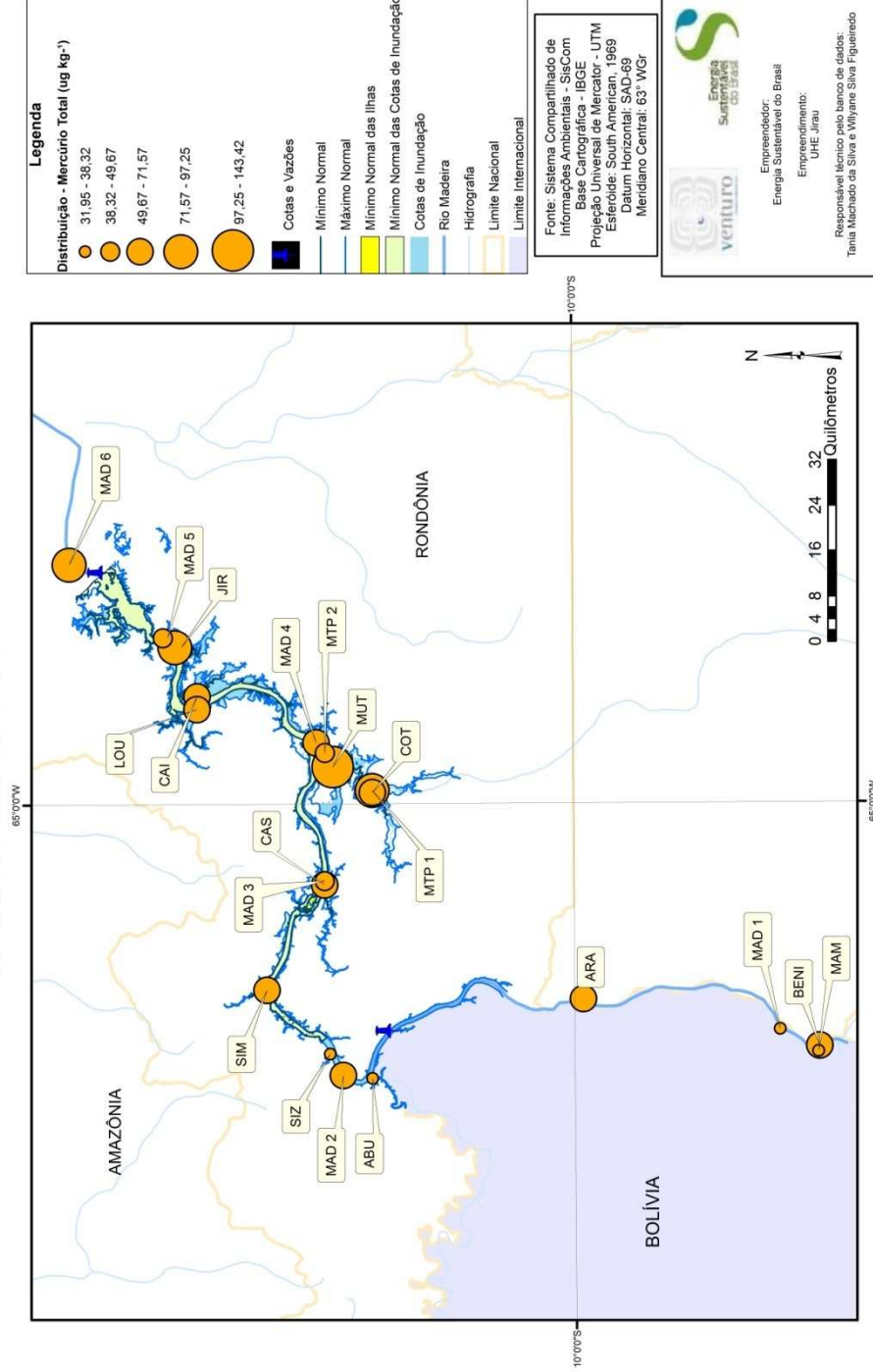


Figura 35. Distribuição dos níveis de mercúrio total nas amostras de sedimento da bacia do rio Madeira e seus tributários

Tabela 7. Faixa de concentração de mercúrio total em sedimento na região Amazônica.

Localização	HgT $\mu\text{g kg}^{-1}$	Referência
Rio Negro – Amazônia	70-270	Bisinoti <i>et al.</i> , 2007
Rio Madeira – Rondônia	30 – 350	Malm <i>et al.</i> , 1990
Rio Madeira – Rondônia	20-530	Sousa <i>et al.</i> , 1999
Rio Madeira – Rondônia	30-120	Bastos <i>et al.</i> , 2006
Rio Mutum Paraná – Rondônia	210-19.800	Pfeiffer <i>et al.</i> , 1989

Os níveis de mercúrio total nos perfis de sedimento coletados na calha do rio Madeira e tributários tiveram tendência em diminuir com a profundidade de coleta conforme mostra as **Figuras de 36 a 42**, seguindo a mesma tendência observada para o solo, ou seja, de aportes mais recentes. Novamente é importante citar que sem a datação destes sedimentos, uma análise mais pormenorizada fica prejudicada.

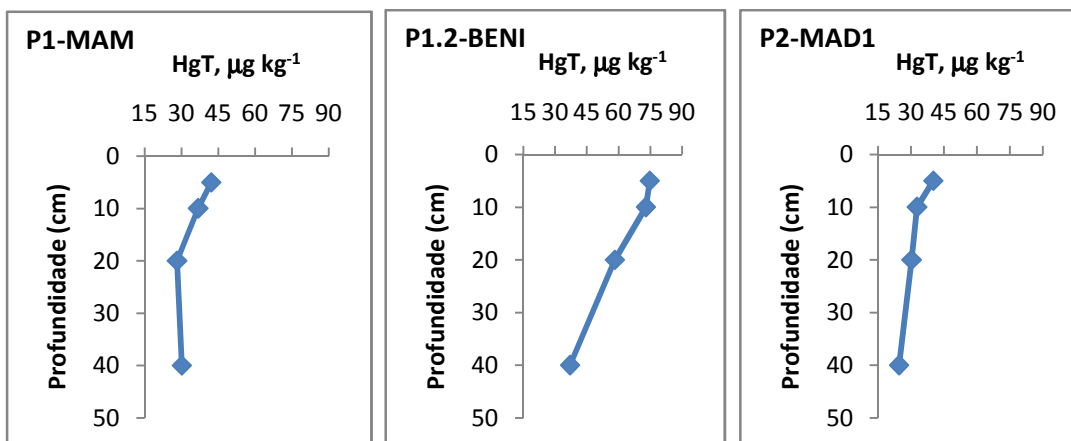


Figura 36. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do sedimento.

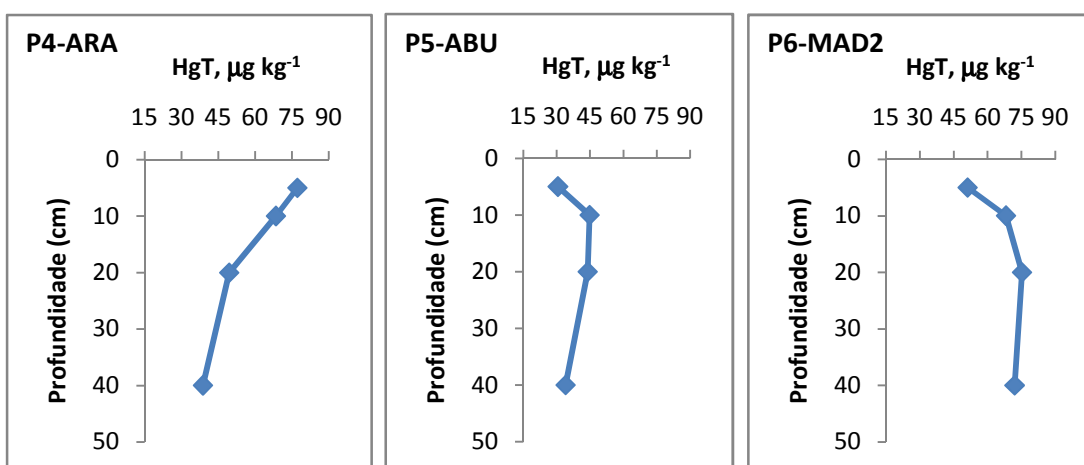


Figura 37. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do sedimento.

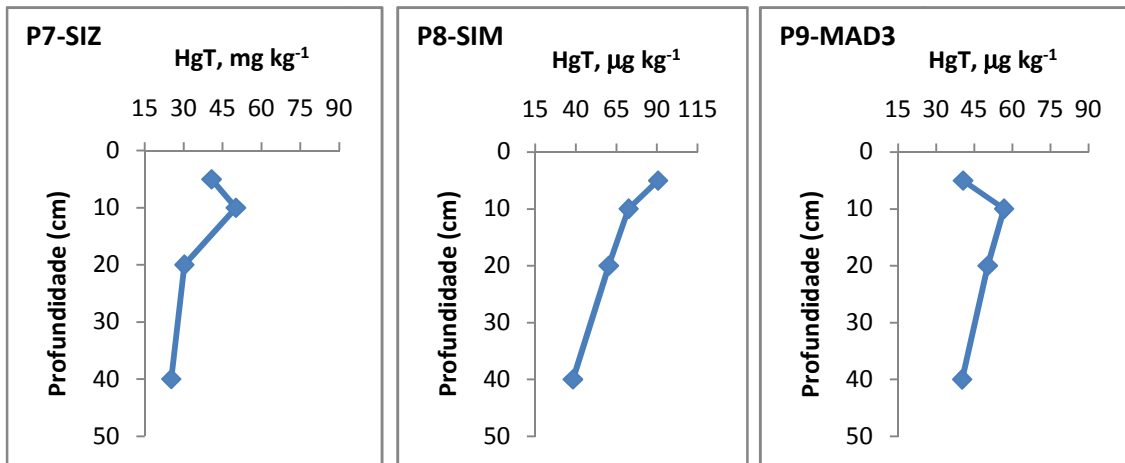


Figura 38. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do sedimento.

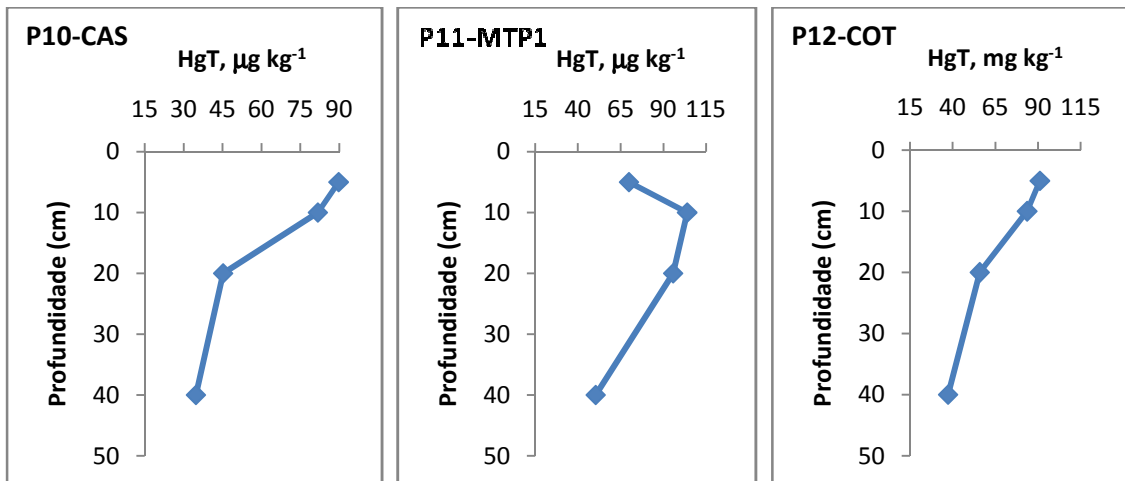


Figura 39. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do sedimento.

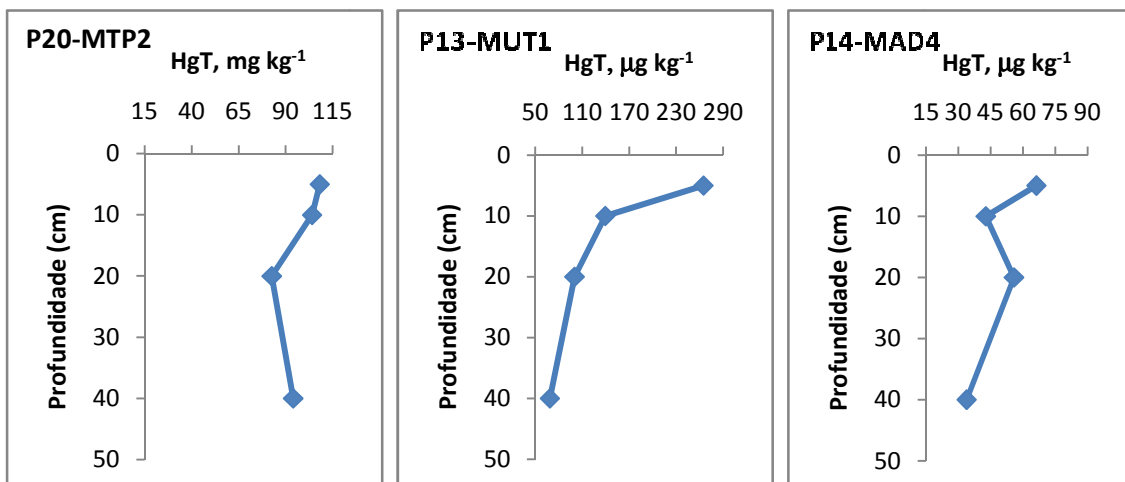


Figura 40. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do sedimento.

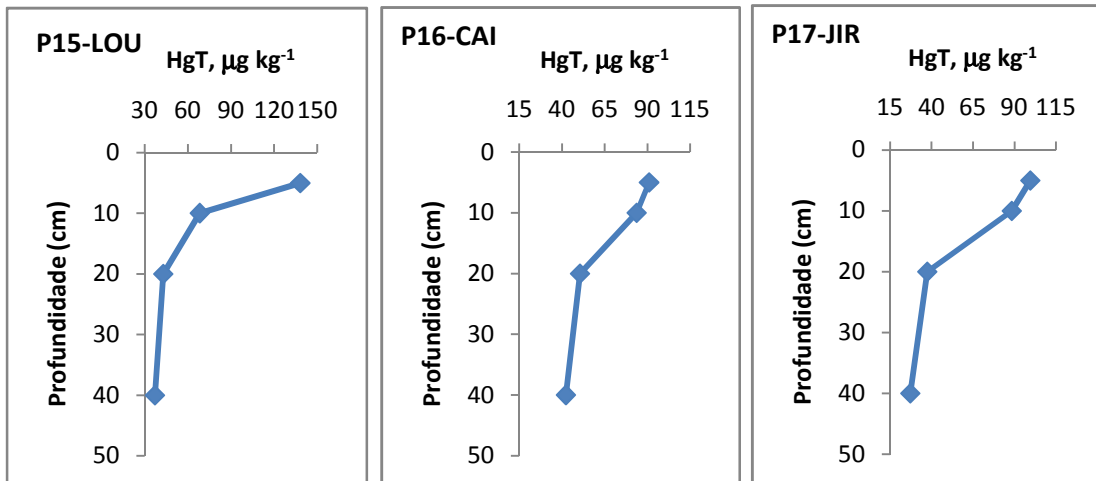


Figura 41. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do sedimento

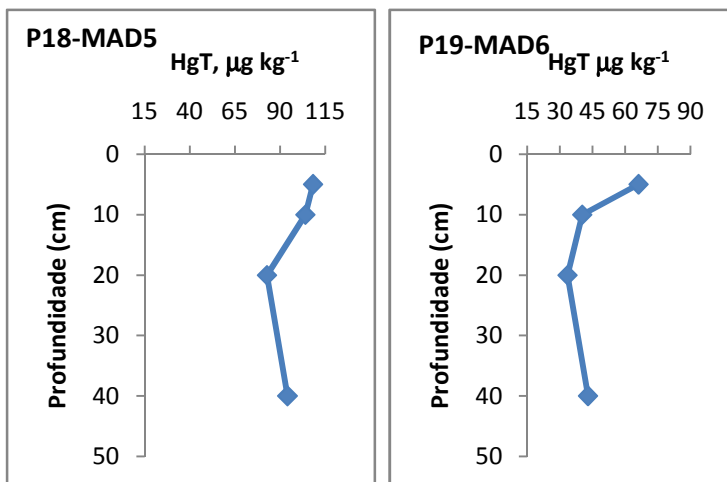


Figura 42. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do sedimento.

Os agentes orgânicos complexantes solúveis em água, tais como humatos e fulvatos, podem quelar as espécies solúveis e insolúveis na água. Essas últimas precipitam-se diretamente da solução para o sedimento. O pH ácido favorece a absorção do mercúrio pelo húmus. No entanto, em pH básico, o mercúrio tem maior afinidade pela fração mineral, desfavorecendo a formação do metilmercúrio (Park *et al.*, 19998, Stein *et al.*, 1996, Wassemn *et al.*, 2002).

Os valores apresentados na **Tabela 02** indicam que o valor médio do pH foi de 7,07 na calha do rio Madeira e 5,75 nos tributários, sendo concordante com os valores de águas fracamente ácidas observadas na bacia do rio Madeira (LACERDA *et al.*, 2008).

Ainda são poucos os trabalhos referentes ao processo de organificação de mercúrio em sedimentos e águas provenientes de regiões tropicais, bem como a avaliação abiótica para

poder inferir sobre a dinâmica do metilmercúrio no ambiente. Os teores de metilmercúrio nos perfis de sedimento coletados na bacia do rio Madeira estão apresentados na **Tabela 8**.

Tabela 8. Resultados dos teores de metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) nos perfis de sedimento coletados no rio Madeira e tributários na 2ª campanha de campo.

Ponto	Tipo	5 cm	10 cm	20 cm	40 cm
P1-MAM	Calha	0,0801	0,0662	0,0482	0,0399
P1.2-BENI	Calha	0,2120	0,1913	0,1232	0,1001
P2-MAD 1	Calha	0,2353	0,1789	0,1451	0,1016
P4-ARA	Tributário	0,3736	0,3109	0,2145	0,1571
P5-ABU	Calha	0,1441	0,1482	0,1306	0,1284
P6-MAD 2	Calha	0,2893	0,2683	0,2738	0,2272
P7-SIZ	Tributário	0,1896	0,2441	0,1408	0,1325
P8-SIM	Tributário	0,4005	0,3085	0,2626	0,1682
P9-MAD 3	Calha	0,2471	0,2384	0,2071	0,1820
P10-CAS	Tributário	0,4831	0,4468	0,2382	0,2006
P11-MTP 1	Tributário	0,3092	0,4339	0,4130	0,2256
P12-COT	Tributário	0,5273	0,4647	0,3065	0,2115
P13-MUT 1	Lago	1,1898	0,8321	0,5665	0,3506
P14-MAD 4	Calha	0,3152	0,2138	0,2672	0,1710
P15-LOU	Tributário	0,6095	0,3058	0,1757	0,1709
P16-CAI	Tributário	0,3998	0,3726	0,2277	0,1993
P17-JIR	Tributário	0,5484	0,4945	0,2234	0,1538
P18-MAD 5	Calha	0,4758	0,4447	0,3526	0,4015
P19-MAD 6	Calha	0,3027	0,2078	0,1828	0,1653
P20-MTP 2	Tributário	0,5006	0,4046	0,3258	0,3407

As amostras de sedimento coletadas na calha do rio Madeira apresentaram valores médios de metilmercúrio de $0,2539 \pm 0,0928 \mu\text{g kg}^{-1}$, sendo no rio Mamoré de $0,0586 \pm 0,0181 \mu\text{g kg}^{-1}$ e rio Beni de $0,1567 \pm 0,0535 \mu\text{g kg}^{-1}$, seguido pelos pontos P2-MAD 1 ($0,1652 \pm 0,0564 \mu\text{g kg}^{-1}$), P9-MAD 3 ($0,2647 \pm 0,0265 \mu\text{g kg}^{-1}$), P14-MAD 4 ($0,2187 \pm 0,0299 \mu\text{g kg}^{-1}$), P18-MAD 5 ($0,2418 \pm 0,0628 \mu\text{g kg}^{-1}$) e P19-MAD 6 ($0,4187 \pm 0,0535 \mu\text{g kg}^{-1}$). A **Figura 43** mostra uma tendência no aumento dos níveis de mercúrio ao longo do rio Madeira e diminuição com a profundidade.

As amostras de sedimento coletadas nos tributários do rio Madeira apresentaram valores médios de metilmercúrio de $0,2808 \pm 0,1293 \mu\text{g Kg}^{-1}$, enquanto que no bolsão lateral do rio Mutum o valor encontrado de metilmercúrio foi de $0,7348 \pm 0,3617 \mu\text{g Kg}^{-1}$, também sendo observada na **Figura 44** a diminuição dos níveis de metilmercúrio com a profundidade. Os

resultados indicam uma porcentagem média de organificação de mercúrio no sedimento de 0,41 a 0,50% na calha do rio Madeira, 0,44 a 0,57% nos tributários e 53% na área alagada do rio Mutum Paraná, estando dentro dos níveis relatados pela literatura para a região Amazônica, a qual indica que a fração de metilmercúrio varia de 0,1 a 1,5% do estoque de mercúrio total no sedimento (Steffan *et al.*, 2003, Bisinoti *et al.*, 2004).

Um aspecto importante referente ao ciclo do mercúrio na bacia do rio Madeira diz respeito ao passivo ambiental legado pela corrida do ouro e o uso indiscriminado de mercúrio metálico pelos garimpeiros. Por ser um péssimo substrato para a metilação, o mercúrio metálico precisa ser oxidado no corpo hídrico, processo esse que não é favorecido no sedimento de fundo devido à escassez de oxigênio dissolvido.

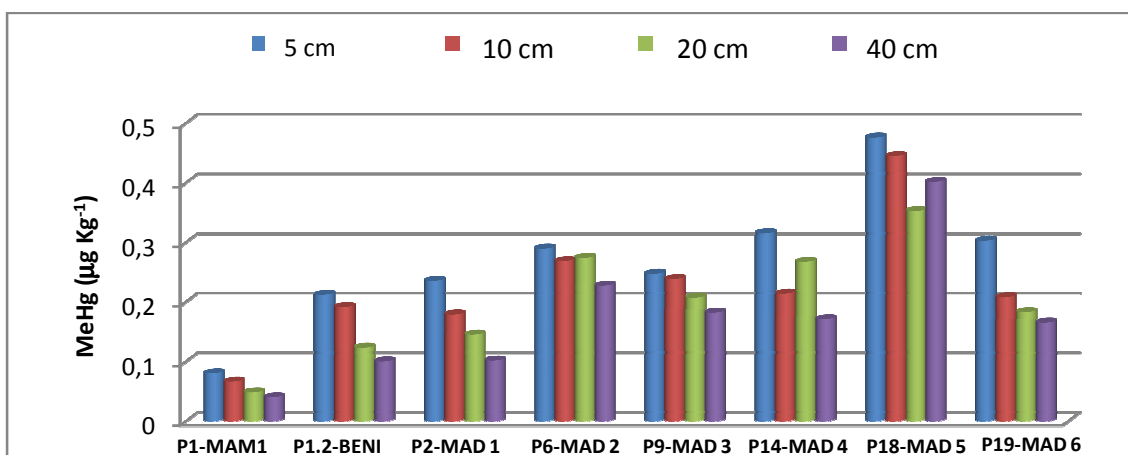


Figura 43. Distribuição dos níveis de metilmercúrio em função da profundidade dos sedimentos coletos nos rios Mamoré, Beni e Madeira.

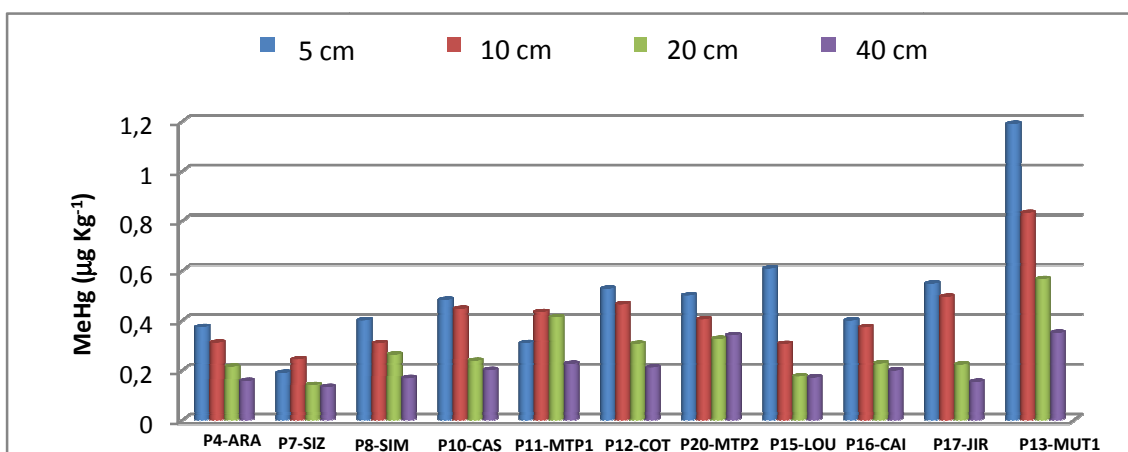


Figura 44. Curvas de distribuição dos níveis de metilmercúrio em função da profundidade dos sedimentos coletados nos tributários do rio Madeira e na área alagada do rio Mutum Paraná.

Concentração de mercúrio no material particulado suspenso

A **Tabela 09** apresenta valores de mercúrio total no material particulado suspenso coletado na bacia do rio Madeira durante a 2ª campanha de campo.

Tabela 09. Resultados dos teores de mercúrio total (HgT) no material particulado suspenso nos 20 pontos amostrados na bacia do rio Madeira e tributários na 2ª campanha de campo.

Ponto	Tipo	HgT ($\mu\text{g kg}^{-1}$)
P1-MAM	Calha	12,38
P1.2-BENI	Calha	< 1,02
P2-MAD 1 – A	Calha	10,78
P2-MAD 1 – B	Calha	25,2
P2-MAD 1 – C	Calha	18,8
P4-ARA	Tributário	65,5
P5-ABU	Calha	< 1,02
P6-MAD 2 – A	Calha	37,9
P6-MAD 2 – B	Calha	17,4
P6-MAD 2 – C	Calha	22,1
P7-SIZ	Tributário	10,7
P8-SIM	Tributário	32,6
P9-MAD 3 – A	Calha	61,2
P9-MAD 3 – B	Calha	45,2
P9-MAD 3 – C	Calha	78,8
P10-CAS	Tributário	< 1,02
P11-MTP 1	Tributário	< 1,02
P12-COT	Tributário	< 1,02
P13-MUT 1	Lago	< 1,02
P14-MAD 4 – A	Calha	13,4
P14-MAD 4 – B	Calha	18,7
P14-MAD 4 – C	Calha	25,1
P15-LOU	Tributário	< 1,02
P16-CAI	Tributário	< 1,02
P17-JIR	Tributário	46,3
P18-MAD 5 – A	Calha	43,3
P18-MAD 5 – B	Calha	38,8
P18-MAD 5 – C	Calha	57,2
P19-MAD 6 – A	Calha	54,3
P19-MAD6 – B	Calha	19,8
P19-MAD 6 – C	Calha	49,8
P20-MTP 2	Tributário	< 1,02

Estudos em transecto: A-margem direita do rio, B-centro do rio e C-margem esquerda do rio.

O monitoramento de mercúrio no material particulado suspenso contribui para a compreensão do transporte de mercúrio e da influência, em especial, das áreas de maiores atividades antrópicas e áreas de garimpagem de ouro, pois estas áreas constituem fontes potenciais de mercúrio adsorvido as partículas orgânicas e inorgânicas transportadas pelo rio Madeira. Os teores de mercúrio total nas amostras de material particulado suspenso coletadas evidenciaram uma tendência de aumento ao longo do rio Madeira, sendo no rio Mamoré de $12,38 \mu\text{g kg}^{-1}$ e no rio Beni menor que $1,02 \mu\text{g kg}^{-1}$, seguido dos pontos P2-MAD 1 de $18,26 \pm 7,23 \mu\text{g kg}^{-1}$, P6-MAD 2 de $25,80 \pm 10,74 \mu\text{g kg}^{-1}$, P9-MAD 3 de $61,73 \pm 16,81 \mu\text{g kg}^{-1}$, P14-MAD 4 de $19,07 \pm 5,86 \mu\text{g kg}^{-1}$, P18-MAD 5 de $46,43 \pm 9,59 \mu\text{g kg}^{-1}$ e P19-MAD 6 de $41,30 \pm 18,75 \mu\text{g kg}^{-1}$, conforme mostra a **Figura 45**. Este comportamento está coerente com os valores observados de mercúrio total nos sedimentos, sendo no rio Mamoré de $34,30 \pm 6,38 \mu\text{g kg}^{-1}$ e no rio Beni $60,70 \pm 17,40 \mu\text{g kg}^{-1}$, seguido dos pontos P2-MAD 1 de $31,95 \pm 6,43 \mu\text{g kg}^{-1}$, P6-MAD 2 de $66,60 \pm 10,73 \mu\text{g kg}^{-1}$, P9-MAD 3 de $46,95 \pm 8,00 \mu\text{g kg}^{-1}$, P14-MAD 4 de $49,68 \pm 14,27 \mu\text{g kg}^{-1}$, P18-MAD 5 de $97,25 \pm 11,36 \mu\text{g kg}^{-1}$ e P19-MAD 6 de $45,73 \pm 14,21 \mu\text{g kg}^{-1}$.

Os teores de mercúrio total nas amostras de material particulado suspenso coletadas nos tributários do rio Madeira apenas apresentaram valores maiores que $1,02 \mu\text{g kg}^{-1}$ nos pontos P4-ARA ($65,5 \mu\text{g kg}^{-1}$), P7-SIZ ($10,7 \mu\text{g kg}^{-1}$), P8-SIM ($32,6 \mu\text{g kg}^{-1}$) e P17-JIR ($46,3 \mu\text{g kg}^{-1}$).

Os maiores teores de mercúrio total no solo das áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira foram observados em P1-MAM ($70,82 \pm 50,91 \mu\text{g kg}^{-1}$) e P13-MUT 1 ($147,22 \pm 53,55 \mu\text{g kg}^{-1}$), regiões estas próximas aos pontos de coleta de material particulado suspenso P4-ARA e P7-SIZ, contribuindo para o transporte de mercúrio para o rio Madeira. Entretanto os igarapés Araras (P4-ARA) e Simãozinho (P7-SIM) no período de enchente e cheia são utilizados para a manutenção de dragas (**Figura 46**), o que pode contribuir significativamente para o aumento dos níveis de mercúrio total no material particulado suspenso e no sedimento.



Figura 46. Manutenção de dragas nos igarapés Araras e Simãozinho. Foto 08/01/2010.

MONITORAMENTO HIDROGEOQUÍMICO DO MERCÚRIO TOTAL NA MATRIZ MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO

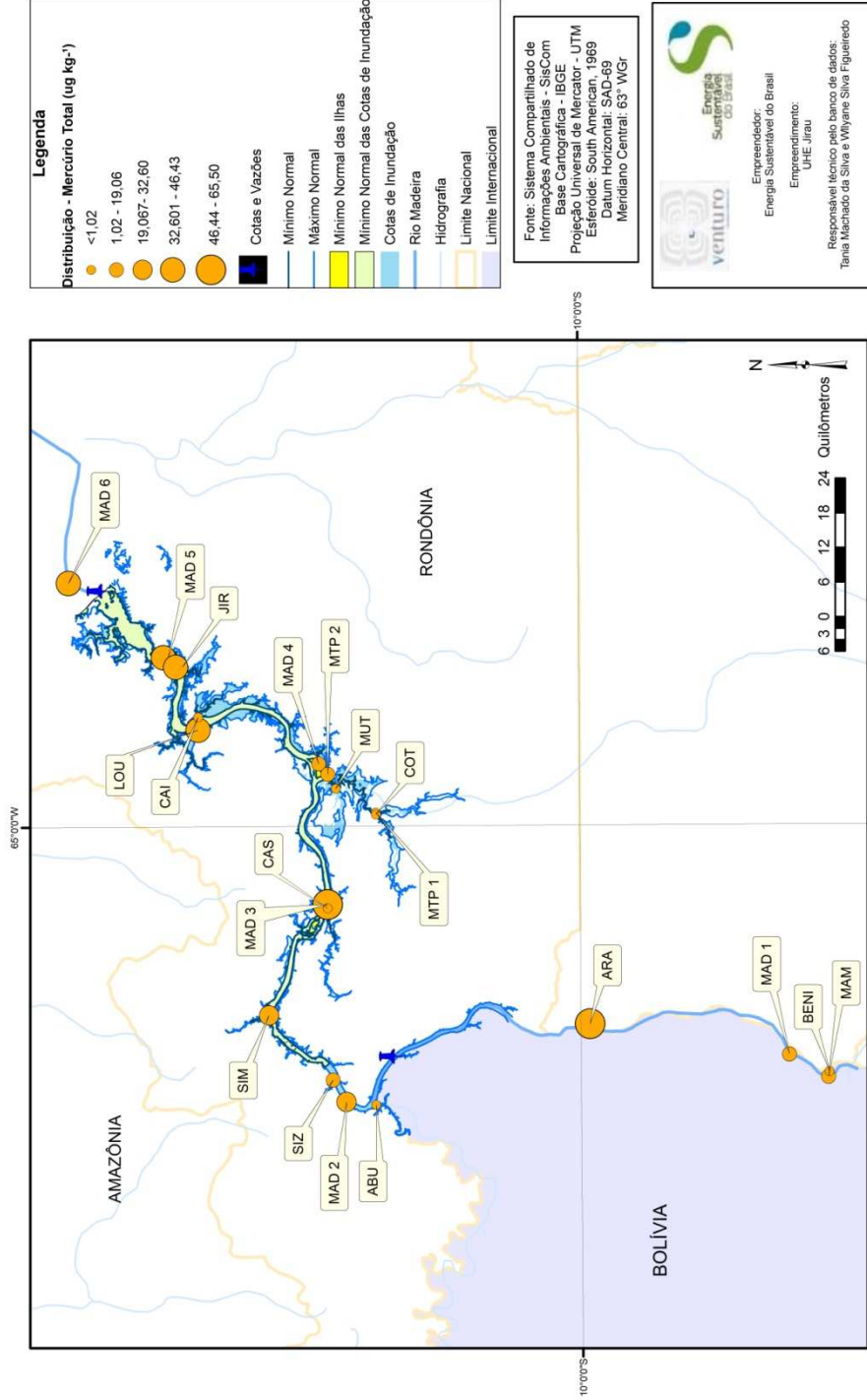


Figura 45. Distribuição dos níveis de mercúrio total nas amostras de material particulado suspenso da bacia do rio Madeira e seus tributários

Concentrações de mercúrio na comunidade planctônica e nos invertebrados aquáticos

O plâncton é o nível trófico na coluna d'água que apresenta a característica funcional de ser o primeiro elo na cadeia alimentar a incorporar diretamente da água o mercúrio biodisponível (Lacerda *et al.*, 2008). A fração orgânica de mercúrio pode ser absorvida por uma gama de organismos aquáticos, sendo capaz de bioacumular-se e biomagnificar-se ao longo dos níveis tróficos. Nascimento *et al.* (2007) relatam que o fitoplâncton pode incorporar mercúrio por processos passivos, enquanto o zooplâncton pode incorporar mercúrio por processos passivos e ativos, por meio da ingestão de fitoplâncton e material particulado em suspensão contendo mercúrio, sendo acumulado principalmente no exoesqueleto. A **Tabela 10** apresenta valores de mercúrio total e metilmercúrio nos plânctons e nos invertebrados coletados na bacia do rio Madeira.

Tabela 10. Resultados dos teores de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) no fitoplâncton, no zooplâncton e nos invertebrados coletados nos 20 pontos amostrados na bacia do rio Madeira e tributários na 2ª campanha de campo.

Ponto	Fitoplâncton ($\mu\text{g kg}^{-1}$)		Zooplâncton ($\mu\text{g kg}^{-1}$)		Invertebrado ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	
	HgT	MeHg	HgT	MeHg	HgT	MeHg
P1-MAM	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03
P1.2-BENI	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03
P2-MAD 1	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03
P4-ARA	273	7,43	984	19,88	372	22,39
P5-ABU	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03
P6-MAD 2	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03
P7-SIZ	139	4,06	540	13,07	287	21,30
P8-SIM	114	3,62	122	4,11	94	7,87
P9-MAD 3	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03
P10-CAS	65	4,27	108	6,67	142	28,64
P11-MTP 1	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03
P12-COT	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03
P13-MUT 1	287	18,02	162	10,97	186	42,36
P14-MAD 4	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03
P15-CAI	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03
P16-LOU	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03
P17-JIR	173	5,31	97	3,46	207	15,67
P18-MAD 5	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03
P19-MAD 6	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03
P20-MTP 2	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03	< 1,02	< 0,03

A importância do estudo do fitoplâncton e do zooplâncton em relação às concentrações de mercúrio está na verificação de possível alteração em seu metabolismo, devido à presença deste metal e sua posição trófica, transferindo este elemento para os níveis subsequentes (larvas de peixe, insetos, peixes planctívoros e outros).

Watras e colaboradores (1992) relatam que a carência de informações quanto ao comportamento do mercúrio em pequenos organismos está associada ao desafio da determinação da concentração de mercúrio e seus compostos em organismos de pequeno tamanho pertencentes à base da cadeia alimentar aquática.

Nascimento e colaboradores (2007) relatam a grande variação dos níveis de mercúrio total encontrados no plâncton do lago Puruzinho localizado a margem esquerda do rio Madeira nas coletas de fevereiro (337 $\mu\text{g kg}^{-1}$) e outubro de 2004 (34 $\mu\text{g kg}^{-1}$), estando esta variação associada em parte à composição da comunidade, uma vez que a amostra de fevereiro era dominada por zooplâncton (90% da amostra) e na de outubro o fitoplâncton era predominante (95% da amostra), evidenciando a grande influência da variabilidade na composição de grupo de organismos pertencentes ao fito e zooplâncton na concentração das espécies de mercúrio no plâncton.

Considerando a complexidade envolvida nas análises das espécies de mercúrio em pequenos organismos, a **Tabela 10** mostra os teores de mercúrio total nas amostras de fitoplâncton nos tributários do rio Madeira nos pontos P4-ARA de 273 $\mu\text{g kg}^{-1}$, P7-SIZ de 139 $\mu\text{g kg}^{-1}$, P8-SIM de 114 $\mu\text{g kg}^{-1}$, P10-CAS de 65 $\mu\text{g kg}^{-1}$ e P17-JIR de 173 $\mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que na área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) de 287 $\mu\text{g kg}^{-1}$. Nestes igarapés, foram determinados os valores de metilmercúrio nas amostras de fitoplâncton nos pontos P4-ARA de 7,43 $\mu\text{g kg}^{-1}$, P7-SIZ de 4,06 $\mu\text{g kg}^{-1}$, P8-SIM de 3,62 $\mu\text{g kg}^{-1}$, P10-CAS de 4,27 $\mu\text{g kg}^{-1}$ e P17-JIR de 5,31 $\mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que na área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) de 18,02 $\mu\text{g kg}^{-1}$. Portanto, a porcentagem média de mercúrio na forma de metilmercúrio no fitoplâncton foi de 2,97%, com exceção do igarapé Castanho (P10-CAS) e da área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) que apresentaram porcentagem média de 6,42%.

A **Tabela 10** mostra os teores de mercúrio total nas amostras de zooplâncton nos tributários do rio Madeira nos pontos P4-ARA de 984 $\mu\text{g kg}^{-1}$, P7-SIZ de 540 $\mu\text{g kg}^{-1}$, P8-SIM de 122 $\mu\text{g kg}^{-1}$, P10-CAS de 108 $\mu\text{g kg}^{-1}$ e P17-JIR de 97 $\mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que na área alagada do rio Mutum

Paraná (P13-MUT 1) de $162 \mu\text{g kg}^{-1}$. Neste igarapés, foram determinados os valores de metilmercúrio nas amostras de zooplâncton nos pontos P4-ARA de $19,88 \mu\text{g kg}^{-1}$, P7-SIZ de $13,07 \mu\text{g kg}^{-1}$, P8-SIM de $4,11 \mu\text{g kg}^{-1}$, P10-CAS de $6,67 \mu\text{g kg}^{-1}$ e P17-JIR de $3,46 \mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que na área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) de $10,97 \mu\text{g kg}^{-1}$. Portanto, a porcentagem média de mercúrio na forma de metilmercúrio no zooplâncton foi de 2,84%, com exceção do igarapé Castanho (P10-CAS) e da área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) que apresentaram porcentagem média de 6,47%.

Os teores de mercúrio total nas amostras de invertebrados nos tributários do rio Madeira apresentaram valores nos pontos P4-ARA de $372 \mu\text{g kg}^{-1}$, P7-SIZ de $287 \mu\text{g kg}^{-1}$, P8-SIM de $94 \mu\text{g kg}^{-1}$, P10-CAS de $142 \mu\text{g kg}^{-1}$ e P17-JIR de $207 \mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que na área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) de $186 \mu\text{g kg}^{-1}$. Os teores de metilmercúrio nas amostras de invertebrados nos tributários do rio Madeira apresentaram valores nos pontos P4-ARA de $22,39 \mu\text{g kg}^{-1}$, P7-SIZ de $21,30 \mu\text{g kg}^{-1}$, P8-SIM de $7,87 \mu\text{g kg}^{-1}$, P10-CAS de $28,64 \mu\text{g kg}^{-1}$ e P17-JIR de $15,67 \mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que na área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) de $42,36 \mu\text{g kg}^{-1}$. Portanto, a porcentagem média de mercúrio na forma de metilmercúrio nos invertebrados foi de 7,3%, com exceção do igarapé Castanho (P10-CAS) e da área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) que apresentaram porcentagem média de 21%.

Zizek *et al.* (2007) analisaram as concentrações de mercúrio total e metilmercúrio em amostras abióticas (água e sedimento) e bióticas (fitoplâncton e macroinvertebrados) no rio Idrijica – Solvenia, Yugoslavia. Os resultados mostraram que a elevada concentração de mercúrio na biota está fortemente correlacionada com os níveis de mercúrio total no sedimento e na água. A porcentagem de mercúrio na forma de metilmercúrio na biota aumenta com o nível trófico: água (0,1-0,8%), algas (0,5-1,3%), fitoplâncton (1,6-8,8%) e macroinvertebrados (0,1-100%), indicando os processos de transformação, acumulação e magnificação do mercúrio.

As amostras de plâncton e invertebrados coletados no rio Madeira e tributários apresentaram valores de mercúrio total e metilmercúrio dentro dos níveis relatados pela literatura para a região Amazônica, sendo evidenciado o processo de bioacumulação na cadeia alimentar.

Lawrence *et al.* (2001) constataram que os níveis de mercúrio em invertebrados bentônicos não são afetados apenas pelas concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nos sedimentos, mas depende também das propriedades físicas e químicas dos sedimentos e,

extremamente importante, das concentrações de mercúrio em organismos de níveis inferiores da cadeia alimentar.

O Igarapé Castanho e a área alagada do rio Mutum Paraná são caracterizados por sistemas lenticos de água escura que podem favorecer o processo de organificação do mercúrio, ocasionando áreas potenciais de metilação do mercúrio.

Concentrações de mercúrio nos peixes

Os organismos aquáticos apresentam elevada capacidade de absorver os compostos de mercúrio, quer sejam de origem orgânica ou inorgânica. Os peixes absorvem o mercúrio com facilidade e o acumulam em seus tecidos, principalmente na forma de metilmercúrio, mesmo quando expostos a espécies iônicas de mercúrio, indicando a ocorrência de metilação nestes organismos. A literatura apresenta vários trabalhos sobre a concentração de mercúrio total em peixes no Brasil, sendo que para algumas regiões os valores encontrados estão acima do valor permitido pela legislação brasileira (0,5 mg kg⁻¹ com consumo semanal de 400 g) (Bisinoti *et al.*, 2004).

Em trabalho realizado recentemente por Barbosa *et al.* (2003) foram coletados 951 peixes ao longo da bacia do rio Negro e quantificado o teor de mercúrio total, sendo os valores médios de 0,69 mg kg⁻¹ para os piscívoros, 0,19 mg kg⁻¹ para os onívoros, 0,14 mg kg⁻¹ para os detritívoros e 0,07 mg kg⁻¹ para os herbívoros. Guimarães *et al.* (1999) encontraram um valor médio de mercúrio total em peixes de rios do Amapá de 0,45 mg kg⁻¹, com valores máximos de até 0,65 mg kg⁻¹.

A Bacia do Tapajós é uma das regiões mais estudadas da Amazônia, sendo as concentrações de mercúrio total em peixes na área de mineração na ordem de 0,02 até 2,75 mg kg⁻¹ (Malm *et al.*, 1997; Akagi *et al.*, 1995; Brabo *et al.*, 2000; Castilhos *et al.*, 2001).

As concentrações de mercúrio total em peixes piscívoros, onívoros e herbívoros de 12 diferentes locais do rio Madeira (Amazônia), variaram de 0,09 a 1,45 mg kg⁻¹ dependendo da espécie considerada (Dorea *et al.*, 1998). Em outro trabalho, também realizado com peixes coletados no rio Madeira, porém em área de mineração na região do rio Beni, a concentração de mercúrio total em peixes variou de 0,33 a 2,30 mg kg⁻¹, excedendo o valor limite permitido. Nos peixes onívoros e naqueles que se alimentam de lama os teores variaram de 0,02 a 0,19 mg kg⁻¹ (Bourgoin *et al.*, 2000).

Bastos e colaboradores (2006) avaliaram a distribuição de mercúrio em matrizes ambientais e na população ribeirinha do rio Madeira, sendo encontrado os valores para pacu (*Mylossoma aureum*) de $0,046 \pm 0,039 \text{ mg kg}^{-1}$, jaraqui (*Semaprochilodus theraponera*) de $0,099 \pm 0,068 \text{ mg kg}^{-1}$, Curimatã (*Prochilodus nigricans*) de $0,083 \pm 0,058 \text{ mg kg}^{-1}$, branquinha (*Curimata amazonica*) de $0,095 \pm 0,045 \text{ mg kg}^{-1}$, tucunaré (*Cichla monoculus*) de $0,414 \pm 0,228 \text{ mg kg}^{-1}$ e tambaqui (*Colossoma macropomum*) de $0,099 \pm 0,085 \text{ mg kg}^{-1}$.

Nesta fase do monitoramento de mercúrio total em peixes da bacia do rio Madeira utilizou como peixes bioindicadores as espécies chaves como Tucunaré amarelo (*Cichla monoculus*), traíra (*Hoplias malabaricus*), barba-chata (*Pirinampus pirinampu*) e surubim (*Pseudoplatystoma sp.*). A **Tabela 11** mostra os níveis de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) nas amostras de peixe sadquiridas nas comunidades ribeirinhas do rio Madeira.

Tabela 11. Concentração de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em músculo de peixe de relevante consumo pela população na bacia do rio Madeira.

Espécime	Tipo	HgT mg kg ⁻¹	MeHg mg kg ⁻¹
Pacú (<i>Mylossoma aureum</i>) – (n = 15)	Onívoro	0,05±0,03	0,03±0,02
Jaraqui (<i>Semaprochilodus theraponera</i> – (n = 10)	Onívoro	0,13±0,06	0,11±0,03
Piau (<i>Leporinus fasciatus</i>) – (n = 15)	Onívoro	0,19±0,02	0,15±0,02
Sardinha (<i>Triportheus albus</i>) – (n = 8)	Onívoro	0,13±0,05	0,10±0,04
Apapa (<i>Pellona Castelnanaeana</i>) – (n = 10)	Onívoro	0,55±0,15	0,43±0,11
Tucunaré (<i>Cichla monoculus</i>) – (n = 8)	Carnívoro	0,47±0,18	0,32±0,11
Piranha. (<i>Serrasalmus sp</i>) – (n = 5)	Carnívoro	0,44±0,15	0,23±0,07
Sorubim (<i>Pseudoplatystoma sp.</i>) – (n = 6)	Carnívoro	0,28±0,05	0,21±0,03
Dourada (<i>Brachyplatystoma avicans</i>) - (n = 20)	Carnívoro	0,33±0,11	0,28±0,17
Traíra (<i>Hoplias malabaricus</i>) – (n = 5)	Carnívoro	0,33±0,08	0,26±0,12
Barba chata (<i>Pirinampus pirinampu</i>) – (n = 15)	Carnívoro	0,74±0,06	0,54±0,05
Piranha (<i>Serrasalmus sp</i>) – (n = 5)	Carnívoro	0,44±0,15	0,35±0,07

As amostras de ictiofauna da bacia do rio Madeira apresentaram valores de mercúrio total dentro dos níveis relatados pela literatura para a região Amazônica. A relação de mercúrio total por hábito alimentar, separada por grupos de massa, apresentou correlação positiva para as espécies de hábito alimentar, preferencialmente espécies carnívoras, e correlação inversa para as espécies herbívoras e onívoras.

Os resultados da **Tabela 11** indicam que em média aproximadamente 75% do estoque total de mercúrio está na forma de metilmercúrio nas amostras de peixe da bacia do rio Madeira, estando de acordo com literatura científica que relata que 85% do estoque total de mercúrio em peixe na região Amazônica se encontram na forma de metilmercúrio (Lacerda *et al.*, 1994).

Atualmente, no Brasil, não existe legislação específica sobre limites máximos de metais permitidos em peixes de água doce para o consumo humano. Contudo, pode ser utilizado como referência a Portaria ANVISA nº 685, de 27 de agosto de 1998, que aprovou um regulamento técnico que trata dos “Princípios Gerais para o Estabelecimento de Níveis Máximos de Contaminantes Químicos em Alimentos” e traz um anexo com os “Limites Máximos de Tolerância para Contaminantes Inorgânicos”, sendo preconizado para o elemento mercúrio em peixe não predador de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ e para peixe predador de $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$. Desta forma, os teores de mercúrio total encontrados nas amostras de peixe analisadas estão abaixo do valor preconizado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária para o consumo humano.

Concentração de mercúrio nas macrófitas aquáticas

O processo de metilação do mercúrio pode ocorrer através da ação de microorganismos aeróbicos, sendo mais intenso quando realizado pelos organismos anaeróbicos, no entanto, pode ainda ser exclusivamente químico, ocorrendo de diferentes modos, como os intermediados por ácidos húmicos e fúlvicos ou pela metilcobalamina (Mauro *et al.*, 2001). Os mesmos autores conseguiram, em experimentos de bioensaio, uma taxa de metilação de cerca de 30% superior em raízes de macrófitas aquáticas (*Eichornia crassipes*) do que em sedimento de fundo, ambos de uma mesma região. Isso ocorre devido à eficiente superfície de retenção de partículas realizada pelas raízes da espécie mencionada, somada à grande atividade microbiana residente nesse habitat.

Na 2ª campanha de campo, realizada no período de 07 a 13 de janeiro de 2010, foi encontrado macrófitas aquáticas da espécie *Eichornia crassipes* no rio Mamoré (P1-MAM) e a espécie *Eichornia azurea* na área alagada do bolsão lateral do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1), enquanto que na 1ª Campanha de campo, realizada no período de 26 setembro a 04 de outubro de 2009, foram encontradas macrófitas aquáticas da espécie *Eichornia crassipes* no rio Mamoré (P1-MAM) e na foz do rio Mutum Paraná (P20-MTP 2).

As raízes das amostras de macrófitas coletadas no rio Mamoré (P1-MAM) apresentaram teores de mercúrio total de $41,3 \pm 2,17 \mu\text{g Kg}^{-1}$ na 2ª campanha (período de enchente) e de $67,8 \pm 6,35 \mu\text{g Kg}^{-1}$ na 1ª campanha (período de seca). Os teores de metilmercúrio nas raízes, por sua vez, foram de $0,078 \pm 0,014 \mu\text{g Kg}^{-1}$ na 2ª Campanha (período de enchente) e de $0,129 \pm 0,012 \mu\text{g Kg}^{-1}$ na 1ª campanha (período de seca), sendo possível observar a porcentagem média de mercúrio na forma de metilmercúrio de 0,19%. Os teores médios de mercúrio total e metilmercúrio no perfil do sedimento coletados no rio Mamoré (P1-MAM) mostraram uma porcentagem média de 0,17% mercúrio na forma de metilmercúrio, portanto as raízes das macrófitas coletadas apresentaram um aumento de 12% na forma de metilmercúrio quando comparado ao sedimento.

As raízes das amostras de macrófitas coletadas na área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) na 2ª campanha (período de enchente) apresentaram teores de mercúrio total de $51,92 \pm 3,31 \mu\text{g Kg}^{-1}$ e teores de metilmercúrio de $0,322 \pm 0,012 \mu\text{g Kg}^{-1}$, sendo possível observa uma porcentagem média de 0,62% de mercúrio na forma de metilmercúrio. As raízes das amostras de macrófitas coletadas na foz do rio Mutum Paraná (P20-MTP 2) na 1ª campanha (período de seca) apresentaram teores de mercúrio total de $72,5 \pm 5,49 \mu\text{g Kg}^{-1}$ e teores de metilmercúrio de $0,421 \pm 0,028 \mu\text{g Kg}^{-1}$, sendo possível observa uma porcentagem média de 0,58% de mercúrio na forma de metilmercúrio. Os teores médios de mercúrio total e metilmercúrio no perfil do sedimento coletados na foz do rio Mutum Paraná (P20-MTP 2) mostraram uma porcentagem média de 0,48% de mercúrio na forma de metilmercúrio, portanto as raízes das macrófitas coletadas apresentaram um aumento de 20% na forma de metilmercúrio quando comparado ao sedimento, sendo possível inferir que a região do rio Mutum Paraná apresenta características físicas, químicas e biológicas do sistema aquático que podem favorecer o processo de metilação do mercúrio.

Taxa de Metilação

O igarapé Castanho (P10-CAS) e a área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) são caracterizados por sistemas lânticos de água escura que podem favorecer o processo de organificação do mercúrio, ocasionando áreas potenciais de metilação do mercúrio (**Figuras 47**).



Figura 47. Igarapé Castanho (P10-CAS) e área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1). Data: 27/02/2010.

Os estudos com as matrizes ambientais incubadas em triplicata com $2,4 \times 10^4$ dpm de ^{203}Hg na forma de HgCl_2 , correspondente a adição de 48 ng de Hg total / g de peso seco de amostra sólida ou à de $0,9 \mu\text{g Hg L}^{-1}$ para água coletadas no igarapé Castanho (P10-CAS) apresentaram taxa de metilação ao longo de 24 horas menor que $0,03 \times 10^{-3}$ % metilmercúrio no solo e taxa de metilação de $2,1 \times 10^{-2}$ % metilmercúrio / g sedimento seco / hora. As amostras de água sub-superficial apresentaram taxa de metilação líquida de $4,2 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / mL água superficial / hora.

As matrizes ambientais da área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) apresentaram taxa de metilação ao longo de 24 horas menor que $0,03 \times 10^{-3}$ % metilmercúrio no solo e taxa de metilação de $3,2 \times 10^{-2}$ % metilmercúrio / g sedimento seco / hora. As amostras de água sub-superficial apresentaram taxa de metilação de $6,1 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / mL água superficial / hora.

Em estudo realizado por Guimarães e colaboradores (1998), sedimentos do rio Madeira contaminados com $2 \mu\text{g}$ de Hg inorgânico para cada 100 mL da amostra (incubados por 15-24 h) apresentaram uma taxa de metilação média de $1,5 \times 10^{-5}$ % metilmercúrio / mL água / hora. Neste mesmo trabalho, para sedimentos do rio Mutum Paraná, a taxa calculada foi de $1,0 \times 10^{-2}$ % metilmercúrio / g sedimento / hora e para sedimentos do rio Jamari de $6,6 \times 10^{-1}$ % metilmercúrio / g sedimento / hora.

Guimarães e colaboradores (2000) também avaliaram a formação de metilmercúrio em água e sedimento sob condições aeróbias (66,5 e 11,3%, respectivamente) e anaeróbias (44,1 e 4,2%, respectivamente) após contaminação do sedimento com $0,7 \text{ mg kg}^{-1}$ de mercúrio inorgânico e um período de 21 a 38 dias, observando que a metilação foi maior em condições aeróbias tanto para a água quanto para o sedimento.

Estudos na região do rio Tapajós realizados por Stordal & Gill (2005) indicaram que a metilação de mercúrio em solos e sedimentos foi maior nas camadas superiores, diminuindo com o aumento da profundidade, sendo os maiores valores obtidos correlacionados ao maior conteúdo de carbono (8,9% de metilação). No entanto, na superfície das águas a metilação não foi detectada ($< 3 \times 10^{-2} \%$ metilmercúrio), o que pode ser explicado por dois motivos, o primeiro deve-se à possibilidade de degradação do metilmercúrio nesta matriz e o segundo, pela menor capacidade de formação do metilmercúrio na coluna d'água. Ainda são poucos os trabalhos com sedimentos e águas provenientes de regiões tropicais, indicando a necessidade de maiores investigações envolvendo outros parâmetros, bem como a avaliação abiótica para poder inferir sobre a dinâmica do metilmercúrio no ambiente.

A metilação é normalmente mediada por bactérias e ocorre preferencialmente em ambientes com alta concentração de material orgânico e elevadas taxas de decomposição, sendo favorecida por águas ácidas e ricas em carbono orgânico dissolvido (COD). Este é de importância primordial para o entendimento da especiação de mercúrio no ambiente natural. Complexos de mercúrio com COD facilitam seu transporte e acúmulo no ecossistema. A literatura tem mostrado que o aumento na formação de metilmercúrio em água e sedimento é proporcional à concentração de matéria orgânica, o que pode ser atribuído ao efeito estimulante de nutrientes orgânicos sobre a atividade microbiana (Rocha *et al.*, 2000).

Os resultados da taxa de metilação de mercúrio nas matrizes coletadas nos igarapé Castanho (P10-CAS) e a área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) estão de acordo com os estudos realizados na bacia do rio Madeira e região Amazônica. Os estudos com as amostras de macrófitas apresentaram considerável distorção entre os resultados das triplicatas, sendo característicos de processos de contaminação externo das amostras ou armazenamento inadequado destas matrizes ambientais, portanto uma nova coleta de macrófitas foi realizada em 23 de março de 2010, sendo que os resultados serão apresentados no relatório técnico parcial referente a 3ª campanha de campo, a ser realizada em abril de 2010.

Estudos de saúde humana

Conforme consta no Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico, serão realizadas semestralmente intervenções nas comunidades ribeirinhas das áreas de influência direta e indireta do AHE Jirau. Nesta primeira fase dos estudos de saúde humana um questionário com vários módulos (**Anexo I**) foi estruturado e aplicado a 36 voluntários da comunidade tradicional de Mutum Paraná, como o principal instrumento de coleta de dados, objetivando resgatar um conjunto de dados e informações relativas à caracterização dos grupos expostos. Os dois agentes de campo selecionados para a aplicação do questionário, Sr. João Ferreira da Silva e Sra. Tatiane Geruza V. de Matos são da comunidade de Mutum Paraná, sendo um elemento facilitador de participação e adesão ao estudo, na comunicação e na confiabilidade das respostas.

O grupo amostral foi composto por 15 voluntários do sexo masculino e 21 do sexo feminino, sendo 58% dos voluntários residentes na comunidade de Mutum a mais de 10 anos e 34% residentes entre 5 e 10 anos. Os voluntários apresentaram faixa etária distribuída em 11% abaixo de 20 anos, 33% de 20 a 30 anos, 20% de 30 a 40 anos, 11% de 40 a 50 anos e 25% acima de 50 anos. No grupo amostral 47% dos voluntários desenvolveram atividades no garimpo, compreendendo 73% dos voluntários masculinos e 38% dos voluntários femininos, sendo o tempo médio de atividades no garimpo de 1 a 5 anos para 59% dos entrevistados. No grupo amostral 97% dos voluntários costuma consumir peixe e animais da bacia do rio Madeira com uma frequência de 75% sempre, 17% algumas vezes e apenas 8% raramente.

A **Figura 48** mostra que as principais queixas associadas a elevada exposição ao mercúrio foram prioritariamente relatados pelos voluntários que desenvolveram atividades associadas ao garimpo quando comparado aos relatados dos voluntários que não desenvolveram atividades no garimpo. Entretanto este comportamento somente poderá ser validado com o desenvolvimento dos estudos em humanos considerando um grupo amostral significativo associado as análises dos níveis de mercúrio no corpo humano.

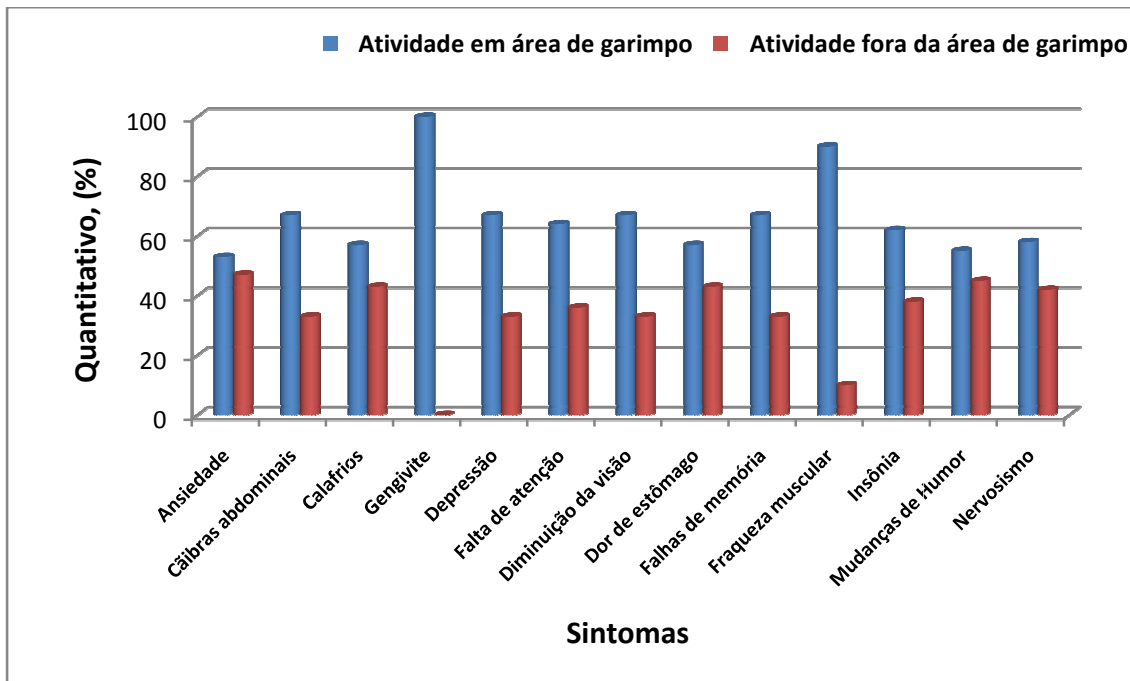


Figura 48. Distribuição dos sintomas relatados pelos voluntários entrevistados na comunidade de Mutum Paraná.

Quando o grupo amostral foi questionado quanto à dificuldade em responder o questionário e a possíveis constrangimentos nesta abordagem humana 97% dos voluntários indicaram que o questionário não apresenta dificuldades na compreensão ou questões constrangedoras, sendo portanto aprovado para aplicação no grupo amostral durante os estudos de saúde humana na área de influência direta e indireta do AHE Jirau.

Considerações Finais

Os valores de mercúrio total (HgT), mercúrio orgânico (HgORG) e mercúrio reativo (HgR) nas amostras de água superficial estão de acordo com a literatura para esta matriz na região Amazônica e extremamente abaixo dos níveis preconizados pela legislação brasileira, não evidenciando contaminação pontual deste metal na bacia.

Os teores de mercúrio total (HgT) nos perfis de solo coletados nas áreas dos pulsos de inundação estão de acordo com a literatura para estas matrizes na região Amazônica e evidenciaram sítios de ocorrência natural, sobrepostos a claros indícios de aporte recente das

atividades de garimpo, conclusão esta emitida pelo tipo de perfil vertical de concentração obtido.

Os teores de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) nos perfis de sedimento e a porcentagem média de organificação de mercúrio no sedimento de 0,41 a 0,57% no rio Madeira e tributários estão de acordo com a literatura para estas matrizes na região Amazônica.

Os teores de mercúrio total (HgT) no material particulado suspenso foram concordantes com os resultados observados nos estudos em perfis de solo e sedimento, sendo observado possível fonte de contaminação difusa nos igarapés Araras (P4-ARA) e Simãozinho (P7-SIM) no período de enchente devido à manutenção de dragas.

A porcentagem média de mercúrio na forma de metilmercúrio no plâncton foi de 2,84 - 2,97%, com exceção do igarapé Castanho (P10-CAS) e da área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1), que apresentaram porcentagem média de 6,42 – 6,47% de mercúrio na forma de metilmercúrio. A porcentagem média de mercúrio na forma de metilmercúrio nos invertebrados foi de 7,3%, com exceção do igarapé Castanho (P10-CAS) e da área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1), que apresentaram porcentagem média de 21% de mercúrio na forma de metilmercúrio.

As amostras de plâncton e invertebrados coletados no rio Madeira e tributários apresentaram valores de mercúrio total e metilmercúrio bastante variáveis e dispersos, mas dentro dos níveis relatados pela literatura para a região Amazônica, sendo evidenciando o processo de bioacumulação na cadeia alimentar.

O monitoramento de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em amostras de peixes da bacia do rio Madeira, adquiridas diretamente nas comunidades tradicionais do rio Madeira, apresentaram valores de mercúrio total e metilmercúrio dentro dos níveis relatados pela literatura para a região Amazônica e atendem os valores preconizados pela Portaria ANVISA nº 685, de 27 de agosto de 1998.

Os teores de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) nas amostras de macrófitas aquáticas evidenciaram porcentagem média de 0,17% de mercúrio na forma de metilmercúrio, e aumento de 12% na forma de metilmercúrio quando comparado ao sedimento. Entretanto, a área alagada do rio Mutum Paraná apresentou porcentagem média de 0,48% de mercúrio na

forma de metilmercúrio, e aumento de 20% na forma de metilmercúrio quando comparado ao sedimento, estando de acordo com a literatura para a região Amazônica.

Há controvérsia sobre a formação do metilmercúrio em meio aeróbio ou anaeróbio. Para alguns autores, é esperada maior metilação em meio aeróbio; no entanto, isto nem sempre é observado. Em ambientes aeróbios a matéria orgânica pode oxidar o Hg^0 para Hg^{2+} , enquanto o processo inverso é observado em ambientes anaeróbios, especialmente na presença de ácido húmico. Os agentes oxidantes típicos na água são oxigênio, nitrato, nitrito, íons férrico, sulfato, enxofre, dióxido de carbono e bicarbonato (Harada, 1995). Grande parte dos estudos (Akagi *et al.*, 1995; King *et al.*, 2005; Macalady *et al.*, 2002) sobre metilação deu-se em regiões de climas temperados no planeta, sendo que somente na última década surgiram trabalhos nacionais (Bisinoti & Jardim, 2003; Guimarães *et al.*, 2000) sobre o tema. As taxas de metilação observadas nos estudos utilizando matrizes ambientais da área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) e no igarapé Castanho (P10-CAS) apresentaram valores compatíveis para a região Amazônica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAGI, H.; MALM, O.; KINJO, Y.; HARADA, M.; BRANCHES, F. J. P.; PFEIFFER, W. C.; KATO, H.; Methylmercury pollution in the Amazon, Brazil Sci. Total Environ. 1995, 175, 85.
- BARBOSA, A. C.; DE SOUZA, J.; DOREA, J. G.; JARDIM, W. F.; FADINI, P. S.; Arch Environ. Contam. Toxicol. 2003, 45, 235.
- BASTOS, W.R.; GOMES, J.P.O.; ALMEIDA, R.; OLIVERIA, R.C.; 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 2006, 368, 344.
- BISINOTI, M. C.; JARDIM, W.F. Production of organic mercury from Hg⁰: experiments using microcosms. J. Braz. Chem. Soc. 2003, 244
- BISINOTI, M. C.; JARDIM, W.F. O comportamento do metilmercúrio (metilHg) no ambiente Química Nova 2007, 27, 593.
- BISINOTI, M. C.; SARGENTINI JUNIOR, E.; JARDIM, W.F. Seasonal behavior of mercury species in waters and sediments from the Negro River Basin, Amazon, Brazil J. Brazilian Chem. Soc. 2007, 18, 544.
- BISINOTI, M. C.; JARDIM, W. F.; Production of organica mercury from Hg⁰: Experiments using microcosms Braz. Chem. Soc. 2004, 14, 242.
- BOURGOIN, L.M.; QUIROGA, I.; CHINCHEROS, J.; COURAU, P. Mercury distribution in waters and fishes of the upper Madeira rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations The Science of the Total Environment 2000, 260, 73.
- BRABO, E. S.; SANTOS, E. D.; DE JESUS, I. M.; MASCARENHAS, A. F. S.; FAIAL, K. D.; Environ. Res. 2000, 84, 197.
- BRASIL. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria MS n.º 518/2004/Ministério da Saúde – Brasília, Editora do Ministério da Saúde, 2005.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA RESOLUÇÃO CONAMA n.º 357, Brasília, 2005
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, DECISÃO DE DIRETORIA Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005, São Paulo, 2005

- CASTILHOS, Z. C.; BIDONE, E. D.; HARTZ, S. M.; BULL. ENVIRON. CONTAM. TOXICOL. 2001, 66, 631.
- DOREA, J. G.; MOREIRA, M. B.; BARBOSA, A. A. C.; Biol. Trace Elem. Res. 1998, 65, 211.
- FADINI, P.S. & JARDIM, W.F. Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? Sci. Tot. Environ. 275:71-82, 2001.
- Guimarães, J.R.D.; Malm, O.; Pfeiffer, W.C. (1995). A simplified radiochemical technique for measurements of net mercury methylation rates in aquatic systems near goldmining areas, Amazon, Brazil. Sci. Total Environ.,175, 151-162.
- GUIMARÃES, J. R. D.; FOSTIER, A. H.; FORTI, M. C.; MELFI, J. Á.; KEHRIG, H.; MAURO, J. B. N.; MALM, O.; KRUG, J. F.; Mercury in human and environmental samples from two lakes in Amapá, Brazilian Amazon Ambio 1999, 28, 296.
- GUIMARÃES, J. R. D.; MEILI, M.; MALM, O.; BRITO, E. M. D. Hg methylation in sediments and floating meadows of a tropical lake of the Pantanal Wetland, Brazil Sci. Total Environ. 1998, 213, 165.
- 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 Sci. Total Environ. 2000, 261, 91.
- LACERDA, L. D.; BIDONE, E. D.; GUIMARÃES, A. F.; PFEIFFER, W. C. Mercury concentrations in fish from the Itacaiunas-Parauapebas River system, Carajas region, Amazon An. Acad. Bras. Cienc. 1994, 66, 373.
- LACERDA, L.D.; MALM, O. Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas Estudos Avançados 2008, 22, 173.
- LAWRENCE A.L.; MASON R.P. Factors controlling the bioaccumulation of mercury and methylmercury by the estuarine amphipod *Leptocheirus plumosus*. Environ Pollut 2001;111, 217.
- LECHLER, P.J.; MILLER, J.R.; LACERDA, L.D.; VINSON, D.; BONZONGO, J.C.; LYONS, W.B.; WARWICK, J.J. Elevated Mercury concentrations in soils, sediments, water, and fish of the Madeira River basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichments? The Science of the Total Environment 2000, 260,87.
- MALM, O. Gold Mining as a Source of Mercury Exposure in the Brazilian Amazon. Environmental Research. 1998, 77, 73.

- MALM, O. ; GUIMARÃES, J.R.D. ; CASTRO, M.B. ; BASTOS, W.R. ; VIANA, J.P. ; SILVEIRA, E.G.;
PFEIFFER, W.C. Follow-up of mercury levels in fish, human hair and urine in the Madeira
and Tapajós basins, Amazon, Brasil.. *Water, Air and Soil Pollution* 1997, 97,45.
- MARTINELLI, L.A.; FERREIRA, L.R.; FORSBERG, B.R.; VICTORIA, R.L. Mercury contamination in
the Amazon: a gold rush consequence *Ambio* 1988, 17, 252.
- MAURO, J.B.N.; GUIMARÃES, J.R.D. & MELAMED, R. Mercury methylation in macrophyte roots
of a tropical lake. *Water Air Soil Pollut.*, 127:271-280, 2001
- NACIMENTO, E.L.; GOMES, J.P.O.; ALMEIDA, R.; BASTOS, W.R.; BERNARDI, J.V.E.; MIYAI, R.K.
Mercúrio no plâncton de um lago natural amazônico, lago Puruzinho (Brasil) *J. Braz. Soc.
Ecotoxicol.* 2007, 2, 67.
- PAK, K. R.; BARTHA, R.; *Appl. Environ. Microbiol.* 1998, 64, 1013.
- PFEIFFER, W.C.; LACERDA, L.D.; MALM, O.; SOUZA, C.M.M.; SILVEIRA, E.G.; BASTOS, W.R.
Mercury concentrations in inland waters of Rondonia Amazon, Brazil. *Sci. Tot. Environ.*
1989, 87, 233.
- ROCHA, J.C.; SARGENTINI JÚNIOR, É.; ZARA, L.F.; ROSA, A.H.; SANTOS, A.; BURBA, P. Reduction
of mercury(II) by tropical river humic substances (Rio Negro) - A possible process of the
mercury cycle in Brazil *Talanta* 2000, 53, 551.
- ROCHA, J.C.; SARGENTINI JÚNIOR, É.; ZARA, L.F.; ROSA, A.H.; SANTOS, A.; BURBA, P. Reduction
of mercury(II) by tropical river humic substances (Rio Negro) - Part II. Influence of
structural features (molecular size, aromaticity, phenolic groups, organically bound
sulfur) *Talanta* 2003, 61, 699.
- ROCHA, J.C.; ROSA, A.H.; CARDOSO, A.A. (2004) *Introdução à Química Ambiental* Makron
Books, São Paulo.
- SIOLI, H. (1985) *Amazônia. Fundamentos da Ecologia da Maior Região de Florestas Tropicais*,
Editora Vozes: Petrópolis.
- STEFFAN, R. J.; KORTHALS, E. T.; WINFREY, M. R.; *Appl. Environ. Microbiol.* 1988, 54, 2003.
- STEIN, E. D.; COHEN, Y.; WINER, A. M.; *CRC Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 1896, 26, 1996
- STORDAL, M. C.; GILL, G. A.; *Water, Air, Soil Pollut.* 2005, 80, 725
- WASSERMAN, J. C.; AMOUROUX, D.; WASSERMAN, M. A. V.; DONARD, O. F. X.; *Environ.
Technol.* 2002, 23, 899

WATRAS, C. J., BLOOM, N. S. Mercury and methylmercury in individual zooplankton: implications for bioaccumulations. *Limnol. Oceanogr.*, 1992, 6, 1313.

ZIZEK, S.; HOVAT, M.; GIBICAR, D.; FAJON, V.; TOMAN, M.J. Bioaccumulation of Mercury in benthic communities of a river ecosystem affected by Mercury mining *Science of the Total Environment* 2007, 377, 407.


EQUIPE TÉCNICA DE TRABALHO

Profissional	RG	Qualificação	Função no Programa
Luiz Fabricio Zara	20.219.582 SSP/SP	Doutor/Químico	Coordenador geral
Ademir dos Santos	2721703173 SSP/SP	Doutor/Químico	Especialista em análise de campo
Julio Cezar Rocha	79522324 SSP/SP	Doutor/Químico	Especialista em mercúrio na Amazônia
Wilson F. Jardim	61052139 SSP/SP	Doutor/Químico	Especialista em mercúrio na Amazônia
Vanessa P. Franzini	300237844 SSP/SP	Doutora/Química	Especialista em análise de mercúrio
Ednaldo R. Souza	234796522 SSP/SP	Técnico em Química	Analista laboratorial
Wllyane Figueiredo	2670524 SSP/DF	Graduando/Gestão Ambiental	Analista em SIG
Tania Machado	5213430 SSP/GO	Graduando/Gestão Ambiental	Analista em SIG
João Ferreira da Silva		2º Grau Completo	Agente de campo
Tatiane Geruza V. de Matos		2º Grau Completo	Agente de campo

Goiânia, 09 de dezembro de 2009



Dr. Luiz Fabricio Zara



Dr. Ademir dos Santos



Dr. Julio César Rocha



Dr. Wilson Figueiredo Jardim

Voluntário N^o: _____

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Esta pesquisa envolve profissionais da empresa VENTURO CONSULTORIA AMBIENTAL, visando o desenvolvimento do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do Aproveitamento Hidrelétrico Jirau, sob orientação do Prof. Dr. Luiz Fabricio Zara da Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília - UnB.

Eu, _____, ao assinar o presente termo, estarei consentindo a utilização de amostra de cabelo para a análise de elementos traço (metais) e em específico mercúrio, cujas informações sejam, confidencialmente, utilizadas para fins de pesquisa.

- 1) Minha participação envolverá em fornecer amostras de cabelo e responder questionários que abrangem os módulos sócio-demográficos, história ocupacional, morbidade referida, fatores de risco de adoecimento, hábitos sociais e culturais, inquérito alimentar, dentre outros.
- 2) As medidas dos níveis dos elementos traço e mercúrio serão realizadas pela Venturo Consultoria Ambiental em parceria com o Instituto de Química de Araraquara, Universidade do Estado de São Paulo - UNESP, coordenado pelo Prof. Dr. Julio Cesar Rocha.
- 3) Os possíveis benefícios de minha participação serão receber as informações sobre a quantidade de metais presentes no organismo.
- 4) Eu compreendo que os resultados do estudo de pesquisa podem ser publicados, mas que meu nome ou identificação não serão revelados. Para manter a confidencialidade de meus registros, os pesquisadores do grupo acima mencionado, manterão minha identidade em forma de número e será guardado dentro de envelopes, nos quais somente eles, terão acesso.
- 5) Admito que sou voluntário (a) e não serei remunerado (a) pela minha participação no estudo. Fui informado (a) também, que quaisquer dúvidas que tiver em relação à pesquisa ou à minha participação, antes ou depois de meu consentimento, serão respondidas pela empresa Venturo Consultoria Ambiental.
- 6) Eu li as informações acima. Recebi a explicação sobre a natureza, demanda, riscos e benefícios da pesquisa. Assumo conscientemente os riscos envolvidos e compreendo que posso retirar meu consentimento e interromper minha participação a qualquer momento, sem penalidade ou perda de benefício.

Assinatura do (a) voluntário (a)

Data: ___/___/___

Voluntário N°: _____

**Questionário Estruturado para Coleta de Dados das Comunidades
Tradicionais da Bacia do Rio Madeira – Rondônia**

Nome: _____

Data de nascimento: ___/___/___

Data da entrevista: ___/___/___

Avaliador: _____

1) Sexo:

Masculino

Feminino

2) Faixa etária:

Abaixo de 20 anos

De 20 a 30 anos

De 30 a 40 anos

De 40 a 50 anos

Acima de 50 anos

3) Altura média: _____ **4) Peso médio:** _____ **4.1) Pressão arterial:** _____

5) Grau de instrução:

Analfabeto

Fundamental incompleto

Fundamental completo

2° grau incompleto

2° grau completo

Superior incompleto

Superior completo

6) Onde mora: _____ **Coordenadas geográficas:** _____

7) Tempo de residência (marque apenas uma opção):

De 1 a 5 anos

De 5 a 10 anos

Mais de 10 anos

8) Possui filhos?

Sim

Não

9) Profissão: _____

Voluntário N°: _____

10) Tempo de serviço (marque apenas uma opção):

- Menos de 1 ano De 1 a 5 anos De 6 de 15 anos Mais de 16 anos

11) Já trabalho no garimpo de ouro

- Sim Não

12) Tempo de serviço no garimpo de ouro

- Menos de 1 ano De 1 a 5 anos De 6 de 15 anos Mais de 16 anos

13) Costuma consumir peixes e animais originários da bacia do Rio Madeira?

- Sim Não

14) Com que frequência consome peixes e outros animais aquáticos originários da bacia do Rio Madeira?

- Sempre Algumas vezes Raramente Não sabe

15) Qual dos sintomas abaixo tem sentido recentemente?

- | | |
|--|--|
| <input type="radio"/> Ansiedade | <input type="radio"/> Dor de estômago |
| <input type="radio"/> Cãibras abdominais | <input type="radio"/> Falhas de memória |
| <input type="radio"/> Calafrios | <input type="radio"/> Febre |
| <input type="radio"/> Dentes moles com inflamação e sangramento na gengiva (gengivite) | <input type="radio"/> Fraqueza muscular |
| <input type="radio"/> Depressão | <input type="radio"/> Gosto de metal na boca |
| <input type="radio"/> Diarréia | <input type="radio"/> Insônia |
| <input type="radio"/> Dificuldade de prestar atenção | <input type="radio"/> Mudanças de humor |
| <input type="radio"/> Diminuição da Visão | <input type="radio"/> Nervosismo |
| | Outros: Quais? _____ |
| | <input type="radio"/> Nenhuma das alternativas |

Voluntário N°: _____

16) Com qual frequência tem sentido os sintomas acima assinalados?

- Sempre Algumas vezes Raramente Não tenho os sintomas

17) Com que frequência você vai ao médico?

- Regularmente Raramente Somente quando está doente Nunca

18) Já teve algum tipo de doença diagnosticada por um médico e que estivesse relacionada à exposição de metais (mercúrio, chumbo, arsênio, cádmio...)?

- Sim Não

Caso a resposta da questão 18 seja Sim continue, caso a resposta seja Não passe para a questão 21.

19) Há quanto tempo essa doença foi diagnosticada?

- Menos de 1 ano Entre 1 e 5 anos Entre 6 e 10 anos Mais de 10 anos

20) Foi feito algum tipo de tratamento?

- Sim Não Qual tratamento? _____

21) Possui algum parente, amigo ou conhecido que tenha ou já teve alguma doença diagnosticada por um médico e que estivesse relacionada à exposição de metais (mercúrio, chumbo, arsênio, cádmio...)?

- Sim Não

22) Você fuma ou fumou (cigarro, charuto, etc..)?

- Sim Não Com qual idade começou a fumar? _____

23) Qual a quantidade de cigarros ou similar você se faz uso diariamente?

- 1-10 11-20 21-30 31 – 40 acima de 40

24) Você consome bebida alcoólica?

- Sim Não

25) Com qual frequência consome bebida alcoólica?

- diariamente 2 vezes/ semana 3 vezes/semana final de semana

26) Você achou estas perguntas difíceis de serem respondidas?

- Sim Não

27) Alguma pergunta deixou você constrangido e deveria ser retirada?

- Sim Não Qual o número da pergunta? _____

Referências Bibliográficas

BOISCHIO, Ana Amelia P. and BARBOSA, Antonio. **Exposição ao mercúrio orgânico em populações ribeirinhas do Alto Madeira, Rondônia, 1991: resultados preliminares.** Cadernos de Saúde Pública [online]. 1993, vol.9, n.2, pp. 155-160.

CAMARA, Volney de M. et al. **Estudo comparativo dos efeitos da utilização de mercúrio por dentistas.** Cadernos de Saúde Pública [online]. 1990, vol.6, n.2, pp. 186-200.

CAMARA, Volney de M. et al. **Metodologia para prevenir exposição ao mercúrio em adolescentes de garimpos de ouro em Mariana, Minas Gerais, Brasil.** Cadernos de Saúde Pública [online]. 1996, vol.12, n.2, pp. 149-158.

FARIAS, L.A. Tese de doutorado: **Avaliação do conteúdo de mercúrio, metilmercúrio e outros elementos de interesse em peixes e em amostras de cabelos e dietas de pré-escolares da região amazônica.** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Autarquia associada à universidade de São Paulo. 2006.

FARIAS, L.A.; SANTOS, N.R.; FAVARO, Débora I.T.; BRAGA, E. S. **Mercúrio total em cabelo de crianças de uma população costeira, Cananéia, São Paulo, Brasil.** Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 24(10):2249-2256, out, 2008.

TOMITA, Luciana Yuki and CARDOSO, Marly Augusto. **Avaliação da lista de alimentos e porções alimentares de Questionário Quantitativo de Frequência Alimentar em população adulta.** Cad. Saúde Pública [online]. 2002, vol.18, n.6, pp. 1747-1756.