



USINA HIDRELÉTRICA JIRAU

RELATÓRIO TÉCNICO DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO (“PMH”) DO APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO JIRAU

RELATÓRIO FINAL (3ª CONSOLIDAÇÃO)

EMPRESA: **VENTURO CONSULTORIA AMBIENTAL LTDA**

PERÍODO DAS ATIVIDADES: **Setembro/2009 a Janeiro/2012**

RESPONSÁVEL DA CONTRATADA: **Luiz Fabricio Zara**

RESPONSÁVEL DA ESBR: **Jairo Guerrero**

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	2
2. ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS DO PROGRAMA	2
3. ATENDIMENTO AS METAS DO PROGRAMA	6
4. METODOLOGIA	10
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
6. INDICADORES DO PROGRAMA	291
7. INTERFACE DO PROGRAMA	292
8. ATENDIMENTO AO CRONOGRAMA DO PROGRAMA	292
9. ATIVIDADES FUTURAS	295
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	296
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	298
12. EQUIPE DE TRABALHO	305

Anexo I – Termos de consentimento livre e esclarecido – Questionário estruturado para coleta de dados humanos na região de abrangência do AHE – Jirau, Bacia do Rio Madeira – Rondônia

Anexo II – Inquérito alimentar recordatório

Anexo III – Avaliação clínica e neurológica

Anexo IV – Subprograma de divulgação das atividades e resultados do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

1. APRESENTAÇÃO

O presente relatório tem por objetivo descrever as atividades desenvolvidas e os resultados obtidos no período de junho de 2009 a fevereiro de 2012, ao longo das 10 (dez) campanhas trimestrais de monitoramento realizadas.

Tabela 01. Campanhas realizadas no âmbito do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

Campanha	Mês/Ano	Data	Período hidrológico
1ª	Set/2009	26/09 a 30/09/2009	Seca
2ª	Jan/2010	06/01 a 15/01/2010	Enchente
3ª	Abr/2010	05/04 a 16/04/2010	Cheia
4ª	Jul/2010	08/07 a 22/07/2010	Vazante
5ª	Out/2010	06/10 a 22/10/2010	Seca
6ª	Jan/2011	06/01 a 22/01/2011	Enchente
7ª	Abr/2011	11/04 a 02/05/2011	Cheia
8ª	Jul/2011	01/07 a 06/07/2011	Vazante
9ª	Out/2011	04/10 a 15/10/2011	Seca
10ª	Jan212	09/01 a 20/01/2012	Enchenta

2. ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS DO PROGRAMA

O Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico possui o objetivo de efetuar o monitoramento ambiental e humano no pré-enchimento e pós-enchimento do reservatório do AHE Jirau, determinando as concentrações de poluentes organometálicos, a exemplo do mercúrio, avaliando o risco da exposição humana a este elemento químico e os potenciais efeitos adversos para as comunidades ribeirinhas do rio Madeira.

Os objetivos específicos propostos e as respectivas ações adotadas estão elencados a seguir:

- *Quantificar os teores de mercúrio total (Hg-T) e metilmercúrio (MeHg) em matrizes ambientais e humanas.*

Em atendimento. As quantificações dos teores de mercúrio total e metilmercúrio na água superficial, material particulado suspenso, sedimento de fundo, fitoplâncton, zooplâncton, invertebrados e peixes são feitas trimestralmente (seca, enchente, cheia e vazante) enquanto que as análises das espécies de mercúrio no solo são feitas semestralmente (enchente e vazante). Até o momento, estas ações foram feitas no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) à janeiro de 2012 (10ª campanha de campo). As quantificações dos

teores de mercúrio total e metilmercúrio na matriz humana foram feitas nas comunidades tradicionais e garimpeiros do rio Madeira, no período de abril de 2010 (1ª abordagem humana) a outubro de 2011 (5ª abordagem de campo).

- *Determinar um nível de referência local das espécies de mercúrio nos compartimentos abióticos e bióticos da bacia do rio Madeira, ao qual o monitoramento das áreas de influência direta e indireta do empreendimento será balizado nos estudos temporais.*

Em atendimento. O monitoramento das espécies de mercúrio total, mercúrio reativo, mercúrio orgânico e metilmercúrio nos compartimentos abióticos e bióticos nos anos que antecedem a fase de enchimento do reservatório do AHE Jirau possibilitarão a formação de um banco de dados composto por campanhas de campo referentes aos níveis basais de mercúrio nas áreas de influência direta e indireta do empreendimento. Este importante banco de dados regional possibilitará o balizamento do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico durante as fases de implementação do reservatório e operação do AHE Jirau quanto às reais influências do empreendimento no ciclo hidrobiogeoquímico regional do mercúrio.

- *Quantificar nos corpos d'água da área de estudo às principais variáveis físicas e químicas, considerando as variáveis hidrológicas e os parâmetros do Programa de Monitoramento Limnológico.*

Em atendimento. A interface com o Programa de Monitoramento Limnológico possibilita campanhas de campo integradas entre os programas e a obtenção das informações das principais variáveis físicas e químicas.

- *Selecionar e avaliar as comunidades ribeirinhas quanto ao perfil epidemiológico, fatores de risco, inquérito alimentar, avaliação da exposição a mercúrio e anamnese.*

Em atendimento. O estudo de saúde humana do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico foi previamente avaliado e autorizado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Faculdade de Medicina da Universidade de Brasília (Registro: CEP-FM 038/2010). As avaliações das comunidades ribeirinhas foram realizadas durante 05 (cinco) abordagens humanas, em abril de 2010 (1ª abordagem), julho e agosto de 2010 (2ª abordagem), outubro e novembro de 2010 e fevereiro de 2011 (3ª abordagem), maio e agosto de 2011 (4ª abordagem) e outubro de 2011 (5ª abordagem). O universo amostral humano das

05 (cinco) abordagens humanas é composto de 1.002 participantes, com idade variando entre 1 e 89 anos (média = $35,7 \pm 16,5$ anos).

- *Estruturar bancos de dados georreferenciados das matrizes bióticas, abióticas, epidemiológicas, fatores de risco, inquérito alimentar e anamnese.*

Em atendimento. Todas as informações geradas no monitoramento do meio abiótico, biótico e epidemiológico foram compiladas em um banco de dados relacional por meio dos softwares Microsoft Access e a geração Arc. As informações dos estudos de saúde humana foram estratificados nos aglomerados humanos identificados nos distritos de Nova Mutum Paraná e Abunã, na região ribeirinha e garimpeira, garantindo a confidencialidade dos voluntários e evitando possíveis impactos psicossociais negativos nas comunidades participantes deste estudo. Além disso, o banco de dados do Programa está sendo estruturado no SisGIG do AHE Jirau, em desenvolvimento pela ESBR.

- *Analisar a morbidade referida e o nível de exposição das comunidades ribeirinhas com as variáveis neurológicas, clínicas e comportamentais.*

Em atendimento. O desenvolvimento dos estudos de saúde humana ao longo do tempo possibilitarão análises multivariadas (modelos de regressão linear múltipla e regressão logística) que levem em conta outros fatores com potencial de influência sobre o desempenho na bateria testatória neuropsicológica, obviamente com os devidos ajustes para eventuais influências sazonais nos níveis de exposição por via alimentar (consumo de peixes) ou meio ambiente de trabalho (exposição ocupacional).

- *Desenvolver um programa de capacitação para os profissionais de saúde nas áreas a serem comprometidas com o empreendimento com ênfase na toxicologia do mercúrio e seus efeitos para a saúde humana, em consonância com o Programa de Saúde Pública.*

Em atendimento. Os resultados prévios dos estudos de saúde humana são apresentados à Comissão de Saúde, sendo que durante as atividades de campo são priorizadas as atividades das abordagens humanas nos postos de saúde possibilitando reuniões técnicas voltadas à capacitação dos profissionais de saúde pela equipe multidisciplinar do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico. Nestas reuniões são discutidos e elaborados os materiais socioeducativos quanto ao risco de exposição ao mercúrio adequados à população tendo como exemplo a cartilha “O que você deve saber sobre o mercúrio”. Para as próximas cartilhas, será dada ênfase para os hábitos alimentares associados a possíveis rotas de

exposição ao mercúrio e sobre manejo e uso do solo, visto que este é um importante fator de liberação de mercúrio para o ambiente, ocasionando maior mobilidade deste metal para os demais compartimentos ambientais.

- *Estruturar um programa de abordagem participativa junto às comunidades a serem comprometidas pelo empreendimento da hidroelétrica, em consonância com o Programa de Comunicação Social.*

Em atendimento. Os resultados prévios do Programa do Monitoramento Hidrobiogeoquímico são continuamente apresentados nas comunidades comprometidas pelo empreendimento e em específico nas reuniões do Grupo de Trabalho (GT) de Atividades Minerárias, por intermédio de palestras e distribuição de materiais socioeducativos impressos. Os articuladores locais (pessoas chave de cada comunidade, garimpeiros manuais e garimpeiros de dragas fluviais) são continuamente contatados no intuito de divulgar e esclarecer as atividades dos estudos de saúde humana do AHE Jirau. Estes sempre se mostraram bem receptivos a esses préstimos. Apesar de resistência/recusa de moradores da região em participar do Programa, até o momento tem-se obtido êxito em envolver uma parcela expressiva da população local.

- *Desenvolver um programa de percepção de risco para as comunidades que serão removidas da área de influência do empreendimento, em consonância com o Programa de Comunicação Social.*

Em atendimento. O desenvolvimento dos estudos de saúde humana ao longo do tempo possibilitarão análises multivariadas (modelos de regressão linear múltipla e regressão logística) que levem em conta outros fatores com potencial de influência sobre o desempenho na bateria testatória neuropsicológica, obviamente com os devidos ajustes para eventuais influências sazonais nos níveis de exposição por via alimentar (consumo de peixes) ou meio ambiente de trabalho (exposição ocupacional).

- *Utilizar métodos estatísticos univariados, multivariados e geoestatísticos como ferramenta para o monitoramento do mercúrio durante as fases de pré-enchimento e pós-enchimento visando sua capacidade preditiva.*

Em atendimento. A complexidade do rio Madeira exige a necessidade de técnicas que possibilitem uma análise conjunta das informações biogeoquímicas do mercúrio e suas interações durante o ciclo hidrológico e ao longo da teia trófica. Neste contexto, além dos

métodos estatísticos univariados, multivariados e geoestatísticos, a regressão múltipla tem sido uma ferramenta estatística muito importante na validação das relações de causa e efeito.

- *Em conjunto com outros Programas, construir um mapa de risco/vulnerabilidade socioambiental para a área de influência do empreendimento, com ênfase nas comunidades e construir indicadores de saúde ambiental e ecotoxicológicos que irão subsidiar o Programa de Saúde Pública.*

Em atendimento. O desenvolvimento dos estudos de saúde humana ao longo do tempo possibilitarão análises multivariadas (modelos de regressão linear múltipla e regressão logística) que levem em conta outros fatores com potencial de influência sobre o desempenho na bateria testatória neuropsicológica, obviamente com os devidos ajustes para eventuais influências sazonais nos níveis de exposição por via alimentar (consumo de peixes) ou meio ambiente de trabalho (exposição ocupacional).

3. ATENDIMENTO ÀS METAS DO PROGRAMA

As metas propostas e as respectivas ações adotadas no âmbito do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do AHE Jirau estão elencadas a seguir:

- *Mensurar variáveis hidrológicas e parâmetros físico-químicos na coluna d'água em uma (01) estação amostral no rio Mamoré, uma (01) no rio Beni, seis (06) no rio Madeira, nove (09) em afluentes e uma (01) na área alagada de Mutum, trimestralmente considerando as variáveis hidrológicas em todas as fases do empreendimento.*

Em atendimento. As informações das variáveis hidrológicas e parâmetros físico-químicos na coluna d'água estão sendo obtidas em 01 (uma) estação amostral no rio Mamoré, 01 (uma) no rio Beni, 06 (seis) no rio Madeira, 12 em afluentes e 01 (uma) na área alagada do rio Mutum Paraná. Portanto, a malha amostral previamente proposta para o Programa foi ampliada de 18 20 estações de amostragem, sendo monitorada trimestralmente, considerando as variáveis hidrológicas obtidas durante as campanhas de campo integradas com o Programa de Monitoramento Limnológico. O ponto de monitoramento no igarapé Ribeirão foi adicionado na malha de amostragem do Programa a partir da 5ª campanha de campo, realizada em outubro de 2010.

- *Realizar análises de mercúrio reativo (HgR), mercúrio total (HgT) e mercúrio orgânico (HgORG) em amostras de água superficial em uma (01) estação amostral no rio Mamoré,*

uma (01) no rio Beni, seis (06) no rio Madeira, nove (09) em afluentes e uma (01) na área alagada de Mutum, trimestralmente considerando as variáveis hidrológicas em todas as fases do empreendimento.

Em atendimento. As análises de mercúrio reativo, mercúrio total e mercúrio orgânico na coluna d'água em 20 estações de amostragem distribuídas nos rios Mamoré, Beni e Madeiras, nos tributários do rio Madeira e na área alagada do rio Mutum Paraná foram feitas trimestralmente considerando as variáveis hidrológicas. O ponto de monitoramento no igarapé Ribeirão foi adicionado na malha de amostragem a partir da 5ª campanha de campo, realizada em outubro de 2010.

- *Realizar análises de mercúrio total (HgT) em amostras de material particulado suspenso em uma (01) estação amostral no rio Mamoré, uma (01) no rio Beni, seis (06) no rio Madeira, nove (09) em afluentes e uma (01) na área alagada de Mutum, trimestralmente considerando as variáveis hidrológicas em todas as fases do empreendimento.*

Em atendimento. As análises de mercúrio total em amostras de material particulado suspenso em 20 estações de amostragem distribuídas nos rios Mamoré, Beni e Madeira, nos tributários do rio Madeira e na área alagada do rio Mutum Paraná foram feitas trimestralmente considerando as variáveis hidrológicas. O ponto de monitoramento no igarapé Ribeirão foi adicionado na malha de amostragem a partir da 5ª campanha de campo, realizada em outubro de 2010.

- *Realizar análises de mercúrio total (HgT) em perfil de solos em estações amostrais em áreas de pulso de inundações sendo uma (01) na região da estação amostral do rio Mamoré, uma (01) no rio Beni, seis (06) no rio Madeira, dez (10) em afluentes e uma (01) na área alagada de Mutum, semestralmente em todas as fases do empreendimento*

Em atendimento. As análises de mercúrio total em perfil de solos em estações amostrais em áreas de pulso de inundação foram feitas nos períodos hidrológicos de enchente e vazante de 2010 e 2011.

- *Realizar análises de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em sedimentos de fundo e perfis em áreas de remansos nas estações de coleta sendo uma (01) estação amostral no rio Mamoré, uma (01) no rio Beni, seis (06) no rio Madeira, nove (09) em afluentes e uma (01) na área alagada de Mutum, trimestralmente considerando as variáveis hidrológicas em todas as fases do empreendimento.*

Em atendimento. As análises de mercúrio total e metilmercúrio em sedimentos de fundo em 20 estações de amostragem distribuídas nos rios Mamoré, Beni e Madeira, nos tributários do rio Madeira e na área alagada do rio Mutum Paraná foram feitas trimestralmente considerando as variáveis hidrológicas. As análises de mercúrio total e metilmercúrio em perfis de sedimento de fundo nestas estações de amostragem foram feitas semestralmente nos períodos hidrológicos de enchente e vazante de 2010 e 2011. O ponto de monitoramento no igarapé Ribeirão foi adicionado na malha de amostragem a partir da 5ª campanha de campo, realizada em outubro de 2010.

- *Realizar análises de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em peixes, mamíferos aquáticos e semiaquáticos, macrófitas aquáticas, plâncton e invertebrados em uma (01) estação amostral no rio Mamoré, uma (01) no rio Beni, seis (06) no rio Madeira, nove (09) em afluentes e uma (01) na área alagada de Mutum, trimestralmente considerando as variáveis hidrológicas em todas as fases do empreendimento.*

Em atendimento. As análises de mercúrio total e metilmercúrio em peixes foram feitas trimestralmente nas amostras adquiridas diretamente dos pescadores da área de influência da AHE Jirau e pela interface com o Programa de Conservação da Ictiofauna. As análises de mercúrio total e metilmercúrio em mamíferos aquáticos e semiaquáticos pela interface com o Programa de Conservação da Fauna Silvestre, não foi possível, conforme devidamente justificado nos relatórios técnicos, pois o monitoramento de mamíferos aquáticos e semiaquáticos é realizado apenas por avistamentos, contemplando apenas amostras de material biológico (tecido muscular) de animais destinados para o tombamento em coleção científica, evitando o stress com a captura e retirada de material biológico com o animal vivo. As análises de mercúrio total e metilmercúrio em macrófitas aquáticas foram feitas trimestralmente pela interface com o Programa de Monitoramento e Controle de Macrófitas Aquáticas. As análises de mercúrio total e metilmercúrio em fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados foram feitas trimestralmente pela interface com o Programa de Monitoramento Limnológico.

- *Realizar medidas semestrais de taxas de metilação no sedimento e nas raízes das macrófitas em duas (02) estações em afluentes do rio Madeira e uma (01) na área alagada de Mutum, considerando as variáveis hidrológicas em todas as fases do empreendimento.*

Em atendimento. As medidas da taxa de metilação foram feitas semestralmente, sendo que nos períodos hidrológicos de enchente e vazante de 2010 foi utilizada a técnica radioquímica utilizando mercúrio marcado (^{230}Hg) e nos períodos hidrológicos de enchente e vazante de

2011 foi utilizado o procedimento validado e publicado por Bisinoti e Jardim (2003), devidamente informada ao órgão ambiental na correspondência AJ/TS 1152-2010, protocolada em 24 de agosto de 2010, e justificada no 6º Relatório Técnico Parcial do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico.

- *Realizar semestralmente intervenções nas comunidades ribeirinhas da área de influência direta e indireta do empreendimento 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 (Metil-Hg) em amostras de cabelo e leite materno dos voluntários durante todas as fases do empreendimento.*

Em atendimento. As avaliações das comunidades ribeirinhas são relatadas semestralmente, entretanto as atividades de campo mostraram a necessidade de intervenções em menor espaço de tempo favorecendo o vínculo entre a equipe multidisciplinar de saúde e as comunidades atendidas. As avaliações das comunidades ribeirinhas foram feitas até o momento em 05 (cinco) abordagens humanas, sendo: 1ª abordagem (abril/2010), 2ª abordagem (julho/agosto/2010), 3ª abordagem (outubro/novembro/2010 e fevereiro/2011), 4ª abordagem (maio/2011 e agosto/2011) e a 5ª abordagem (outubro/2011). Nestas fases dos estudos de saúde humana não foram localizadas lactantes dispostas à fornecer amostras de leite materno, conforme devidamente justificado nos relatórios técnicos do Programa.

- *Criar e alimentar um banco de dados georreferenciados para sistematizar as informações do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico decorrentes das campanhas de campo e análises de laboratório de mercúrio, possibilitando fornecer informações sobre qualidade do pescado, qualidade da água e exposição ocupacional quanto aos níveis mercúrio, possibilitando a construção de indicadores de saúde ambiental e ecotoxicologia.*

Em atendimento. Todas as informações geradas no monitoramento do meio abiótico, biótico e epidemiológico foram compiladas num banco de dados relacional por meio dos softwares Microsoft Access e a geração Arc. Além disso, estas informações estão sendo estruturadas no SisGIG do AHE Jirau, em desenvolvimento pela ESBR.

- *Integrar dados dos programas de limnologia, monitoramento e conservação da ictiologia, subprograma de monitoramento dos mamíferos aquáticos e semiaquáticos e monitoramento de macrófitas aquáticas para avaliar o fenômeno de biomagnificação nas guildas tróficas da ictiofauna*

Em atendimento. A complexidade do rio Madeira exige a necessidade de técnicas que possibilitem uma análise conjunta das informações biogeoquímicas do mercúrio e suas interações, durante o ciclo hidrológico e ao longo da teia trófica. Neste contexto, além dos métodos estatísticos univariados, multivariados e geoestatísticos, a regressão múltipla tem sido uma ferramenta estatística muito importante na validação das relações de causa e efeito.

4. 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. Nos estudos ambientais foram monitoradas, obedecendo a sazonalidade regional (cheia, enchente, vazante e seca), as espécies de mercúrio (mercúrio total, mercúrio reativo, mercúrio orgânico e metilmercúrio) durante o período de setembro de 2009 (período hidrológico de seca) a janeiro de 2012 (período de cheia).

As amostras de água superficial, material particulado suspenso e sedimento de fundo foram coletadas trimestralmente em 20 pontos de monitoramento georrefenciados (**Figura 01**), sendo que em 06 (seis) pontos foram realizados estudos em transecto (margem direita, centro e margem esquerda) gerando 32 pontos de amostragem. Os perfis de sedimento foram amostrados semestralmente, utilizando metodologia específica, nos períodos hidrológicos de vazante e enchente do rio Madeira. Os perfis de solo foram amostrados semestralmente em 14 pontos nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira nos períodos hidrológicos de enchente e vazante do rio Madeira. As amostras de peixes, invertebrados aquáticos, fitoplâncton, zooplâncton e macrófitas foram disponibilizadas pelas interfaces com o Programa de Conservação da Ictiofauna, Programa de Monitoramento Limnológico e Programa de Monitoramento e Controle de Macrófitas Aquáticas.

O detalhamento dos locais amostrados e das técnicas utilizadas para as análises das espécies de mercúrio nos diferentes compartimentos abióticos e bióticos consta em todos os Relatórios Técnicos do Programa, referentes às respectivas campanhas, protocolados no IBAMA.

PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO

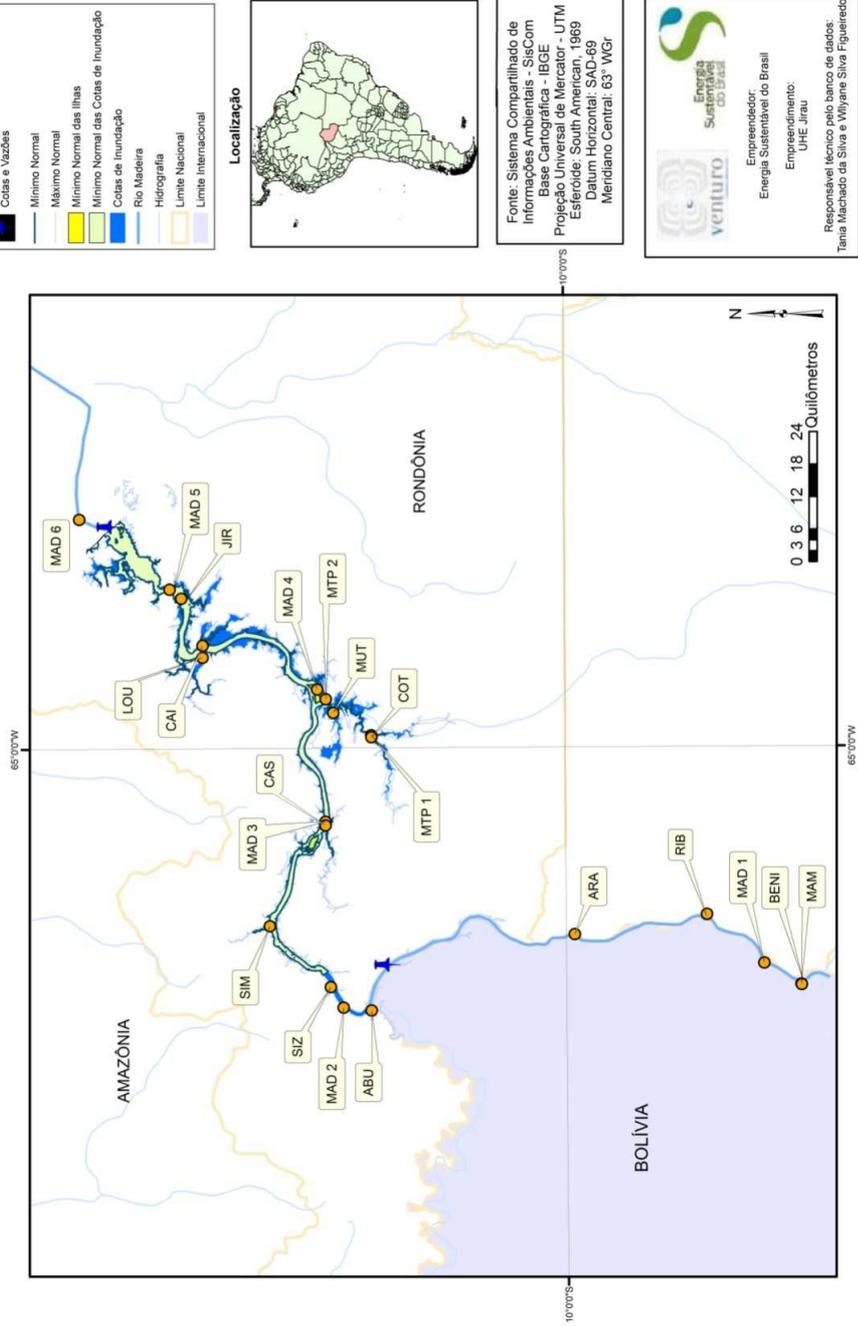


Figura 01 – Mapa do desenho amostral do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico nas áreas de influência direta e indireta do AHE Jirau

As análises dos teores de mercúrio em mamíferos aquáticos e semiaquáticos, em interface com o Programa de Conservação da Fauna Silvestre, não foi possível pois o monitoramento de mamíferos aquáticos e semi-aquáticos é realizado apenas por avistamentos, contemplando apenas amostras de material biológico (tecido muscular) de animais destinados para o tombamento em coleção científica, evitando o stress com a captura e retirada de material biológico com o animal vivo. Caso haja descartes, estes devem ser destinados à análise dos teores de mercúrio, entretanto, no período de setembro de 2009 a fevereiro de 2012 não houve ocorrência de animais destinados para tombamento em coleção científica ou descarte. Os níveis de mercúrio observados no período de setembro de 2009 a fevereiro de 2012 nos espécimes da ictiofauna piscívoras, onívoras e carnívoras associada à ausência de fontes de contaminação difusa de mercúrio na bacia do rio Madeira possibilita inferir tendência de níveis normais de mercúrio nos elos superiores da cadeia alimentar correspondentes aos mamíferos aquáticos e semi-aquáticos, sendo que a execução das análises de mercúrio nas amostras de mamíferos aquáticos e semi-aquáticos neste contexto são desconsideráveis à avaliação da dinâmica do mercúrio nas áreas de influência direta e indireta do AHE Jirau.

Os estudos da taxa de metilação foram feitos semestralmente nas amostras de solo, sedimento de fundo, água superficial e macrófitas aquáticas coletadas na área alagada do bolsão do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) e no igarapé Castanho (P11-CAS), áreas potencialmente críticas por apresentarem águas escuras. Todas as informações geradas foram compiladas em um banco de dados padronizado, facilitando as análises estatísticas univariadas e multivariadas para comparações pareadas e estudos de correlações. As análises estatísticas possibilitaram a avaliação da distribuição dos níveis das espécies de mercúrio nos compartimentos bióticos e abióticos, da dinâmica espacial e temporal das espécies de mercúrio, bem como a investigação dos mecanismos de organificação, bioacumulação e biomagnificação pela biota na bacia do rio Madeira.

A abordagem humana do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico nos vários níveis possíveis de integração na área da saúde humana contemplou o desenvolvimento de 02 (dois) estudos epidemiológicos associados ao ecológico, a partir de dados secundários, e outro transversal, considerando o número de habitantes nas localidades, suas características sociais e econômicas e a faixa etária. A equipe de profissionais da área da saúde, a qual garantiu a não existência de danos a dimensão física, psíquica, moral, intelectual, social, cultural ou espiritual dos participantes voluntários é responsável pela aplicação dos questionários com diferentes

módulos (sociodemográficos, história ocupacional, morbidade referida, hábitos sociais e culturais, inquérito alimentar, dentre outros) e coleta de amostras de cabelo da população. A avaliação clínica, neurológica e neuropsicológica foi aplicada em sub-amostras de voluntários. Todas as informações geradas foram compiladas no banco de dados padronizado, facilitando as análises estatísticas e avaliação da exposição ambiental.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros Físicos e Químicos

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos nos tributários e na calha do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo) disponibilizados pela interface com o Programa de Monitoramento Limnológico estão apresentados nas **Tabelas 02 a 07**.

Tabela 02. Resultados do parâmetros pH nos pontos amostrados na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Tipo	pH				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	Calha	7,35	0,61	7,35	8,30	6,40
P1.2-BENI	Calha	7,19	0,49	7,32	7,60	6,50
P2-MAD 1	Calha	7,29	0,68	7,25	8,30	6,20
P3-RIB	Tributário	7,12	0,41	7,20	7,60	6,60
P4-ARA	Tributário	6,51	0,56	6,60	7,20	5,30
P5-ABU	Tributário	6,94	0,66	6,95	7,80	5,49
P6-MAD 2	Calha	7,08	0,57	6,95	8,10	6,50
P7-SIZ	Tributário	6,28	0,58	6,06	7,30	5,60
P8-SIM	Tributário	6,65	0,49	6,80	7,50	5,71
P9-MAD 3	Calha	6,93	0,61	6,90	7,90	5,80
P10-CAS	Tributário	6,04	0,78	6,10	7,70	5,11
P11-MTP 1	Tributário	6,28	0,46	6,20	7,00	5,65
P12-COT	Tributário	6,17	0,52	6,20	7,00	5,20
P13-MUT	Lago	6,39	0,72	6,30	7,40	5,40
P20-MTP 2	Tributário	6,47	0,65	6,55	7,40	5,45
P14-MAD 4	Calha	6,49	0,67	6,55	7,80	5,40
P15-LOU	Tributário	6,16	0,91	5,95	7,40	5,20
P16-CAI	Tributário	6,09	0,94	5,70	7,80	5,10
P17-JIR	Tributário	6,29	0,94	5,90	7,60	5,10
P18-MAD 5	Calha	7,22	0,49	7,16	7,90	6,30
P19-MAD 6	Calha	7,15	0,53	7,20	7,90	6,10

Tabela 03. Resultados de oxigênio dissolvido (O.D.) nos pontos amostrados na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Tipo	O.D. mg L ⁻¹				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	Calha	5,62	1,55	6,06	7,07	2,50
P1.2-BENI	Calha	6,59	0,79	6,60	7,54	5,60
P2-MAD 1	Calha	6,25	1,64	6,44	9,01	3,60
P3-RIB	Tributário	6,63	1,78	6,87	8,50	4,02
P4-ARA	Tributário	5,42	1,50	4,87	7,60	3,64
P5-ABU	Tributário	5,90	2,18	5,94	8,46	2,54
P6-MAD 2	Calha	6,08	1,70	6,32	8,19	3,21
P7-SIZ	Tributário	4,90	2,09	4,42	8,00	2,50
P8-SIM	Tributário	5,74	1,95	5,40	8,10	2,61
P9-MAD 3	Calha	6,23	1,75	6,30	8,76	3,50
P10-CAS	Tributário	5,17	1,77	4,95	7,47	1,80
P11-MTP 1	Tributário	5,99	1,71	6,15	7,90	3,36
P12-COT	Tributário	5,61	1,37	5,95	7,00	3,20
P13-MUT	Lago	4,68	1,37	5,00	6,79	2,68
P20-MTP 2	Tributário	6,14	1,77	6,35	8,80	3,30
P14-MAD 4	Calha	6,09	1,67	5,79	8,63	3,70
P15-LOU	Tributário	5,52	1,73	5,42	7,80	3,05
P16-CAI	Tributário	5,74	2,12	5,80	8,84	2,60
P17-JIR	Tributário	5,61	2,14	5,29	8,23	2,30
P18-MAD 5	Calha	6,33	1,43	6,30	8,38	4,50
P19-MAD 6	Calha	6,56	1,82	6,15	9,20	4,04

Tabela 04. Resultados dos parâmetros turbidez nos pontos amostrados na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Tipo	Turbidez NTU				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	Calha	184,21	309,15	48,50	948,00	4,20
P1.2-BENI	Calha	550,93	863,80	157,35	1840,00	49,00
P2-MAD 1	Calha	274,02	385,94	140,50	1240,00	11,00
P3-RIB	Tributário	30,28	16,18	26,00	60,70	16,00
P4-ARA	Tributário	30,72	16,08	26,35	59,00	14,00
P5-ABU	Tributário	45,98	21,66	38,00	97,00	25,30
P6-MAD 2	Calha	336,06	312,31	182,00	988,00	65,70
P7-SIZ	Tributário	38,48	42,12	22,50	139,00	6,00
P8-SIM	Tributário	28,30	24,51	18,00	85,40	5,00
P9-MAD 3	Calha	455,42	427,43	340,00	1278,00	62,00
P10-CAS	Tributário	51,33	120,59	8,50	393,00	3,70
P11-MTP 1	Tributário	42,55	53,54	20,00	185,00	13,00
P12-COT	Tributário	16,32	17,37	11,85	65,10	6,20
P13-MUT	Lago	14,00	14,80	7,98	52,00	4,00
P20-MTP 2	Tributário	174,25	434,94	24,50	1406,00	6,00
P14-MAD 4	Calha	179,97	155,44	135,00	460,00	13,90
P15-LOU	Tributário	45,77	68,56	23,50	237,00	7,50
P16-CAI	Tributário	48,22	45,88	30,70	142,00	9,00
P17-JIR	Tributário	208,14	553,65	26,50	1782,00	4,80
P18-MAD 5	Calha	387,23	450,60	207,00	1462,00	14,00
P19-MAD 6	Calha	222,24	211,91	161,50	702,00	13,00

Tabela 05. Resultados do parâmetro condutividade nos pontos amostrados na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Tipo	Condutividade $\mu\text{S cm}^{-1}$				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	Calha	127,10	62,17	104,00	246,00	55,00
P1.2-BENI	Calha	96,33	20,60	94,00	118,00	77,00
P2-MAD 1	Calha	92,50	54,32	93,00	190,00	12,00
P3-RIB	Tributário	15,00	7,27	12,50	24,00	7,00
P4-ARA	Tributário	12,30	16,71	8,00	59,00	2,00
P5-ABU	Tributário	12,00	2,54	12,00	17,00	7,00
P6-MAD 2	Calha	96,60	28,44	87,50	154,00	66,00
P7-SIZ	Tributário	20,20	16,72	13,50	47,00	6,00
P8-SIM	Tributário	13,60	8,62	11,50	37,00	6,00
P9-MAD 3	Calha	92,50	25,35	85,50	146,00	68,00
P10-CAS	Tributário	10,00	6,50	8,50	26,00	3,00
P11-MTP 1	Tributário	10,40	4,55	8,50	21,00	6,00
P12-COT	Tributário	9,80	7,51	7,50	26,00	2,00
P13-MUT	Lago	6,90	4,12	5,50	13,00	2,00
P20-MTP 2	Tributário	33,80	39,52	11,00	127,00	5,00
P14-MAD 4	Calha	50,40	42,14	51,50	121,00	2,00
P15-LOU	Tributário	7,70	2,83	7,50	12,00	3,00
P16-CAI	Tributário	23,50	44,76	6,50	148,00	4,00
P17-JIR	Tributário	45,90	52,57	10,00	150,00	3,00
P18-MAD 5	Calha	80,80	32,75	82,00	129,00	7,00
P19-MAD 6	Calha	71,00	50,61	74,00	154,00	5,00

Tabela 06. Resultados do parâmetro sólido suspenso nos pontos amostrados na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Tipo	Sólido Suspenso mg L^{-1}				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	Calha	158,60	225,64	37,00	725,00	8,00
P1.2-BENI	Calha	216,75	255,31	112,00	593,00	50,00
P2-MAD 1	Calha	199,00	201,97	155,50	580,00	4,00
P3-RIB	Tributário	20,17	11,62	15,00	42,00	10,00
P4-ARA	Tributário	17,10	8,17	18,50	31,00	6,00
P5-ABU	Tributário	25,20	11,83	26,50	45,00	5,00
P6-MAD 2	Calha	275,70	274,98	152,50	771,00	25,00
P7-SIZ	Tributário	28,40	34,43	12,00	112,00	4,00
P8-SIM	Tributário	18,50	10,43	13,50	37,00	10,00
P9-MAD 3	Calha	293,80	241,57	188,50	650,00	40,00
P10-CAS	Tributário	72,50	190,46	10,50	614,00	4,00
P11-MTP 1	Tributário	32,80	56,82	11,00	189,00	6,00
P12-COT	Tributário	8,30	8,26	6,00	30,00	2,00
P13-MUT	Lago	15,50	12,15	11,00	42,00	4,00
P20-MTP 2	Tributário	165,20	334,82	12,00	1028,00	4,00
P14-MAD 4	Calha	128,70	124,40	86,50	365,00	6,00
P15-LOU	Tributário	23,30	31,25	14,50	109,00	4,00
P16-CAI	Tributário	42,90	63,23	11,50	207,00	3,00
P17-JIR	Tributário	174,80	330,34	26,50	950,00	5,00
P18-MAD 5	Calha	336,30	308,76	258,00	945,00	6,00
P19-MAD 6	Calha	149,10	127,37	147,00	403,00	8,00

Tabela 07. Resultados do parâmetro físico temperatura nos pontos amostrados na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Tipo	Temperatura °C				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	Calha	29,08	1,80	29,05	33,00	27,00
P1.2-BENI	Calha	28,64	0,86	28,10	30,00	28,00
P2-MAD 1	Calha	28,38	1,64	28,15	32,00	26,00
P3-RIB	Tributário	27,62	2,82	26,80	33,00	25,00
P4-ARA	Tributário	27,12	1,70	27,00	30,00	25,00
P5-ABU	Tributário	27,84	1,73	27,00	31,00	26,00
P6-MAD 2	Calha	28,00	1,62	27,90	30,00	25,30
P7-SIZ	Tributário	26,58	2,47	26,40	32,00	23,30
P8-SIM	Tributário	26,89	1,11	26,90	29,00	25,50
P9-MAD 3	Calha	27,72	1,58	27,95	30,00	25,60
P10-CAS	Tributário	26,25	2,93	26,40	31,00	22,00
P11-MTP 1	Tributário	26,11	1,50	25,93	29,00	24,00
P12-COT	Tributário	26,43	1,41	26,20	29,00	24,00
P13-MUT	Lago	27,93	2,99	27,92	32,00	22,00
P20-MTP 2	Tributário	27,47	2,16	27,25	31,00	24,00
P14-MAD 4	Calha	27,41	3,39	27,50	33,00	20,00
P15-LOU	Tributário	26,51	2,10	26,60	30,10	22,30
P16-CAI	Tributário	26,74	2,33	27,15	30,00	22,60
P17-JIR	Tributário	27,36	1,76	27,30	30,40	24,00
P18-MAD 5	Calha	28,50	1,41	28,35	31,00	26,70
P19-MAD 6	Calha	27,47	2,60	27,55	31,00	22,00

O pH (**Tabela 02**) apresentou valores medianos de 5,7 a 7,2 nos tributários e de 6,6 a 7,4 na calha do rio Madeira durante o período hidrológico de seca de 2009 a enchente de 2012, evidenciado tendência do comportamento de águas com maior acidez nos tributários quando comparado à calha do rio Madeira. O estudo temporal mostra que os maiores valores foram observados nos período de águas baixas (seca e enchente) quando comparado ao período de águas altas (cheia e vazante).

O teor de oxigênio dissolvido (**Tabela 03**) apresentou valores medianos de 4,4 a 6,9 mg L⁻¹ nos tributários e de 5,8 a 6,6 mg L⁻¹ na calha do rio Madeira durante os períodos hidrológicos de seca de 2009 à enchente de 2012, evidenciado menores teores de oxigênio dissolvido nos tributários quando comparado à calha do rio Madeira. Não foram identificadas áreas anóxicas. O teor médio de oxigênio dissolvido nas amostras de água coletadas na calha do rio Madeira na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foi aproximadamente 14% maior quando comparado a 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) e 28% maior quando comparado a 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010). Na 9ª campanha de campo (período de seca de 2011) foi aproximadamente 40% maior quando comparado a 5ª campanha de campo (período de seca de 2010). Na 8ª campanha

de campo (período de vazante de 2011) foi semelhante ao valor observado na 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010). Na 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011) foi aproximadamente 91% maior quando comparado a 3ª campanha de campo (período de cheia de 2010). Na 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) foi aproximadamente 9% maior quando comparado a 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010). Na 5ª campanha de campo (período de seca de 2010) foi semelhantes ao valor observado na 1ª campanha de campo (período de seca de 2009), entretanto nos tributários foi aproximadamente 15% maior. Portanto o estudo temporal do teor de oxigênio dissolvido na calha do rio Madeira mostra maiores valores no ciclo hidrológico de 2011 quando comparado ao observado no ciclo hidrológico de 2010.

O teor de turbidez (**Tabela 04**) apresentou valores medianos de 8 a 38 NTU nos tributários e de 49 a 340 NTU na calha do rio Madeira durante os períodos hidrológicos de seca de 2009 à enchente de 2012, evidenciado elevada turbidez na calha do rio Madeira associado ao elevado transporte de material particulado.

O valor médio de turbidez observados nas amostrados coletadas na calha do rio Madeira na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foi aproximadamente 10 vezes maior quando comparado a 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) e 1 vez menor quando comparado a 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010). Na 9ª campanha de campo (período de seca de 2011) foi 5,5 vezes maior quando comparado a 5ª campanha de campo (período de seca de 2010). Na 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011) foi 2 vezes maior quando comparado a 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010), na 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011) foi semelhante ao valor observado na 3ª campanha de campo (período de cheia de 2010), na 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) foi 20 vezes menor quando comparado a 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010), na 5ª campanha de campo (período de seca) foi aproximadamente 5 vezes menores quando comparados a 1ª campanha de campo (período de seca). Entretanto os valores de turbidez nas amostras de água coletadas nos tributários na 5ª campanha de campo (período de seca) foram aproximadamente 3 vezes maiores quando comparados aos valores observados na 1ª campanha de campo (período de seca).

O valor médio de turbidez nas amostras de água coletadas na calha do rio Madeira na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foi 4 vezes maior quando comparados a 9ª campanha de campo (período de seca de 2011), na 9ª campanha de campo (período de

seca de 2011) foi 1,5 vezes maior quando comparados a 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011), na 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011) foi 3,5 vezes maior quando comparado a 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011), na 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011) foi 7,0 vezes maior quando comparado a 6ª campanha de campo (período de enchente de 2010), na 6ª campanha de campo (período de enchente de 2010) foi 50% menor quando comparado a 5ª campanha de campo (período de seca de 2010), na 5ª campanha de campo (período de cheia de 2010) foi 2 vezes menor quando comparado a 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010), na 4ª campanha foi 5 vezes menor quando comparado a 3ª campanha de campo (período de cheia de 2010), na 3ª campanha de campo (período de enchente de 2010) foi 7,5 vezes menor quando comparado a 2ª campanha de campo (período de cheia de 2010). Portanto o estudo temporal evidencia tendência de diminuição dos valores de turbidez na calha do rio Madeira ao longo do ciclo hidrológico de 2010 de aproximadamente 14,5%, enquanto que no ciclo hidrológico de 2011 foi observado aumento dos valores de turbidez ao longo do ciclo hidrológico de aproximadamente 12%.

A condutividade (**Tabela 05**) apresentou valores medianos de 14 a 6 $\mu\text{S cm}^{-1}$ nos tributários e de 104 a 52 $\mu\text{S cm}^{-1}$ na calha do rio Madeira durante os períodos hidrológicos de seca de 2009 à enchente de 2012, evidenciado menores valores de condutividade nos tributários quando comparado a calha do rio Madeira.

O valor médio de condutividade nas amostras de água coletadas na calha do rio Madeira na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foi aproximadamente 1 vez maior quando comparado a 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) e a 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010), na 9ª campanha de campo (período de cheia de 2011) foi 5 vezes maior quando comparado a 5ª campanha de campo (período de seca de 2010), na 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011) foi semelhantes ao valor observado na 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010), na 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011) foi 7,5 vezes maior quando comparado a 3ª campanha de campo (período de cheia de 2010), na 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) foi 2,2 vezes menor quando comparado a 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010), na 5ª campanha de campo (período de seca de 2010) foi 4 vezes menor quando comparado a 1ª campanha de campo (período de seca de 2009). Portanto o estudo temporal dos valores de condutividade na calha do rio Madeira mostra

maiores valores no ciclo hidrológico de 2011 quando comparado ao observado no ciclo hidrológico de 2010.

O teor de sólidos suspensos (**Tabela 06**) apresentou valores medianos de 6 a 27 mg L⁻¹ nos tributários e de 37 a 258 mg L⁻¹ na calha do rio Madeira durante os períodos hidrológicos de seca de 2009 à enchente de 2012, evidenciado menores teores de sólidos suspensos nos tributários quando comparado a calha do rio Madeira.

Os valores máximos dos teores de sólidos suspensos são observados nos períodos hidrológicos de vazante e cheia estando associados aos pulsos de inundação do rio Madeira. O teor médio de sólidos suspensos nas amostras de água coletadas na calha do rio Madeira Madeira na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foi aproximadamente 2 vezes menor quando comparado a 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) e a 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010), na 9ª campanha de campo (período de cheia de 2011) foi 2 vezes maior quando comparado a 5ª campanha de campo (período de seca de 2010), na 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011) foi 3,2 vezes maior quando comparado a 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010), na 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011) ao valor foram semelhantes aos observados na 3ª campanha de campo (período de cheia de 2010), na 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) foi 2,7 vezes menor quando comparado a 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010), na 5ª campanha de campo (período de seca de 2010) foi 5 vezes menor quando comparado a 1ª campanha de campo (período de seca de 2009), entretanto os valores de sólidos suspensos nas amostras de água coletadas nos tributários na 5ª campanha de campo (período de seca de 2010) foram aproximadamente 3 vezes maiores quando comparados aos valores observados na 1ª campanha de campo (período de seca de 2009). Portanto o estudo temporal do teor de sólidos suspensos na calha do rio Madeira mostra maiores valores no ciclo hidrológico de 2011 quando comparado ao observado no ciclo hidrológico de 2010.

A temperatura (**Tabela 07**) apresentou valores medianos de 25,9 a 27,9°C nos tributários e de 27,5 a 29,1°C na calha do rio Madeira durante os períodos hidrológicos de seca de 2009 à enchente de 2012. Nos ambientes aquáticos da região Amazônica a temperatura apresenta comportamento homogêneo na massa de água, com variações pequenas na escala sazonal e espacial.

Concentrações das Espécies de Mercúrio na Água Superficial

Os teores de mercúrio total, mercúrio orgânico e mercúrio reativo (HgR) nas amostras de água superficial coletadas na bacia do rio Madeira estão apresentados na **Tabelas 08 a 10**.

Tabela 08. Concentrações de mercúrio total na água nos pontos amostrados na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Tipo	HgT (ng L ⁻¹)				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	Calha	6,53	9,56	2,82	30,93	< 1,02
P1.2-BENI	Calha	9,41	6,86	9,90	23,47	< 1,02
P2-MAD 1 – A	Calha	7,77	6,88	4,02	21,93	< 1,02
P2-MAD 1 – B	Calha	8,04	7,03	4,96	22,38	< 1,02
P2-MAD 1 – C	Calha	7,89	6,46	5,31	16,54	< 1,02
P3-RIB	Tributário	4,11	3,19	3,39	10,01	< 1,02
P4-ARA	Tributário	10,59	5,66	13,06	16,80	< 1,02
P5-ABU	Tributário	17,86	18,98	11,02	57,78	< 1,02
P6-MAD 2 – A	Calha	9,50	6,58	9,80	22,48	< 1,02
P6-MAD 2 – B	Calha	9,15	5,28	9,70	15,42	< 1,02
P6-MAD 2 – C	Calha	22,12	39,01	12,84	125,01	< 1,02
P7-SIZ	Tributário	19,88	32,24	9,29	109,97	3,02
P8-SIM	Tributário	17,67	7,52	19,97	28,69	< 1,02
P9-MAD 3 – A	Calha	12,58	9,48	9,30	32,01	2,72
P9-MAD 3 – B	Calha	13,78	10,66	10,64	37,35	3,33
P9-MAD 3 – C	Calha	10,00	5,35	9,86	19,17	3,24
P10-CAS	Tributário	8,64	6,53	9,05	19,54	< 1,02
P11-MTP 1	Tributário	12,52	16,08	5,77	51,26	< 1,02
P12-COT	Tributário	15,21	19,60	10,85	58,59	< 1,02
P13-MUT 1	Lago	10,00	5,87	9,61	16,68	< 1,02
P20-MTP 2	Tributário	10,48	8,84	7,94	26,70	< 1,02
P14-MAD 4 – A	Calha	12,30	10,33	8,34	31,48	< 1,02
P14-MAD 4 – B	Calha	14,95	14,70	9,81	44,62	< 1,02
P14-MAD 4 – C	Calha	10,46	7,82	9,60	25,99	< 1,02
P15-LOU	Tributário	13,35	11,55	7,24	34,77	< 1,02
P16-CAI	Tributário	11,15	13,09	5,40	41,91	< 1,02
P17-JIR	Tributário	18,87	10,00	23,36	26,80	< 1,02
P18-MAD 5 – A	Calha	12,66	8,41	9,17	29,20	4,83
P18-MAD 5 – B	Calha	12,56	6,97	10,62	21,10	3,05
P18-MAD 5 – C	Calha	15,53	10,53	12,72	34,91	3,21
P19-MAD 6 – A	Calha	14,77	8,91	13,25	33,20	4,32
P19-MAD6 – B	Calha	14,74	9,86	13,19	36,40	3,89
P19-MAD 6 – C	Calha	12,59	7,15	9,64	25,65	4,51

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



Tabela 09. Resultados das concentrações de mercúrio orgânico na água superficial nos pontos amostrados na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Tipo	HgORG (ng L ⁻¹)				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	Calha	< 0,3	-	-	-	-
P1.2-BENI	Calha	0,62	-	0,62	0,62	-
P2-MAD 1 – A	Calha	0,41	-	0,41	0,41	< 0,3
P2-MAD 1 – B	Calha	< 0,3	-	-	0,00	-
P2-MAD 1 – C	Calha	0,37	-	0,37	0,37	< 0,3
P3-RIB	Tributário	0,15	-	0,15	0,15	< 0,3
P4-ARA	Tributário	0,52	-	0,52	0,52	< 0,3
P5-ABU	Tributário	0,97	0,11	0,97	1,05	< 0,3
P6-MAD 2 – A	Calha	0,51	-	0,51	0,51	< 0,3
P6-MAD 2 – B	Calha	0,46	-	0,46	0,46	< 0,3
P6-MAD 2 – C	Calha	1,64	1,50	1,64	2,70	< 0,3
P7-SIZ	Tributário	0,47	0,15	0,48	0,62	< 0,3
P8-SIM	Tributário	1,11	0,59	1,25	1,63	< 0,3
P9-MAD 3 – A	Calha	0,98	0,25	0,98	1,15	< 0,3
P9-MAD 3 – B	Calha	1,44	0,52	1,44	1,80	< 0,3
P9-MAD 3 – C	Calha	1,23	0,76	0,86	2,10	< 0,3
P10-CAS	Tributário	< 0,3	-	-	-	-
P11-MTP 1	Tributário	1,58	-	1,58	1,58	< 0,3
P12-COT	Tributário	1,26	-	1,26	1,83	< 0,3
P13-MUT 1	Lago	0,33	0,11	0,33	0,41	< 0,3
P20-MTP 2	Tributário	1,40	-	1,40	2,12	< 0,3
P14-MAD 4 – A	Calha	0,64	-	0,64	0,64	< 0,3
P14-MAD 4 – B	Calha	0,69	-	0,69	0,69	< 0,3
P14-MAD 4 – C	Calha	0,82	-	0,82	0,82	< 0,3
P15-LOU	Tributário	0,75	-	0,75	0,75	< 0,3
P16-CAI	Tributário	< 0,3	-	-	-	-
P17-JIR	Tributário	< 0,3	-	-	-	-
P18-MAD 5 – A	Calha	0,59	0,16	0,59	0,70	< 0,3
P18-MAD 5 – B	Calha	0,54	0,28	0,54	0,74	< 0,3
P18-MAD 5 – C	Calha	0,98	0,36	0,98	1,23	< 0,3
P19-MAD 6 – A	Calha	0,84	0,10	0,84	0,91	< 0,3
P19-MAD6 – B	Calha	0,89	0,22	0,89	1,04	< 0,3
P19-MAD 6 – C	Calha	0,93	0,44	0,93	1,24	< 0,3

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

Tabela 10. Resultados das concentrações de mercúrio reativo na água superficial nos pontos amostrados na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Tipo	HgR (ng L ⁻¹)				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	Calha	3,21	4,27	0,93	10,32	< 0,3
P1.2-BENI	Calha	2,97	2,86	2,11	9,09	< 0,3
P2-MAD 1 – A	Calha	1,61	2,04	0,67	5,26	< 0,3
P2-MAD 1 – B	Calha	1,45	1,93	0,45	5,45	< 0,3
P2-MAD 1 – C	Calha	1,91	2,88	0,63	8,48	< 0,3
P3-RIB	Tributário	0,88	0,56	0,55	1,76	< 0,3
P4-ARA	Tributário	2,44	2,45	1,42	6,95	< 0,3
P5-ABU	Tributário	2,00	1,91	1,09	5,53	< 0,3
P6-MAD 2 – A	Calha	1,94	3,13	0,88	10,18	< 0,3
P6-MAD 2 – B	Calha	1,92	2,18	0,80	6,69	< 0,3
P6-MAD 2 – C	Calha	5,90	11,71	0,92	36,41	< 0,3
P7-SIZ	Tributário	2,47	1,77	1,66	5,54	< 0,3
P8-SIM	Tributário	3,04	2,39	2,61	8,85	< 0,3
P9-MAD 3 – A	Calha	1,59	1,17	1,27	4,42	0,39
P9-MAD 3 – B	Calha	1,93	2,10	1,33	7,39	0,38
P9-MAD 3 – C	Calha	1,85	1,46	1,27	5,03	0,39
P10-CAS	Tributário	4,47	4,39	2,13	12,42	0,55
P11-MTP 1	Tributário	3,87	5,11	1,07	14,79	< 0,3
P12-COT	Tributário	7,06	10,36	2,82	29,55	< 0,3
P13-MUT 1	Lago	2,80	4,04	1,27	10,93	< 0,3
P20-MTP 2	Tributário	2,74	3,63	0,71	9,95	< 0,3
P14-MAD 4 – A	Calha	2,71	3,10	0,99	8,29	< 0,3
P14-MAD 4 – B	Calha	3,10	4,17	0,92	12,86	< 0,3
P14-MAD 4 – C	Calha	2,11	2,50	0,89	7,10	< 0,3
P15-LOU	Tributário	2,96	5,27	0,68	15,83	< 0,3
P16-CAI	Tributário	3,12	4,13	1,10	10,71	< 0,3
P17-JIR	Tributário	3,89	5,29	2,09	14,58	< 0,3
P18-MAD 5 – A	Calha	1,89	1,55	1,55	5,51	0,55
P18-MAD 5 – B	Calha	1,67	1,29	1,17	4,23	0,46
P18-MAD 5 – C	Calha	2,33	1,97	1,63	6,41	0,67
P19-MAD 6 – A	Calha	2,04	2,04	1,55	7,36	0,59
P19-MAD 6 – B	Calha	2,11	2,15	1,44	6,97	0,45
P19-MAD 6 – C	Calha	2,38	2,16	1,69	7,72	0,59

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

As concentrações de mercúrio total na água na calha do rio Madeira apresentaram medianas de 4,02 a 13,25 ng L⁻¹ sendo as concentrações máximas de 44,62 a 15,42 ng L⁻¹, com exceção do ponto de amostragem P6-MAD 2C (margem esquerda do rio Madeira) que apresentou concentração máxima de 125,01 ng L⁻¹. Nos tributários do rio Madeira as concentrações de mercúrio total apresentaram medianas de 5,40 a 23,36 ng L⁻¹ sendo as concentrações máxima de 16,68 a 58,59 ng L⁻¹, com exceção do ponto de amostragem P7-SIZ (igarapé Simãozinho) que apresentou concentração máxima de 109,97 ng L⁻¹.

As concentrações de mercúrio total nas amostras de água coletadas no tributários (12,67 ± 11,64 ng L⁻¹) e na calha (13,35 ± 11,58 ng L⁻¹) no rio Madeira na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foram aproximadamente 1 e 2 vezes maiores quando comparados a 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) nos tributários (10,90 ± 8,12 ng L⁻¹) e na calha (8,37 ± 3,57 ng L⁻¹) do rio Madeira, respectivamente, e aproximadamente 1 e 2 vezes maiores quando comparados a 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010) nos tributários (17,71 ± 15,53 ng L⁻¹) e na calha (23,29 ± 9,96 ng L⁻¹) do rio Madeira, respectivamente.

As concentrações de mercúrio total nas amostras de água coletadas no tributários (17,43 ± 7,30 ng L⁻¹) e na calha (15,48 ± 3,67 ng L⁻¹) no rio Madeira na 9ª campanha de campo (período de seca de 2011) foram aproximadamente 2 vezes maiores quando comparados a 5ª campanha de campo (período de seca de 2010) nos tributários (9,75 ± 7,53 ng L⁻¹) e na calha (7,95 ± 3,25 ng L⁻¹) do rio Madeira.

As concentrações de mercúrio total nas amostras de água coletadas nos tributários (50,85 ± 7,30 ng L⁻¹) e calha (4,44 ± 0,71 ng L⁻¹) do rio Madeira na 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011) foram aproximadamente 5 vezes maiores nos tributários e 5 vezes menores na calha quando comparados a 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010) nos tributários (21,56 ± 9,18 ng L⁻¹) e na calha (9,23 ± 3,96 ng L⁻¹) do rio Madeira.

As concentrações de mercúrio total nas amostras de água coletadas no tributários (5,21 ± 4,01 ng L⁻¹) e na calha (4,59 ± 1,17 ng L⁻¹) no rio Madeira na 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011) foram semelhantes aos valores observados na 3ª campanha de campo (período de cheia de 2010) nos tributários (5,87 ± 3,23 ng L⁻¹) e na calha (5,61 ± 2,45 ng L⁻¹) do rio Madeira. As concentrações de mercúrio total nas amostras de água coletadas no tributários (10,90 ± 8,12 ng L⁻¹) e na calha (8,37 ± 3,57 ng L⁻¹) no rio Madeira na 6ª campanha de campo (período de

enchente de 2011) foram aproximadamente de 2 a 3 vezes menores quando comparados a 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010) nos tributários ($17,71 \pm 15,53 \text{ ng L}^{-1}$) e na calha ($23,29 \pm 9,96 \text{ ng L}^{-1}$) do rio Madeira. O estudo temporal indica menores valores médios de mercúrio total nas amostras de água coletadas na calha do rio Madeira no período hidrológico de 2011 quando comparado ao período hidrológico de 2010, com exceção dos tributários no período hidrológico de vazante de 2011 com maiores valores de mercúrio total na água.

A Resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre as classificações sobre os 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 2.914/2011 do Ministério da Saúde, por sua vez, que estabelece os procedimentos e 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} . Portanto todas as amostras de água superficial analisadas no período de setembro de 2009 a janeiro de 2012 estão abaixo dos valores determinados pelas legislações brasileiras para os corpos de água doce e consumo humano.

As concentrações de mercúrio orgânico nas amostras de água superficial na calha e nos tributários do rio Madeira na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012), na 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011), na 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011) e na 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) apresentaram valores menores que $0,3 \text{ ng L}^{-1}$ em todos os pontos de coleta ao longo do rio Madeira.

As concentrações de mercúrio orgânico nas amostras de água superficial na calha e nos tributários do rio Madeira na 9ª campanha de campo (período de seca de 2011) apresentaram valores menores que $0,3 \text{ ng L}^{-1}$ em todos os pontos de coleta ao longo do rio Madeira, com exceção do Igarapé Cotia – P12-COT ($1,83 \text{ ng L}^{-1}$) e da foz do rio Mutum Paraná – P20-MTP2 ($2,12 \text{ ng L}^{-1}$). Os teores de mercúrio orgânico nas amostras de água superficial na calha e nos tributários do rio Madeira na 5ª campanha de campo (período de seca de 2010) apresentaram valores menores que $0,3 \text{ ng L}^{-1}$ em todos os pontos de coleta ao longo do rio Madeira, com exceção do rio Beni – P1.2-BENI ($0,62 \text{ ng L}^{-1}$), rio Abunã – P5-ABU ($0,89 \text{ ng L}^{-1}$), Igarapé Simãozinho – P7-SIZ ($0,62 \text{ ng L}^{-1}$), Igarapé São Simão – P8-SIM ($1,63 \text{ ng L}^{-1}$) e Igarapé Cotia – P12-COT ($0,68 \text{ ng L}^{-1}$). Os teores de mercúrio orgânico nas amostras de água superficial na calha e nos tributários do rio Madeira na 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010) apresentaram valores menores que $0,3 \text{ ng L}^{-1}$ em todos os pontos de coleta ao longo do rio

Madeira, com exceção dos Igarapés Simãozinho – P7-SIZ (2,70 ng L⁻¹), Castanho – P10-CAS (2,10 ng L⁻¹) e Cotia – P12-COT (1,58 ng L⁻¹). Na 3ª campanha de campo (período de cheia de 2010) foram observados teores de mercúrio orgânico nas amostras de água superficial na calha do rio Madeira menores que 0,3 ng L⁻¹ e nos tributários valores maiores que 0,3 ng L⁻¹ apenas nos pontos P9 - SIM (0,32 ng L⁻¹), P14 - MUT (0,68 ng L⁻¹) e P15-MTP2 (0,41 ng L⁻¹). Na 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010) foram observados valores maiores que 0,3 ng L⁻¹ apenas nos pontos P09-MAD 3 (1,23 ± 0,5 ng L⁻¹), P18-MAD 5 (0,68 ± 0,5 ng L⁻¹) e P19-MAD 6 (0,96 ± 0,3 ng L⁻¹) e na 1ª campanha de campo (período de seca de 2009) valores maiores que 0,3 ng L⁻¹ nos pontos P2-MAD 1 (0,39 ± 0,03 ng L⁻¹), P6-MAD 2 (0,52 ± 0,06 ng L⁻¹) e P9-MAD 3 (0,91 ± 0,14 ng L⁻¹), P14-MAD 4 (0,72 ± 0,09 ng L⁻¹), P18-MAD 5 (0,72 ± 0,02 ng L⁻¹) e P19-MAD 6 (0,81 ± 0,21 ng L⁻¹).

O estudo temporal indica menores valores médios de mercúrio orgânico nas amostras de água coletadas na calha e nos tributários do rio Madeira no período hidrológico de 2011 quando comparado ao período hidrológico de 2010.

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. 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. 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 em todas as amostras analisadas no período de setembro de 2009 (período de seca) a janeiro de 2012 (período de enchente) estão abaixo de 10% do estoque de mercúrio total na água, não evidenciando pontos de contaminação difusa ou biorreatores naturais ao longo da área de influência direta e indireta do AHE Jirau.

As concentrações de mercúrio reativo na água na calha do rio Madeira apresentaram medianas de 0,45 a 2,1 ng L⁻¹ sendo as concentrações máximas de 4,23 a 36,41 ng L⁻¹. Enquanto que nos tributários do rio Madeira as concentrações de mercúrio total apresentaram medianas de 0,71 a 2,72 ng L⁻¹ sendo as concentrações máxima de 4,42 a 29,55 ng L⁻¹. O teor de mercúrio reativo nas amostras de água coletadas na calha do rio Madeira na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foi aproximadamente 2 a 3 vezes menor quando comparado a 9ª campanha de campo (período de seca de 2011), na 9ª campanha de campo (período de seca de 2011) foi aproximadamente 5 vezes maior quando comparado a 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011), na 8ª campanha de campo foi aproximadamente 2 vezes menor quando comparado a 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011), na 7ª campanha de campo foi aproximadamente 8,75% menores quando comparados a 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011), na 6ª campanha de campo foi aproximadamente 65% menores quando comparados aos valores observados na 5ª campanha de campo (período de seca de 2010), na 5ª campanha de campo foi aproximadamente 30% maior quando comparados a 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010), na 4ª campanha de campo foi aproximadamente 3 vezes maiores quando comparados a 3ª campanha de campo (período de cheia de 2010), na 3ª campanha de campo foi aproximadamente 3 vezes menor quando comparados a 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010) e na 2ª campanha de campo foi aproximadamente 1,5 vezes maiores quando comparados a 1ª campanha de campo (período de seca de 2009).

Concentrações das Espécies de Mercúrio em Solo

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 sequências 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 as 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 AHE Jirau. 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) - frequentemente 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 arcossianos de estratificação cruzada, arcósio e conglomerados;

MPmr (Grupo Meta-Vulcano-Sedimentar Mutum-Paraná-Roosevelt) – constituída por uma sequência 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.

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 as campanhas 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 AHE Jirau. 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 frequentemente, 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;

Latossolos: grupo de solos com horizonte B ôxico 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 são reconhecidos o latossolos Amarelo distrófico, Vermelho-Amarelo e Vermelho escuro distrófico;

Latossolos Amarelos: grupo de solo caracterizado pelos altos conteúdos de caulinita 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;

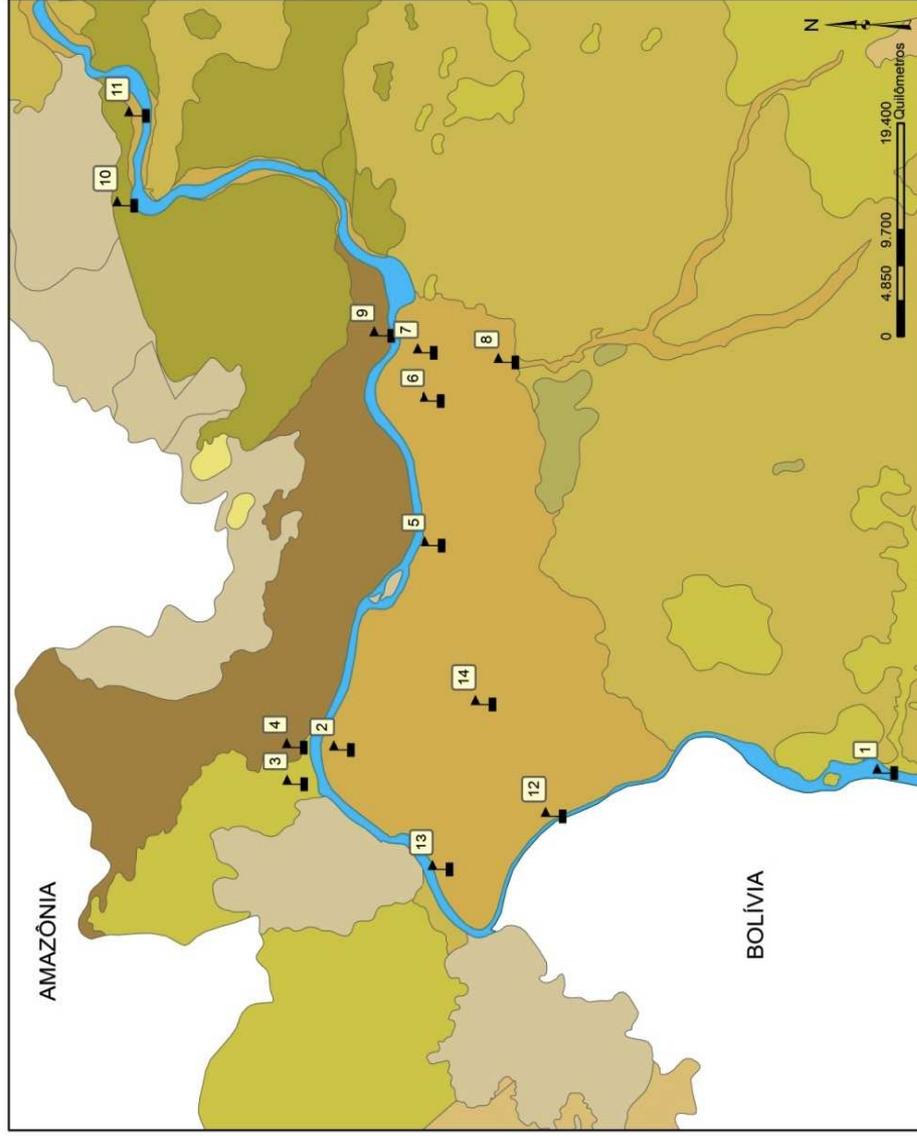
Gleissolos distróficos: grupo de solos de ocorrência em regiões com excesso de água temporária e permanente, característico de drenagem precária com déficit acentuado de oxigênio. Este fato normalmente restringe o crescimento vegetal apesar de existirem espécies adaptadas tais como arroz, juta, algumas 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.

Os principais grupos de solo coletados na 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010) e 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010) que ocorrem nas áreas de influência direta e indireta do AHE Jirau estão apresentados no **Quadro 1** e nas **Figuras 02 e 03**. Os principais grupos de solo coletados na 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) e 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011) estão apresentados no **Quadro 2** e na **Figura 04**. Os principais grupos de solo coletados na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) estão apresentados no **Quadro 3** e na **Figura 05**.

Quadro 01. Pontos de amostragem de solo (2ª e 4ª campanhas de campo) com sua descrição e classificação pedológica.

Pontos	Uso e Ocupação	Pedologia
P1	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Latossolo Vermelho Escuro Distrófico
P2	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Gleissolo Distróficos
P3	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Latossolo Amarelo Distrófico
P4	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Latossolo Amarelo Distrófico
P5	Cobertura vegetal não lenhosa – pastagem	Gleissolo Distróficos
P6	Cobertura vegetal não lenhosa – mata ciliar	Gleissolo Distróficos
P7	Solo exposto	Gleissolo Distróficos
P8	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Gleissolo Distróficos
P9	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Areias Quartzosas ou Neossolos Quatzarenicos
P10	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Gleissolo Distróficos
P11	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Latossolo Vermelho-Amarelo
P12	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Cambissolos Eutróficos
P13	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Gleissolo Distróficos
P14	Cobertura vegetal não lenhosa – pastagem	Gleissolo Distróficos

MAPA GEOLÓGICO



Legenda

- ▲ Pontos de Coleta
- Letreiras Imaturas no Topo de Perfis Preservados
- Supergroupo Guaiassé Mergulho Jaru
- Grupo Palmeral - São Lourenço
- Grupo (Meia) Vulcânico-Sedimentar Mutuparanã-Roosevelt
- Granitos Jovens de Rondônia
- Supergroupo Guaiassé Mergulho Jaru
- Depósitos Aluvionares em Canais Fluviais
- Cobertura Sedimentar Indiferenciada
- Rio Madeira

Localização



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



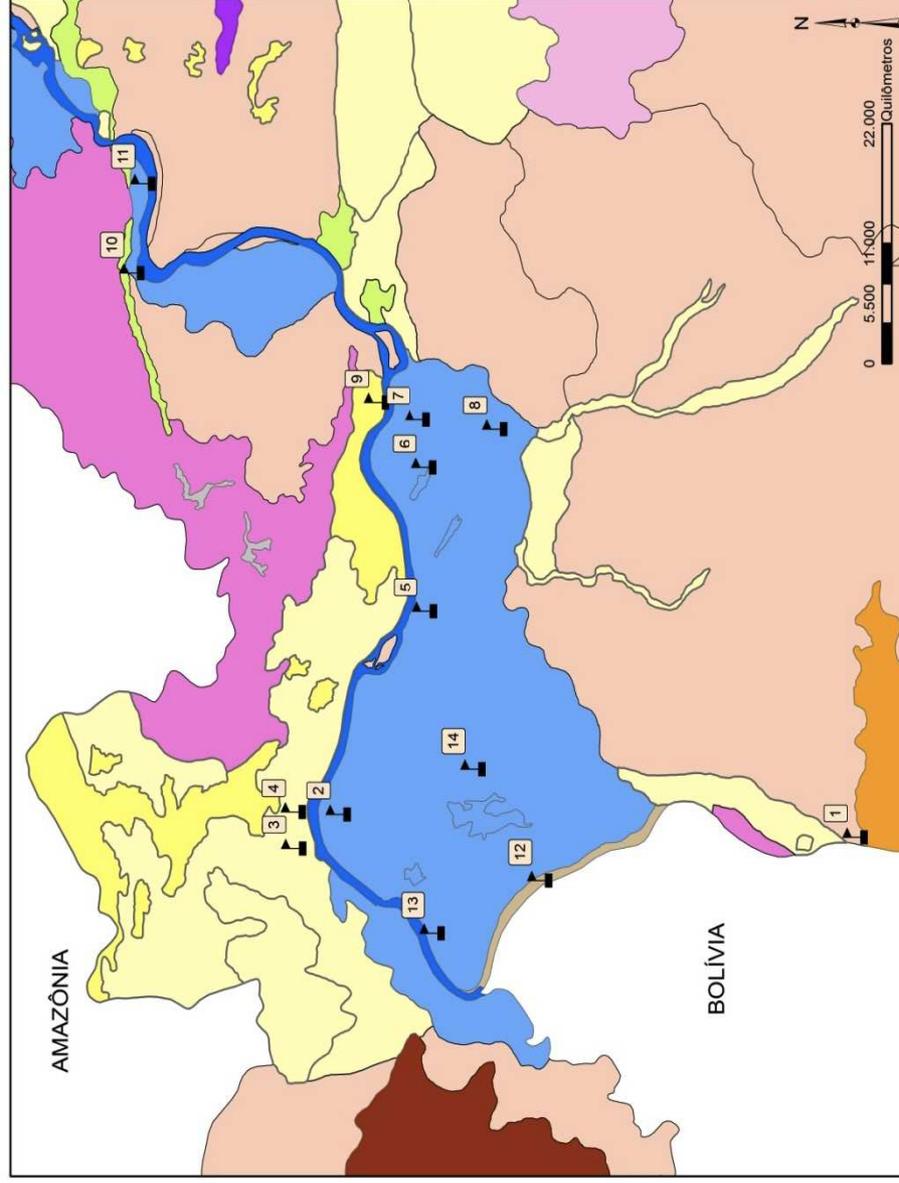
Empreendedor:
 Energia Sustentável do Brasil
 Empreendimento:
 UHE Jirau

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

Figura 02. Mapa geológico dos pontos amostrais de solo nas 2ª e 4ª campanhas de campo na bacia do rio Madeira.



MAPA PEDOLÓGICO



Legenda

Pontos de Coleta

- AD - Solos Aluviais Distúrficos
- CD - Cambissolos Distúrficos
- DE - Cambissolos Eutróficos
- EE - Regossolos Eutróficos
- GD - Solos Glei Distúrficos
- GE - Solos Glei Eutróficos
- ID - Solos Concrecionários Distúrficos
- LD - Latossolos Amarelos Distúrficos
- LLD - Latossolos Vermelho-Amarelos Distúrficos
- LVD - Latossolos Vermelho-Escuros Distúrficos
- PD - Podzólicos Amarelos Distúrficos
- PO - Podzólicos Vermelho-Amarelos Distúrficos
- O - Áreas Quartzosas
- RD - Solos Litólicos Distúrficos
- Rio Madeira

Localização

Fonte: Sistema Compartilhado de Informações Ambientais - SisCom
 Base Cartográfica - IBGE
 Projeção Universal de Mercator - UTM
 Esteroide: 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 03. Mapa pedológico dos pontos amostrais de solo nas 2ª e 4ª campanhas de campo na bacia do rio Madeira.



Quadro 02 - Pontos de amostragem de solo (6ª e 8ª campanhas de campo) com sua descrição e classificação pedológica.

Pontos	Uso e ocupação	Pedologia
P1	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico
P2	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico
P3	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Latossolos Vermelho Amarelo Distrófico
P4	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Gleissolo Distrófico
P5	Cobertura vegetal não lenhosa – pastagem	Gleissolo Distrófico
P6	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Gleissolo Distrófico
P7	Cobertura vegetal lenhosa	Gleissolo Distrófico
P8	Solo exposto – supressão da vegetação	Gleissolo Distrófico
P9	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Latossolos Amarelos Distróficos
P10	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Latossolos Amarelos Distróficos
P11	Cobertura vegetal não lenhosa – pastagem	Latossolos Vermelho Amarelo Distrófico
P12	Cobertura vegetal lenhosa – mata cilicar	Latossolos Vermelho Amarelo Distrófico
P13	Solo exposto – supressão de vegetação	Latossolos Vermelho Amarelo Distrófico
P14	Solo exposto – supressão de vegetação	Neossolo Litólico

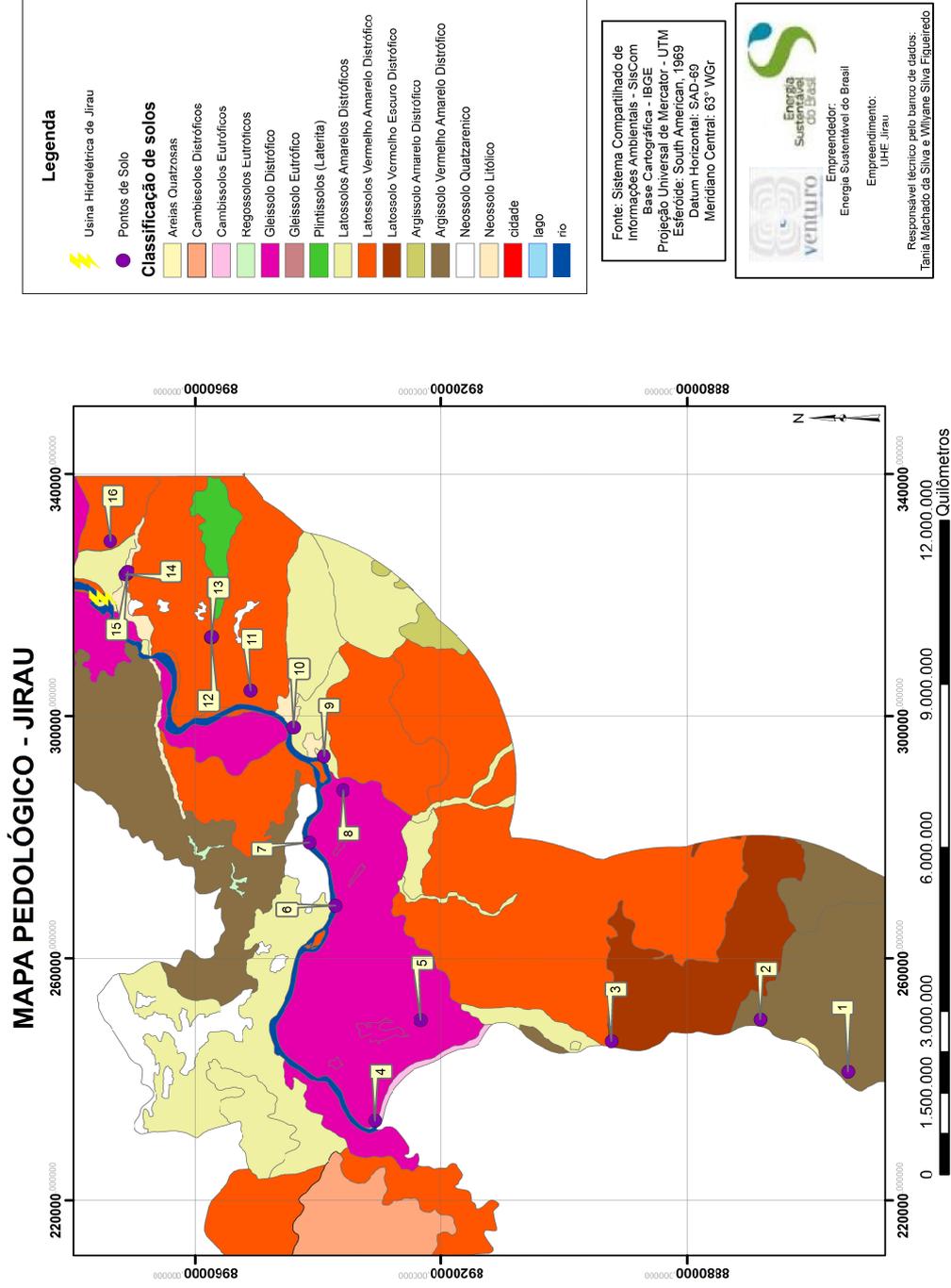


Figura 04. Mapa pedológico dos pontos amostrais de solo nas 6ª e 8ª campanhas de campo na bacia do rio Madeira.

Quadro 03 - Pontos de amostragem de solo (10ª campanha de campo) com sua descrição e classificação pedológica.

Pontos	Uso e ocupação	Pedologia
P1	Cobertura vegetal lenhosa – pastagem	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico
P2	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico
P3	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Latossolos Vermelho Escuro Distrófico
P4	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Latossolos Vermelho Amarelo Distrófico
P5	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Gleissolo Distrófico
P6	Cobertura vegetal não lenhosa – mata ciliar	Gleissolo Distrófico
P7	Cobertura vegetal não lenhosa – mata ciliar	Gleissolo Distrófico
P8	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Gleissolo Distrófico
P9	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Neossolo Quatzarenico
P10	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Neossolo Quatzarenico
P11	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Latossolos Amarelo Distrófico
P12	Cobertura vegetal não lenhosa – pastagem	Latossolos Vermelho Amarelo Distrófico
P13	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Gleissolo Distrófico
P14	Cobertura vegetal não lenhosa – pastagem	Gleissolo Distrófico

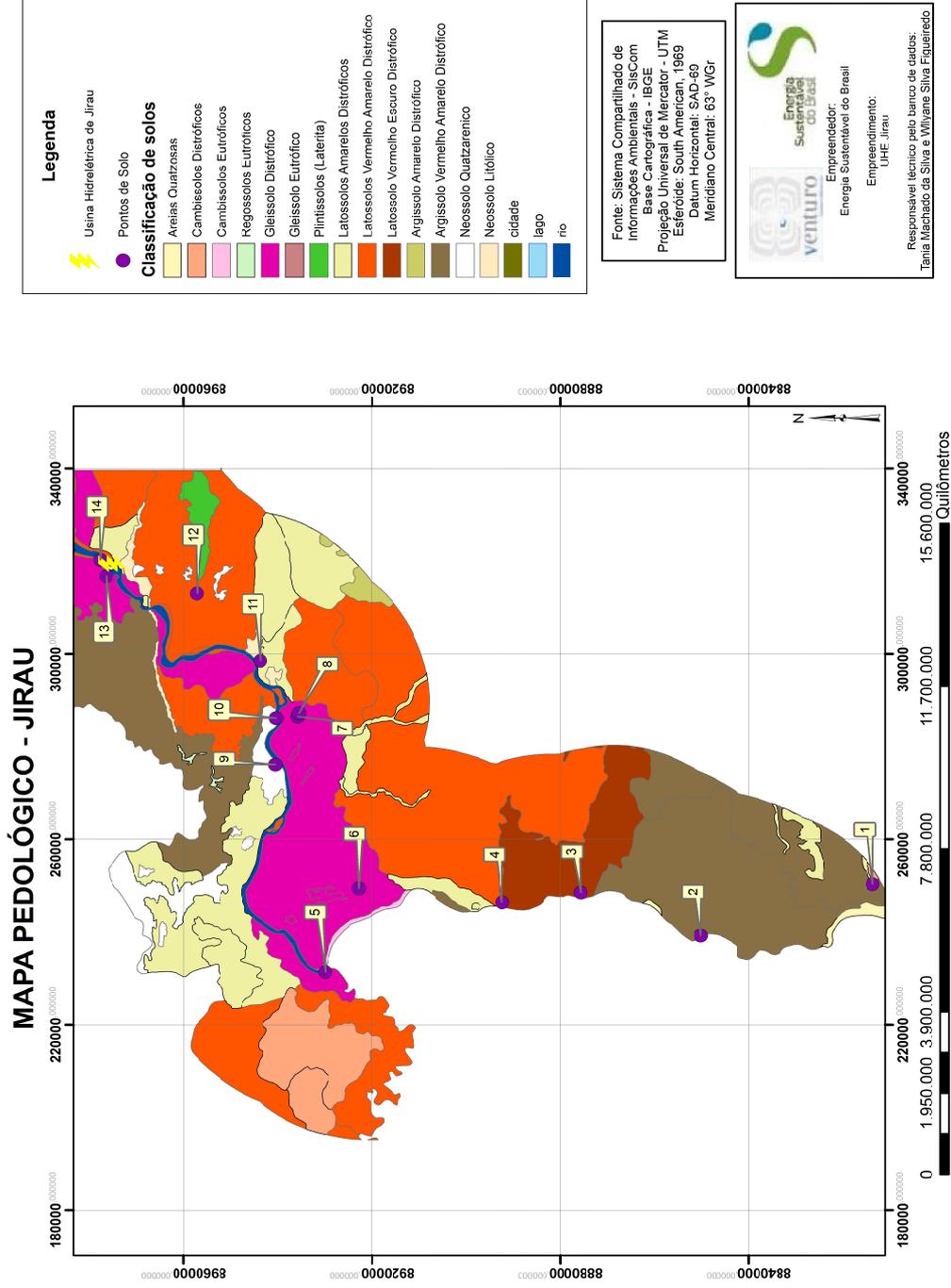


Figura 05. Mapa pedológico dos pontos amostrais de solo na 10ª campanha de campo na bacia do rio Madeira.

Os resultados dos teores de matéria orgânica e análises granulométricas dos solos coletados nas áreas de influência direta e indireta do AHE Jirau estão apresentados nas **Tabelas 11 a 14**.

Tabela 11. Resultados dos teores de matéria orgânica nas amostras de solo amostrados no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Média (%m/m)	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1	9,37	0,76	9,48	10,42	8,42
P2	6,94	1,14	6,83	8,63	5,58
P3	5,50	1,14	5,07	7,38	4,45
P4	5,17	1,08	4,87	6,37	3,92
P5	7,66	0,60	7,68	8,47	6,98
P6	4,73	0,68	4,82	5,69	3,89
P7	8,58	1,34	8,12	10,66	7,41
P8	8,20	1,43	7,47	10,43	7,05
P9	5,38	1,21	5,96	6,68	3,81
P10	6,59	1,37	6,68	7,94	4,57
P11	6,72	2,71	5,63	10,36	3,87
P12	7,29	1,93	7,36	9,68	4,42
P13	7,84	1,08	7,84	9,51	6,73
P14	6,90	1,65	5,94	9,33	5,45

Tabela 12. Resultados dos teores de areia nas amostras de solo amostrados no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Média (% m/m)	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1	60,61	5,91	61,18	67,77	51,48
P2	69,31	6,07	69,56	76,75	60,71
P3	70,62	6,97	70,53	79,38	60,98
P4	70,95	7,83	74,62	77,34	59,13
P5	74,14	5,89	71,66	81,31	67,71
P6	67,30	7,13	63,45	76,11	59,85
P7	65,15	3,79	66,36	68,99	58,92
P8	68,26	4,58	67,52	73,84	62,74
P9	80,90	9,94	78,12	95,17	70,07
P10	71,87	7,61	70,29	80,73	62,48
P11	72,36	9,48	72,21	81,83	57,67
P12	72,89	6,29	73,49	80,11	65,39
P13	69,12	6,01	69,85	77,44	60,82
P14	70,59	5,00	69,41	78,14	65,23

Tabela 13. Resultados dos teores de silte nas amostras de solo amostrados no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Média (% m/m)	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1	30,34	5,29	28,01	38,18	25,19
P2	22,29	8,11	18,38	36,43	16,94
P3	21,02	5,61	19,91	30,58	16,16
P4	22,57	5,82	20,07	32,76	18,39
P5	18,14	2,67	17,48	22,47	15,79
P6	26,37	6,93	23,26	37,41	21,02
P7	24,86	3,48	24,12	29,73	20,24
P8	20,57	3,48	19,40	25,91	16,93
P9	14,04	3,88	12,84	20,73	11,13
P10	17,73	4,44	16,43	25,25	14,04
P11	16,75	2,43	17,38	19,93	13,74
P12	18,45	3,46	18,96	23,22	14,10
P13	23,40	2,56	22,74	27,11	20,98
P14	19,81	1,62	19,38	22,61	18,43

Tabela 14. Resultados dos teores de argila nas amostras de solo amostrados no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Média (% m/m)	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1	5,94	1,13	5,66	7,84	4,85
P2	6,74	0,42	6,88	7,14	6,07
P3	5,06	0,48	4,92	5,76	4,58
P4	5,95	1,27	6,24	7,64	4,16
P5	5,29	0,97	5,11	6,80	4,12
P6	4,17	0,42	4,02	4,88	3,82
P7	4,79	0,74	4,64	5,62	3,79
P8	4,92	1,15	4,89	6,63	3,42
P9	3,54	0,41	3,52	4,16	3,09
P10	4,78	1,47	4,25	7,04	3,45
P11	5,98	1,33	5,81	7,96	4,62
P12	5,89	1,33	6,21	7,59	4,13
P13	6,12	2,04	6,75	8,27	3,89
P14	7,28	1,02	7,18	8,79	5,99

A distribuição dos elementos traço e mercúrio no solo e sedimento estão 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 pulsos de inundação do rio Madeira na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) apresentaram valores médios de $64,93 \pm 7,29$ % (m/m) de areia, $26,98 \pm 7,22$ % (m/m) de silte e $5,55 \pm 1,22$ % (m/m) de argila, enquanto que os valores médios de matéria orgânica foram de $6,62 \pm 1,32$ % (m/m).

As análises granulométricas dos solos coletados nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira na 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011) apresentaram valores médios de $65,10 \pm 5,92$ % (m/m) de areia, $22,40 \pm 4,70$ % (m/m) de silte e $5,30 \pm 1,30$ % (m/m) de argila, enquanto que os valores médios de matéria orgânica foram de $8,57 \pm 1,89$ % (m/m).

As análises granulométricas dos solos coletados nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira na 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) apresentaram valores médios de $67,95 \pm 3,48$ % (m/m) de areia, $18,89 \pm 3,73$ % (m/m) de silte e $6,35 \pm 1,33$ % (m/m) de argila, enquanto que os valores médios de matéria orgânica foram de $7,46 \pm 1,51$ % (m/m).

As análises granulométricas dos solos coletados nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira na 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010) apresentaram valores médios de $74,83 \pm 6,27$ % (m/m) de areia, $18,80 \pm 4,13$ % (m/m) de silte e $5,07 \pm 1,30$ % (m/m) de argila, enquanto que os valores médios de matéria orgânica foram de $6,14 \pm 1,61$ % (m/m).

As análises granulométricas dos solos coletados nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira na 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010) apresentaram valores médios de $73,13 \pm 8,86$ % (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).

Os valores de areia na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foram 4% menores quando comparados aos valores da 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) e 16% menores quando comparados aos valores da 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010). Os valores de silte na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foram 43% menores quando comparados aos valores da 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) e 45% maiores quando comparados aos valores da 2ª

campanha de campo (período de enchente de 2010). Os valores de argila na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foram 13% menores quando comparados aos valores da 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) e 4% maiores quando comparados aos valores da 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010). Os valores de matéria orgânica na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foram 11% menores quando comparados aos valores da 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) e 11% maiores quando comparados aos valores da 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010).

Os valores de areia na 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011) foram 13% menores quando comparados aos valores da 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010). Os valores de silte na 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011) foram 19% maiores quando comparados aos valores da 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010). Os valores de argila na 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011) foram 5% maiores quando comparados aos valores da 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010). Os valores de matéria orgânica na 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011) foram 40% maiores quando comparados aos valores da 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010).

Os valores de areia na 6ª campanha de campo (período de vazante de 2011) foram 12% menores quando comparados aos valores da 2ª campanha de campo (período de vazante de 2010). Os valores de silte na 6ª campanha de campo (período de vazante de 2011) foram semelhantes quando comparados aos valores da 2ª campanha de campo (período de vazante de 2010). Os valores de argila na 6ª campanha de campo (período de vazante de 2011) foram 19% maiores quando comparados aos valores da 2ª campanha de campo (período de vazante de 2010). Os valores de matéria orgânica na 6ª campanha de campo (período de vazante de 2011) foram 24% maiores quando comparados aos valores da 2ª campanha de campo (período de vazante de 2010).

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 15**.

Tabela 15. Resultados das concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no perfil de solo (cm) em horizontes coletados na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Pontos	Perfil	Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1	5 cm	82,55	41,58	78,54	143,72	39,27
P1	20 cm	80,64	54,87	49,78	146,01	24,89
P1	40 cm	66,18	38,12	48,20	130,22	35,68
P1	60 cm	53,10	32,64	34,92	102,89	27,70
P1	100 cm	48,55	24,41	35,79	78,09	25,10
P2	5 cm	130,41	67,59	135,47	211,77	28,66
P2	20 cm	75,78	32,85	86,63	98,38	18,93
P2	40 cm	53,91	25,68	61,89	77,95	21,38
P2	60 cm	52,54	18,25	61,19	69,77	24,70
P2	100 cm	44,97	29,49	42,67	77,83	12,40
P3	5 cm	90,10	30,19	101,41	112,38	39,60
P3	20 cm	65,06	25,98	68,69	100,53	32,10
P3	40 cm	54,36	25,99	47,58	93,78	24,50
P3	60 cm	52,36	11,83	58,01	63,14	39,43
P3	100 cm	40,18	20,26	40,72	65,89	17,00
P4	5 cm	60,55	19,63	66,21	76,72	27,70
P4	20 cm	43,11	20,33	47,43	65,88	12,10
P4	40 cm	41,40	25,16	34,46	77,55	9,42
P4	60 cm	50,23	29,35	45,29	86,14	10,90
P4	100 cm	45,30	31,62	42,55	88,31	8,89
P5	5 cm	100,37	90,12	88,35	248,89	24,50
P5	20 cm	50,25	29,64	57,73	89,35	12,40
P5	40 cm	40,63	28,06	28,43	77,51	9,44
P5	60 cm	34,90	20,88	31,94	61,17	9,04
P5	100 cm	32,91	27,02	28,14	78,19	10,20
P6	5 cm	78,72	40,03	61,13	131,3	34,60
P6	20 cm	60,46	42,71	41,36	122,8	14,30
P6	40 cm	49,72	26,85	50,10	87,32	12,70
P6	60 cm	48,97	24,24	51,53	72,54	11,90
P6	100 cm	46,08	24,42	56,76	68,47	7,70
P7	5 cm	78,50	30,85	74,93	127,77	42,30
P7	20 cm	94,13	90,93	56,28	256,05	39,7
P7	40 cm	56,80	20,79	54,27	89,35	32,10
P7	60 cm	49,37	32,78	52,04	90,75	10,40
P7	100 cm	43,41	27,07	52,84	67,92	8,32

Tabela 15. Resultados das concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no perfil de solo (cm) em horizontes coletados na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo) – Continuação.

Pontos	Perfil	Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P8	5 cm	53,32	24,76	54,57	80,83	19,60
P8	20 cm	48,24	28,07	41,68	78,87	8,77
P8	40 cm	43,22	21,54	46,40	63,46	6,89
P8	60 cm	45,57	11,76	41,71	62,43	36,44
P8	100 cm	43,84	7,51	42,92	52,98	36,55
P9	5 cm	188,04	284,13	69,96	693,94	16,90
P9	20 cm	108,60	141,14	55,42	357,75	9,44
P9	40 cm	57,91	30,95	61,21	93,38	10,10
P9	60 cm	53,40	34,25	58,93	87,56	8,40
P9	100 cm	56,19	41,70	64,46	105,89	8,10
P10	5 cm	75,72	27,18	82,72	103,09	32,10
P10	20 cm	62,18	25,14	69,84	87,23	24,60
P10	40 cm	59,09	27,65	70,08	88,51	18,90
P10	60 cm	54,65	21,46	55,76	74,19	19,45
P10	100 cm	53,67	22,28	55,3	74,38	17,50
P11	5 cm	55,02	19,26	59,67	69,59	22,80
P11	20 cm	50,34	19,74	54,78	71,4	19,40
P11	40 cm	53,63	24,31	61,16	82,29	17,90
P11	60 cm	53,32	30,83	63,61	89,30	10,90
P11	100 cm	61,91	18,71	63,9845	82,57	37,12
P12	5 cm	32,30	16,24	26,90	60,32	18,97
P12	20 cm	28,80	9,26	29,32	41,25	16,89
P12	40 cm	28,99	10,69	28,03	40,86	18,26
P12	60 cm	34,93	17,99	28,16	56,11	18,69
P12	100 cm	32,59	16,00	27,37	50,09	17,70
P13	5 cm	114,71	100,38	84,45	237,82	20,35
P13	20 cm	81,81	57,59	108,85	137,74	18,53
P13	40 cm	81,83	71,44	69,17	199,00	15,90
P13	60 cm	67,13	48,13	68,33	134,00	13,91
P13	100 cm	57,11	36,77	77,10	92,98	15,21
P14	5 cm	66,86	18,57	54,93	93,97	53,20
P14	20 cm	60,59	13,55	56,67	80,07	48,50
P14	40 cm	57,04	18,18	52,61	87,43	40,89
P14	60 cm	55,49	22,70	53,69	92,32	33,10
P14	100 cm	56,01	22,24	48,66	92,67	38,10

Tabela 15. Resultados das concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no perfil de solo (cm) em horizontes coletados na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo) – Continuação.

Pontos	Perfil	Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P15	5 cm	87,23	7,14	87,23	92,28	82,18
P15	20 cm	87,81	5,54	87,80	91,72	83,89
P15	40 cm	73,35	6,79	73,35	78,15	68,55
P15	60 cm	49,97	3,41	49,97	52,38	47,56
P15	100 cm	42,05	7,34	42,05	47,24	36,86
P16	5 cm	81,35	20,89	81,35	96,12	66,58
P16	20 cm	78,53	18,83	78,52	91,84	65,21
P16	40 cm	86,89	48,03	86,89	120,85	52,93
P16	60 cm	87,04	51,56	87,03	123,49	50,58
P16	100 cm	75,26	52,87	75,25	112,64	37,87

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

Os estudos do solo têm 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 e do impacto no aquífero quanto aos níveis de mercúrio. O estudo em perfil de 1 m é suficiente para avaliar estes possíveis efeitos, em especial quanto à qualidade de água do reservatório a ser formado, sendo que nesta profundidade foram encontrados apenas os horizontes mencionados nos pontos de coleta de solo.

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 perfis de solo da superfície à 20 cm apresentaram maior estoque de mercúrio total quando comparados aos perfis de solo de 20 cm à 100 cm nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira, sendo este comportamento observado nas 10ª (enchente de 2012), 8ª (vazante de 2011), 6ª (enchente de 2011), 4ª (vazante de 2010) e 2ª campanhas (enchente de 2010).

Os valores encontrados até o momento evidenciam o aporte mais recente de mercúrio possivelmente devido ao período de intensa atividade de garimpo de ouro na bacia do rio



Madeira. Entretanto 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.

A Resolução CONAMA nº 420/2009, que dispõe sobre os valores orientadores para solos, define 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. O valor de intervenção 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 $70.000 \mu\text{g kg}^{-1}$. As amostras de solo coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira no período de janeiro de 2010 (2ª campanha) a janeiro de 2012 (10ª campanha) apresentaram valores de mercúrio total abaixo do valor de prevenção preconizado pela Resolução CONAMA nº 420/2009.

Concentrações das Espécies de Mercúrio em Sedimento

Os teores de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) nas amostras de sedimento coletadas na bacia do rio Madeira estão apresentados na **Tabela 16 e 17**.

Tabela 16. Concentrações de mercúrio total (HgT) nas amostras de sedimento na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Tipo	HgT ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	Calha	31,94	17,37	32,22	63,31	10,49
P1.2-BENI	Calha	44,60	25,03	41,48	101,00	20,26
P2-MAD 1 – A	Calha	30,01	24,12	19,15	88,90	11,51
P2-MAD 1 – B	Calha	20,26	9,17	18,19	40,30	9,72
P2-MAD 1 – C	Calha	22,98	10,69	19,58	44,60	10,38
P3-RIB	Tributário	184,06	105,73	201,73	305,99	11,83
P4-ARA	Tributário	80,96	67,29	69,31	205,22	11,00
P5-ABU	Tributário	20,91	13,27	19,63	50,40	6,74
P6-MAD 2 – A	Calha	35,22	22,55	24,51	87,80	14,11
P6-MAD 2 – B	Calha	44,92	26,56	39,04	108,40	18,87
P6-MAD 2 – C	Calha	39,01	23,77	32,67	97,20	14,11
P7-SIZ	Tributário	88,32	75,32	61,70	225,11	12,20
P8-SIM	Tributário	59,31	32,99	49,76	110,54	17,10
P9-MAD 3 – A	Calha	32,64	18,26	31,81	73,10	11,44
P9-MAD 3 – B	Calha	30,81	14,08	34,92	56,80	10,36
P9-MAD 3 – C	Calha	31,55	12,06	27,86	47,94	11,12
P10-CAS	Tributário	77,55	57,09	56,56	176,32	18,40
P11-MTP 1	Tributário	60,16	62,11	37,78	195,99	5,83
P12-COT	Tributário	77,89	81,97	45,69	236,55	4,11
P13-MUT 1	Lago	137,59	56,84	107,12	211,56	65,23
P20-MTP 2	Tributário	108,44	66,77	97,54	257,48	41,92
P14-MAD 4 – A	Calha	36,39	13,25	35,08	54,60	21,21
P14-MAD 4 – B	Calha	36,54	19,75	32,05	63,30	11,53
P14-MAD 4 – C	Calha	34,98	20,71	32,30	67,20	10,08
P15-LOU	Tributário	97,27	76,44	66,99	264,28	18,89
P16-CAI	Tributário	60,82	45,57	40,78	157,80	14,11
P17-JIR	Tributário	62,18	57,82	41,84	195,39	12,73
P18-MAD 5 – A	Calha	42,65	26,97	37,35	109,78	18,26
P18-MAD 5 – B	Calha	43,83	29,39	37,68	119,23	20,37
P18-MAD 5 – C	Calha	38,26	24,31	33,42	94,40	12,78
P19-MAD 6 – A	Calha	32,28	13,76	30,96	60,00	14,71
P19-MAD 6 – B	Calha	30,14	12,28	26,38	46,47	10,51
P19-MAD 6 – C	Calha	29,74	14,11	26,65	48,27	8,30

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

Tabela 17. Concentrações de metilmercúrio (MeHg) nas amostras de sedimento na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Tipo	MeHg ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	Calha	0,1091	0,0896	0,0821	0,2424	0,0197
P1.2-BENI	Calha	0,1558	0,1519	0,1060	0,5400	0,0534
P2-MAD 1 – A	Calha	0,0969	0,0735	0,0690	0,2300	0,0299
P2-MAD 1 – B	Calha	0,0561	0,0468	0,0385	0,1700	0,0105
P2-MAD 1 – C	Calha	0,0907	0,0688	0,0447	0,2400	0,0367
P3-RIB	Tributário	0,8134	0,5668	0,7247	1,7110	0,0699
P4-ARA	Tributário	0,3553	0,3090	0,2447	0,9214	0,0500
P5-ABU	Tributário	0,1037	0,0702	0,0812	0,2200	0,0326
P6-MAD 2 – A	Calha	0,1390	0,1427	0,0930	0,5000	0,0393
P6-MAD 2 – B	Calha	0,1548	0,1259	0,1095	0,4700	0,0659
P6-MAD 2 – C	Calha	0,1556	0,1954	0,1120	0,6700	0,0519
P7-SIZ	Tributário	0,5649	0,5834	0,3043	1,9380	0,0567
P8-SIM	Tributário	0,2300	0,1189	0,2121	0,4240	0,0756
P9-MAD 3 – A	Calha	0,1415	0,1195	0,0888	0,4400	0,0602
P9-MAD 3 – B	Calha	0,1059	0,0602	0,0857	0,2400	0,0434
P9-MAD 3 – C	Calha	0,1169	0,0659	0,0897	0,2400	0,0477
P10-CAS	Tributário	0,4848	0,4349	0,3520	1,3900	0,1061
P11-MTP 1	Tributário	0,3637	0,6656	0,1485	2,1150	0,0224
P12-COT	Tributário	0,4845	0,6240	0,2292	1,9821	0,0238
P13-MUT 1	Lago	1,0052	0,5892	1,0019	2,0684	0,3212
P20-MTP 2	Tributário	0,7826	0,7019	0,5700	2,4358	0,1994
P14-MAD 4 – A	Calha	0,1421	0,0612	0,1081	0,2600	0,1010
P14-MAD 4 – B	Calha	0,1572	0,0820	0,1176	0,2968	0,0740
P14-MAD 4 – C	Calha	0,1375	0,0846	0,1004	0,2900	0,0623
P15-LOU	Tributário	0,4013	0,3356	0,2992	1,0514	0,0833
P16-CAI	Tributário	0,2526	0,1942	0,2073	0,7100	0,0619
P17-JIR	Tributário	0,3498	0,4199	0,1320	1,3595	0,0701
P18-MAD 5 – A	Calha	0,1749	0,1242	0,1195	0,4800	0,0965
P18-MAD 5 – B	Calha	0,1943	0,1557	0,1474	0,5800	0,0802
P18-MAD 5 – C	Calha	0,1403	0,1221	0,1195	0,4500	0,0342
P19-MAD 6 – A	Calha	0,1097	0,0496	0,0981	0,2200	0,0506
P19-MAD 6 – B	Calha	0,1098	0,0457	0,1061	0,1700	0,0415
P19-MAD 6 – C	Calha	0,1053	0,0499	0,1077	0,1900	0,0230

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

As concentrações de mercúrio total no sedimento na calha do rio Madeira apresentaram medianas de 18,19 a 41,48 $\mu\text{g kg}^{-1}$ sendo as concentrações máximas de 40,30 a 119,23 $\mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que nos tributários do rio Madeira as concentrações de mercúrio total apresentaram medianas de 19,63 a 201,73 $\mu\text{g kg}^{-1}$ sendo as concentrações máxima de 50,40 a 305,99 $\mu\text{g kg}^{-1}$, evidenciando o maior estoque de mercúrio total nos sedimentos de fundo dos tributários quando comparado a calha do rio Madeira no período hidrológico de seca de 2009 ao período hidrológico de enchente de 2012.

A concentração média de mercúrio total nas amostras de sedimentos coletadas na calha do rio Madeira na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foi aproximadamente 9% menor quando comparado a 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011), na 9ª campanha de campo (período de seca de 2011) foi aproximadamente 56% maior quando comparado a 5ª campanha de campo (período de seca de 2010), na 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011) foi aproximadamente 35% menor quando comparado a 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010), na 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011) foi aproximadamente 25% maior quando comparado a 3ª campanha de campo (período de cheia de 2010), na 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) foi aproximadamente 45% menor quando comparado a 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010) e na 5ª campanha de campo (período de seca de 2010) foi aproximadamente 70% menor quando comparado a 1ª campanha de campo (período de seca de 2009).

A concentração média de mercúrio total nas amostras de sedimento coletadas na calha do rio Madeira na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foi aproximadamente 1% menor quando comparado a 9ª campanha de campo (período de seca de 2011), na 9ª campanha de campo (período de seca de 2011) foi aproximadamente 53% maior quando comparado a 8ª campanha de campo (período de enchente de 2011), na 8ª campanha de campo foi aproximadamente 28% menor quando comparado a 7ª campanha de campo (período de cheia 2011), na 7ª campanha de campo foi aproximadamente 9% menor quando comparado a 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011), na 6ª campanha de campo foi aproximadamente 55% maior quando comparado a 5ª campanha de campo (período de seca de 2010), na 5ª campanha de campo foi aproximadamente 46% menor quando comparado a 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010), na 4ª campanha de campo foi aproximadamente 75% maior quando comparados a 3ª campanha de campo (período de cheia de 2010), na 3ª campanha de campo foi aproximadamente 29% menor quando comparados a

2ª campanha de campo (período de enchente 2010), na 2ª campanha de campo foi aproximadamente 20% menor quando comparados a 1ª campanha de campo (período de seca de 2009).

A concentração média de mercúrio total nas amostras de sedimento coletadas nos tributários do rio Madeira na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foi aproximadamente 78% maior quando comparado a 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011), na 9ª campanha de campo (período de seca de 2011) foi aproximadamente 3 vezes maior quando comparado a 5ª campanha de campo (período de seca de 2010), na 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011) foi aproximadamente 18% menor quando comparado a 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010), na 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011) foi aproximadamente 27% maior quando comparado a 3ª campanha de campo (período de cheia de 2010), na 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) foi aproximadamente 18% maior quando comparado a 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010) e na 5ª campanha de campo (período de seca de 2010) foi aproximadamente 45 % menores quando comparado a 1ª campanha de campo (período de seca de 2009). O estudo temporal mostra o pronunciado aumento da concentração de mercúrio total no sedimento de fundo nos tributários apenas no período hidrológico de seca de 2011, estando possivelmente associado a alteração de paisagem da áreas de monitoramento.

A concentração média de mercúrio total nas amostras de sedimento coletadas nos tributários do rio Madeira na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foi aproximadamente 46% maior quando comparado a 9ª campanha de campo (período de enchente de 2011), na 9ª campanha de campo (período de seca de 2011) foi aproximadamente 41% maior quando comparado a 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011), na 8ª campanha de campo foi aproximadamente 30% menor quando comparado a 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011), na 7ª campanha de campo foi aproximadamente 23% menor quando comparados a 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011), na 6ª campanha de campo foi aproximadamente 31% maior quando comparado a 5ª campanha de campo (período de seca de 2010), na 5ª campanha de campo foi aproximadamente 15% maior quando comparado a 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010), na 4ª campanha de campo foi aproximadamente 3 vezes maior quando comparados a 3ª campanha de campo (período de cheia de 2010), na 3ª campanha de campo foi aproximadamente 60% menor quando comparado a 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010) e na 2ª campanha de campo foi

aproximadamente 25% menores quando comparado a 1ª campanha de campo (período de seca de 2009).

A concentração média de metilmercúrio nas amostras de sedimento coletadas na calha do rio Madeira na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foi aproximadamente 14% maior quando comparado a 9ª campanha de campo (período seca de 2011), na 9ª campanha de campo (período de seca de 2011) foi aproximadamente 21% menor quando comparado a 8ª campanha de campo (período vazante de 2011), na 8ª campanha de campo foi aproximadamente 25% maiores quando comparado a 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011), na 7ª campanha de campo foi aproximadamente 85% maior quando comparado a 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011), na 6ª campanha de campo foi aproximadamente 85% menor quando comparado a 5ª campanha de campo (período de seca de 2010), na 5ª campanha de campo foi aproximadamente 44% menores quando comparado a 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010), na 4ª campanha de campo foi aproximadamente 67% maior quando comparado a 3ª campanha de campo (período de cheia de 2010), na 3ª campanha de campo foi aproximadamente 62% menor quando comparado a 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010) e na 2ª campanha de campo foi aproximadamente 25% menor quando comparado a 1ª campanha de campo (período de seca de 2009).

A concentração média de metilmercúrio nas amostras de sedimento coletadas nos tributários do rio Madeira na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foi aproximadamente 61% maior quando comparado a 9ª campanha de campo (período seca de 2011), na 9ª campanha de campo (período de seca de 2011) foi aproximadamente 5 vezes maiores quando comparado a 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011), na 8ª campanha de campo foi aproximadamente 69% maiores quando comparado a 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011), na 7ª campanha de campo foi aproximadamente 13% menores quando a 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011), na 6ª campanha de campo foi aproximadamente 21% menores quando comparado a 5ª campanha de campo (período de seca de 2010), na 5ª campanha de campo foi aproximadamente 16% menores quando comparado a 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010), na 4ª campanha de campo foi aproximadamente 3 vezes maior quando comparado a 3ª campanha de campo (período de cheia de 2010), na 3ª campanha de campo foi aproximadamente 74% menor quando comparado a 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010) e na 2ª

campanha de campo foi aproximadamente 27% menores quando comparado a 1ª campanha de campo (período de seca de 2009).

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. Os teores de metilmercúrio no sedimento coletado nos tributários e na calha do rio Madeira durante o período de setembro de 2009 a janeiro de 2012 não evidenciaram pontos de contaminação possivelmente devido ao elevado transporte de mercúrio pelo material particulado suspenso na calha do rio Madeira associado ao fato do mercúrio metálico utilizado no garimpo ser um péssimo substrato para a metilação, pois 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.

As concentrações de mercúrio total nos perfis de sedimento coletados na bacia do rio Madeira estão apresentadas na **Tabela 17**.

Tabela 18. Resultados das concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) nos perfis de sedimento coletados na bacia do rio Madeira no período de janeiro de 2010 (2ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Perfil (cm)	Tipo	Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	5	Calha	44,68	22,45	42,73	73,88	11,74
P1-MAM	10	Calha	40,60	19,84	39,75	66,73	11,89
P1-MAM	20	Calha	32,47	15,34	32,35	53,01	10,79
P1-MAM	40	Calha	30,58	13,82	30,82	48,06	9,53
P1.2-BENI	5	Calha	71,92	42,12	74,70	134,27	24,68
P1.2-BENI	10	Calha	70,91	41,24	72,90	131,85	24,71
P1.2-BENI	20	Calha	57,46	31,63	58,20	104,12	19,43
P1.2-BENI	40	Calha	37,94	19,36	37,10	66,13	12,16
P2-MAD 1	5	Calha	28,10	9,06	30,08	40,10	18,42
P2-MAD 1	10	Calha	22,64	8,61	24,90	32,80	10,11
P2-MAD 1	20	Calha	22,02	5,59	22,01	30,30	15,36
P2-MAD 1	40	Calha	19,11	3,87	18,93	24,60	13,92
P3-RIB	5	Tributário	272,43	71,73	257,59	350,41	209,28
P3-RIB	10	Tributário	212,90	11,64	207,74	226,22	204,73
P3-RIB	20	Tributário	162,76	21,42	164,15	183,45	140,67
P3-RIB	40	Tributário	143,81	23,56	132,59	170,88	127,95
P4-ARA	5	Calha	130,75	65,43	92,97	227,89	77,20
P4-ARA	10	Calha	112,74	52,37	81,65	183,46	68,40
P4-ARA	20	Calha	86,00	43,43	59,24	140,73	49,40
P4-ARA	40	Calha	63,48	28,76	46,18	98,58	38,70
P5-ABU	5	Calha	17,98	10,82	15,21	30,60	5,81
P5-ABU	10	Calha	22,10	14,80	20,36	44,80	7,79
P5-ABU	20	Calha	20,84	14,63	18,83	43,90	7,20
P5-ABU	40	Calha	17,80	12,27	15,15	34,00	5,79

Tabela 18. Resultados das concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) nos perfis de sedimento coletados na bacia do rio Madeira no período de janeiro de 2010 (2ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo) – Continuação.

Ponto	Perfil (cm)	Tipo	Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P6-MAD 2	5	Tributário	36,44	11,38	36,47	51,10	22,44
P6-MAD 2	10	Tributário	40,71	16,45	38,88	68,10	25,88
P6-MAD 2	20	Tributário	46,41	18,37	42,00	75,20	29,73
P6-MAD 2	40	Tributário	41,63	20,01	40,92	72,00	17,79
P7-SIZ	5	Tributário	101,59	102,16	49,65	278,46	37,81
P7-SIZ	10	Tributário	96,04	71,34	60,88	208,59	36,36
P7-SIZ	20	Tributário	66,36	55,65	37,25	159,73	28,53
P7-SIZ	40	Tributário	50,82	38,61	30,43	113,81	22,60
P8-SIM	5	Calha	100,44	40,81	90,60	167,67	57,66
P8-SIM	10	Calha	79,44	34,46	72,50	133,34	45,86
P8-SIM	20	Calha	65,79	28,80	60,40	110,81	38,11
P8-SIM	40	Calha	42,93	17,75	38,30	72,49	24,93
P9-MAD 3	5	Tributário	33,82	4,03	32,43	40,60	29,98
P9-MAD 3	10	Tributário	41,05	12,33	44,89	56,70	28,11
P9-MAD 3	20	Tributário	36,61	10,34	39,22	50,30	24,78
P9-MAD 3	40	Tributário	30,15	7,51	31,26	40,20	19,74
P10-CAS	5	Tributário	115,66	138,29	58,72	359,51	26,39
P10-CAS	10	Tributário	102,15	128,11	40,64	327,83	20,59
P10-CAS	20	Tributário	58,26	70,22	31,74	181,78	10,41
P10-CAS	40	Tributário	44,53	54,05	20,61	139,90	10,36
P11-MTP 1	5	Tributário	85,58	114,70	40,96	286,74	12,61
P11-MTP 1	10	Tributário	64,98	47,93	60,38	122,54	11,77
P11-MTP 1	20	Tributário	58,68	42,18	55,23	106,83	11,66
P11-MTP 1	40	Tributário	40,40	36,28	29,83	98,66	10,28
P12-COT	5	Tributário	136,67	115,83	91,20	337,82	58,08
P12-COT	10	Tributário	102,86	71,08	83,70	216,97	33,43
P12-COT	20	Tributário	77,26	63,05	55,80	184,39	25,99
P12-COT	40	Tributário	58,33	52,81	37,20	150,61	23,77
P13-MUT	5	Lago	163,22	117,10	104,00	306,72	61,53
P13-MUT	10	Lago	125,95	80,38	82,20	215,41	56,32
P13-MUT	20	Lago	104,54	69,30	65,80	186,69	45,23
P13-MUT	40	Lago	96,09	57,32	70,70	185,58	48,52
P20-MTP 2	5	Tributário	236,98	82,24	261,93	332,85	110,71
P20-MTP 2	10	Tributário	135,99	50,65	139,60	185,59	58,25
P20-MTP 2	20	Tributário	97,08	32,65	100,51	126,57	42,11
P20-MTP 2	40	Tributário	68,62	25,24	68,70	93,79	28,68
P14-MAD 4	5	Calha	59,86	25,40	66,20	88,31	25,71
P14-MAD 4	10	Calha	41,77	18,96	42,80	68,83	20,62
P14-MAD 4	20	Calha	46,85	17,40	55,12	64,96	21,88
P14-MAD 4	40	Calha	31,94	11,20	33,80	45,02	18,81
P15-LOU	5	Tributário	173,99	44,76	181,89	230,84	120,67
P15-LOU	10	Tributário	101,45	22,13	113,39	119,85	68,20
P15-LOU	20	Tributário	63,64	14,71	67,33	81,06	42,80
P15-LOU	40	Tributário	46,01	11,66	48,73	61,81	32,23
P16-CAI	5	Tributário	90,76	35,40	91,10	139,00	52,24
P16-CAI	10	Tributário	77,90	33,27	81,53	128,60	47,33
P16-CAI	20	Tributário	48,31	21,96	50,60	77,39	24,42
P16-CAI	40	Tributário	39,78	18,66	42,30	64,20	18,62
P17-JIR	5	Tributário	130,55	117,38	99,60	326,85	32,19
P17-JIR	10	Tributário	100,45	73,79	88,40	214,05	26,93
P17-JIR	20	Tributário	52,35	50,84	37,40	138,91	12,36
P17-JIR	40	Tributário	37,52	36,87	27,10	100,07	7,59

Tabela 18. Resultados das concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) nos perfis de sedimento coletados na bacia do rio Madeira no período de janeiro de 2010 (2ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo) – Continuação.

Ponto	Perfil (cm)	Tipo	Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P18-MAD 5	5	Calha	58,89	30,10	53,93	108,20	26,52
P18-MAD 5	10	Calha	54,85	29,89	50,92	104,00	22,54
P18-MAD 5	20	Calha	43,88	23,95	40,33	82,70	17,23
P18-MAD 5	40	Calha	49,19	27,66	45,85	94,10	18,17
P19-MAD 6	5	Calha	51,75	16,48	61,64	66,20	31,41
P19-MAD 6	10	Calha	34,70	6,26	37,60	40,30	24,89
P19-MAD 6	20	Calha	27,76	7,88	31,06	33,50	14,05
P19-MAD 6	40	Calha	30,79	15,82	40,90	42,90	8,09

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

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 nas campanhas de campo realizadas de janeiro de 2010 a janeiro de 2012, seguindo a mesma tendência observada para o solo, ou seja, de aportes mais recentes. Os valores de mercúrio total nos perfis de sedimento coletados na calha e nos tributários do rio Madeira em todas as campanhas realizadas (2ª, 4ª, 6ª, 8ª e 10ª campanhas) são compatíveis com os níveis relatados pela literatura para a região Amazônica (**Tabela 19**).

Tabela 19. 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

A Resolução CONAMA nº 344/2004, que dispõe sobre as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas, preconiza os valores orientadores de mercúrio total para material nível 1 de $170 \mu\text{g kg}^{-1}$ e para material nível 2 de $486 \mu\text{g kg}^{-1}$. Nesta resolução o nível 1 indica o limiar abaixo do qual se prevê baixa probabilidade de efeitos adversos à biota enquanto que o nível 2 indica o limiar acima do qual se prevê um provável efeito adverso à biota. As concentrações de mercúrio total nas amostras de sedimento da calha do rio Madeira coletadas em todas as campanhas de campo de setembro de 2009 (período de seca de 2009) a abril de 2011 (período de cheia de 2011) estão abaixo dos valores orientadores preconizados no nível 1 na Resolução CONAMA nº 344/2004 enquanto que os teores de mercúrio total nas amostras de sedimento dos tributários do rio Madeira

estão abaixo dos valores orientadores preconizados no nível 2 na Resolução CONAMA nº 344/2004.

As concentrações de metilmercúrio nos perfis de sedimento coletados na bacia do rio Madeira estão apresentados nas **Tabelas 20**.

Tabela 20. Resultados das concentrações de metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) nos perfis de sedimento coletados na bacia do rio Madeira no período de janeiro de 2010 (2ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Perfil (cm)	Tipo	Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	5	Calha	0,13	0,10	0,11	0,29	0,04
P1-MAM	10	Calha	0,10	0,09	0,07	0,26	0,03
P1-MAM	20	Calha	0,08	0,06	0,05	0,19	0,02
P1-MAM	40	Calha	0,07	0,06	0,06	0,17	0,02
P1.2-BENI	5	Calha	0,21	0,09	0,21	0,31	0,07
P1.2-BENI	10	Calha	0,22	0,11	0,23	0,36	0,06
P1.2-BENI	20	Calha	0,14	0,07	0,13	0,20	0,04
P1.2-BENI	40	Calha	0,13	0,07	0,12	0,20	0,03
P2-MAD 1	5	Calha	0,13	0,07	0,12	0,24	0,07
P2-MAD 1	10	Calha	0,08	0,06	0,09	0,18	0,02
P2-MAD 1	20	Calha	0,07	0,04	0,07	0,15	0,04
P2-MAD 1	40	Calha	0,06	0,03	0,06	0,10	0,03
P3-RIB	5	Tributário	0,90	0,06	0,92	0,93	0,83
P3-RIB	10	Tributário	0,81	0,05	0,79	0,86	0,76
P3-RIB	20	Tributário	0,61	0,09	0,64	0,68	0,51
P3-RIB	40	Tributário	0,55	0,05	0,54	0,60	0,50
P4-ARA	5	Calha	0,45	0,35	0,38	1,02	0,07
P4-ARA	10	Calha	0,37	0,30	0,31	0,86	0,06
P4-ARA	20	Calha	0,28	0,20	0,25	0,60	0,04
P4-ARA	40	Calha	0,18	0,13	0,16	0,38	0,03
P5-ABU	5	Calha	0,12	0,11	0,07	0,30	0,03
P5-ABU	10	Calha	0,11	0,09	0,10	0,25	0,03
P5-ABU	20	Calha	0,09	0,10	0,04	0,24	0,01
P5-ABU	40	Calha	0,09	0,08	0,05	0,21	0,02
P6-MAD 2	5	Tributário	0,16	0,08	0,13	0,29	0,10
P6-MAD 2	10	Tributário	0,14	0,07	0,11	0,27	0,10
P6-MAD 2	20	Tributário	0,15	0,07	0,12	0,27	0,10
P6-MAD 2	40	Tributário	0,15	0,07	0,15	0,23	0,06
P7-SIZ	5	Tributário	0,41	0,28	0,27	0,88	0,19
P7-SIZ	10	Tributário	0,38	0,25	0,25	0,80	0,19
P7-SIZ	20	Tributário	0,18	0,09	0,16	0,33	0,10
P7-SIZ	40	Tributário	0,14	0,06	0,13	0,23	0,06
P8-SIM	5	Calha	0,45	0,18	0,40	0,72	0,25
P8-SIM	10	Calha	0,30	0,11	0,31	0,44	0,15
P8-SIM	20	Calha	0,27	0,11	0,25	0,46	0,16
P8-SIM	40	Calha	0,25	0,18	0,17	0,57	0,16
P9-MAD 3	5	Tributário	0,17	0,06	0,18	0,25	0,07
P9-MAD 3	10	Tributário	0,16	0,07	0,19	0,24	0,06
P9-MAD 3	20	Tributário	0,12	0,06	0,11	0,21	0,06
P9-MAD 3	40	Tributário	0,11	0,05	0,12	0,18	0,05

Tabela 20. Resultados das concentrações de metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) nos perfis de sedimento coletados na bacia do rio Madeira no período de janeiro de 2010 (2ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo) - Continuação.

Ponto	Perfil (cm)	Tipo	Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P10-CAS	5	Tributário	0,92	1,09	0,48	2,83	0,19
P10-CAS	10	Tributário	0,75	0,90	0,45	2,33	0,14
P10-CAS	20	Tributário	0,36	0,37	0,24	0,98	0,07
P10-CAS	40	Tributário	0,31	0,34	0,20	0,90	0,07
P11-MTP 1	5	Tributário	0,72	1,33	0,11	3,09	0,04
P11-MTP	10	Tributário	0,41	0,51	0,22	1,29	0,03
P11-MTP	20	Tributário	0,38	0,41	0,28	1,06	0,03
P11-MTP	40	Tributário	0,30	0,43	0,14	1,06	0,03
P12-COT	5	Tributário	1,18	1,53	0,53	3,89	0,29
P12-COT	10	Tributário	0,88	0,92	0,46	2,53	0,38
P12-COT	20	Tributário	0,85	1,18	0,31	2,97	0,23
P12-COT	40	Tributário	0,66	0,92	0,25	2,30	0,21
P13-MUT	5	Lago	1,99	1,94	1,19	4,83	0,40
P13-MUT	10	Lago	1,21	1,17	0,83	3,05	0,21
P13-MUT	20	Lago	0,97	1,13	0,57	2,91	0,15
P13-MUT	40	Lago	0,73	1,06	0,35	2,62	0,13
P20-MTP 2	5	Tributário	2,00	2,11	1,12	5,71	0,50
P20-MTP 2	10	Tributário	1,18	0,71	1,25	2,11	0,40
P20-MTP 2	20	Tributário	0,69	0,46	0,52	1,41	0,32
P20-MTP 2	40	Tributário	0,53	0,38	0,34	0,94	0,13
P14-MAD 4	5	Calha	0,24	0,10	0,28	0,34	0,09
P14-MAD 4	10	Calha	0,18	0,07	0,21	0,25	0,08
P14-MAD 4	20	Calha	0,19	0,09	0,17	0,30	0,07
P14-MAD 4	40	Calha	0,14	0,06	0,12	0,21	0,07
P15-LOU	5	Tributário	0,84	0,22	0,80	1,18	0,61
P15-LOU	10	Tributário	0,52	0,14	0,58	0,65	0,31
P15-LOU	20	Tributário	0,27	0,13	0,22	0,48	0,17
P15-LOU	40	Tributário	0,20	0,04	0,20	0,25	0,15
P16-CAI	5	Tributário	0,47	0,24	0,40	0,83	0,23
P16-CAI	10	Tributário	0,37	0,17	0,37	0,56	0,20
P16-CAI	20	Tributário	0,28	0,20	0,23	0,58	0,09
P16-CAI	40	Tributário	0,21	0,11	0,20	0,32	0,08
P17-JIR	5	Tributário	0,79	0,86	0,55	2,27	0,16
P17-JIR	10	Tributário	0,60	0,53	0,49	1,45	0,10
P17-JIR	20	Tributário	0,36	0,39	0,22	1,03	0,05
P17-JIR	40	Tributário	0,25	0,28	0,15	0,72	0,03
P18-MAD 5	5	Calha	0,26	0,14	0,24	0,48	0,09
P18-MAD 5	10	Calha	0,25	0,13	0,26	0,44	0,09
P18-MAD 5	20	Calha	0,16	0,11	0,12	0,35	0,06
P18-MAD 5	40	Calha	0,19	0,13	0,16	0,40	0,05
P19-MAD 6	5	Calha	0,19	0,09	0,22	0,30	0,08
P19-MAD 6	10	Calha	0,14	0,05	0,14	0,21	0,07
P19-MAD 6	20	Calha	0,14	0,07	0,18	0,20	0,04
P19-MAD 6	40	Calha	0,12	0,07	0,17	0,18	0,02

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



Os níveis de metilmercúrio nos perfis de sedimento coletados na calha do rio Madeira e tributários na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012), na 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011), na 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011), na 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010) e na 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010) tiveram tendência em diminuir com a profundidade de coleta, indicando maior contribuição recente de mercúrio. Os resultados dos teores de metilmercúrio nos perfis de sedimento indicam uma porcentagem média de organificação de mercúrio no sedimento de 0,40 a 0,50% na calha do rio Madeira e de 0,50 a 0,60% nos tributários, 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).

As concentrações de mercúrio total no material particulado suspenso na calha do rio Madeira apresentaram medianas de 85,65 a 189,88 $\mu\text{g kg}^{-1}$ sendo as concentrações máximas de 133,73 a 688,89 $\mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que nos tributários do rio Madeira as concentrações de mercúrio total apresentaram medianas de 32,76 a 161,93 $\mu\text{g kg}^{-1}$ sendo as concentrações máxima de 46,72 a 218,61 $\mu\text{g kg}^{-1}$, evidenciando o grande transporte de mercúrio pela calha do rio Madeira no período hidrológico de seca de 2009 ao período hidrológico de enchente de 2012.

O estudo temporal mostra que a concentração média de mercúrio total nas amostras de material particulado suspenso coletadas na calha do rio Madeira no período de seca de 2011 ($130,16 \pm 56,78 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi menor quando comparado ao período de seca de 2010 ($421,51 \pm 226,87 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de vazante de 2011 ($153,82 \pm 30,38 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi coerente ao período de vazante de 2010 ($146,99 \pm 86,10 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de cheia de 2011 ($160,96 \pm 94,48 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi extremamente maior quando comparados ao período de cheia de 2010 ($5,86 \pm 2,97 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de enchente de 2012 ($139,81 \pm 28,74 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi maior quando comparado aos períodos de enchente de 2011 ($107,69 \pm 44,05 \mu\text{g kg}^{-1}$) e de 2010 ($35,43 \pm 19,35 \mu\text{g kg}^{-1}$).

A concentração média de mercúrio total nas amostras de material particulado suspenso coletadas nos tributários do rio Madeira no período de seca de 2011 apresentou valor médio de $110,7 \pm 19,54 \mu\text{g kg}^{-1}$ (exceção do rio Abunã (P5), Igarapé Simãozinho (P7), Foz do rio Mutum Paraná (P20), Igarapé São Lourenço (P15), Igarapé Caiçara (P16) e Igarapé Jirau (P17) que apresentaram valores menores que $33,06 \pm 11,93 \mu\text{g kg}^{-1}$), enquanto que período de seca

de 2010 apresentou concentração média de mercúrio total de $47,73 \pm 20,99 \mu\text{g kg}^{-1}$. A concentração média de mercúrio total nas amostras de material particulado suspenso coletadas nos tributários do rio Madeira no período de vazante de 2011 foi de $55,73 \pm 20,71 \mu\text{g kg}^{-1}$ (exceção do Igarapé Arara com $205,26 \mu\text{g kg}^{-1}$) enquanto que no período de vazante de 2010 apresentou o concentração média de $71,63 \pm 30,30 \mu\text{g kg}^{-1}$.

A concentração média de mercúrio total nas amostras de material particulado suspenso coletadas nos tributários do rio Madeira no período de cheia de 2011 foi de $101,02 \pm 70,77 \mu\text{g kg}^{-1}$ (exceção do Igarapé Castanho – CAS, Rio Mutum Paraná – MTP 1, Rio Cotia – COT, Área Alagada do Bolsão do rio Mutum Paraná – MUT, Foz do rio Mutum Paraná – MTP 2, Igarapé Caiçara – CAI, Igarapé São Lourenço – LOU e Igarapé Jirau – JIR, que apresentaram valores menores que $0,3 \mu\text{g kg}^{-1}$) enquanto que no período de cheia de 2010 apresentou valor médio de $5,33 \pm 5,25 \mu\text{g kg}^{-1}$.

A concentração média de mercúrio total nas amostras de material particulado suspenso coletadas nos tributários do rio Madeira no período de enchente de 2012 foi de $95,99 \pm 52,37$, enquanto que no período de enchente de 2011 apresentaram valores menores que $1,02 \mu\text{g kg}^{-1}$ com exceção dos pontos P5-ARA de ($218,61 \mu\text{g kg}^{-1}$), P6-ABU ($42,78 \mu\text{g kg}^{-1}$), P8-SIZ ($48,62 \mu\text{g kg}^{-1}$) e P9-SIM ($92,64 \mu\text{g kg}^{-1}$) e no período de enchente de 2010 apresentaram valores menores que $1,02 \mu\text{g kg}^{-1}$. As concentrações de mercúrio total no material particulado suspenso apresentaram grandes variações ao longo do estudo temporal de setembro de 2009 (período de seca) a janeiro de 2012 (período de enchente), sendo possível verificar a tendência de menores valores nos tributários quando comparado a calha do rio Madeira.

Concentrações de Mercúrio na Comunidade Planctônica

As concentrações médias de mercúrio total e metilmercúrio no fitoplâncton coletado na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 a janeiro de 2012 estão descritas nas **Tabelas 21 e 22**.

Tabela 21. Resultados das concentrações de mercúrio total (HgT) no fitoplâncton na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Tipo	HgT ($\mu\text{g kg}^{-1}$)				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	Calha	95,84	112,76	75,33	342,39	< 1,02
P1.2-BENI	Calha	123,76	92,69	72,99	309,69	< 1,02
P2-MAD 1	Calha	137,30	124,09	61,19	362,88	< 1,02
P3-RIB	Calha	470,17	402,67	313,70	1012,98	116,75
P4-ARA	Tributário	286,19	73,17	273,00	408,42	173,12
P5-ABU	Calha	111,29	98,58	110,81	302,99	< 1,02
P6-MAD 2	Calha	89,91	67,56	55,39	218,13	< 1,02
P7-SIZ	Tributário	158,78	52,69	139,00	283,72	95,66
P8-SIM	Tributário	258,20	220,98	234,28	821,83	104,53
P9-MAD 3	Calha	94,37	88,09	65,01	264,65	< 1,02
P10-CAS	Tributário	256,12	324,94	142,03	1067,81	54,71
P11-MTP 1	Tributário	230,52	152,84	162,93	479,16	< 1,02
P12-COT	Tributário	360,70	281,85	239,93	797,43	< 1,02
P13-MUT 1	Lago	343,25	414,13	223,11	1427,72	68,04
P20-MTP 2	Tributário	427,72	149,69	421,88	642,63	< 1,02
P14-MAD 4	Calha	154,11	140,32	91,37	393,23	< 1,02
P15-LOU	Tributário	331,91	347,79	231,19	1095,81	< 1,02
P16-CAI	Tributário	259,12	260,73	228,89	798,63	< 1,02
P17-JIR	Tributário	202,25	129,46	170,19	482,04	50,34
P18-MAD 5	Calha	109,99	78,15	73,38	252,19	< 1,02
P19-MAD 6	Calha	164,05	193,19	77,29	583,49	< 1,02

Tabela 22. Resultados das concentrações de metilmercúrio total (MeHg) no fitoplâncton na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo)

Ponto	Tipo	MeHg ($\mu\text{g kg}^{-1}$)				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	Calha	2,84	3,54	2,03	10,67	< 0,03
P1.2-BENI	Calha	4,92	4,28	2,89	13,75	< 0,03
P2-MAD 1	Calha	4,28	3,79	1,76	9,85	< 0,03
P3-RIB	Calha	15,70	21,55	7,11	58,72	2,94
P4-ARA	Tributário	11,29	4,99	10,34	22,58	7,4
P5-ABU	Calha	3,68	3,04	3,72	9,71	< 0,03
P6-MAD 2	Calha	2,95	2,09	1,81	6,67	< 0,03
P7-SIZ	Tributário	6,84	3,72	5,77	15,77	4,06
P8-SIM	Tributário	9,98	10,72	7,75	37,61	3,36
P9-MAD 3	Calha	2,58	2,80	1,50	8,21	< 0,03
P10-CAS	Tributário	17,21	24,69	9,71	80,91	3,41

Tabela 22. Resultados das concentrações de metilmercúrio total (MeHg) no fitoplâncton na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo)

Ponto	Tipo	MeHg ($\mu\text{g kg}^{-1}$)				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P11-MTP 1	Tributário	11,69	11,72	5,32	32,73	< 0,03
P12-COT	Tributário	18,37	17,35	9,82	46,81	< 0,03
P13-MUT 1	Lago	35,93	66,53	14,78	212,79	3,85
P20-MTP 2	Tributário	18,84	13,32	14,59	46,69	< 0,03
P14-MAD 4	Calha	4,84	4,36	3,41	13,12	< 0,03
P15-LOU	Tributário	12,29	15,74	7,35	47,44	< 0,03
P16-CAI	Tributário	7,63	9,56	6,03	28,58	< 0,03
P17-JIR	Tributário	6,20	6,82	3,64	23,55	1,12
P18-MAD 5	Calha	3,44	2,95	2,01	7,77	< 0,03
P19-MAD 6	Calha	5,36	5,96	2,35	16,68	< 0,03

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 capazes de bioacumular e biomagnificar 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.

As concentrações de mercúrio total no fitoplâncton na calha do rio Madeira apresentaram medianas de 55,39 a 91,37 $\mu\text{g kg}^{-1}$ sendo as concentrações máximas de 218,13 a 583,49 $\mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que nos tributários do rio Madeira as concentrações de mercúrio total apresentaram medianas de 110,81 a 421,88 $\mu\text{g kg}^{-1}$ sendo as concentrações máxima de 283,72 a 1427,72 $\mu\text{g kg}^{-1}$, evidenciando maiores concentrações de mercúrio total no tributários quando comparado a calha do rio Madeira.

A concentração média de mercúrio total nas amostras de fitoplâncton coletadas na calha do rio Madeira no período de seca de 2011 ($250,78 \pm 167,54 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi maior quando comparada ao período de seca de 2010 ($115,35 \pm 20,46 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de vazante de 2011 ($57,38 \pm 20,98 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi coerente com o período de vazante de 2010 ($62,31 \pm 7,78 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de cheia de 2011 foi $54 \pm 15,65 \mu\text{g kg}^{-1}$ enquanto que no período de cheia de 2010 os teores de mercúrio foram menores que $1,02 \mu\text{g kg}^{-1}$ e no período de enchente de 2012 foi $252,42 \pm 75,13$

$\mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que no período de enchente de 2011 foi $37,52 \pm 13,54 \mu\text{g kg}^{-1}$ e no período de enchente de 2010 as concentrações de mercúrio foram menores que $1,02 \mu\text{g kg}^{-1}$.

O estudo temporal evidenciou tendência de maiores valores de concentração de mercúrio total no fitoplâncton no período hidrológico de 2011 quando comparado ao período hidrológico de 2010, sendo os maiores valores médios observados no período hidrológico de seca.

As concentrações médias de mercúrio total no fitoplâncton coletados nos tributários do rio Madeira no período de seca de 2011 ($378,95 \pm 231,53 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi maior quando comparado ao período de seca de 2010 ($196,62 \pm 90,65 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de vazante de 2011 ($219,93 \pm 85,40 \mu\text{g kg}^{-1}$), com exceção da Foz do Mutum (P20 – MTP 2) que apresentou a concentração de $642,63 \mu\text{g kg}^{-1}$, foi maior quando comparado ao período de vazante de 2010 ($144,52 \pm 117,43 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de cheia de 2011 ($208,93 \pm 112,77 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi maior quando comparado ao período de cheia de 2010 e no período de enchente de 2011 ($713,48 \pm 367,17 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi maior quando comparado ao período de enchente de 2011 ($140,10 \pm 98,38 \mu\text{g kg}^{-1}$) e ao período de enchente de 2010 ($175,16 \pm 88,62 \mu\text{g kg}^{-1}$). O estudo temporal evidenciou tendência de maiores valores de concentração de mercúrio total no fitoplâncton no período hidrológico de 2011 quando comparado ao período hidrológico de 2010, sendo maiores as concentrações de mercúrio total no fitoplâncton dos tributários maiores quando comparado a calha do rio Madeira.

As concentrações de metilmercúrio no fitoplâncton na calha do rio Madeira apresentaram medianas de $1,50$ a $3,41 \mu\text{g kg}^{-1}$ sendo as concentrações máximas de $6,67$ a $16,68 \mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que nos tributários do rio Madeira as concentrações de metilmercúrio apresentaram medianas de $3,64$ a $14,78 \mu\text{g kg}^{-1}$ sendo as concentrações máxima de $9,71$ a $212,79 \mu\text{g kg}^{-1}$, evidenciando maiores concentrações de metilmercúrio no tributários quando comparado a calha do rio Madeira.

A concentração média de metilmercúrio nas amostras de fitoplâncton coletadas na calha do rio Madeira no período de seca de 2011 ($7,36 \pm 4,58 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi maior quando comparado ao período de seca de 2010 ($3,52 \pm 0,94 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de vazante de 2011 ($2,06 \pm 1,04 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi coerente com o período de vazante de 2010 ($1,78 \pm 0,24 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de cheia de 2011 foi de $1,55 \pm 0,54 \mu\text{g kg}^{-1}$ enquanto que no período de cheia de 2010 foram menores que $0,03 \mu\text{g kg}^{-1}$ com exceção do P6-MAD 2 ($1,99 \mu\text{g kg}^{-1}$) e P18-MAD 5 ($1,59 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de enchente de 2012 foi $9,34 \pm 2,31 \mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que no período de enchente de

2011 foi $1,13 \pm 0,41 \mu\text{g kg}^{-1}$ e no período de enchente de 2010 foram menores que $0,03 \mu\text{g kg}^{-1}$.

A concentração de metilmercúrio nas amostras de fitoplâncton coletadas nos tributários do rio Madeira na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foi aproximadamente 3,3 vezes maiores quando comparado a 9ª campanha de campo (período de seca de 2011), a 9ª campanha de campo (período de seca de 2011) foi aproximadamente 1,6 vezes maiores quando comparado a 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011), a 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011) aproximadamente 1,2 vezes maiores quando comparado a 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011), a 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011) aproximadamente 1,4 vezes maiores quando comparado a 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011), a 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) foi aproximadamente 1,4 vezes menores quando comparado a 5ª campanha de campo (período de seca de 2011), a 5ª campanha de campo (período de seca de 2010) foi aproximadamente 1,2 vezes maiores quando comparado a 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010).

Os teores de mercúrio total no fitoplâncton nos tributários do rio Madeira na 3ª campanha de campo (período de cheia de 2010) foram menores quando comparados aos valores observados na 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010). Entretanto foram observados na 3ª campanha de campo valores maiores que $1,02 \mu\text{g kg}^{-1}$ em maior número de pontos de coleta na calha e nos tributários do rio Madeira. Portanto a análise temporal indica maiores valores no ciclo hidrológico de 2011 quando comparado ao ciclo hidrológico de 2010, sendo os maiores valores observados no período de seca de 2011.

A importância do estudo do fito 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). As concentrações médias de mercúrio total no zooplâncton coletados na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 a janeiro de 2012 estão descritas na **Tabelas 23**.

Tabela 23. Resultados das concentrações de mercúrio total (HgT) no zooplâncton na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Tipo	HgT ($\mu\text{g kg}^{-1}$)				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	Calha	138,82	60,08	157,77	195,92	< 1,02
P1.2-BENI	Calha	72,81	30,44	73,04	107,43	< 1,02
P2-MAD 1	Calha	102,91	95,46	90,49	273,08	< 1,02
P3-RIB	Tributário	545,17	385,34	313,55	995,35	229,63
P4-ARA	Tributário	592,39	360,21	507,99	1041,99	177,1
P5-ABU	Calha	96,52	48,18	92,77	154,95	< 1,02
P6-MAD 2	Calha	114,51	78,27	101,97	214,86	< 1,02
P7-SIZ	Tributário	286,33	174,77	244,23	540,00	98,36
P8-SIM	Tributário	210,77	131,40	151,16	463,20	106,24
P9-MAD 3	Calha	67,64	50,74	48,11	146,93	< 1,02
P10-CAS	Tributário	191,09	229,29	108,00	746,21	46,18
P11-MTP 1	Tributário	236,31	278,86	131,17	802,88	< 1,02
P12-COT	Tributário	378,94	168,01	387,61	636,48	< 1,02
P13-MUT 1	Lago	145,94	61,02	143,69	245,35	60,08
P20-MTP 2	Tributário	390,74	242,75	309,70	711,87	< 1,02
P14-MAD 4	Calha	119,21	88,64	112,77	232,80	< 1,02
P15-LOU	Tributário	165,87	129,48	136,83	410,65	< 1,02
P16-CAI	Tributário	124,13	108,45	69,50	277,95	< 1,02
P17-JIR	Tributário	217,36	161,38	164,09	533,65	68,01
P18-MAD 5	Calha	138,67	88,63	121,28	252,91	< 1,02
P19-MAD 6	Calha	139,48	136,16	70,55	371,61	< 1,02

As concentrações de mercúrio total no zooplâncton na calha do rio Madeira apresentaram medianas de 48,11 a 121,28 $\mu\text{g kg}^{-1}$ sendo as concentrações máximas de 146,93 a 371,61 $\mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que nos tributários do rio Madeira as concentrações de mercúrio total apresentaram medianas de 69,50 a 507,99 $\mu\text{g kg}^{-1}$ sendo as concentrações máxima de 154,95 a 1041,99 $\mu\text{g kg}^{-1}$, evidenciando maiores concentrações de mercúrio total no tributários quando comparado a calha do rio Madeira no período hidrológico de seca de 2009 ao período hidrológico de enchente de 2012.

A concentração média de mercúrio total nas amostras de zooplâncton coletadas na calha do rio Madeira no período de seca de 2011 ($214,62 \pm 82,62 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi maior quando comparado ao período de seca de 2010 ($169,12 \pm 55,35 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de vazante de 2011 ($56,02 \pm 13,62 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi coerente com o valor observado no período de vazante de 2010 ($63,30 \pm 13,73 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de cheia de 2011 foi $110,33 \pm 71,34 \mu\text{g kg}^{-1}$ enquanto que período de cheia de 2010) as concentrações de mercúrio foram menores que

1,02 $\mu\text{g kg}^{-1}$ com exceção dos pontos P6-MAD 2 (400 $\mu\text{g kg}^{-1}$) e P18-MAD 5 (321 $\mu\text{g kg}^{-1}$), no período de enchente de 2012 foi de $233,39 \pm 84,99 \mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que no período de enchente de 2011 foi de $38,79 \pm 9,75 \mu\text{g kg}^{-1}$ e no período de enchente de 2010 as concentrações de mercúrio foram menores que $1,02 \mu\text{g kg}^{-1}$.

A concentração média de mercúrio total nas amostras de zooplâncton coletadas nos tributários do rio Madeira no período de seca de 2011 ($456,98 \pm 295,95 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi menor que no período de seca de 2010 ($269,81 \pm 111,92 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de vazante de 2011 ($151,42 \pm 81,24 \mu\text{g kg}^{-1}$) com exceção do igarapé Araras ($1.041,99 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi menor quando comparado ao período de vazante de 2010 ($96,14 \pm 51,06 \mu\text{g kg}^{-1}$ com exceção do igarapé Araras – $482,26 \mu\text{g kg}^{-1}$, igarapé Cotia - $269,97 \mu\text{g kg}^{-1}$ e bolsão lateral do rio Mutum Paraná – $668,11 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de cheia de 2011 ($180,7 \pm 97,74 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi menor que no período de cheia de 2010 ($341,8 \pm 279,94 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de enchente de 2012 ($1763,79 \pm 3368,05 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi maior quando comparado aos períodos de enchente de 2011 e 2010, o período de enchente de 2011 ($199,87 \pm 163,19 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi coerente com o valor observado no período de enchente de 2010 ($205,80 + 188,44 \mu\text{g kg}^{-1}$ com exceção do igarapé 984 $\mu\text{g kg}^{-1}$).

Portanto a análise temporal indica maiores valores no ciclo hidrológico de 2011 quando comparado ao ciclo hidrológico de 2010, sendo os maiores valores observados no período de seca de 2011. As concentrações médias de metilmercúrio no zooplâncton coletados na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 a janeiro de 2012 estão descritas nas **Tabelas 24**.

As concentrações de metilmercúrio no zooplâncton na calha do rio Madeira apresentaram medianas de 1,10 a 3,20 $\mu\text{g kg}^{-1}$ sendo as concentrações máximas de 4,72 a 31,14 $\mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que nos tributários do rio Madeira as concentrações de mercúrio total apresentaram medianas de 2,80 a 16,59 $\mu\text{g kg}^{-1}$ sendo as concentrações máxima de 5,31 a 49,24 $\mu\text{g kg}^{-1}$, evidenciando maiores concentrações de mercúrio total nos tributários quando comparado a calha do rio Madeira.

A concentração média de metilmercúrio nas amostras de zooplâncton coletadas na calha do rio Madeira no período de seca de 2011 ($6,66 \pm 3,13 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi maior que no período de seca de 2010 ($4,61 \pm 2,28 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de vazante de 2011 ($1,50 \pm 0,44 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi coerente com o valor observado no período de vazante de 2010 ($2,04 \pm 2,04 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de cheia de 2011 foi $2,8 \pm 2,11 \mu\text{g kg}^{-1}$ enquanto que no período de cheia de 2010 as

concentrações de metilmercúrio foram maiores que $0,03 \mu\text{g kg}^{-1}$ com exceção dos pontos P6-MAD 2 ($8,98 \mu\text{g kg}^{-1}$) e P18-MAD 5 ($7,01 \mu\text{g kg}^{-1}$) e no período de enchente de 2012 foi $7,44 \pm 2,73 \mu\text{g kg}^{-1}$ enquanto que no período de enchente de 2011 foi $1,37 \pm 0,31 \mu\text{g kg}^{-1}$ e no período de enchente de 2010 as concentrações de metilmercúrio foram menores que $0,03 \mu\text{g kg}^{-1}$.

Tabela 24. Resultados das concentrações de metilmercúrio (MeHg) no zooplâncton na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Tipo	MeHg ($\mu\text{g kg}^{-1}$)				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	Calha	1,51	1,27	1,13	3,95	< 0,03
P1.2-BENI	Calha	2,61	1,02	2,22	4,07	< 0,03
P2-MAD 1	Calha	8,30	11,78	3,05	31,14	< 0,03
P3-RIB	Tributário	17,46	18,61	6,97	49,24	5,73
P4-ARA	Tributário	15,57	5,27	16,59	21,63	7,74
P5-ABU	Calha	3,21	1,68	3,08	5,31	< 0,03
P6-MAD 2	Calha	3,44	2,26	3,16	6,72	< 0,03
P7-SIZ	Tributário	9,96	4,49	10,85	15,98	3,64
P8-SIM	Tributário	7,54	4,18	6,03	14,89	3,92
P9-MAD 3	Calha	1,61	1,57	1,10	4,72	< 0,03
P10-CAS	Tributário	8,94	9,85	6,39	32,74	1,8946
P11-MTP 1	Tributário	9,78	12,81	4,86	35,84	< 0,03
P12-COT	Tributário	16,74	9,24	15,52	32,17	< 0,03
P13-MUT 1	Lago	8,11	4,20	8,20	13,88	2,7595
P20-MTP 2	Tributário	15,22	11,99	10,84	36,16	< 0,03
P14-MAD 4	Calha	3,40	2,52	2,73	6,89	< 0,03
P15-LOU	Tributário	5,21	4,31	3,93	13,38	< 0,03
P16-CAI	Tributário	3,61	2,64	2,80	7,63	< 0,03
P17-JIR	Tributário	4,86	3,67	3,46	12,67	1,1313
P18-MAD 5	Calha	4,37	3,04	3,20	8,47	< 0,03
P19-MAD 6	Calha	4,05	4,17	1,99	11,47	< 0,03

A concentração média de metilmercúrio nas amostras de zooplâncton coletadas nos tributários do rio Madeira no período de seca de 2011 foi de $20,03 \pm 15,08 \mu\text{g kg}^{-1}$ enquanto que no período de seca de 2010 foi de $10,33 \pm 5,17 \mu\text{g kg}^{-1}$, no período de vazante de 2011 foi $3,99 \pm 1,52 \mu\text{g kg}^{-1}$ com exceção do igarapé Araras ($14,06 \mu\text{g kg}^{-1}$) e igarapé Cotia ($11,27 \mu\text{g kg}^{-1}$) sendo coerente com o valor observado no período de vazante de 2010 de $3,30 \pm 1,76 \mu\text{g kg}^{-1}$, com exceção do igarapé Araras ($19,11 \mu\text{g kg}^{-1}$), igarapé cotia ($11,60 \mu\text{g kg}^{-1}$) e área alagado do

bolsão lateral do rio Mutum Paraná (22,46 $\mu\text{g kg}^{-1}$). A porcentagem de metilmercúrio nas amostras de zooplâncton coletados na calha do rio Madeira foi de 3,18% do estoque de mercúrio total e nos tributários do rio Madeira de 5,69% do estoque de mercúrio total nos tributários, evidenciando a prevalência do processo de organificação nos tributários característicos de sistemas lênticos.

A **Tabelas 25** mostra as concentrações de mercúrio total na amostras de invertebrados coletados na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 a janeiro de 2012.

Tabela 25. Resultados das concentrações de mercúrio total (HgT) nos invertebrados na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Tipo	HgT ($\mu\text{g kg}^{-1}$)				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	Calha	807,69	521,78	745,25	1833,41	< 1,02
P1.2-BENI	Calha	505,73	347,88	494,19	1011,02	< 1,02
P2-MAD 1	Calha	320,89	145,06	309,58	505,98	< 1,02
P3-RIB	Tributário	1203,66	1438,85	687,48	4043,28	294,69
P4-ARA	Tributário	259,70	99,31	227,51	398,06	108,42
P5-ABU	Calha	445,26	264,30	469,27	907,24	< 1,02
P6-MAD 2	Calha	300,64	166,49	255,45	522,18	< 1,02
P7-SIZ	Tributário	555,90	376,09	471,46	1459,37	264,37
P8-SIM	Tributário	747,57	941,23	442,78	3073,83	94
P9-MAD 3	Calha	567,18	344,01	484,31	1089,83	< 1,02
P10-CAS	Tributário	724,43	784,65	398,15	2524,58	142
P11-MTP 1	Tributário	319,83	425,74	92,46	1003,48	< 1,02
P12-COT	Tributário	782,64	338,71	732,46	1243,28	< 1,02
P13-MUT 1	Lago	1064,09	1173,95	819,23	4029,36	186
P20-MTP 2	Tributário	399,71	258,99	385,86	915,87	< 1,02
P14-MAD 4	Calha	490,34	232,84	481,96	912,23	< 1,02
P15-LOU	Tributário	606,87	542,12	502,94	1660,39	< 1,02
P16-CAI	Tributário	227,45	275,29	87,89	776,36	< 1,02
P17-JIR	Tributário	675,32	344,01	719,06	1160,08	207
P18-MAD 5	Calha	414,68	190,32	367,83	729,83	< 1,02
P19-MAD 6	Calha	395,13	284,98	332,95	998,97	< 1,02

As concentrações de mercúrio total no invertebrado na calha do rio Madeira apresentaram medianas de 225,45 a 484,31 $\mu\text{g kg}^{-1}$ sendo as concentrações máximas de 505,98 a 1089,83 $\mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que nos tributários do rio Madeira as concentrações de mercúrio total apresentaram medianas de 87,89 a 819,23 $\mu\text{g kg}^{-1}$ sendo as concentrações máxima de 398,06 a 4043,28 $\mu\text{g kg}^{-1}$.

A concentração média de mercúrio total nas amostras de invertebrados coletadas na calha do rio Madeira no período de seca de 2011 ($558,75 \pm 185,83 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi menor quando comparado ao período de seca de 2010 ($703,46 \pm 326,88 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de vazante de 2011 ($320,22 \pm 116,52 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi coerente ao observado no período de vazante de 2010 ($386,97 \pm 64,29 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de cheia de 2011 foi de $306,68 \pm 144,46 \mu\text{g kg}^{-1}$ enquanto que no período de cheia de 2010 as concentrações de mercúrio total apresentaram valores abaixo que $1,02 \mu\text{g kg}^{-1}$ com exceção dos pontos P6-MAD 2 ($188 \mu\text{g kg}^{-1}$) e P18-MAD 5 ($87 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de enchente de 2012 foi de $599,20 \pm 256,02 \mu\text{g kg}^{-1}$ enquanto que no período de enchente de 2011 foi de $154,97 \pm 69,02 \mu\text{g kg}^{-1}$ e no período de enchente de 2010 as concentrações de mercúrio total foram menores que $1,02 \mu\text{g kg}^{-1}$.

As concentrações de mercúrio total nas amostras de invertebrados coletadas nos tributários do rio Madeira no período de seca de 2011 ($689,36 \pm 369,94 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi coerente ao observado no período de seca de 2010 ($725,91 \pm 450,59 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de vazante de 2011 ($410,98 \pm 274,21 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi coerente ao observado no período de vazante de 2010 ($459,76 \pm 310,62 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de cheia de 2011 ($339,29 \pm 225,95 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi maior que no período de cheia de 2010 ($180,65 \pm 153,85 \mu\text{g kg}^{-1}$) com exceção do igarapé Jirau ($870 \mu\text{g kg}^{-1}$) e no período de enchente de 2012 foi de $1700,36 \pm 1364,17 \mu\text{g kg}^{-1}$ enquanto que no período de enchente de 2011 foi de $324,32 \pm 206,94 \mu\text{g kg}^{-1}$ e no período de enchente de 2010 as concentrações de mercúrio total foram menores que $0,03 \mu\text{g kg}^{-1}$.

A **Tabelas 26** mostra as concentrações de metilmercúrio na amostras de invertebrados coletados na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 a janeiro de 2012.

Tabela 26. Resultados das concentrações de metilmercúrio (MeHg) no invertebrado na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo).

Ponto	Tipo	MeHg ($\mu\text{g kg}^{-1}$)				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P1-MAM	Calha	15,51	14,52	9,32	38,79	< 0,03
P1.2-BENI	Calha	8,76	8,28	6,64	20,83	< 0,03
P2-MAD 1	Calha	7,01	5,21	5,90	14,71	< 0,03
P3-RIB	Tributário	51,94	63,20	28,83	177,85	10,96
P4-ARA	Tributário	14,10	5,60	13,49	22,39	6,25
P5-ABU	Calha	19,75	11,29	15,38	34,14	< 0,03
P6-MAD 2	Calha	8,02	4,12	8,15	13,09	< 0,03
P7-SIZ	Tributário	37,24	21,16	34,78	81,27	16,87
P8-SIM	Tributário	50,67	53,97	36,35	174,44	7,87

Tabela 26. Resultados das concentrações de metilmercúrio (MeHg) no invertebrado na bacia do rio Madeira no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a janeiro de 2012 (10ª campanha de campo) – Continuação

Ponto	Tipo	MeHg ($\mu\text{g kg}^{-1}$)				
		Média	Desvio Padrão	Mediana	Máximo	Mínimo
P9-MAD 3	Calha	17,19	12,66	11,39	38,02	< 0,03
P10-CAS	Tributário	112,28	164,84	28,64	528,81	18,06
P11-MTP 1	Tributário	26,79	38,29	4,99	82,82	< 0,03
P12-COT	Tributário	161,07	216,09	47,59	537,48	< 0,03
P13-MUT 1	Lago	141,41	153,17	48,35	436,24	25,73
P20-MTP 2	Tributário	76,11	127,90	18,49	357,19	< 0,03
P14-MAD 4	Calha	17,49	11,00	17,29	38,23	< 0,03
P15-LOU	Tributário	31,88	29,55	18,22	88,47	< 0,03
P16-CAI	Tributário	12,05	12,60	4,57	31,73	< 0,03
P17-JIR	Tributário	43,73	23,35	47,47	77,34	15,67
P18-MAD 5	Calha	11,16	6,08	10,53	21,52	< 0,03
P19-MAD 6	Calha	10,53	8,55	9,73	28,67	< 0,03

As concentrações de metilmercúrio no invertebrado na calha do rio Madeira apresentaram medianas de 5,90 a 17,29 $\mu\text{g kg}^{-1}$ sendo as concentrações máximas de 13,09 a 38,23 $\mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que nos tributários do rio Madeira as concentrações de mercúrio total apresentaram medianas de 4,57 a 48,35 $\mu\text{g kg}^{-1}$ sendo as concentrações máxima de 22,39 a 537,48 $\mu\text{g kg}^{-1}$, evidenciando maiores concentrações de metilmercúrio nos invertebrados dos tributários quando comparado a calha do rio Madeira.

A concentração média de metilmercúrio nas amostras de invertebrado coletadas na calha do rio Madeira no período de seca de 2011 ($17,01 \pm 7,44 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi menor que no período de seca de 2010 ($23,92 \pm 13,46 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de vazante de 2011 ($6,88 \pm 3,40 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi menor que no período de vazante de 2010 ($14,64 \pm 9,09 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de cheia de 2011 foi $5,07 \pm 2,76 \mu\text{g kg}^{-1}$ enquanto que no período de cheia de 2010 as concentrações de metilmercúrio foram menores que $0,03 \mu\text{g kg}^{-1}$ com exceção dos pontos P6-MAD 2 ($6,56 \mu\text{g kg}^{-1}$) e P18-MAD 5 ($3,32 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de enchente de 2012 foi $15,78 \pm 8,23 \mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto que no período de enchente de 2011 foi $3,89 \pm 2,30 \mu\text{g kg}^{-1}$ e no período de enchente de 2010 as concentrações de metilmercúrio foram menores que $0,03 \mu\text{g kg}^{-1}$.

Os teores de metilmercúrio nas amostras de invertebrados coletadas nos tributários do rio Madeira no período de seca de 2011 ($40,90 \pm 25,46 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi coerente com o valor

observado no período de seca de 2010 ($44,86 \pm 27,99 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de vazante de 2011 ($12,87 \pm 6,33 \mu\text{g kg}^{-1}$ com exceção do rio Mutum Paraná - $64,71 \mu\text{g kg}^{-1}$ e Igarapé Jirau - $58,64 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi menor que no período de vazante de 2010 ($25,13 \pm 18,76 \mu\text{g kg}^{-1}$ com exceção do Igarapé Castanho - $126,92 \mu\text{g kg}^{-1}$, Igarapé Cotia - $402,85 \mu\text{g kg}^{-1}$, área alagada do rio Mutum Paraná - $277,72 \mu\text{g kg}^{-1}$ e Foz do rio Mutum Paraná - $357,19 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de cheia de 2011 ($21,74 \pm 17,68 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi coerente com o valor observado no período de cheia de 2010 ($24,44 \pm 23,03 \mu\text{g kg}^{-1}$), no período de enchente de 2012 ($100,42 \pm 85,93 \mu\text{g kg}^{-1}$) foi extremamente maior que no período de enchente de 2011 ($16,96 \pm 10,36 \mu\text{g kg}^{-1}$) e período de enchente de 2010 ($23,04 \pm 11,77 \mu\text{g kg}^{-1}$).

Na 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) a fração de metilmercúrio nas amostras de invertebrados foi de aproximadamente 2,6% do estoque total de mercúrio na calha do rio Madeira e 5,9% do estoque total de mercúrio nos tributários, na 9ª campanha de campo (período de cheia de 2011) foi de aproximadamente 1,3% do estoque total de mercúrio na calha do rio Madeira e 1,8% do estoque total de mercúrio nos tributários com exceção dos pontos nos rio Mutum Paraná (9,5% do estoque total de mercúrio) e Igarapé Jirau (8,5% do estoque total de mercúrio), na 8ª campanha de campo (período de cheia de 2011) foi de aproximadamente 5,3% do estoque total de mercúrio na calha do rio Madeira e 10% do estoque total de mercúrio nos tributários, na 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011) foi de aproximadamente 1,5% do estoque total de mercúrio na calha do rio Madeira e 6,7% do estoque total de mercúrio nos tributários, na 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) foi de aproximadamente 3,2% do estoque total de mercúrio na calha do rio Madeira e 5,1% do estoque total de mercúrio nos tributários, na 5ª campanha de campo (período de seca de 2011) foi de aproximadamente 3,0% do estoque total de mercúrio na calha do rio Madeira e 6,0% do estoque total de mercúrio nos tributários, na 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010) foi de aproximadamente 3,5% do estoque total de mercúrio na calha do rio Madeira e 7,0% do estoque total de mercúrio nos tributários, com exceção dos pontos nos Igarapés Castanho (P10-CAS) e Cotia (P12-COT) que apresentaram fração de metilmercúrio de aproximadamente 50% do estoque total de mercúrio e dos pontos na foz do rio Mutum Paraná (P20-MUT 2) e na área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) que apresentaram fração de metilmercúrio de aproximadamente 35% do estoque total de mercúrio. Na 3ª campanha de campo (período de cheia de 2010) a porcentagem de metilmercúrio nas amostras de

invertebrados foi de aproximadamente 1,9% do estoque total de mercúrio na calha do rio Madeira e 9,6% do estoque total de mercúrio nos tributários. A análise temporal mostra o favorecimento do processo de organificação do mercúrio associado aos processos de bioacumulação e biomagnificação nos invertebrados nos tributários quando comparado a calha do rio Madeira.

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 (Bisinoti *et al.*, 2004).

As **Tabelas 27 a 36** mostram os níveis de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) nas amostras de peixe adquiridas nas comunidades ribeirinhas do rio Madeira. No que se refere às amostragens das espécies tucunaré e traíra para monitoramento de Hg, é importante esclarecer que as categorias de pescado mais capturadas, mais vendidas e mais consumidas pelas famílias do Registro Familiar da Pesca nas áreas à montante do AHE Jirau, futuros reservatórios e a jusante do AHE Santo Antônio avaliadas pelo Subprograma do Monitoramento da Atividade Pesqueira, mostram a baixa frequência de captura de tucunaré e traíra na área à montante do AHE Jirau. O Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico contempla trimestralmente a aquisição direta de pescados capturados pelos pescadores da região visando avaliar as rotas de exposição ao mercúrio, entretanto durante algumas campanhas de campo não ocorre a pesca destas espécies. A interface com o Programa de Conservação da Ictiofauna associada às aquisições direta dos pescados permitiu a análise de mercúrio total e metilmercúrio em 69 espécies de tucunaré e 36 espécies de traíra possibilitando a avaliação temporal (março/2009 à janeiro/2012) das concentrações de mercúrio nessas espécies bioindicadores. Os valores foram parametrizados em função do tamanho das espécies para efeitos comparativos intra-espécies.

Tabela 27. Concentração de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em músculo de peixe de relevante consumo pela população na bacia do rio Madeira coletados na 1ª campanha de campo (período de seca de 2009).

Espécime	Habito	Hg _T mg Kg ⁻¹	MeHg mg kg ⁻¹
Pacú (<i>Mylossoma aureum</i>) – (n = 18)	Onívoro	0,06±0,02	0,04±0,02
Jaraqui (<i>Semaprochilodus theraponera</i> – (n = 23)	Onívoro	0,12±0,04	0,10±0,03
Curimatã (<i>Prochilodus nigricans</i>) – (n = 15)	Detritívoro	0,11±0,06	0,09±0,04
Branquinha (<i>Curimata amazonica</i>) - (n = 32)	Detritívoro	0,09±0,04	0,07±0,03
Tucunaré (<i>Cichla ocellaris</i>) – (n = 14)	Carnívoro	0,42±0,16	0,38±0,10
Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) – (n = 21)	Onívoro	0,12±0,06	0,09±0,04

Tabela 28. Concentração de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em músculo de peixe de relevante consumo pela população na bacia do rio Madeira coletados na 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010).

Espécime	Habito	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>Triporthus albus</i>) – (n = 8)	Onívoro	0,13±0,05	0,10±0,04
Apapa (<i>Pellona Castelnaeana</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
Surubim (<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
Traira (<i>Hoplias malabaricus</i>) – (n = 5)	Carnívoro	0,33±0,08	0,26±0,12
Barba chata (<i>Pinirampus 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

Tabela 29. Concentração de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em músculo de peixe de relevante consumo pela população na bacia do rio Madeira coletados na 3ª campanha de campo (período de cheia de 2010).

Espécime	Habito	HgT mg kg ⁻¹	MeHg mg kg ⁻¹
Pacú (<i>Mylossoma aureum</i>) – (n = 12)	Onívoro	0,14±0,02	0,11±0,02
Jaraqui (<i>Semaprochilodus theraponera</i>) – (n = 15)	Onívoro	0,18±0,06	0,13±0,03
Mandi (<i>Pimelodus sp</i>) – (n = 11)	Onívoro	0,19±0,04	0,14±0,04
Sardinha (<i>Triporthesus sp</i>) – (n = 4)	Onívoro	0,17±0,03	0,11±0,04
Piau (<i>Leporinus sp</i>) – (n = 22)	Herbívoro	0,11±0,01	0,08±0,02
Flecheira (<i>Hemiodus sp</i>) – (n = 18)	Herbívoro	0,12±0,07	0,09±0,03
Apapa (<i>Pellona sp</i>) – (n = 15)	Carnívoro	0,52±0,12	0,37±0,11
Tucunaré (<i>Cichla sp</i>) – (n = 4)	Carnívoro	0,41±0,10	0,34±0,11
Dourada (<i>Brachyplatystoma avicans</i>) - (n = 18)	Carnívoro	0,31±0,12	0,24±0,12
Traira (<i>Hoplias sp</i>) – (n = 5)	Carnívoro	0,29±0,07	0,23±0,07
Barba chata (<i>Pinirampus pirinampu</i>) – (n = 21)	Carnívoro	0,71±0,18	0,55±0,15
Arumará (<i>Acestrorhynchus sp.</i>) – (n = 18)	Carnívoro	0,62±0,13	0,48±0,11

Tabela 30. Concentração de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em músculo de peixe de relevante consumo pela população na bacia do rio Madeira coletados na 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010).

Espécime	Habito	HgT mg kg ⁻¹	MeHg mg kg ⁻¹
Dourada (<i>Brachyplatystoma avicans</i>) – (n=18)	Carnívoro	0,47±0,16	0,39±0,17
Tucunaré (<i>Cichla ocellaris</i>) – (n = 07)	Carnívoro	0,36±0,18	0,32±0,13
Traira (<i>Hoplias malabaricus</i>) – (n = 06)	Carnívoro	0,35±0,10	0,30±0,08
Filhote ou Piraíba (<i>Hoplias malabaricus</i>) – (n = 12)	Carnívoro	1,27±0,35	1,02±0,22
Barba chata (<i>Pinirampus pirinampus</i>) – (n = 18)	Carnívoro	0,69±0,15	0,58±0,18
Surubim (<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>) – (n = 22)	Carnívoro	0,75±0,13	0,62±0,16
Pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>) – (n = 06)	Piscívoro	0,27±0,10	0,17±0,08
Apapá (<i>Pellona castelneana</i>) – (n = 26)	Carnívoro	0,48±0,16	0,34±0,14
Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) – (n = 11)	Onívoro	0,15±0,12	0,10±0,07
Jatuarana (<i>Brycon cf. melanopterus</i>) – (n = 24)	Onívoro	0,06±0,07	0,03±0,03

Tabela 31. Concentração de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em músculo de peixe de relevante consumo pela população na bacia do rio Madeira coletados na 5ª campanha de campo (período de seca de 2010).

Espécime	Habito	HgT mg kg ⁻¹	MeHg mg kg ⁻¹
Dourada (<i>Brachyplatystoma avicans</i>) – (n = 26)	Carnívoro	0,64±0,19	0,51±0,13
Tucunaré (<i>Cichla ocellaris</i>) – (n = 18)	Carnívoro	0,39±0,93	0,35±0,11
Pintado (<i>Pseudoplatystoma sp</i>) – (n = 5)	Carnívoro	0,42±0,11	0,36±0,08
Arumará (<i>Acestrorhynchus sp</i>) – (n = 08)	Carnívoro	1,04±0,26	0,94±0,18
Piranha-caju (<i>Pygocentrus nattereri</i>) – (n = 4)	Carnívoro	0,73±0,18	0,55±0,15
Surubim (<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>) – (n = 17)	Carnívoro	0,80±0,99	0,67±0,14
Pescada (<i>Plagioscion sp</i>) – (n = 15)	Piscívoro	0,21±0,07	0,16±0,06
Apapá (<i>Pellona castelneana</i>) – (n = 13)	Piscívoro	0,44±0,19	0,33±0,12
Sardinha (<i>Triportheus sp</i>) – (n = 09)	Onívoro	0,13±0,09	0,11±0,05
Mandi (<i>Pimelodus sp</i>) – (n = 07)	Onívoro	0,05±0,04	0,04±0,02

Tabela 32. Concentração de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em músculo de peixe de relevante consumo pela população na bacia do rio Madeira coletados na 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011).

Espécime	Habito	HgT mg kg ⁻¹	MeHg mg kg ⁻¹
Dourada (<i>Brachyplatystoma avicans</i>) – (n = 12)	Carnívoro	0,52±0,18	0,47±0,14
Tucunaré (<i>Cichla ocellaris</i>) – (n = 08)	Carnívoro	0,41±0,19	0,37±0,17
Traíra (<i>Hoplias malabaricus</i>) – (n = 10)	Carnívoro	0,38±0,12	0,33±0,10
Filhote ou Piraíba (<i>Hoplias malabaricus</i>) – (n = 23)	Carnívoro	0,90±0,25	0,78±0,20
Barba chata (<i>Pinirampus pirinampus</i>) – (n = 13)	Carnívoro	0,61±0,10	0,59±0,09
Surubim (<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>) – (n = 08)	Carnívoro	0,86±0,17	0,69±0,14
Pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>) – (n = 03)	Piscívoro	0,30±0,09	0,21±0,06
Apapá (<i>Pellona castelneana</i>) – (n = 22)	Piscívoro	0,45±0,11	0,34±0,08
Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) – (n = 06)	Onívoro	0,18±0,07	0,13±0,05
Jatuarana (<i>Brycon cf. melanopterus</i>) – (n = 19)	Onívoro	0,09±0,03	0,06±0,02

Tabela 33. Concentração de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em músculo de peixe de relevante consumo pela população na bacia do rio Madeira coletados na 7ª campanha de campo (período de cheia de 2011).

Espécime	Habito	HgT mg kg ⁻¹	MeHg mg kg ⁻¹
Dourada (<i>Brachyplatystoma avicans</i>) – (n = 11)	Carnívoro	0,81±0,21	0,60±0,06
Filhote (<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>) – (n = 08)	Carnívoro	0,82±0,20	0,68±0,09
Pintado (<i>Pseudoplatystoma</i>) – (n = 13)	Carnívoro	0,90±0,10	0,72±0,14
Piranha (<i>Serrasalmus eigenmanni</i>) – (n = 09)	Carnívoro	0,72±0,11	0,53±0,05
Barba-chata (<i>Pinirampus pirinampu</i>) – (n = 13)	Carnívoro	0,75±0,20	0,60±0,07
Pescada (<i>Plagioscion sp</i>) – (n = 16)	Piscívoro	0,40±0,05	0,35±0,06
Peixe cachorro (<i>Acestrorhynchus falcirostris</i>) – (n = 06)	Piscívoro	0,52±0,06	0,42±0,07
Jatuarana (<i>Argonectes scapularis</i>) – (n = 18)	Onívoro	0,11±0,04	0,08±0,01
Jaraqui (<i>Semaprochilodus theraponera</i>) – (n = 13)	Onívoro	0,13±0,06	0,10±0,01

Tabela 34. Concentração de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em músculo de peixe de relevante consumo pela população na bacia do rio Madeira coletados na 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011).

Espécime	Habito	HgT mg kg ⁻¹	MeHg mg kg ⁻¹
Dourada (<i>Brachyplatystoma avicans</i>) – (n = 20)	Carnívoro	0,483±0,134	0,407±0,104
Barba chata (<i>Pinirampus pirinampus</i>) – (n = 20)	Carnívoro	0,522±0,093	0,466±0,063
Pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>) – (n = 06)	Piscívoro	0,323±0,084	0,212±0,072
Apapá (<i>Pellona castelneana</i>) – (n = 24)	Piscívoro	0,396±0,076	0,312±0,048
Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) – (n = 16)	Onívoro	0,167±0,036	0,133±0,056
Jatuarana (<i>Brycon cf. melanopterus</i>) – (n = 12)	Onívoro	0,116±0,063	0,088±0,037

Tabela 35. Concentração de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em músculo de peixe de relevante consumo pela população na bacia do rio Madeira coletados na (9ª campanha de campo (período de seca de 2011).

Espécime	Habito	HgT mg kg ⁻¹	MeHg mg kg ⁻¹
Dourada (<i>Brachyplatystoma avicans</i>) – (n = 16)	Carnívoro	0,906±0,137	0,740±0,153
Filhote (<i>Brachyplatistoma filamentosum</i>) – (n = 15)	Carnívoro	0,809±0,221	0,682±0,159
Piranha (<i>Serrasalmus eigenmanni</i>) – (n = 20)	Carnívoro	0,772±0,109	0,675±0,304
Barba-chata (<i>Pinirampus pirinampu</i>) – (n = 14)	Carnívoro	0,637±0,188	0,537±0,118
Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) – (n = 12)	Onívoro	0,286±0,082	0,087±0,098
Jatuarana (<i>Argonectes scapularis</i>) – (n = 17)	Onívoro	0,128±0,067	0,105±0,043
Jaraqui (<i>Semaprochilodus theraponera</i>) – (n = 14)	Onívoro	0,103±0,055	0,084±0,044

Tabela 36. Concentração de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em músculo de peixe de relevante consumo pela população na bacia do rio Madeira coletados na 10ª Campanha de campo (período de enchente de 2012).

Espécime	Habito	HgT mg kg ⁻¹	MeHg mg kg ⁻¹
Tucunaré (<i>Cichla sp</i>) – (n = 10)	Carnívoro	0,40±0,08	0,31±0,15
Dourada (<i>Brachyplatystoma avicans</i>) - (n = 25)	Carnívoro	0,37±0,16	0,23±0,09
Traira (<i>Hoplias sp</i>) – (n = 10)	Carnívoro	0,23±0,04	0,23±0,12
Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) – (n = 22)	Onívoro	0,25±0,06	0,09±0,01
Filhote (<i>Brachyplatistoma filamentosum</i>) – (n = 18)	Carnívoro	0,79±0,11	0,63±0,12
Jatuarana (<i>Brycon cf. melanopterus</i>) – (n = 21)	Onívoro	0,08±0,02	0,06±0,05

A concentração média de mercúrio total e metilmercúrio nas espécies carnívoras é aproximadamente 6 vezes maior quando comparado as espécimes detritívoras, 5 vezes maior quando comparado as espécimes herbívoras, 4 vezes maior quando comparado as espécimes onívoras e apenas 2 vezes maior quando comparado as espécimes piscívoras , evidenciando os

processos de bioacumulação e biomagnificação do mercúrio na ictiofauna. A fração de metilmercúrio nos espécimes de relevante consumo humano na bacia do rio Madeira foi de 70 a 80% do estoque de mercúrio total, estando de acordo com literatura científica que relata para a região Amazônica 85% do estoque total de mercúrio em peixe 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 utilizada 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 mg kg⁻¹ e para peixe predador de 1,0 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, com exceção dos espécimes de Filhote ou Piraíba (*Hoplias malabaricus*). Entretanto o valor observado é concordante com os resultados das literatura científica para a região Amazônica, conforme observado por Bastos e colaboradores (2008) que analisaram 18 espécimes de Filhote ou Piraíba (*Hoplias malabaricus*) sendo observado o valor mínimo de mercúrio total de 0,490 mg kg⁻¹, o valor máximo de 4,753 mg kg⁻¹ e o valor médio de 1,359 mg kg⁻¹.

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 ± 0,039 mg kg⁻¹, jaraqui (*Semaprochilodus theraponera*) de 0,099 ± 0,068 mg kg⁻¹, Curimatã (*Prochilodus nigricans*) de 0,083 ± 0,058 mg kg⁻¹, branquinha (*Curimata amazonica*) de 0,095 ± 0,045 mg kg⁻¹, tucunaré (*Cichla monoculus*) de 0,414 ± 0,228 mg kg⁻¹ e tambaqui (*Colossoma macropomum*) de 0,099 ± 0,085 mg kg⁻¹. Barbosa *et al.* (2003) coletaram 951 peixes ao longo da bacia do rio Negro e quantificaram 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. 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 peixe variou de 0,33 a 2,30 mg kg⁻¹, sendo 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).

Concentração de Mercúrio nas Macrófitas Aquáticas

O processo de metilação do mercúrio pode ocorrer através da ação de microrganismos 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).

As concentrações de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) nas raízes das amostras de macrófitas aquáticas flutuantes da espécie *Eichornia crassipes* coletadas no rio Mamoré (P1-MAM) estão apresentadas na **Tabela 37**.

Tabela 37. Concentração de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em raízes das amostras de macrófitas aquáticas flutuantes da espécie *Eichornia crassipes* coletadas no rio Mamoré (P1-MAM)

Período hidrológico	HgT $\mu\text{g kg}^{-1}$	MeHg mg kg^{-1}
Enchente de 2012	52,73 \pm 6,26	1,136 \pm 0,223
Seca de 2011	217,76 \pm 27,44	6,437 \pm 1,273
Vazante de 2011	107,32 \pm 7,34	0,934 \pm 0,190
Cheia de 2011	87,96 \pm 9,71	0,771 \pm 0,015
Enchente de 2011	46,28 \pm 3,34	0,086 \pm 0,012
Seca de 2010	359,93 \pm 19,37	11,22 \pm 0,18
Vazante de 2010	74,01 \pm 4,21	1,812 \pm 0,216
Cheia de 2010	30,82 \pm 2,17	0,052 \pm 0,021
Enchente de 2010	41,32 \pm 2,17	0,078 \pm 0,014
Seca de 2009	67,81 \pm 6,35	0,129 \pm 0,012

As concentrações de metilmercúrio apresentam tendência de menores valores nos períodos de águas altas e valores expressivos no período de águas baixas possivelmente devido à interação e ao transporte de mercúrio do sedimento de fundo.

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.

A taxa de metilação das amostras coletadas no igarapé Castanho (P10-CAS) e na área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) durante a durante a 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012), a 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011), a 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) e a 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010) também foi menor que $1,7 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio/ g / hora nas amostras de macrófita seca.

A taxa de metilação das amostras coletadas no igarapé Castanho (P10-CAS) durante a 10ª campanha de campo (período de enchente de 2012) foi de $4,79 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / mL / hora nas amostras de água superficial; $3,33 \times 10^{-2}$ % metilmercúrio / g seco / hora nas amostras de sedimento seco; e menor que $0,3 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / g seco / hora nas amostras de solo seco. A taxa de metilação das amostras coletadas durante a 8ª campanha de campo (período de vazante de 2011) foi de $4,22 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / mL / hora nas amostras de água superficial, de $9,83 \times 10^{-2}$ % metilmercúrio / g seco / hora nas amostras de sedimento seco e menor que $0,3 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / g seco / hora nas amostras de solo seco. A taxa de metilação das amostras coletadas durante a 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) foi de $4,02 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / mL / hora nas amostras de água superficial, de $3,63 \times 10^{-2}$ % metilmercúrio / g seco / hora nas amostras de sedimento seco e menor que $0,3 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / g seco / hora nas amostras de solo seco. Na 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010) foi de $4,17 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / mL / hora nas amostras de água superficial, de $7,33 \times 10^{-2}$ % metilmercúrio / g seco / hora nas amostras de sedimento seco e menor que $1,7 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / g seco / hora nas amostras de solo seco. Na 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010) a taxa de metilação de foi de $4,20 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / mL / hora nas amostras de água superficial, de $2,10 \times 10^{-2}$ % metilmercúrio / g seco/ hora nas amostras de sedimento seco e taxa menor que $0,3 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / g seco/ hora nas amostras de solo seco.

A taxa de metilação das amostras coletadas na área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) durante a 10ª campanha de campo (período de enchente 2012) foi que $8,98 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / mL / hora nas amostras de água superficial, de $4,22 \times 10^{-2}$ % metilmercúrio / g seco / hora nas amostras de sedimento seco e menor que $0,3 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / g seco/ hora nas amostras de solo seco. A taxa de metilação das amostras coletadas durante a 8ª campanha de campo (período de vazante 2011) foi $2,12 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / mL / hora nas amostras de água superficial, de $5,14 \times 10^{-2}$ % metilmercúrio / g seco / hora nas amostras de sedimento seco e menor que $0,3 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / g seco/ hora nas amostras de solo seco. A taxa de metilação das amostras coletadas durante a 6ª campanha de campo (período de enchente 2011) foi que $5,72 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / mL / hora nas amostras de água superficial, de $2,83 \times 10^{-2}$ % metilmercúrio / g seco / hora nas amostras de sedimento seco e menor que $0,3 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / g seco/ hora nas amostras de solo seco. Na 4ª campanha de campo (período de vazante de 2010) foi menor que $1,7 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / mL / hora nas amostras de água superficial, de $4,16 \times 10^{-2}$ % metilmercúrio / g seco / hora nas amostras de sedimento seco e menor que $1,7 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / g seco/ hora nas amostras de solo seco. Na 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010) a taxa de metilação foi de $6,1 \times 10^{-4} \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / mL / hora nas amostras de água superficial, de $3,2 \times 10^{-2} \times 10^{-2}$ % metilmercúrio / g seco / hora nas amostras de sedimento seco e menor que $0,3 \times 10^{-4}$ % metilmercúrio / g seco/ hora nas amostras de solo seco.

As taxas de metilação nas amostras coletas nos ciclos hidrológicos do rio Madeira no período de enchente de 2010 a enchente de 2012 indicam o favorecimento do processo de metilação do mercúrio na água superficial no período hidrológico de enchente do rio Madeira, possivelmente estando associado ao aumento da carga de carbono orgânico dissolvido associado a menores valores de pH característico do início do período de enchente. As maiores taxas de metilação nas amostras de sedimento são observadas no período hidrológico de vazante do rio Madeira, entretanto este comportamento somente poderá ser confirmado com o desenvolvimento dos estudos temporais do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico.

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). Em estudo realizado por Guimarães e colaboradores (1998), sedimentos do rio Madeira contaminados com 2 µg 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 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.

Análise Estatística

Matrizes Abióticas

Os resultados obtidos pela interface do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico com o Programa de Monitoramento Limnológico e o Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico possibilitou estimar durante o ciclo hidrológico do rio Madeira de setembro de 2009 (período de seca) a julho de 2010 (período de vazante) a carga de transporte de sólidos em suspensão na ordem de 823×10^9 toneladas por ano mostrando o potencial de transporte de sólidos em suspensão pelo rio Madeira. Considerando as concentrações médias de mercúrio total no material particulado suspenso obtido pela estatística descritiva e o valor médio global de mercúrio total em torno de $20,38 \mu\text{g kg}^{-1}$, foi calculada a estimativa da carga total de mercúrio transportado pelo rio Madeira durante o ciclo hidrológico de setembro de 2009 (período de seca) a julho de 2010 (período de vazante) com uma função produtória:

$$\text{HgTotal sólidos em suspensão} = 20,38 \text{ (concentração média de HgTotal)} * 29000 \text{ (Vazão)*Hora*dia*ano}$$

A função produtória indica a carga de mercúrio total transportando pelos sólidos em suspensão da ordem de aproximadamente de 823 toneladas por ano. A maior concentração de sólidos em suspensão observada no período hidrológico de cheia quando comparado ao período de seca, em parte pode ser explicada pelo regime de vazões cuja dinâmica se inicia com o degelo das geleiras nos contrafortes andinos da Bolívia e Peru e pelo efeito da geomorfologia da área de estudo, que condiciona uma variação altimétrica das nascentes do rio Beni nos Andes a formação do rio Madeira no Brasil de 6.500 m para 120 m (Guyot *et al.*, 1999). Associado a este fato, o rio Madeira é um dos tributários andinos, recebendo uma grande carga de sólidos em suspensão, carga que segundo Latrubesse *et al.*, (2005) é de cerca de $330 \text{ T km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$.

O transporte de mercúrio total na água foi estimado utilizando o mesmo método aplicado ao mercúrio total transportado pelos sólidos em suspensão, sendo possível inferir a carga de mercúrio total transportado pela água da ordem de aproximadamente de 50 toneladas por ano, sendo aproximadamente 15 vezes menor quando comparado ao transportado pelos sólidos em suspensão. Este fato está associado a constituição dos sólidos em suspensão ricos em argilominerais que tem a capacidade de adsorver os metais pesados, não os

disponibilizando para água. Esse potencial foi bem relatado pelos autores Martinelli et al., (1993); Mortatti e Probst, (1998) e Guyot et.al., (2007).

A variabilidade das concentrações de mercúrio total no material particulado suspenso no período hidrológico de cheia quando comparado com os demais períodos hidrológicos pode estar relacionada com a vazão e com o efeito de diluição, sendo a média da concentração do mercúrio total nos sólidos em suspensão no período hidrológico de cheia menor quando comparado aos demais períodos hidrológicos ou ainda associadas à mineração artesanal, conhecida como "garimpagem", onde o mercúrio na forma líquida é utilizado para recuperação de partículas de ouro com granulometria fina (Martinelli *et al.*, 1988; Pfeiffer & Lacerda, 1988; Pfeiffer *et al.*, 1989; Malm *et al.*, 1990), sendo esta atividades geralmente reduzida que durante o período hidrológico de cheia

No início da década de 90 estudos realizados por Veiga *et al.* (1994), sobre a presença de mercúrio no ambiente amazônico, mostraram uma associação entre a queima de biomassa florestal e a quantidade de mercúrio lançadas para a atmosfera anualmente, sendo estimada da ordem de 90 toneladas por ano, sendo este fato responsável por uma parcela importante de mercúrio encontrada nos ecossistemas aquáticos.

Outros estudos, entretanto, têm relacionado a presença de mercúrio em áreas sem influência direta da garimpagem aos processos de erosão e lixiviação das partículas que contém mercúrio associado aos óxidos e hidróxidos de ferro, favorecidos pelos desmatamentos, os quais promovem a exposição dos solos. Estes materiais têm sido apontados como fontes naturais de mercúrio para os ecossistemas aquáticos, disponibilizando-o no meio aquático para os processos de metilação e acumulação na biota (Roulet & Lucotte, 1995; Roulet *et al.*, 1998; Fostier *et al.*, 1999; Ribeiro *et al.*, 1999, Zeidemann *et al.*, 1999).

Portanto, o transporte de mercúrio total nos sólidos em suspensão pode ter várias fontes ou origens, sendo necessária uma avaliação holística dos estudos longitudinais e temporais da dinâmica do mercúrio na bacia do rio Madeira de extrema complexidade ecológica.

A variabilidade das concentrações de mercúrio total no sedimento no período hidrológico de cheia quando comparado aos demais períodos hidrológicos pode estar relacionada com a vazão e com o efeito de diluição, tendo em vista que a média da concentração de mercúrio total no período de cheia foi menor quando comparado aos demais períodos hidrológicos. Nos

dois outros grupos formados as diferenças significativas apenas ocorreram entre o período hidrológico de seca quando comparado ao período hidrológico de vazante.

A dinâmica do metilmercúrio no ambiente não está totalmente esclarecida, muito embora haja diversos trabalhos na literatura centrados na dinâmica de geração e consumo do MeHg em variadas matrizes ambientais (BISINOTI E JARDIM, 2004). A variabilidade das concentrações de metilmercúrio no sedimento nos períodos hidrológicos de cheia e seca pode estar relacionada com a vazão e o efeito de diluição, sendo que a média no período hidrológico de cheia foi menor quando comparada com ao período hidrológico de seca. Embora restritos, os estudos sobre a metilação de mercúrio em rios da Amazônia indicam que até 10% a 2% da concentração de mercúrio total em águas e sedimento respectivamente ocorrem na forma de metilmercúrio (LACERDA e PFEIFFER, 1992). Segundo a literatura a biota aquática apresenta elevada capacidade de absorver os compostos de mercúrio, quer sejam de origem orgânica ou inorgânica (Bisinoti e Jardim, 2004). Estudos feitos por Bisinoti e Jardim (2004), confirmam que os peixes absorvem o mercúrio com facilidade e o acumulam em seus tecidos, principalmente na forma de metilmercúrio, mesmo quando expostos à espécie Hg^{2+} , indicando a ocorrência de metilação nestes. A persistência do metilmercúrio nos peixes é relativamente alta, devido à lenta metabolização e o tempo de meia vida ocorre em função da espécie, variando geralmente de um a três anos. Estudos de Ikingura e Akagi (1999) apud (Bisinoti e Jardim, 2004), demonstraram que, para peixes de aquário expostos a mercúrio inorgânico, o coeficiente de partição peixe-água foi de 5000-7000. No entanto, quando ocorreu produção de metilmercúrio na água este coeficiente foi de 10000-22000.

O ciclo hidrobiogeoquímico do mercúrio é caracterizado pelas várias rotas que este composto pode seguir no ambiente, dentre elas destaca a liberação do solo e da água para atmosfera, seu transporte nesta seguido da deposição atmosférica das espécies de mercúrio para a água e solo bem relatados pelos autores (MARTINELLI *et al.*, 1988; MALM *et al.*, 1990; LACERDA e SALOMONS, 1991; PFEIFFER *et al.*, 1991; PFEIFFER *et al.*, 1993) e a agricultura do tipo corte e queima (ROULET *et al.*, 1998, FARELLA *et al.*, 2001, FARELLA, 2005). Esta deposição quando em contato com o solo ou sedimento, pode ocorrer adsorção do mercúrio na forma insolúvel seguida de metilação/desmetilação. Assim 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 (BISINOTI E JARDIM, 2004).

A variabilidade das concentrações de mercúrio orgânico nos períodos hidrológicos de cheia e seca pode estar relacionada com a vazão e o efeito de diluição, sendo a média no período hidrológico de cheia menor quando comparada com o período hidrológico de seca.

A variabilidade das concentrações de mercúrio reativo nos períodos hidrológicos de vazante e seca pode estar relacionada com a vazão e o efeito de diluição, sendo a média no período hidrológico de cheia menor quando comparada com o período hidrológico de seca.

A variabilidade das concentrações de mercúrio total nos períodos hidrológicos quando comparado aos demais períodos hidrológicos pode estar relacionada com a vazão, efeito de diluição e ao transporte de massas realizado pelos rios tem sido reportado como um mecanismo eficiente de migração de mercúrio na paisagem (Bayens *et al.*, 1998; Bonotto & Silveira, 2003). A associação deste metal ao material particulado em suspensão e a matéria orgânica, e sua ocorrência na forma de cátion livre, pode apresentar diferentes partições, podendo corresponder até 98 % do mercúrio total na coluna d'água (Kersten, 1988). A partição do mercúrio, portanto, entre a fase dissolvida e a fase particulada é um dos mais importantes fatores a serem considerados na mobilização e transporte de mercúrio em sistemas aquáticos (Mason & Sullivan, 1998). A distribuição das espécies de mercúrio entre as fases particulada, coloidal e dissolvida afeta a toxicidade, transporte e absorção do mercúrio pela biota em águas naturais (Guo *et al.*, 2001; Barbiarz *et al.*, 2003). Dentre essas classes de partículas, a fase coloidal tem sido vinculada a papéis importantes na biogeoquímica de mercúrio, devido ao fato dos colóides poder desempenhar um papel relevante na regulação da concentração das espécies químicas em equilíbrio em solução, como íons metálicos e seus complexos neutros. Os colóides também são importantes como veículo de transporte de mercúrio em ambientes fluviais, devido a sua grande área superficial e a natureza geoquímica reativa. A área superficial é extensivamente controlada pelas propriedades físicas e químicas da matriz que a compõe (Salomons & Förstner, 1984), essas diferenças podem estar correlacionadas com variações de textura; tipo, quantidade e qualidade de argilo-minerais; conteúdo de oxi-hidróxidos de Fe, Al e Mn e quantidade e qualidade da matéria orgânica (Canfield, 1997; Kaiser & Guggenberger, 2000).

As variabilidades das concentrações de mercúrio total encontradas no plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) nos períodos hidrológicos do rio Madeira está relacionada com a entrada de água na bacia hidrográfica, a qual causa a ressuspensão e carregamento de partículas contendo mercúrio para coluna d'água sendo que as concentrações de mercúrio tendem a aumentar no

plâncton (Nascimento et.al., 2009). A entrada de água na bacia hidrográfica, que ocorre entre os meses de novembro a março, as concentrações de Hg no plâncton aumentam, diminuindo a seguir provavelmente devido à diluição e, atinge seus menores valores no período de estiagem, quando ocorre uma menor concentração de partículas suspensas. A variação temporal e espacial sofrida tanto pelo fitoplâncton como pelo zooplâncton provavelmente está relacionada com as variações climáticas e limnológicas da coluna d'água, que influem na entrada e disponibilidade de nutrientes, atividade fotossintética e outros.

Em estudos ambientais com muitas amostras e variáveis, sejam elas físicas, químicas ou biológicas, uma das formas de avaliar o conjunto de dados gerados é a análise estatística multivariada. Uma importante abordagem em análise multivariada ou multidimensional se baseia na redução da dimensionalidade e na detecção de padrões (gradientes e tendências) em grandes conjuntos de dados (BERNARDI *et al.*, 2001). Entre os métodos da estatística multivariada, a Análise das Componentes Principais (ACP) vem sendo utilizada com bastante relevância por vários pesquisadores na avaliação dos solos (BERNARDI *et al.*, 2001; FADIGAS, *et al.*, 2002; MOURA *et al.*, 2006; FADIGAS, *et al.*, 2006; VENDRAME, *et al.*, 2007) para ordenação e redução do número de variáveis, fornecendo uma visão privilegiada dos principais padrões de variação do conjunto de dados.

A análise das componentes principais inicia com o cálculo dos autovalores e correspondentes autovetores de uma matriz de variâncias e co-variâncias ou de correlações entre variáveis e tal procedimento é conhecido como modo "R". O primeiro autovalor a ser determinado corresponderá à maior porcentagem da variabilidade total existente no conjunto de dados, o segundo pela maior variação possível restante, e assim por diante até que toda a variação do conjunto tenha sido explicada (LANDIM, 2000).

Os autovetores correspondem às componentes principais e é o resultado do carregamento das variáveis originais em cada um deles. Tais carregamentos podem ser considerados como uma medida da relativa importância de cada variável em relação às componentes principais e os respectivos sinais, se positivos ou negativos, indicam relações diretamente e inversamente proporcionais (MOURA *et al.*, 2006).

A matriz de carregamentos de cada variável nas componentes principais ao ser multiplicado pela matriz original de dados fornecerá a matriz de contagens (scores) de cada caso em relação às componentes principais. Esses valores podem ser dispostos num diagrama de

dispersão, em que os eixos são as duas componentes mais importantes, e mostrar o relacionamento entre os casos condicionados pelas variáveis medidas (LANDIM, 2000).

A análise das componentes principais é, portanto, uma técnica de transformação de variáveis. Se cada variável medida pode ser considerada como um eixo de variabilidade, estando usualmente correlacionada com outras variáveis, esta análise transforma os dados de tal modo a descrever a mesma variabilidade total existente, com o mesmo número de eixos originais, porém não mais correlacionados entre si. Graficamente pode ser descrita como a rotação de pontos existentes num espaço multidimensional originando eixos, ou componentes principais, que dispostos num espaço a duas dimensões representem variabilidade suficiente que possa indicar algum padrão a ser interpretado (MOURA *et al.*, 2006).

Desse modo a determinação das componentes principais permite, com frequência, diminuir o número de variáveis a serem estudadas em função de sua importância relativa, isto é, podem-se desprezar as componentes de menor variação relativa (BERNARDI *et al.*, 2001).

A variância total existente em um conjunto de dados multivariados pela soma das variâncias de cada uma das variáveis. Numa matriz de variâncias e covariâncias, essas variâncias individuais constituem os elementos da diagonal principal. Basta somá-los, portanto, encontrando o traço da matriz para se obter a variabilidade total e, em seguida, a contribuição de cada variável. A soma dos autovalores de uma matriz, igual ao traço dessa matriz, representa também a variabilidade total da mesma e a contribuição de cada autovalor em termos de variabilidade é determinada.

Ao primeiro corresponderá a maior variabilidade possível existente, ao segundo a maior variabilidade restante, e assim por diante. Em termos geométricos, o primeiro autovalor representa o eixo principal de maior comprimento; o segundo autovalor, um segundo vetor em comprimento, situado em posição ortogonal em relação ao primeiro, e assim sucessivamente.

Os elementos de cada um dos autovetores encontrados são coeficientes de equações lineares que transformam os dados originais em contagens (scores) indicativas do respectivo carregamento sobre os eixos correspondentes. Desse modo, utilizando-se da multiplicação da matriz de dados originais pela de autovetores, obtém-se uma matriz de dados transformados que representam projeções dos pontos, em um espaço multidimensional, sobre os diversos componentes principais.



A **Tabela 38** mostra as cargas das variáveis mais importantes no período hidrológico de enchente referente à 1ª campanha de campo realizada no período de 26 a 30 de setembro de 2009. Na primeira componente que explica 46% da variância as variáveis foram pH (carga - 0,72); condutividade (carga - 0,89); turbidez (carga - 0,92), sólidos totais (carga - 0,98), sólidos suspensos (carga - 0,93), sólidos suspensos fixos (carga - 0,93), sólidos suspensos voláteis (carga - 0,91), sólidos totais dissolvidos (carga - 0,82), alcalinidade (carga - 0,86), dureza (carga - 0,90), sulfeto (carga - 0,89), nitrogênio total (carga - 0,73), nitrogênio amoniacal (carga - 0,78). Na segunda componente que explica 17% da variabilidade, as variáveis mais importantes foram nitrato (carga - 0,89), sulfato (carga 0,71), mercúrio reativo na matriz água (carga - 0,56), mercúrio orgânico na matriz água (carga - 0,57). Enquanto que na terceira componente que explica 9,22% da variabilidade, as variáveis mais importantes foram mercúrio total na matriz sedimento (carga - 0,88) e metilmercúrio na matriz sedimento (carga - 0,89).

A projeção polar das cargas das variáveis associadas às duas primeiras componentes mostra a ordenação dos vetores das variáveis no espaço (**Figura 06**), sendo discriminados três grupos específicos de variáveis.

O primeiro grupo é formado pelas variáveis associadas ao mercúrio total na matriz sedimento, metilmercúrio na matriz sedimento, sulfato, dureza, alcalinidade e carbono total. O segundo grupo é o formado pelas variáveis associadas as espécies de mercúrio, CO₂ livre e nitratos. Enquanto que o terceiro grupo está associado ao sulfeto, fósforo, sólidos totais, sólidos em suspensão e sólidos em suspensão fixos e nitrogênio amoniacal.

A projeção dos escores ou estações de amostragem (**Figura 07**) nas duas primeiras componentes mostra a formação de dois grupos, sendo o primeiro grupo representado pelas estações de amostragem na calha do rio Madeira e o segundo grupo representado pelas estações de amostragem nos afluentes do rio Madeira e a estação de amostragem MAD 3 na calha do rio Madeira.

Tabela 38. Cargas das componentes principais das variáveis físico-químicas e espécies de mercúrio par o período hidrológico de seca.

Variáveis	Componente 1	Componente 2	Componente 3
pH	-0,72	0,56	-0,24
Condutividade	-0,84	0,42	-0,26
Oxigênio dissolvido	-0,57	0,01	-0,10
Turbidez	-0,92	-0,33	0,13
Sólidos totais	-0,98	-0,07	0,04
Sólidos suspenso	-0,93	-0,24	0,18
Sólidos suspensos fixos	-0,93	-0,26	0,18
Sólidos suspensos voláteis	-0,91	-0,04	0,18
Sólidos totais	-0,82	0,36	-0,30
Fósforo total	-0,94	-0,29	0,08
Ortofosfato	-0,91	-0,36	0,07
Nitrogênio total	-0,73	-0,53	-0,02
Nitrato	-0,17	-0,89	-0,01
Nitrito	-0,38	0,24	-0,03
Nitrogênio amoniacal	-0,78	-0,51	-0,09
Alcalinidade total	-0,86	0,43	-0,20
Dureza	-0,90	0,31	-0,08
Sulfato	-0,54	0,71	-0,25
Sulfeto	-0,89	-0,39	0,01
Carbono inorgânico	-0,61	0,37	0,05
Carbono orgânico total	-0,28	0,23	0,69
Carbono total	-0,57	0,37	0,26
CO ₂ livre	0,49	-0,48	0,19
CO ₂ total	-0,22	-0,18	0,04
Metilmercúrio na matriz sedimento	-0,09	0,20	0,89
Mercúrio total na matriz sedimento	0,00	0,26	0,88
Mercúrio total na matriz água	-0,25	-0,47	-0,00
Mercúrio reativo na matriz água	0,11	-0,56	-0,19
Mercúrio orgânico na matriz água	-0,18	-0,57	-0,16

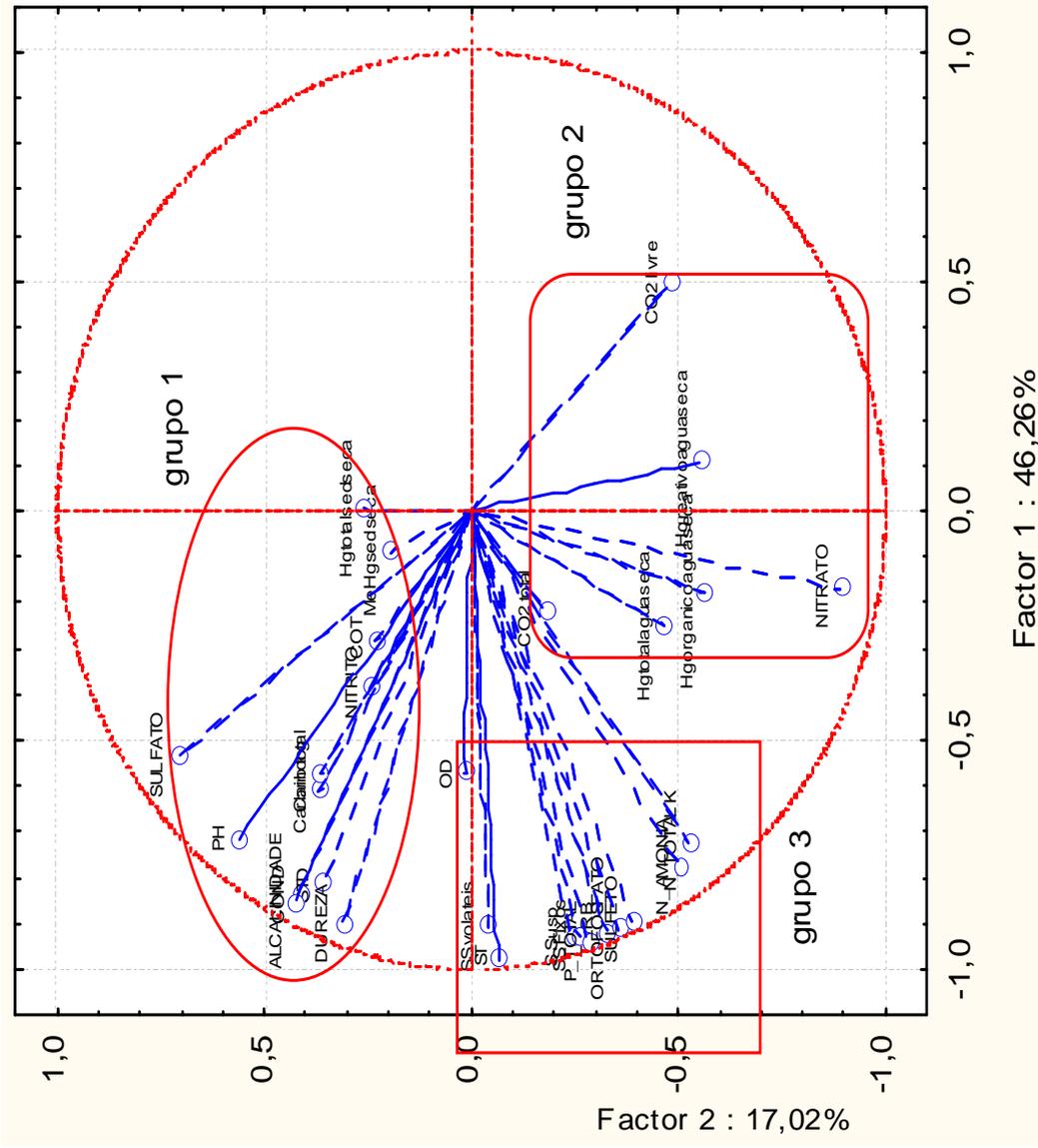


Figura 06. Projeção das cargas nas duas principais componentes das variáveis físico-químicas e os espécimes de mercúrio para o período de seca.

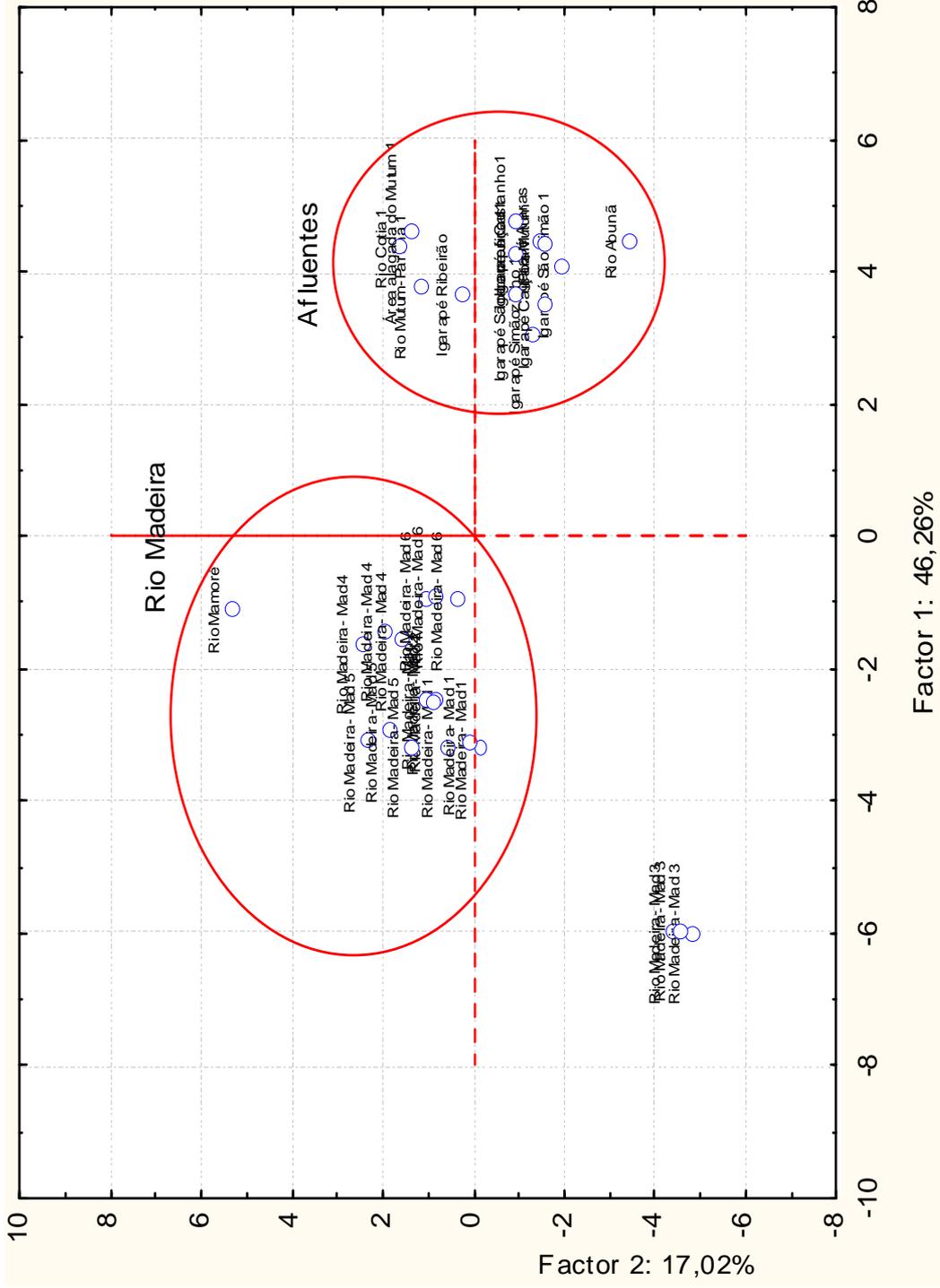


Figura 07. Projeção espacial dos escores ou estações de amostragem nas duas principais componentes para o período de seca.

A **Tabela 39** e as **Figuras 08 e 09** mostram os resultados da ACP aplicados às variáveis temperatura do ar, temperatura da água, velocidade de corrente da água, pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, saturação de oxigênio dissolvido, oxigênio dissolvido, oxigênio dissolvido (OD Winke), transparência, turbidez, cor, sólidos totais, sólidos suspenso, sólidos suspensos fixos, sólidos suspensos voláteis, fósforo total, ortofosfato, nitrogênio total (kjeldahl), nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, ferro total, alcalinidade total, dureza, sulfato, sulfeto, carbono inorgânico, carbono orgânico total, carbono total, CO₂ livre, CO₂ total, sílica, metilmercúrio na matriz sedimento, mercúrio total na matriz sedimento, mercúrio total na matriz água, mercúrio reativo na matriz água, mercúrio orgânico na matriz água, mercúrio total na matriz água e mercúrio total na matriz material particulado suspensos no período hidrológico de enchente.

As variáveis mais importantes (**Tabela 39**) na primeira componente que explica 43% da variância foram velocidade de corrente da água (carga 0,97), pH (carga 0,91); condutividade elétrica (carga 0,97); transparência (carga - 0,83); turbidez (carga 0,94); sólidos totais (carga 0,92); sólidos suspenso (carga 0,92); sólidos suspensos fixos (carga 0,91); sólidos suspensos voláteis (carga 0,93); fósforo total (carga 0,98); ortofosfato (carga 0,96); alcalinidade total (carga 0,98); dureza (carga 0,96) sulfato (carga 0,72) e sulfeto (carga 0,73).

Para a segunda componente que explica 13% da variabilidade, as variáveis mais importantes foram nitrito (carga -0,73); nitrogênio amoniacal (carga 0,74); demanda bioquímica de oxigênio (carga 0,81); carbono orgânico total (carga 0,75); mercúrio total na matriz sedimento (carga 0,61); mercúrio reativo na água (carga 0,61) e mercúrio orgânico na água (carga 0,61).

Enquanto que a terceira componente, que explica 9,6% da variabilidade as variáveis mais importantes foram mercúrio total na água (carga 0,64); mercúrio reativo na água (carga 0,61) e mercúrio orgânico na água (carga 0,60).

Tabela 39. Cargas das componentes principais das variáveis físico-químicas e espécies de mercúrio para o período hidrológico de enchente do rio Madeira.

Variáveis	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Temperatura do ar	0,23	0,32	-0,38
Temperatura da água	0,24	0,49	-0,37
Velocidade de corrente da água	0,95	-0,03	0,09
pH	0,91	-0,09	-0,16
Condutividade	0,97	0,18	0,01
Sólidos totais dissolvidos	0,97	0,18	0,00
Oxigênio dissolvido	0,44	-0,37	-0,66
Saturação de oxigênio dissolvido	0,57	-0,41	-0,51
Oxigênio dissolvido (OD Winke)	0,69	-0,28	-0,53
Transparência	-0,83	-0,02	0,10
Turbidez	0,94	-0,02	-0,03
Cor	0,66	0,30	0,29
Sólidos totais	0,92	-0,08	-0,12
Sólidos suspenso	0,92	-0,09	-0,12
Sólidos suspensos fixos	0,91	-0,09	-0,13
Sólidos suspensos voláteis	0,93	-0,02	-0,07
Fósforo total	0,98	0,05	0,10
Ortofosfato	0,96	0,05	0,08
Nitrogênio total	0,26	0,22	-0,35
Nitrato	0,62	0,39	0,42
Nitrito	-0,06	-0,73	-0,04
Nitrogênio amoniacal	0,20	0,74	0,47
Demanda bioquímica de oxigênio	0,45	0,09	-0,27
Demanda química de oxigênio	0,21	0,81	0,10
Ferro	0,93	-0,09	0,15
Alcalinidade total	0,98	-0,05	-0,02
Dureza	0,96	-0,06	0,18
Sulfato	0,15	-0,16	-0,04
Sulfeto	0,72	0,10	0,24
Carbono inorgânico	0,73	-0,08	0,36
Carbono orgânico total	0,34	0,75	0,08
Carbono total	0,62	0,53	0,24

Tabela 39. Continuação - Cargas das componentes principais das variáveis físico-químicas e espécies de mercúrio para o período hidrológico de enchente do rio Madeira – continuação

Variáveis	Componente 1	Componente 2	Componente 3
CO ₂ livre	-0,64	0,28	0,38
CO ₂ total	-0,15	0,31	0,45
Sílica	0,08	-0,26	0,18
Metilmercúrio na matriz sedimento	0,03	-0,38	0,07
Mercúrio total na matriz sedimento	0,17	-0,27	0,10
Mercúrio total na matriz água	0,28	-0,61	0,64
Mercúrio reativo na matriz água	0,17	-0,61	0,61
Mercúrio orgânico na matriz água	0,21	-0,61	0,60
Mercúrio total na matriz material particulado suspenso	0,46	-0,46	0,37

Na **Figura 08** a projeção polar das cargas das variáveis associadas às duas primeiras componentes mostra a ordenação dos vetores das variáveis no espaço. A projeção discriminou quatro grupos específicos de variáveis. O primeiro grupo é formado pelas variáveis associadas ao nitrogênio (nitrogênio total, nitrato, e nitrogênio amoniacal), o segundo grupo é o formado pelas variáveis associadas ao dióxido de carbono (CO₂ Livre, CO₂ Total), o terceiro grupo está associados aos espécimes de mercúrio (metilmercúrio na matriz sedimento, mercúrio total na matriz sedimento, mercúrio total na matriz água, mercúrio reativo na matriz água e mercúrio total na matriz material particulado suspenso), e o quarto grupo associado ao sulfeto, fósforo e sólidos (sólidos totais, sólidos suspenso, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis) na água.

Na **Figura 09** a projeção dos escores ou estações de amostragem nas duas primeiras componentes mostra a formação de dois grupos, o primeiro grupo representa as estações de amostragem na calha do rio Madeira e o segundo grupo representa as estações de amostragem nos afluentes do rio Madeira.

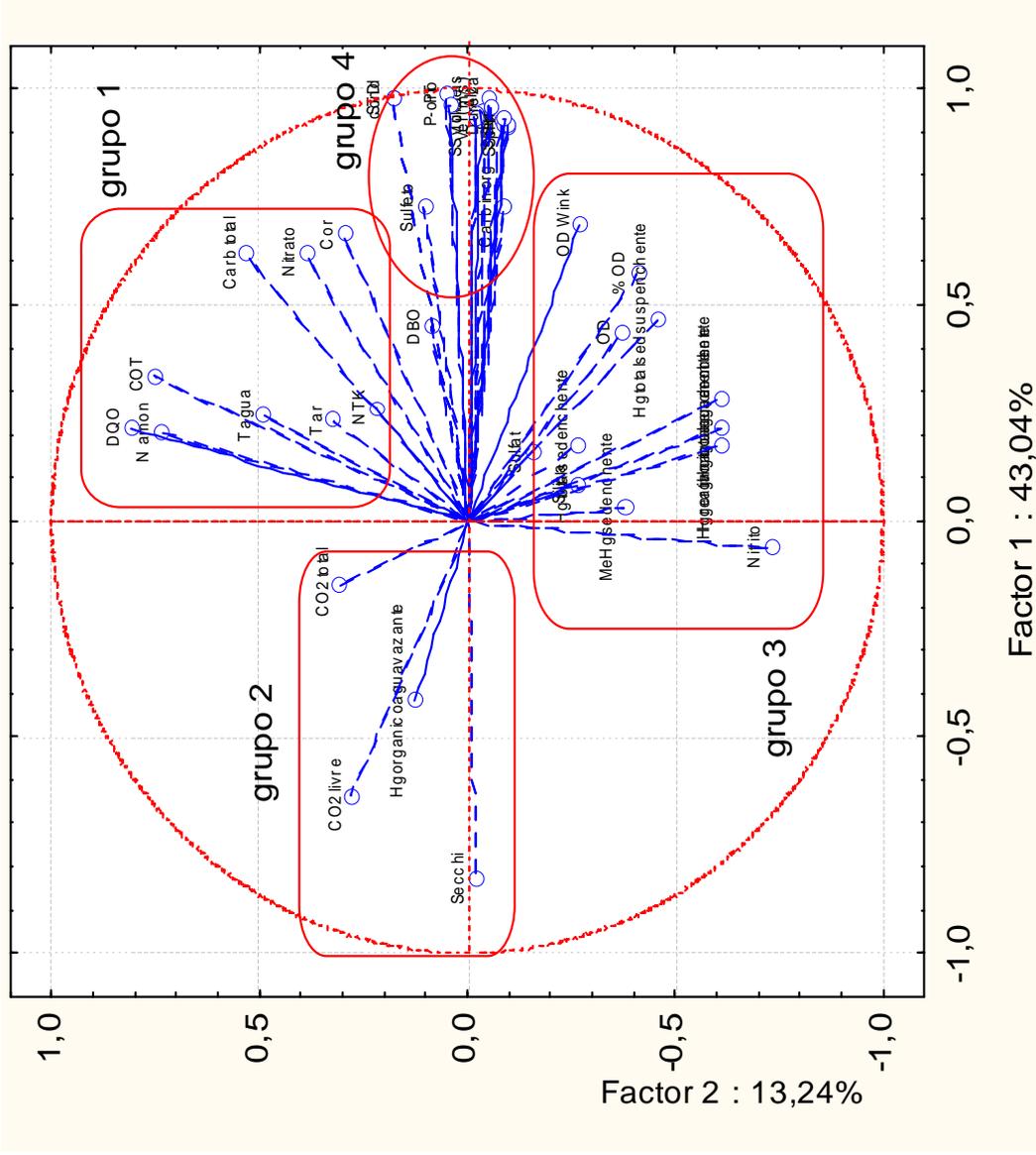


Figura 08. Projeção das cargas nas duas principais componentes das variáveis físico-químicas e os espécimes de mercúrio, para o período de enchente.

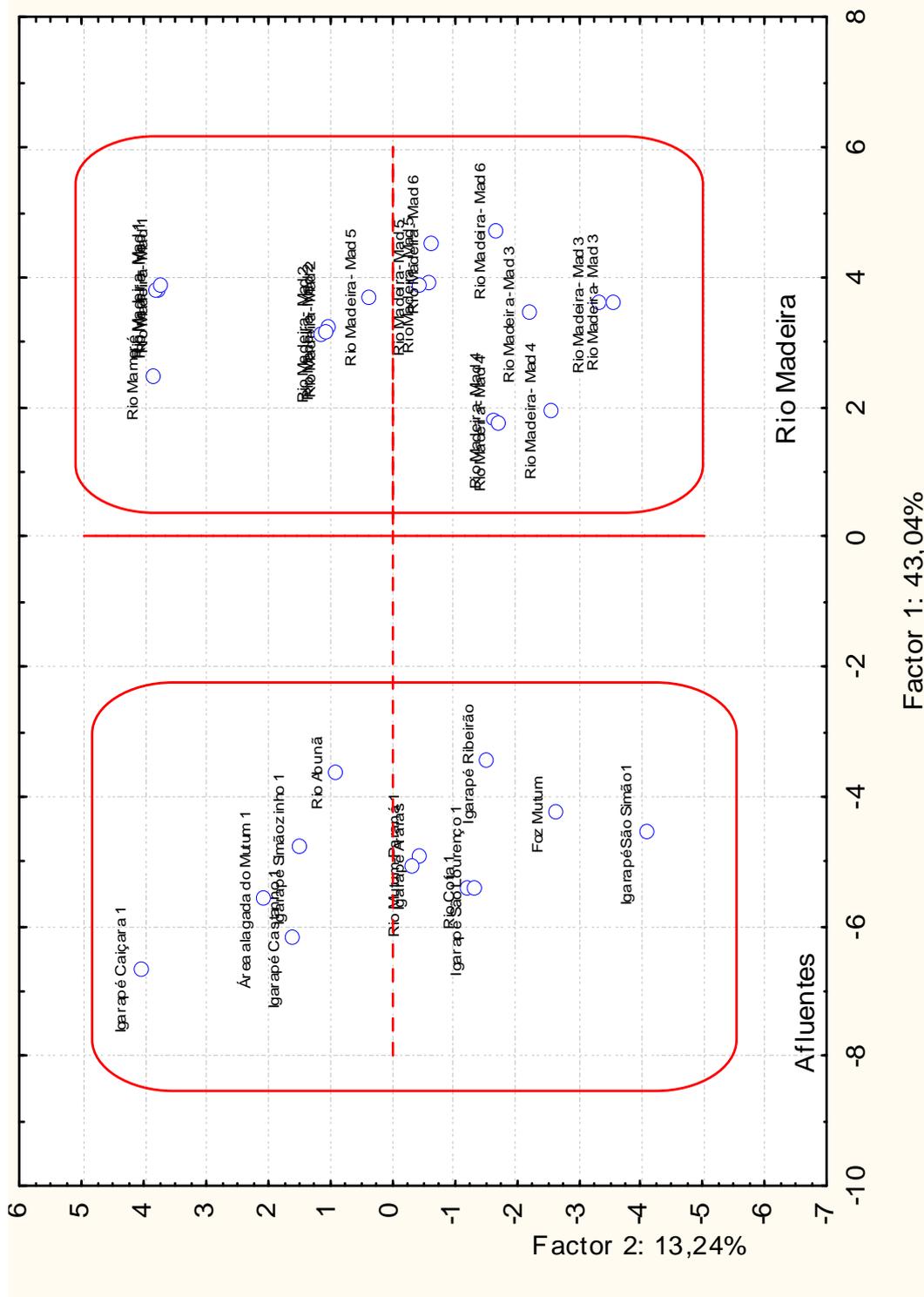


Figura 09. Projeção espacial dos escores ou estações de amostragem nas duas principais componentes para o período de enchente.

As variáveis mais importantes na 2ª campanha de campo (período de cheia de 2010) feita no período de 05 a 16 de abril de 2010 (**Tabela 40**) na primeira componente que explicam 47% da variância foram velocidade de corrente da água (carga 0,99); condutividade elétrica (carga 0,95); oxigênio dissolvido (carga -0,75); transparência (carga - 0,91); turbidez (carga 0,88); sólidos totais (carga 0,92); sólidos suspenso (carga 0,90); sólidos suspensos fixos (carga 0,90); sólidos suspensos voláteis (carga 0,82); fósforo total (carga 0,92); ortofosfato (carga 0,93); nitrogênio total (carga -0,83); nitrato (carga -0,77); nitrito (carga - 0,85); nitrogênio amoniacal (carga - 0,83); ferro (carga 0,89; alcalinidade total (carga 0,92); dureza (carga 0,97); sulfato (carga 0,95); carbono inorgânico (carga 0,80) e carbono total (carga -0,77). A variável mais importante na segunda componente que explica 11% da variabilidade foram temperatura do ar (carga 0,72) enquanto que para a terceira componente que explica 9,12% da variabilidade, as variáveis mais importantes foram mercúrio total na matriz sedimento (carga 0,61); metilmercúrio na matriz sedimento (carga - 0,61) e CO₂ total (carga -0,63).

A **Figura 10** mostra a projeção polar das cargas das variáveis associadas às duas primeiras componentes indicando a ordenação dos vetores das variáveis no espaço. A projeção discriminou quatro grupos específicos de variáveis.

O primeiro grupo é formado pelas variáveis associadas ao sulfeto e oxigênio dissolvido, o segundo grupo é o formado pelas variáveis associadas ao carbono total, dureza e alcalinidade, o terceiro grupo está associados ao nitrato e carbono inorgânico e o quarto grupo esta associado as espécies de mercúrio.

A projeção dos escores ou estações de amostragem (**Figura 11**), nas duas primeiras componentes mostra a formação de três grupos, sendo o primeiro grupo constituído pelas estações de amostragem no rio Madeira, o segundo grupo constituído pelas estações de amostragem nos afluentes do rio Madeira e o terceiro grupo constituído pela confluência dos rios Beni e Mamoré referente ao primeiro ponto de amostragem do rio Madeira.

Tabela 40. Cargas das componentes principais das variáveis físico-químicas e espécies de mercúrio para o período hidrológico de cheia do rio Madeira.

Variáveis	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Temperatura do ar	-0,07	0,72	-0,25
Temperatura da água	-0,56	0,15	-0,63
Velocidade de corrente da água	-0,99	0,04	-0,02
pH	-0,63	-0,01	0,37
Condutividade	-0,95	0,25	-0,11
Sólidos totais dissolvidos	-0,95	0,24	-0,12
Oxigênio dissolvido	-0,75	0,50	0,25
Saturação de oxigênio dissolvido	-0,23	0,47	0,42
Transparência	0,91	-0,17	0,18
Turbidez	-0,88	-0,29	0,11
Cor	-0,64	0,52	-0,10
Sólidos totais	-0,92	-0,31	0,15
Sólidos suspenso	-0,90	-0,36	0,17
Sólidos suspensos fixos	-0,90	-0,35	0,17
Sólidos suspensos voláteis	-0,82	-0,38	0,17
Fósforo total	-0,92	-0,30	0,10
Ortofosfato	-0,93	-0,29	0,10
Nitrogênio total	-0,83	0,01	-0,18
Nitrato	-0,77	-0,13	0,00
Nitrito	-0,85	-0,24	0,04
Nitrogênio amoniacal	-0,83	0,01	-0,17
Demanda bioquímica de oxigênio	0,29	0,33	-0,14
Demanda química de oxigênio	-0,57	0,29	-0,25
Ferro	-0,89	-0,31	0,21
Alcalinidade total	-0,92	0,30	-0,15
Dureza	-0,97	0,08	-0,07
Sulfato	-0,95	0,19	-0,13
Sulfeto	-0,07	0,24	0,31
Oxigênio dissolvido (OD Winke)	0,11	-0,18	0,02
Carbono inorgânico	-0,80	-0,23	-0,22
Carbono orgânico total	-0,62	0,17	-0,40
Carbono total	-0,77	0,04	-0,38

Tabela 40. Continuação - Cargas das componentes principais das variáveis físico-químicas e espécies de mercúrio para o período hidrológico de cheia do rio Madeira – continuação

Variáveis	Componente 1	Componente 2	Componente 3
CO ₂ livre	0,39	-0,09	-0,52
CO ₂ total	-0,07	0,06	-0,61
Sílica	-0,63	-0,28	0,28
Metilmercúrio na matriz sedimento	0,22	-0,52	-0,63
Mercúrio total na matriz sedimento	0,18	-0,52	-0,61
Mercúrio total na matriz água	-0,05	-0,49	0,12
Mercúrio reativo na matriz água	-0,03	-0,49	-0,07
Mercúrio orgânico na matriz água	0,17	-0,42	-0,71
Mercúrio total na matriz material particulado suspenso	-0,12	-0,43	0,35

As cargas das variáveis mais importantes na 4ª campanha de campo (período de vazante) feita no período de 12 a 23 de julho de 2010 (**Tabela 41**) na primeira componente explicam 29% da variância são temperatura da água (carga -0,8), velocidade da água (carga -0,87), condutividade (carga - 0,89), sólidos totais dissolvidos (carga -0,90), alcalinidade (carga -0,8), dureza (carga - 0,91), sulfato (carga -0,90), carbono inorgânico (carga - 0,79) e carbono total (carga - 0,72), CO₂ total (carga - 0,79) e mercúrio total na matriz material particulado suspenso (carga - 0,65). Na segunda componente que explica 24% da variabilidade as variáveis mais importantes foram sólidos totais (carga - 0,85), sólidos suspensos (carga - 0,76), sólidos suspensos fixos (carga -0,76), fósforo total (carga - 0,93), nitrogênio total (carga - 0,76), sulfeto (carga - 0,91) e sílica (carga - 0,82). Enquanto que a terceira componente que explica 9,0% da variabilidade as variáveis mais importantes foram mercúrio total na matriz sedimento (carga - 0,70), metilmercúrio na matriz sedimento (carga - 0,77), mercúrio reativo na matriz água (carga - 0,51) e mercúrio orgânico na matriz água (carga - 0,63).

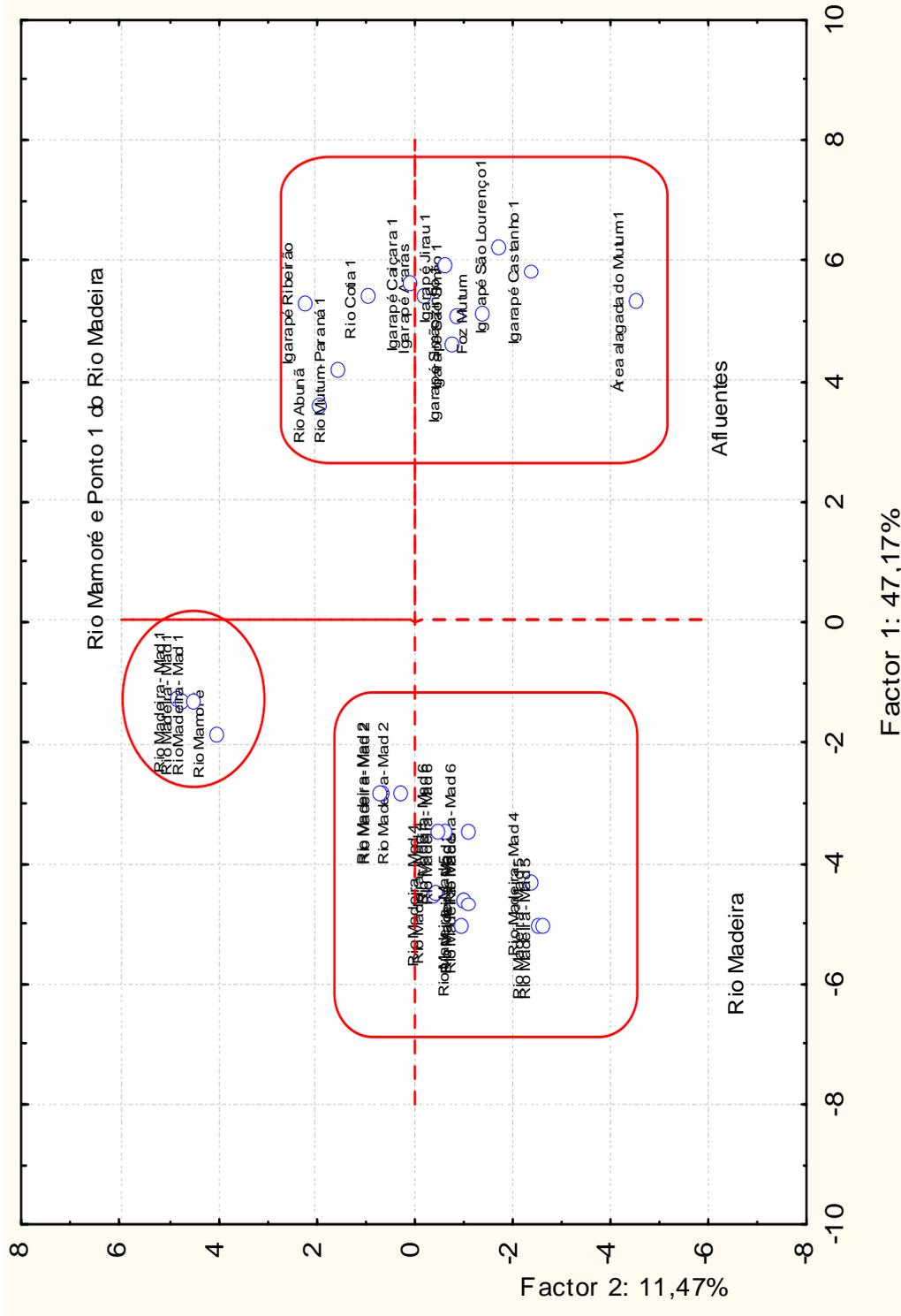


Figura 11. Projeção espacial dos escores ou estações de amostragem nas duas principais componentes para o período de cheia.

Tabela 41. Cargas das componentes principais das variáveis físico-químicas e espécies de mercúrio para o período hidrológico de vazante do rio Madeira.

Variáveis	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Temperatura do ar	-0,49	-0,05	0,31
Temperatura da água	-0,80	-0,08	0,16
Velocidade de corrente da água	-0,87	-0,31	-0,07
pH	-0,39	-0,48	0,41
Condutividade	-0,89	-0,36	-0,08
Sólidos totais dissolvidos	-0,90	-0,36	-0,07
Oxigênio dissolvido	-0,46	-0,04	0,31
Saturação de oxigênio dissolvido	-0,75	-0,04	0,32
Transparência	-0,28	0,48	0,37
Turbidez	0,35	-0,90	-0,07
Cor	-0,47	0,03	0,48
Sólidos totais	0,25	-0,85	-0,07
Sólidos suspenso	0,46	-0,76	-0,05
Sólidos suspensos fixos	0,45	-0,76	-0,05
Sólidos suspensos voláteis	0,50	-0,56	-0,14
Clorofila	-0,27	-0,09	0,40
Fósforo total	0,21	-0,93	-0,13
Ortofosfato	-0,27	-0,28	0,03
Nitrogênio total	0,36	-0,76	0,01
Nitrato	0,05	-0,91	0,10
Nitrito	0,68	0,11	-0,19
Nitrogênio amoniacal	0,35	-0,78	-0,02
Demanda bioquímica de oxigênio	0,19	0,05	0,47
Demanda química de oxigênio	0,63	-0,35	0,23
Ferro	0,49	-0,84	-0,03
Alcalinidade total	-0,80	-0,04	-0,07
Dureza	-0,91	-0,35	-0,06
Sulfato	-0,90	-0,28	-0,10
Sulfeto	0,05	-0,91	-0,10

Tabela 41. Cargas das componentes principais das variáveis físico-químicas e espécies de mercúrio para o período hidrológico de vazante do rio Madeira – continuação

Variáveis	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Carbono inorgânico	-0,79	-0,43	-0,05
Carbono orgânico total	-0,21	-0,40	-0,13
Carbono total	-0,72	-0,47	-0,08
CO₂ livre	-0,32	0,33	-0,51
CO₂ total	-0,79	-0,01	-0,11
Sílica	-0,16	-0,82	0,01
Metilmercúrio na matriz sedimento	0,09	0,23	-0,77
Mercúrio total na matriz sedimento	0,12	0,20	-0,70
Mercúrio total na matriz água	-0,38	-0,13	-0,33
Mercúrio reativo na matriz água	-0,25	-0,06	-0,51
Mercúrio orgânico na matriz água	-0,15	0,12	-0,63
Mercúrio total na matriz material particulado suspenso	-0,65	-0,16	-0,20

A **Figura 12** mostra a projeção polar das cargas das variáveis associadas às duas primeiras componentes indicando a ordenação dos vetores das variáveis no espaço. A projeção discriminou três grupos específicos de variáveis. O primeiro grupo é formado pelas variáveis associadas as espécies de mercúrio. O segundo grupo é o formado pelas variáveis associadas ao carbono total, dureza, alcalinidade, sulfato, CO₂ total e ao mercúrio total na matriz material particulado em suspensão. Enquanto que o terceiro grupo está associado ao sulfeto, fósforo, sólidos totais, sólidos em suspensão e sólidos suspensos fixos, nitrogênio e sílica.

A projeção dos escores ou estações de amostragem (**Figura 13**), nas duas primeiras componentes mostra a formação de dois grupos.

O primeiro grupo representa as estações de amostragem na calha do rio Madeira enquanto que o segundo grupo representa as estações de amostragem nos afluentes do rio Madeira, estando isolado o ponto de amostragem no igarapé castanho.

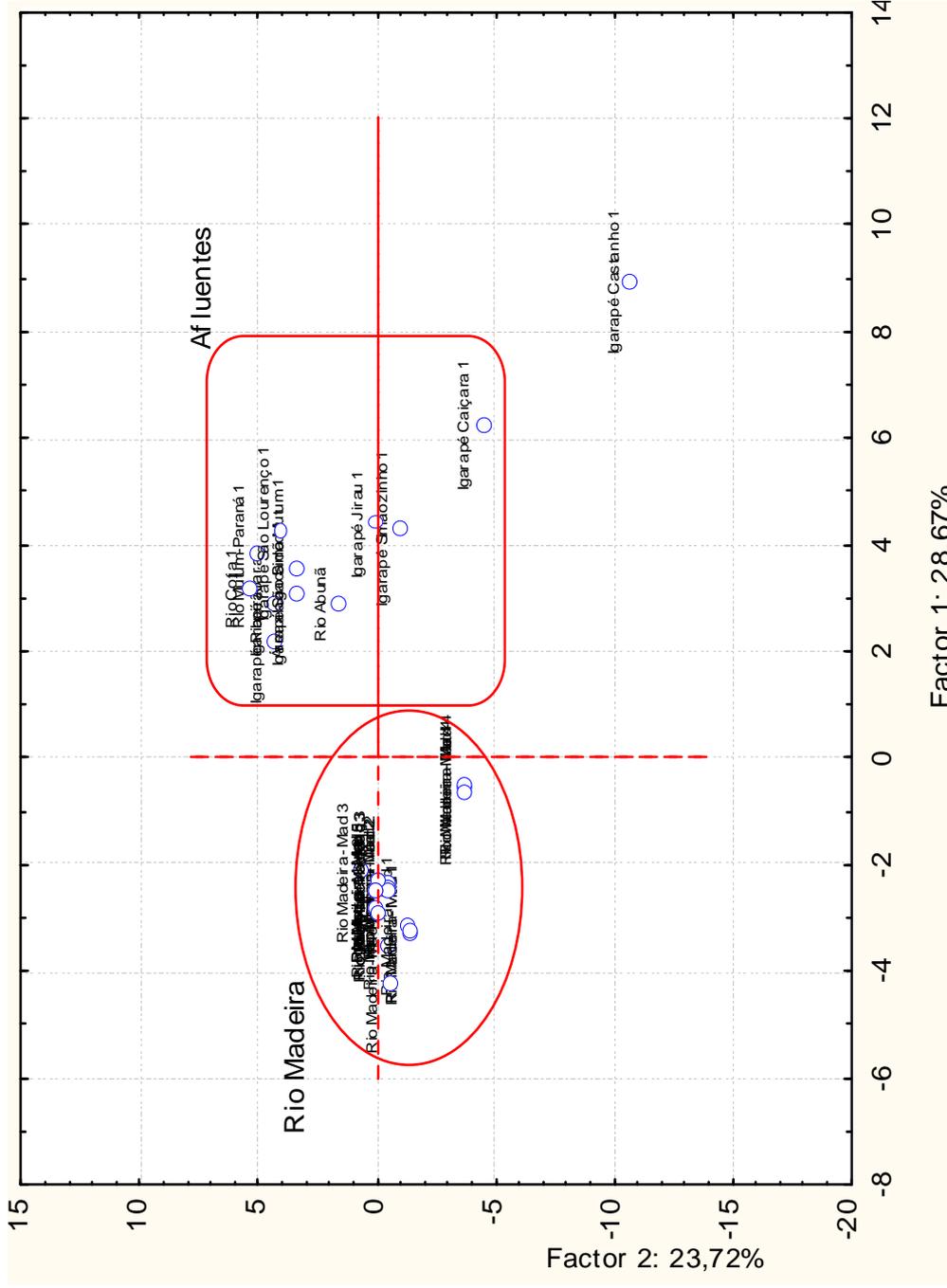


Figura 13. Projeção espacial dos escores ou estações de amostragem nas duas principais componentes para o período de vazante.

Em ambientes aquáticos o mercúrio pode estar disseminado na fase solúvel em água, coloidal no material em suspensão, além de uma proporção considerável ser incorporada aos sedimentos de fundo (PEREIRA *et. al*, 2007). O mercúrio não é degradado biologicamente ou quimicamente e nem mesmo permanentemente fixado pelos sedimentos podendo assim ser novamente redistribuído à coluna d'água através de alterações do meio, permanecendo durante vários anos no ambiente aquático.

Quando presente nos corpos hídricos as espécies do mercúrio facilmente atingem os peixes, a partir da teia alimentar aquática ou pelo o epitélio das brânquias, concentrando-se em músculos e vísceras abdominais (BJERREGAARD & ANDERSEN, 2007; DALLINGER *et al.*, 1987). Devido à complexidade dos ecossistemas amazônicos, no qual está inserida a bacia do rio Madeira, são necessárias técnicas estatísticas que possibilitem uma análise conjunta das informações geoquímicas e suas interações físicas e químicas durante o ciclo hidrológico. Neste sentido, a Análise por Componentes Principais (ACP) é uma ferramenta estatística interessante e adequada para estudar a composição geoquímica e as interrelações com os parâmetros físicos e químicos das águas da bacia do rio Madeira.

O ciclo hidrobiogeoquímico do mercúrio é caracterizado pelas várias rotas que este composto pode seguir no ambiente, contemplando sua liberação do solo e da água para atmosfera, seu transporte e deposição atmosférica das espécies de mercúrio para a água e solo (MARTINELLI *et al.*, 1988; MALM *et al.*, 1990; LACERDA e SALOMONS, 1991; PFEIFFER *et al.*, 1991; PFEIFFER *et al.*, 1993). A deposição atmosférica quando em contato com o solo ou sedimento pode ocorrer adsorção do mercúrio na forma insolúvel seguida de metilação/desmetilação. Assim, o ciclo é completado pelas rotas de precipitação, bioconversão em formas voláteis ou solúveis, reinteração deste na atmosfera ou biomagnificação e bioacumulação na teia alimentar aquática ou terrestre (Bisinoti e Jardim, 2004).

A ordenação das variáveis nos três vetores principais para o período de seca explica 72% da variabilidade dos dados. A projeção espacial dos vetores das variáveis discriminou três grupos. O grupo 1 e 2 são referentes aos fatores físicos e químicos das águas, com a diferenciação do grupo 2 em relação ao grupo 1, tendo correlação maior com as variáveis do mercúrio total e metilmercúrio na matriz sedimento. O grupo 3 está associado às espécies de mercúrio.

A segunda componente está relacionada com as variáveis dos sólidos em suspensão e ao nitrogênio, cujas concentrações foram as mais baixas possivelmente devido à diminuição do transporte e do carreamento de sedimentos em suspensão. As variações na carga de sólidos transportados para o rio Madeira interferem nas concentrações das espécies de mercúrio. Estes fatores associados conferem ao rio Madeira gradientes, que provocam um dinamismo no transporte de sólidos em suspensão ao longo da bacia.

A técnica de projeção dos escores das componentes principais conforme utilizado por Bernardi et.al. (2001) e Bernardi et.al. (2009), como técnica de ordenação em estudos na região Amazônica, discriminou dois grupos bem definidos para o período de seca. O primeiro grupo representa as estações dos afluentes do rio Madeira enquanto o segundo grupo representa as estações do rio Madeira, quando comparados. Estes grupos foram discriminados, por características mencionadas conforme estudos feitos e relatados por Sioli (1967), que determinou a divisão das águas amazônicas em três tipos: água branca (água barrenta), água preta (ácidos húmicos) e água clara (cristalina). Dois fatores principais podem estar associados à discriminação destes rios na formação da bacia hidrográfica do rio Madeira: as oscilações fluviais e/ou geomorfológicas que ocorrem em períodos (Guyot *et al.*, 2007). Dados de Martinelli *et al.* (1993) e de Guyot *et al.* (2007) em sedimentos nos rios Beni e Madeira indicam valores correspondentes que confirmam a discriminação dos escores. De uma forma geral, a composição baseada nas variáveis estabelecidas como condicionantes, confere ao rio Madeira as características oriundas do rio Beni, que por sua vez é diferenciado da maioria de seus afluentes, pela carga de transporte de sólidos.

A ordenação das variáveis nos dois vetores principais para o período de enchente explica 65% da variabilidade dos dados. A projeção espacial dos vetores das variáveis discriminou quatro grupos. Os grupos 1, 2 e 4 são referentes aos fatores físicos e químicos enquanto que o grupo 4 está associado às espécies de mercúrio. Eldaw *et al.* (2003) e Debels *et al.* (2005) atribuem à técnica de análise por componentes principais a capacidade de reduzir as informações contidas nas variáveis condicionantes, que neste estudo discriminaram a composição das águas entre os períodos hidrológicos da bacia do rio Madeira. A variabilidade está associada ao carreamento e à lixiviação da matéria orgânica (ácidos húmicos/fúlvicos) e dos sólidos em suspensão, os quais são constituídos de argilominerais em sedimentos de várzea (Martinelli *et al.*, 1993) e fluviais (Lyons & Bird, 1995; Guyot, *et al.*, 2007).



As variações no período de enchente são em parte explicadas pelo regime de vazões do período hidrológico cuja dinâmica se inicia com o degelo das geleiras nos contrafortes andinos da Bolívia e Peru e pelo efeito da geomorfologia da área de estudo, que condiciona uma variação altimétrica das nascentes do rio Beni nos Andes a formação do rio Madeira no Brasil de 6.500 m para 120 m (Guyot *et al.*, 1999). Na área de estudo o desnível verificado foi de 30 m em 300 km. A primeira componente foi atribuída aos fatores físicos e químicos representados pelos sólidos suspensos e pelas concentrações das espécies de fósforo, enquanto que a segunda componente foi denominada de geomorfológica. A segunda componente está relacionada com o nitrogênio e as espécies de mercúrio, cujas concentrações variaram em torno das concentrações relatadas pela literatura na região Amazônica, sendo possível inferir que as variâncias estão relacionadas com o transporte de sedimentos em suspensão, representadas na primeira componente.

Estudos apontam uma variação na carga de sólidos transportados para o rio Madeira, que por sua vez interfere nas concentrações das espécies de mercúrio (Martinelli *et al.*, 1989; Mortatti *et al.*, 1989; Guyot *et al.*, 1999; Aalto *et al.*, 2003; Latrubesse *et al.*, 2005). Estes fatores associados conferem ao rio Madeira gradientes gravitacionais e hidráulicos, que originam variações nas velocidades da água e ocasionam o dinamismo no transporte de sólidos em suspensão ao longo da bacia, diferenciando a relação entre as espécies de mercúrio e os fatores físicos e químicos das águas da bacia hidrográfica do rio Madeira. Lyons & Bird (1995) demonstraram que estes fatores modificam as concentrações de cátions e ânions na composição das águas, durante os períodos de cheia e seca. A segunda componente foi determinada sendo a componente das espécies de mercúrio enquanto que a terceira componente corrobora com a determinação, dando ênfase às espécies de mercúrio como variáveis mais importantes.

As ordenações dos escores das componentes principais, técnica usada por Barreto *et al.* (2007), Bernard *et al.* (2004) e Bernardi *et al.* (2009) na bacia Amazônica, discriminou dois grupos bem definidos, para o período de enchente. O primeiro grupo representa as estações dos afluentes do rio Madeira; o segundo grupo representa as estações na calha do rio Madeira. A dinâmica geoquímica e físico-química dos rios da bacia do rio Madeira é diferenciada por estas características mencionadas conforme relatado por Sioli (1967). Dois fatores principais podem estar associados à discriminação destes rios na formação da bacia hidrográfica do rio Madeira sendo as oscilações fluviais e/ou geomorfológicas que ocorrem em

períodos correspondentes e as diferentes composições dos argilominerais, de origens geológicas diferenciadas (Guyot *et al.*, 2007). Dados de Martinelli *et al.* (1993) em sedimentos de várzeas do rio Madeira comparados com os de Guyot *et al.* (2007) no rio Beni indicam valores correspondentes que confirmam a discriminação dos escores.

A ordenação das variáveis nos três vetores principais para o período de cheia explica 67,2% da variabilidade dos dados. A projeção espacial dos vetores das variáveis discriminou quatro grupos. Os grupos 1, 2 e 3 são referentes aos fatores físicos e químicos enquanto o grupo 4 está associado aos espécies de mercúrio. A variabilidade observada na primeira componente está associada ao carreamento e lixiviação de matéria orgânica (ácidos húmicos/fúlvicos) e dos sólidos em suspensão, que se intensificam nos períodos de enchente e cheia. Outro fator refere-se à constituição dos argilominerais em sedimentos de várzea (Martinelli *et al.*, 1993) e fluviais (Lyons & Bird, 1995; Guyot, *et al.*, 2007), portanto esta componente foi determinada como sendo a componente dos fatores físico-químicos.

A segunda componente está relacionada com a temperatura do ar e a cor da água, cujas concentrações variaram em torno das concentrações relatadas pela literatura na região Amazônica, podendo estar relacionadas com o transporte de sedimentos em suspensão, que estão representadas na primeira componente. A cor da água está diretamente associada aos sólidos em suspensão, enquanto que a temperatura é influenciada pela absorção da radiação solar pelos sólidos. As variações na carga de sólidos transportados no rio Madeira interferem na cor da água. Estes fatores associados conferem ao rio Madeira gradientes gravitacionais e hidráulicos, provocando um dinamismo no transporte de sólidos em suspensão ao longo da bacia sendo, portanto, a segunda componente determinada a cor da água.

A terceira componente, cuja determinação está associada às espécies de mercúrio, demonstra que nos períodos de enchente e cheia as espécies de mercúrio possuem relações similares. A ordenação dos escores das componentes principais discriminou três grupos bem definidos para o período de cheia. O primeiro grupo representa as estações dos afluentes do rio Madeira e o segundo grupo representa as estações na calha do rio Madeira. O terceiro grupo, por sua vez, representa o rio Mamoré e a estação P1-MAD 1 na calha do rio Madeira logo após a confluência do rio Mamoré e rio Beni. Dois fatores principais podem estar associados à discriminação destes rios na formação da bacia hidrográfica do rio Madeira, sendo as oscilações fluviais e/ou geomorfológicas que ocorrem em períodos correspondentes e as diferentes composições dos argilominerais de origens geológicas diferenciadas (Guyot *et al.*,

2007), como é o caso do rio Beni, mas para o rio Mamoré a lixiviação e erosão com transporte de sedimentos são relativamente menores. Dados de Martinelli *et al.* (1993) em sedimentos de várzeas do rio Madeira comparados com os de Guyot *et al.* (2007) no rio Beni indicam valores correspondentes que confirmam a discriminação dos escores. De uma forma geral, a composição baseada nas variáveis estabelecidas como condicionantes, confere ao rio Madeira as características oriundas do rio Beni, que por sua vez é diferenciado do rio Mamoré pela sua carga de sólidos carregados.

A ordenação das variáveis nos três vetores principais para o período de vazante explica 62% da variabilidade dos dados. A projeção espacial dos vetores das variáveis discriminou três grupos. Os grupos 1 e 2 são referentes aos fatores físicos e químicos enquanto que o grupo 3 está associado às espécies de mercúrio. A variabilidade observada na primeira componente está associada ao carregamento e lixiviação de matéria orgânica (ácidos húmicos/fúlvicos) e dos sólidos em suspensão, que se intensificam nos períodos de vazante pela ação das águas que lixiviam os solos e margens dos afluentes e rio Madeira. Outro fator é referente à constituição dos argilominerais em sedimentos de várzea (Martinelli *et al.*, 1993) e fluviais (Lyons & Bird, 1995; Guyot, *et al.*, 2007), sendo que o material lixiviado contém concentrações expressivas de mercúrio. Portanto, esta componente foi determinada como sendo a componente dos fatores físico-químicos, já que neste período os fatores físico-químicos tiveram maior variabilidade na primeira componente como expressado no período de cheia.

A segunda componente está relacionada com as variáveis dos sólidos em suspensão, cujas concentrações são bastante elevadas e conferem ao rio Madeira, características de rio de água branca conforme Sioli (1968) e podem também estar relacionadas com o transporte de sedimentos em suspensão. As variações na carga de sólidos transportados para o rio Madeira, que interferem nas concentrações de mercúrio, conferem ao rio Madeira gradientes gravitacionais e hidráulicos, o que vem a provocar um dinamismo no transporte de sólidos em suspensão ao longo da bacia. Portanto, a segunda componente foi determinada como sendo a componente geomorfológica.

A terceira componente, cuja determinação está associada às espécies de mercúrio, demonstra que nos períodos de seca, enchente, cheia e vazante as espécies de mercúrio possuem relações similares durante o ciclo hidrológico caracterizado pelas 04 (quatro) primeiras campanhas de campo do Programa, realizadas nos períodos de seca, enchente, cheia e vazante.

A análise por componentes principais discriminou dois grupos bem definidos para o período de vazante, sendo que o primeiro grupo representa as estações dos afluentes do rio Madeira e o segundo grupo representa as estações na calha do rio Madeira, quando comparados. O Igarapé Castanho ficou discriminado isolado, provavelmente devido à concentração de mercúrio. Estes grupos foram discriminados, por características mencionadas, conforme estudos feitos e relatados por Sioli (1967) que determinou a divisão das águas amazônicas em três tipos: água branca (água barrenta), água preta (ácidos húmicos) e água clara (cristalina). Dois fatores principais podem estar associados à discriminação destes rios na formação da bacia hidrográfica do rio Madeira: as oscilações fluviais e/ou geomorfológicas que ocorrem em períodos (Guyot *et al.*, 2007). Dados de Martinelli *et al.* (1993) e de Guyot *et al.* (2007) em sedimentos no rio Beni e rio Madeira indicam valores correspondentes que confirmam a discriminação dos escores. De uma forma geral, a composição baseada nas variáveis estabelecidas como condicionantes, confere ao rio Madeira as características oriundas do rio Beni, que por sua vez é diferenciado da maioria de seus afluentes, pela carga de transporte de sólidos.

Os resultados obtidos da matriz sólidos em suspensão por período hidrológico estão apresentados na **Tabela 42**, a qual mostra a concentração média mercúrio total e desvio padrão para os períodos de hidrológicos de enchente, cheia e vazante de $20,38 \pm 18,47 \mu\text{g kg}^{-1}$.

Tabela 42. Concentração média de mercúrio total (HgT) em sólido em suspensão nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 a vazante de 2010.

Hg total por período	Período	N	Média HgT ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio padrão
Média global	Total	91	20,38	18,47
Média período	Enchente	32	25,45	22,72
Média período	Cheia	27	5,56	3,55
Média período	Vazante	32	27,82	13,73

A análise de variância método ANOVA-OneWay mostrou diferença significativa ($F=16,91$; $p=0,0000$) entre as concentrações de mercúrio total dos sólidos em suspensão entre os períodos analisados (**Tabela 43**). Posteriormente foi realizado o teste a posteriori “post hoc” LSD Fisher, que checa o erro das probabilidades (**Tabela 44**).

Tabela 43. Análise de variância (ANOVA-One Way) das concentrações de mercúrio total em sólido nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 a vazante de 2010.

	SS	Grau	MS	F	p
Intercepto	34772,59	1	34772,59	137,9712	0,000000
Período	8525,01	2	4262,50	16,9128	0,000001

O teste de comparações múltiplas aplicado para determinar as diferenças significativas entre os grupos (**Tabela 44**) indicou diferença significativa entre o período hidrológico de cheia e os períodos hidrológicos de enchente e vazante, sendo estes últimos não estatisticamente diferentes.

Tabela 44. Teste LSD Fisher aplicado as concentrações de mercúrio total em sólido em suspensão nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 a vazante de 2010.

Código	Período	{1}	{2}	{3}
1	Enchente		0,000007	0,552024
2	Cheia	0,000007		0,000001
3	Vazante	0,552024	0,000001	

A **Tabela 45** mostra o teste de homogeneidade de grupos ($\alpha = 0,005$), indicando a formação de 02 (dois) grupos distintos, sendo o primeiro grupo constituído dos períodos de enchente e vazante e o segundo grupo formado apenas pelo período de cheia.

Tabela 45. Teste de grupos homogêneos LSD Fisher aplicado as concentrações de mercúrio total (HgT) em sólido em suspensão nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 a vazante de 2010.

Código	Período	Média HgT ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	1	2
2	Cheia	5,56		****
1	Enchente	25,45	****	
3	Vazante	27,82	****	

**** grupos formados

A **Figura 15** mostra a variabilidade das concentrações de mercúrio total em sólido em suspensão entre os períodos hidrológicos de enchente, cheia e vazante. A análise gráfica realizada traduz claramente a diferença do período de cheia em relação aos demais períodos.

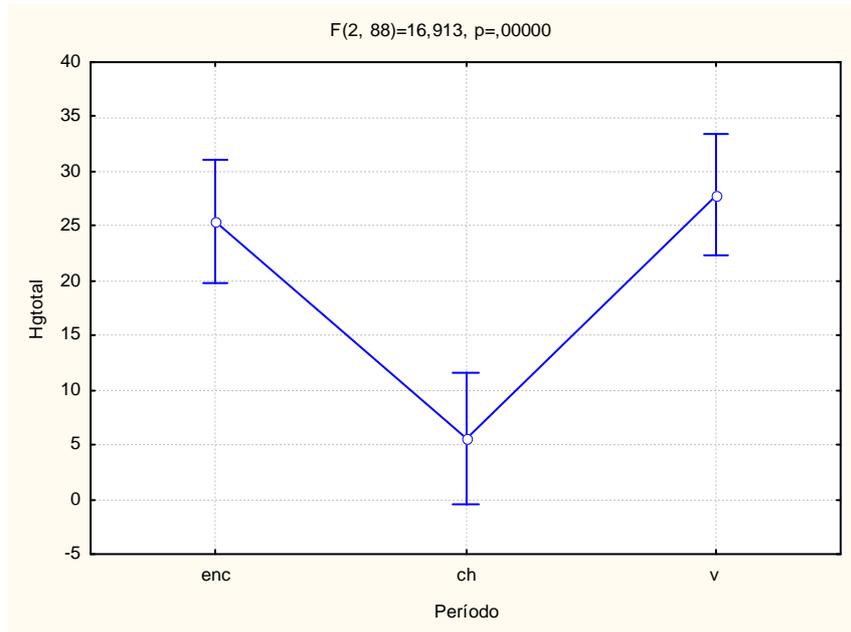


Figura 15. Variabilidade das concentrações de mercúrio total em sólido em suspensão nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 a vazante de 2010. Dados: enc - enchente; ch - cheia e v – vazante.

A análise de regressão múltipla considerando a variável dependente a concentração de mercúrio total na água e as variáveis independentes a vazão do rio Madeira, a concentração média de sólidos em suspensão, taxa de sedimentação, mercúrio total no sedimento e mercúrio total nos sólidos em suspensão nos períodos hidrológicos de enchente, cheia e vazante foram significativas com correlação múltipla de 0,44 e coeficiente de determinação de 0,19; $F(5,113)=5,28$ e $p<0,0002$ (**Tabela 46**)

A formula geral do polinômio é descrita por:

$$\text{HgTotal}_{\text{Água}} = 4,95 + [(-0,0014 * \text{vazão}) - 0,002 + (-0,066 * \text{concentração média de sólidos em suspensão}) + (0,165 * \text{taxa de sedimentação}) - 0,004 + (-0,11 * \text{HgTotal}_{\text{sedimento}}) + 0,24 + (0,418 * \text{Hgtotal}_{\text{sólidos em suspensão}})$$

Tabela 46. Regressão múltipla considerando a variável dependente a concentração de mercúrio total na água (HgT) e as variáveis independentes a vazão do rio Madeira, a concentração média de sólidos em suspensão, taxa de sedimentação, mercúrio total no sedimento e mercúrio total nos sólidos nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 a vazante de 2010.

Variável dependente HgT - água	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(113)	p
Intercepto			4,95	5,70	0,86730	0,387
Vazão^a	-0,014053	0,159700	-0,000022	0,000247	0,08800	0,930
Sólidos em suspensão^b	-0,066145	0,164485	-0,002108	0,005242	0,40213	0,688
Taxa sedimentação^c	0,165922	0,233483	0,000002	0,000002	0,71064	0,478
HgT - sedimento^d	-0,117171	0,085811	-0,042205	0,030909	1,36545	0,174
HgT - sólido em suspensão^d	0,418586	0,085452	0,248936	0,050819	4,89846	0,000

a- (m^3s^{-1}), b - ($mg L^{-1}$), c - (toneladas dia^{-1}), d - ($\mu g kg^{-1}$)

A **Tabela 47** mostra as concentrações de mercúrio total no sedimento, sendo possível observar a média global e seu desvio padrão em torno de $56,89 \pm 38,54 \mu g Kg^{-1}$.

Tabela 47. Concentrações médias e desvio padrão das concentrações de mercúrio total (HgT) no sedimento nos períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	N	HgT ($\mu g kg^{-1}$)	Desvio Padrão
Média Global(Total)		128	56,88	38,54
Média período	seca	32	77,23	32,88
Média período	enchente	32	63,03	26,89
Média período	cheia	32	32,43	42,82
Média período	vazante	32	54,85	36,86

A análise de variância método ANOVA-OneWay mostrou diferença significativa ($F=331,53$; $p=0,00002$) entre as concentrações de mercúrio total no sedimento entre os períodos hidrológicos de seca, enchente, cheia e vazante (**Tabela 48**). Posteriormente foi realizado a análise a posteriori “post hoc” LSD Fisher, que checa o erro das probabilidades (**Tabela 49**).

Tabela 48. Análise de variância (ANOVA-One Way) das concentrações de mercúrio total no sedimento entre os períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

Hg Total sedimento	SS	Grau	MS	F	p
Intercepto	414245,0	1	414245,0	331,5356	0,000000
período	33720,7	3	11240,2	8,9960	0,000020

Análise a posteriori LSD Fisher (alfa= 0,005) indicou diferença significativa entre o período hidrológico de cheia com os demais períodos hidrológicos (vazante, enchente e seca). O período hidrológico de vazante apresenta diferença significativa com os períodos hidrológicos de cheia e seca. O período hidrológico de enchente apresenta diferença significativa somente com o período hidrológico de cheia. O período hidrológico de seca apresenta diferenças significativas com os períodos hidrológicos de vazante e cheia.

Tabela 49. Análise a posteriori LSD Fisher adotando-se o valor de alfa= 0,005, entre os grupos ou períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Vazante		0,012424	0,356470	0,012575
2	Cheia	0,012424		0,000735	0,000001
3	Enchente	0,356470	0,000735		0,110618
4	Seca	0,012575	0,000001	0,110618	

A **Tabela 50** mostra a análise de homogeneidade de grupos de Fisher (alpha = 0,005), sendo indicado a formação de 03 (três) grupos distintos, sendo o primeiro grupo constituído dos períodos hidrológicos de vazante e enchente, o segundo formado pelos períodos hidrológicos de enchente e seca e o terceiro grupo formado apenas pelo período hidrológico de cheia.

Tabela 50. Teste de grupos homogêneos LSD Fisher para comparações entre os grupos (períodos) hidrológicos.

	Período	HgT ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	1	2	3
2	Cheia	32,43			****
1	Vazante	54,85	****		
3	Enchente	63,03	****	****	
4	Seca	77,23		****	

HgT – mercúrio total

**** grupos formados

A **Figura 16** mostra a variabilidade das concentrações de mercúrio total no sedimento nos períodos hidrológicos de seca, enchente, cheia e vazante, traduzindo claramente a diferença do período de cheia com os demais períodos.

A **Tabela 51** mostra as concentrações médias de metilmercúrio no sedimento nos períodos hidrológicos de seca, enchente, cheia e vazante, sendo a média global em torno de $0,2765 \pm 0,2553 \mu\text{g Kg}^{-1}$.

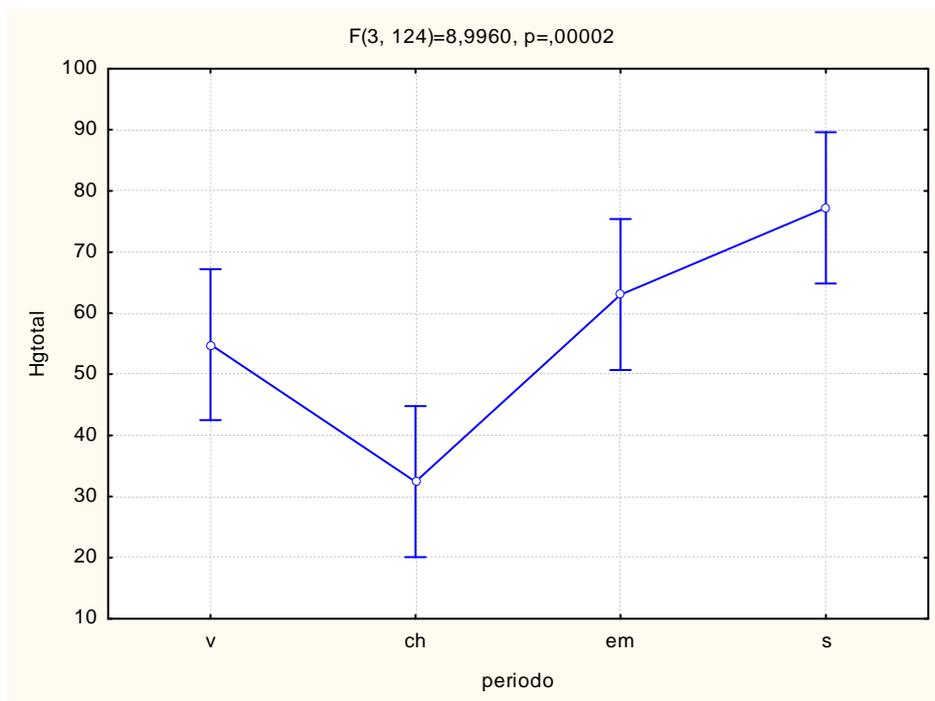


Figura 16. Variabilidade das concentrações de mercúrio total no sedimento por período hidrológico de seca de 2009 a vazante de 2010. Dados: s – seca; em - enchente; ch - cheia e v – vazante.

Tabela 51. Estatística descritiva com o número de amostras, média e desvio padrão do metilmercúrio (MeHg) do sedimento no período de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	N	Média MeHg ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Desvio Padrão
Média global	Total	128	0,2765	0,2553
Período	seca	32	0,3696	0,1745
Período	enchente	32	0,2787	0,1352
Período	cheia	32	0,1837	0,3453
Período	vazante	32	0,2741	0,2848

A análise de variância método ANOVA-OneWay mostrou diferença significativa ($F=2,96$; $p=0,034$) entre as concentrações de metilmercúrio no sedimento entre os períodos hidrológicos analisados (**Tabela 52**). Posteriormente foi realizada a análise a posteriori “post hoc” LSD Fisher, que checa o erro das probabilidades (**Tabela 53**).

Tabela 52. A análise de variância (ANOVA-One Way) entre os períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	9,791422	1	9,791422	157,1724	0,000000
Período	0,553677	3	0,184559	2,9626	0,034827
Erro	7,724870	124	0,062297		

A análise a posteriori mostrou diferença significativa apenas nas concentrações de metilmercúrio no sedimento entre os períodos de cheia e seca, os demais períodos não apresentaram diferença significativa (**Tabela 53**).

Tabela 53. Análise a posteriori LSD Fisher, entre os grupos ou períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Seca		0,147624	0,003466	0,128236
2	Enchente	0,147624		0,130251	0,940929
3	Cheia	0,003466	0,130251		0,149873
4	Vazante	0,128236	0,940929	0,149873	

A análise de grupos homogêneos mostrou a formação de 02 (dois) grupos distintos, sendo o primeiro grupo formado pelos períodos hidrológicos de cheia, vazante e enchente e o segundo grupo formado pelos períodos vazante, enchente e seca (**Tabela 54**).

Tabela 54. Análise de grupos homogêneos LSD Fisher adotando-se como valor de alfa= 0,05, para comparações entre os grupos (períodos) hidrológicos.

	Período	Média MeHg ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	1	2
3	Cheia	0,183722	****	
4	Vazante	0,274135	****	****
2	Enchente	0,278768	****	****
1	Seca	0,369688		****

A **Figura 17** mostra a variabilidade das concentrações de metilmercúrio no sedimento nos períodos hidrológicos de seca, enchente, cheia e vazante, traduzindo claramente a diferença entre os períodos hidrológicos de seca e cheia, enquanto que os períodos hidrológicos enchente e vazante apresentam discretas variações nas concentrações de metilmercúrio no sedimento.

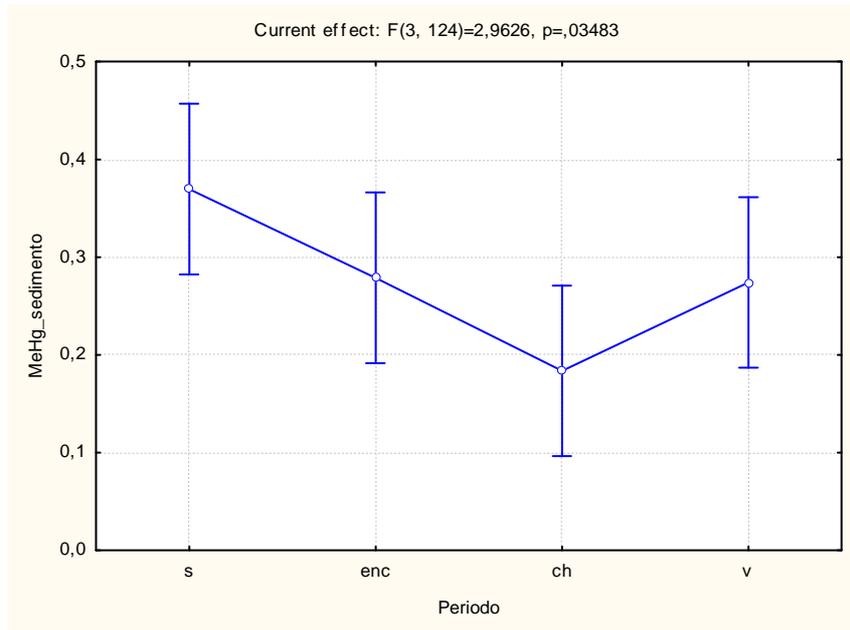


Figura 17. Variabilidade das concentrações de metilmercúrio no sedimento por período hidrológico de seca de 2009 a vazante de 2010. Dados: s – seca; em - enchente; ch - cheia e v – vazante.

A **Tabela 55** mostra as concentrações médias do mercúrio orgânico na água por período hidrológico de seca, enchente, cheia e vazante, e a média global em torno de $0,47 \pm 0,38 \text{ ng L}^{-1}$.

Tabela 55. Estatística descritiva com as médias e desvios padrões das concentrações de mercúrio orgânico na água.

	Período	N	Média Hg Orgânico (ng L^{-1})	Desvio Padrão
Média global		128	0,4725	0,3812
Período	Seca	32	0,5818	0,2591
Período	Enchente	32	0,5212	0,4130
Período	Cheia	32	0,3159	0,0692
Período	Vazante	32	0,4712	0,5593

A análise de variância método ANOVA-OneWay mostrou diferença significativa ($F=2,96$; $p=0,033$) entre as concentrações de mercúrio orgânico na água nos períodos hidrológicos analisados (**Tabela 56**). Posteriormente foi realizada a análise a posteriori “post hoc” LSD Fisher, que checa o erro das probabilidades (**Tabela 56**).

Tabela 56. Análise de variância (ANOVA-One Way) entre os períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercepto	28,58625	1	28,58625	205,8624	0,000000
Período	1,24329	3	0,41443	2,9845	0,033869
Erro	17,21876	124	0,13886		

A análise a posteriori mostrou diferença significativa apenas nas concentrações de mercúrio orgânico na água entre os períodos hidrológicos de cheia, seca e enchente, enquanto que o período hidrológico de vazante não apresentou diferença significativa em relação aos demais períodos hidrológicos analisados na **Tabela 57**.

Tabela 57. Análise a posteriori LSD Fisher, entre os grupos ou períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Seca		0,516405	0,005052	0,237311
2	Enchente	0,516405		0,029380	0,592429
3	Cheia	0,005052	0,029380		0,098007
4	Vazante	0,237311	0,592429	0,098007	

A análise de grupos homogêneos mostrou a formação de 02 (dois) grupos distintos, sendo o primeiro grupo formado pelos períodos hidrológicos de cheia e vazante e o segundo grupo formado pelos períodos vazante, enchente e seca (**Tabela 58**).

Tabela 58. Análise de grupos homogêneos LSD Fisher adotando-se como valor de alfa= 0,05, para comparações entre os grupos (períodos) hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	Média Hg Orgânico (ng L ⁻¹)	1	2
3	Cheia	0,3159		****
4	Vazante	0,4712	****	****
2	Enchente	0,5212	****	
1	Seca	0,5818	****	

**** grupos formados

A **Figura 18** mostra a variabilidade das concentrações de mercúrio orgânico na água nos períodos hidrológicos de seca, enchente, cheia e vazante, traduzindo claramente a diferença entre os períodos hidrológicos de seca e cheia, enquanto que os períodos hidrológicos

enchente e vazante apresentam discretas variação nas concentrações de mercúrio orgânico na água dos tributários e da calha do rio Madeira.

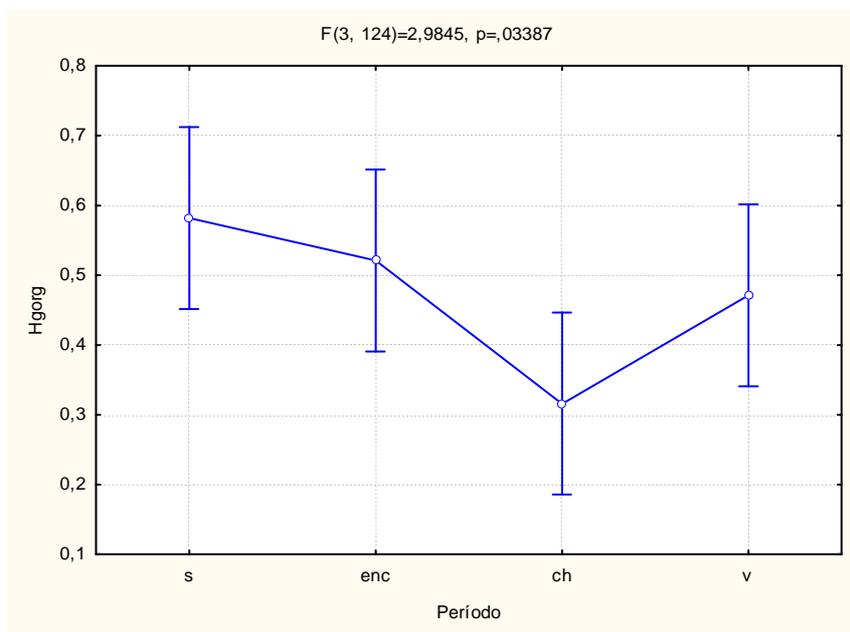


Figura 18. Variabilidade das concentrações de mercúrio orgânico na água dos tributários e calha do rio Madeira por período hidrológico de seca de 2009 a vazante de 2010. Dados: s – seca; em - enchente; ch - cheia e v – vazante.

A **Tabela 59** mostra as concentrações médias de mercúrio reativo na água na calha e nos tributários do rio Madeira por período hidrológico, sendo a média global em torno de $1,25 \pm 3,22 \text{ ng L}^{-1}$.

Tabela 59. Estatística descritiva das concentrações de mercúrio reativo na água dos tributários e calha do rio Madeira nos períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Level of	N	Média Hg Reativo (ng L^{-1})	Desvio Padrão
Média global	Total	128	1,252183	3,224720
Período	Seca	32	1,086562	0,722311
Período	Enchente	32	0,825937	0,884121
Período	Cheia	32	0,493750	0,213069
Período	Vazante	32	2,602481	6,209756

A análise de variância método ANOVA-OneWay mostrou diferença significativa ($F=2,78$; $p=0,043$) entre as concentrações de mercúrio reativo na água dos tributários e da calha do rio

Madeira nos períodos hidrológicos analisados (**Tabela 60**). Posteriormente foi realizada a análise a posteriori “post hoc” LSD Fisher, que checa o erro das probabilidades (**Tabela 60**).

Tabela 60. Análise de variância (ANOVA-One Way) entre os períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercepto	200,699	1	200,6991	20,11524	0,000016
Período	83,445	3	27,8148	2,78777	0,043484
Erro	1237,206	124	9,9775		

A análise a posteriori mostrou diferença significativa apenas nas concentrações de mercúrio reativo na água entre os períodos hidrológicos de cheia, seca e enchente, enquanto que o período hidrológico de vazante não apresentou diferença significativa em relação aos demais períodos hidrológicos (**Tabela 61**).

Tabela 61. Análise a posteriori LSD Fisher, entre os grupos ou períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Seca		0,516405	0,005052	0,237311
2	Enchente	0,516405		0,029380	0,592429
3	Cheia	0,005052	0,029380		0,098007
4	Vazante	0,237311	0,592429	0,098007	

A análise de grupos homogêneos mostrou a formação de 02 (dois) grupos, sendo o primeiro grupo formado pelos períodos hidrológicos de cheia, vazante e seca e o segundo grupo formado pelos períodos hidrológicos vazante e seca (**Tabela 62**).

Tabela 62. Análise de grupos homogêneos LSD Fisher adotando-se como valor de alfa= 0,05, para comparações entre os grupos ou períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	Média Hg Reativo (ng L ⁻¹)	1	2
3	Cheia	0,493750	****	
2	Enchente	0,825937	****	
1	Seca	1,086562	****	****
4	Vazante	2,602481		****

**** grupos formados

A **Figura 19** mostra a variabilidade das concentrações de mercúrio reativo na água nos períodos hidrológicos de seca, enchente, cheia e vazante, indicando maiores diferença entre os períodos hidrológicos de seca e vazante, enquanto que os períodos hidrológicos enchente e cheia apresentam discretas variação nas concentrações de mercúrio reativo na água dos tributários e da calha do rio Madeira.

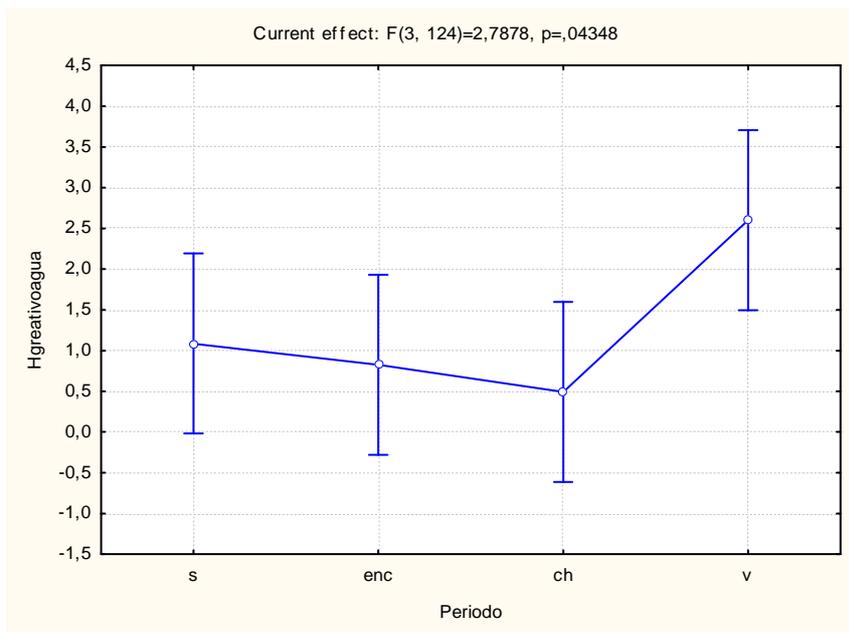


Figura 19. Variabilidade das concentrações de mercúrio reativo na água dos tributários e calha do rio Madeira por período hidrológico de seca de 2009 a vazante de 2010. Dados: s – seca; em - enchente; ch - cheia e v – vazante.

A **Tabela 63** mostra as concentrações médias de mercúrio total na água dos tributários e da calha do rio Madeira por período hidrológico, sendo a média global em torno de $11,48 \pm 13,98$ ng L⁻¹.

Tabela 63. Estatística descritiva das concentrações de mercúrio total na água dos tributários e calha do rio Madeira nos períodos hidrológicos de seca, enchente, cheia e vazante.

	Período	N	Média Hg Total (ng L ⁻¹)	Desvio Padrão
Média global	Total	128	11,48992	13,98360
Período	Seca	32	12,96375	8,01473
Período	Enchente	32	8,32531	11,84015
Período	Cheia	32	4,83156	2,99509
Período	Vazante	32	19,83906	21,38672

A análise de variância método ANOVA-OneWay mostrou diferença significativa ($F=8,03$; $p=0,000$) entre as concentrações de mercúrio total na água dos tributários e da calha do rio Madeira nos períodos hidrológicos analisados (**Tabela 64**). Posteriormente foi realizada a análise a posteriori “post hoc” LSD Fisher, que checa o erro das probabilidades (**Tabela 65**).

Tabela 64. Análise de variância (ANOVA-One Way) entre os períodos hidrológicos de seca, enchente, cheia e vazante.

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	16898,34	1	16898,34	100,7672	0,000000
Período	4039,32	3	1346,44	8,0290	0,000062
Error	20794,41	124	167,70		

A análise a posteriori mostrou diferença significativa nas concentrações de mercúrio total na água dos tributários e calha do rio Madeira entre os períodos hidrológicos de vazante, seca e cheia, enquanto que o período hidrológico de enchente somente apresentou diferença significativa com o período hidrológico de vazante (**Tabela 65**).

Tabela 65. Análise a posteriori LSD Fisher, entre os grupos ou períodos hidrológicos de vazante, cheia, enchente e seca.

	Período	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Seca		0,154447	0,013292	0,035683
2	Enchente	0,154447		0,282607	0,000533
3	Cheia	0,013292	0,282607		0,000009
4	Vazante	0,035683	0,000533	0,000009	

A análise de grupos homogêneos mostrou a formação de 03 (três) grupos distintos, o primeiro formado pelos períodos hidrológicos de cheia e enchente, o segundo formado pelos períodos hidrológicos de seca e enchente e o terceiro formado apenas pelo período hidrológico de vazante (**Tabela 66**).

Tabela 66. Análise de grupos homogêneos LSD Fisher adotando-se como valor de alfa= 0,05, para comparações entre os grupos ou períodos hidrológicos.

	Período	Média HgTotal (ng L ⁻¹)	1	2	3
3	Cheia	4,83156	****		
2	Enchente	8,32531	****	****	
1	Seca	12,96375		****	
4	Vazante	19,83906			****

**** grupos formados

A **Figura 20** mostra a maior variabilidade nas concentrações de mercúrio total na água nos tributários e calha do rio Madeira entre os períodos hidrológicos de seca, vazante e cheia, enquanto a variação ficou discreta no período de enchente.

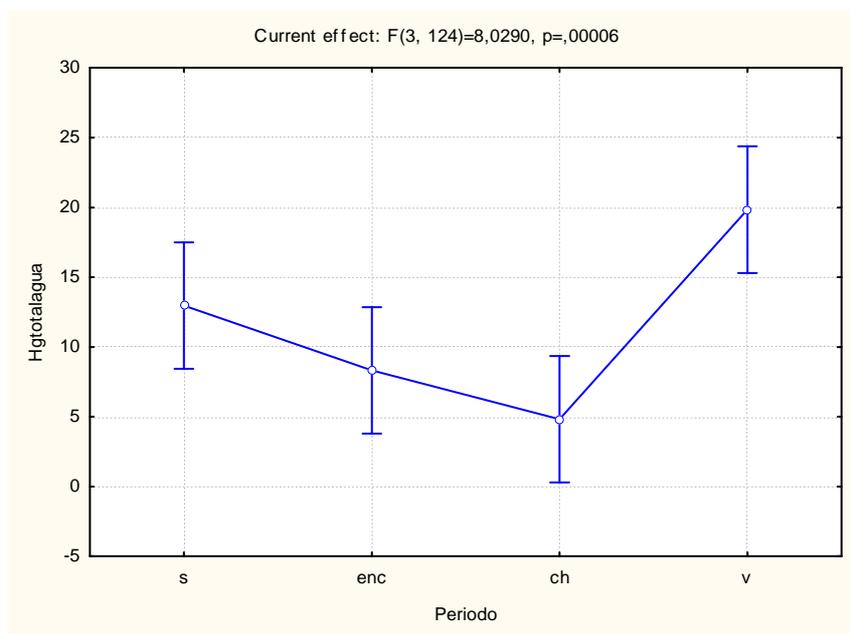


Figura 20. Variabilidade das concentrações de mercúrio total na água dos tributários e calha do rio Madeira por período hidrológico de seca de 2009 a vazante de 2010. Dados: s – seca; em - enchente; ch - cheia e v – vazante.

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) foi aplicada para averiguar as diferenças nas concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo entre os períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 considerando as estações de amostragem na calha e nos tributários do rio Madeira. As análises estatística descritivas dos períodos hidrológicos de enchente de 2010 (2ª campanha de campo) e de 2011 (6ª campanha de campo) estão indicadas na **Tabela 67**.

Tabela 67 – Estatística descritiva das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo na matriz água nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

Nível	N	HgT (ng L ⁻¹)	Desvio padrão	Hg REAT (ng L ⁻¹)	Desvio padrão
Enchente 2010	32	9,51	5,55	1,13	1,07
Enchente 2011	29	8,32	11,84	0,83	0,88
Total	61	8,89	9,34	0,97	0,98

A análise de variância método ANOVA-OneWay mostrou não haver diferença significativa ($F = 1,04$; $p = 0,360$) entre as concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo na água entre os períodos hidrológicos de enchente de 2010 e 2011 (**Tabela 68**).

Tabela 68 – Análise de variância das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo na matriz água nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e 2011 do rio Madeira (teste Wilks).

Nível	Valor	F	Effect	Error	Desvio padrão
Intercepto	0,476317	31,88385	2	58	1,07
Período hidrológico	0,965427	1,03854	2	58	0,88

O teste univariado foi usado para averiguar a diferença das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo na matriz água, entre os períodos de enchente de 2010 e de enchente de 2011. O teste mostrou não haver diferença significativa entre os 02 (dois) períodos hidrológicos para as 02 (duas) variáveis analisadas (**Tabela 69**).

Tabela 69– Teste de variância univariado para as concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo na matriz água nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

Nível	Degr. Of	HgT F	HgT P	Hg reativo F	Hg reativo P
Intercepto	1	54,82503	0,000000	60,86607	0,000000
Período hidrológico	1	0,24334	0,623634	1,49919	0,225663

A **Figura 21** mostra o boxplot das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo na matriz água nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira indicando pouca variabilidade.

A média global do mercúrio total no material particulado em suspensão apresentou valor de $53,76 \pm 54,51 \mu\text{g Kg}^{-1}$, sendo que os valores observados na 6ª campanha de campo (período de enchente de 2011) foram aproximadamente 4 vezes maiores quando comparado aos valores observados na 2ª campanha de campo (período de enchente de 2010) com predominância (**Tabela 70**).

Tabela 70 – Estatística descritiva das concentrações de mercúrio total na matriz material particulado suspenso nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

Nível	N	Média HgT ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Desvio padrão
Enchente 2010	32	25,45	22,72
Enchente 2011	23	81,22	62,15
Total	65	53,77	54,51

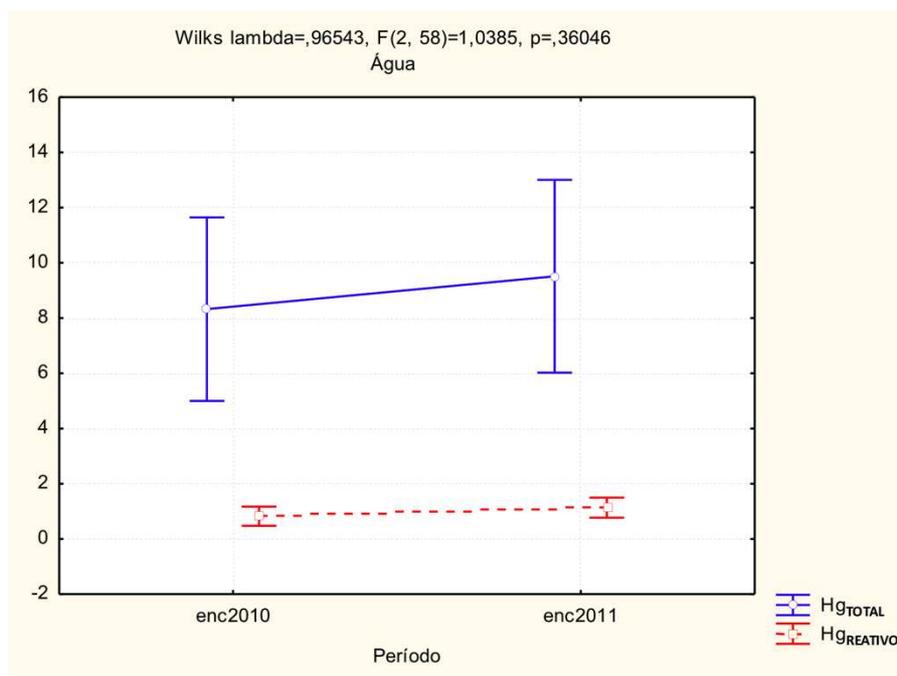


Figura 21: Boxplot da variabilidade das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo na matriz água nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

Na matriz material particulado suspenso, devido à análise de somente uma variável, não se aplica o teste multivariado de variâncias, portanto foi realizado o teste univariado (ANOVA simples) para as comparações entre as médias das concentrações de mercúrio total (**Tabela 71**). A análise univariada mostrou haver diferença significativa ($F=22,81$; $p=0,00001$) entre as concentrações de mercúrio total nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 no rio Madeira.

Tabela 71 – Análise de variância univariada entre as concentrações de mercúrio total na matriz material particulado suspenso nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011.

Nível	N	HgT F	HgT P
Intercepto	1	83,43062	0,000000
Período	1	22,80538	0,000011

A **Figura 22** mostra o boxplot das concentrações de mercúrio total na matriz material particulado suspenso nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira. A **Tabela 72** mostra a média global das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio na matriz sedimento superficial nestes períodos.

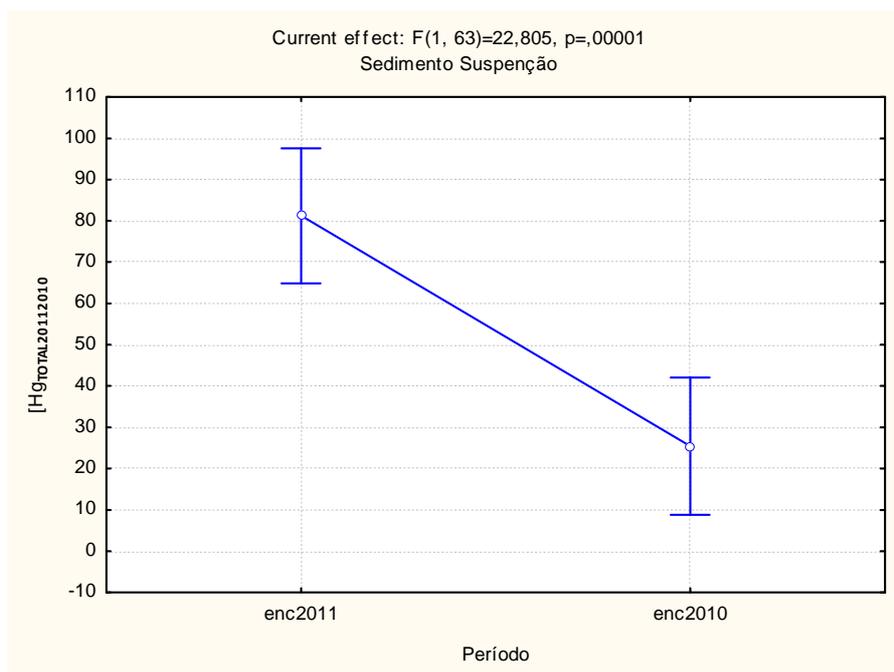


Figura 22: Boxplot da variabilidade das concentrações de mercúrio total na matriz material particulado suspenso nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

Tabela 72 – Estatística descritiva das concentrações médias de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) na matriz sedimento superficial nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

Nível	N	HgT ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Desvio padrão	MeHg ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Desvio padrão
Enchente 2010	32	66,95656	37,22855	0,278774	0,135292
Enchente 2011	33	47,01000	35,43648	0,152703	0,103319
Total	65	56,82985	37,41918	0,214769	0,135048

O teste univariado foi usado para averiguar a diferença das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio na matriz sedimento superficial, entre os períodos de enchente de 2010 e enchente de 2011. O teste mostrou não haver diferença significativa entre os 02 (dois) períodos hidrológicos para as 02 (duas) variáveis (**Tabela 73**).

Tabela 73– Teste de variância univariado para as concentrações de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) reativo na matriz sedimento superficial nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

Nível	Degr. Of	HgT F	HgT P	MeHg F	MeHg P
Intercepto	1	159,8786	0,000000	209,6196	0,000000
Período hidrológico	1	4,8975	0,030527	17,8955	0,000077

A análise de variância multivariada mostrou diferença significativa ($F = 13,09$; $p = 0,000$) entre as concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no sedimento superficial entre os períodos hidrológicos analisados (**Tabela 74**).

Tabela 74 – Análise de variância das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio na matriz sedimento suspenso nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira (teste Wilks).

Nível	Valor	F	Effect	Error	Desvio padrão
Intercepto	0,231076	103,1551	2	62	0,000000
Período hidrológico	0,703077	13,0919	2	62	0,000018

A **Figura 23** mostra o boxplot das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio na matriz sedimento superficial nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira indicando pouca variabilidade.

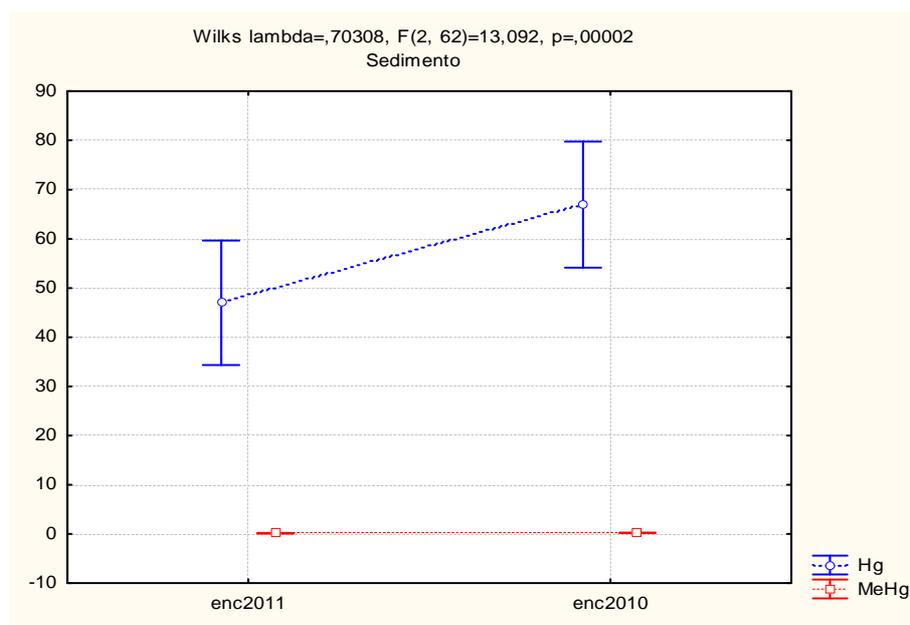


Figura 23: Boxplot da variabilidade das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio na matriz sedimento superficial nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

A **Tabela 75** mostra a média global das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no perfil de sedimento nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e no período hidrológico enchente de 2011.

Tabela 75 – Estatística descritiva das concentrações médias de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) no perfil de sedimento nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011.

Nível	N	HgT ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Desvio padrão	MeHg ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Desvio padrão
Enchente 2010	80	63,38	34,89	0,288	0,177
Enchente 2011	84	55,48	44,88	0,249	0,209
Total	164	59,33	40,39	0,268	0,194

O teste univariado foi usado para averiguar a diferença das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no perfil de sedimento, entre os períodos de enchente de 2010 e enchente de 2011. O teste mostrou não haver diferença significativa entre os dois períodos hidrológicos para as duas variáveis (**Tabela 76**).

Tabela 76– Teste de variância univariado para as concentrações de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) no perfil de sedimento nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011.

Nível	Degr. Of	HgT F	HgT P	MeHg F	MeHg P
Intercepto	1	356,1004	0,000000	313,9723	0,000000
Período hidrológico	1	1,5696	0,212067	1,7215	0,191355

A análise de variância multivariada não mostrou diferença significativa ($F = 0,873$; $p = 0,419$) entre as concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no perfil de sedimento entre os períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 (**Tabela 77**).

Tabela 77 – Análise de variância das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio na matriz sedimento suspenso nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

Nível	Valor	F	Effect	Error	Desvio padrão
Intercepto	0,310097	179,0966	2	161	0,000000
Período hidrológico	0,989267	0,8734	2	161	0,419517

(teste Wilks)

A **Figura 24** mostra o boxplot das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no perfil de sedimento nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira indicando pouca variabilidade.

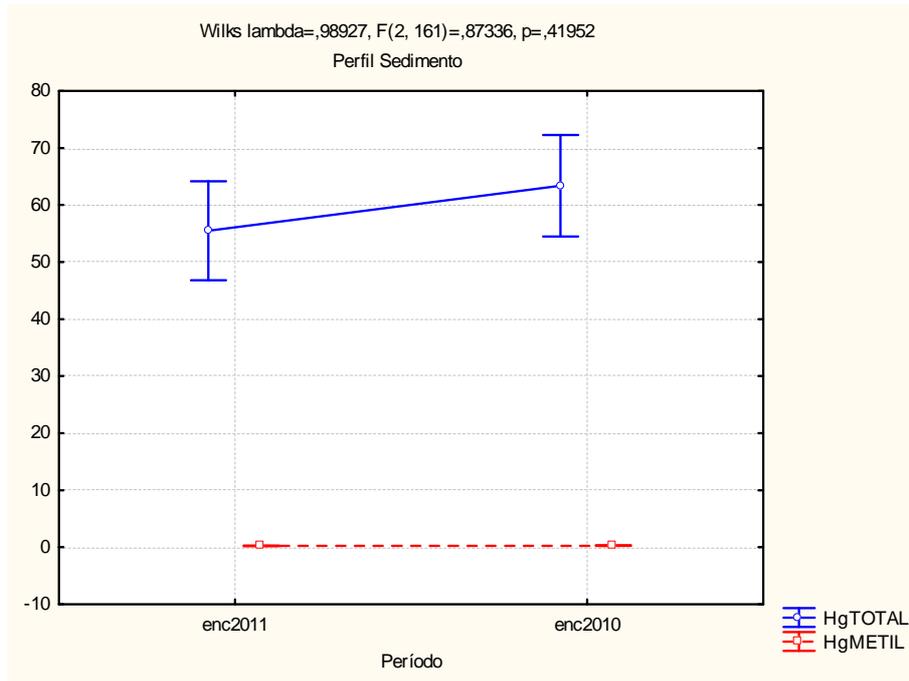


Figura 24: Boxplot da variabilidade das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no perfil de sedimento nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) foi aplicada para averiguar as diferenças nas concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo entre os períodos hidrológicos de cheia de 2010 e cheia de 2011 considerando as estações de amostragem na calha e nos tributários do rio Madeira. Este teste mostrou haver diferenças significativas em todas as comparações, considerando o valor de alfa para o nível de significância de 0,05 para o teste de Wilks (**Tabela 78**).

Tabela 78. Análise de Variâncias Multivariado das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo comparando os períodos hidrológicos (cheia de 2010 e cheia de 2011), estações de amostragem (rio Madeira e Afluentes) e períodos versus estações.

	Valor	F	Effect	Erro	p
Intercept	0,12481	206,857	2,0	59,0	0,00000
Período	0,82868	6,099	2,0	59,0	0,00391
Estação	0,97261	0,831	2,0	59,0	0,44069
Período*Estação	0,96364	1,113	2,0	59,0	0,33536

A **Tabela 79** mostra o resultado do teste univariado e o nível de significância entre as interações das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo com os níveis categóricos das estações de amostragem de água superficial nos diferentes períodos hidrológicos de cheia



de 2010 e cheia de 2011. O teste univariado mostrou diferença significativa apenas nas concentrações de mercúrio reativo entre os períodos, enquanto que as comparações restantes não foram significativas.

Tabela 79. Análise univariada de variâncias das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo nos níveis categóricos períodos hidrológicos e estações (Rio Madeira e Afluentes) e entre esses níveis.

	Graus de liberdade	F (HgT) Cheia 2010	p (HgT) Cheia 2010	F (Hg Reat) Cheia 2010	p (Hg Reat) Cheia 2010
Intercept	1	172,0554	0,000000	396,6368	0,000000
Período	1	0,0479	0,827537	10,6107	0,001852
Estação	1	0,6243	0,432573	1,6226	0,207649
Período-Estação	1	0,9216	0,340921	0,3877	0,535883

A **Figura 25** mostra que as variabilidades nas concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo nos períodos hidrológicos de cheia de 2010 e cheia de 2011, indica aumento das concentrações das espécies de mercúrio no período de cheia de 2011 quando comparado ao período de cheia de 2010.

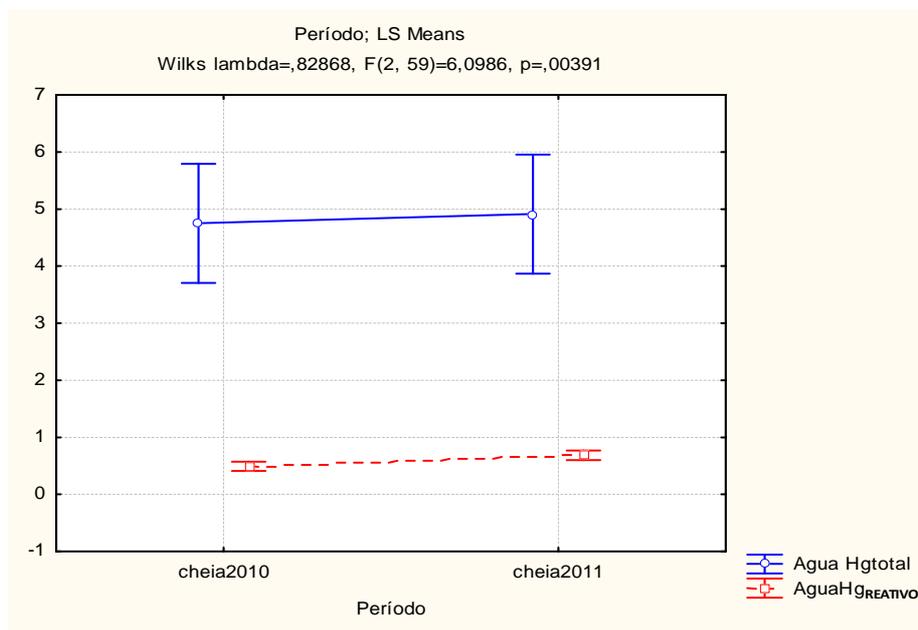


Figura 25 - Variabilidades das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo nas amostras de água superficial nos período hidrológicos de cheia de 2010 e cheia de 2011.

As concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo, quando separadas por estações de amostragem na calha do rio Madeira (M) e nos afluentes do rio Madeira (AF) conforme mostra a **Figura 26** evidencia os maiores teores de mercúrio total na calha do rio Madeira.

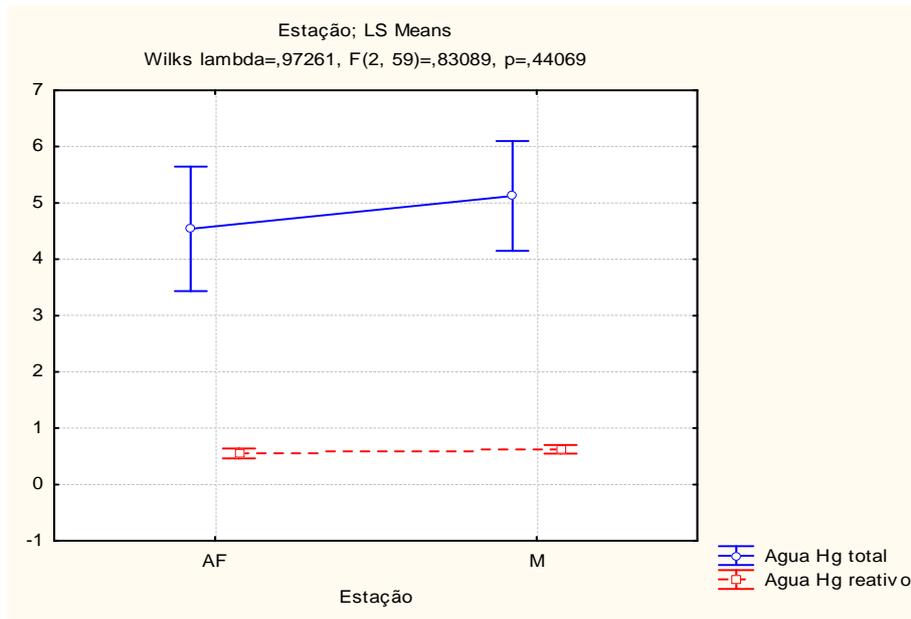


Figura 26. Variabilidades das concentrações dos teores de mercúrio total e mercúrio reativo nas amostras de água superficial nas estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira no período hidrológicos de cheia de 2011.

A interação entre os níveis categóricos período hidrológico do rio Madeira e estações de amostragem na calha e nos afluentes do rio Madeira possibilita a verificação da dinâmica fluvial dos teores de mercúrio total e mercúrio reativo temporal e espacial, sendo as diferenças entre os níveis significativas (**Figura 27**).

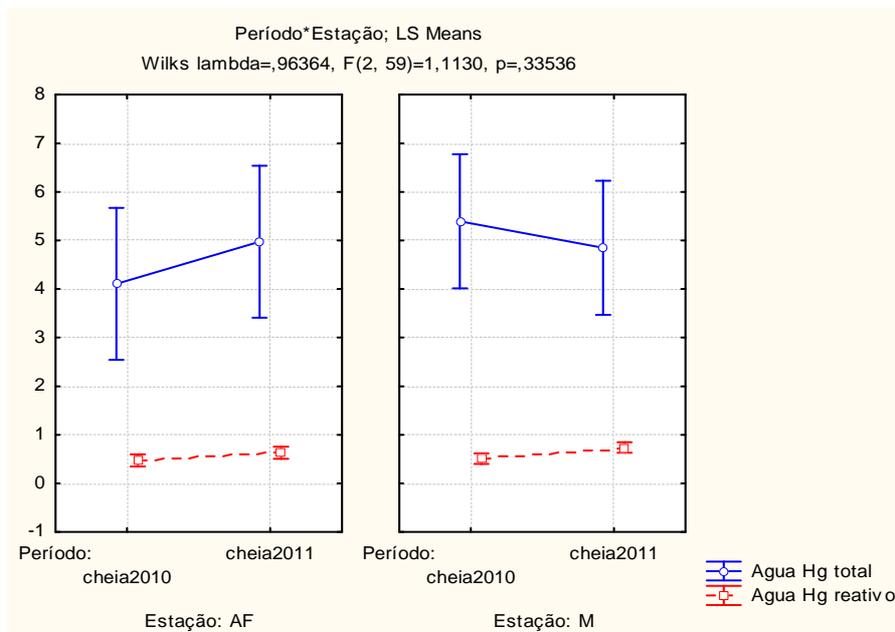


Figura 27. Variabilidades das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo nas amostras de água superficial nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira nos período hidrológicos de cheia de 2010 e cheia de 2011.



A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) foi aplicada para averiguar as diferenças nas concentrações de mercúrio total na matriz sedimento nos períodos hidrológicos de cheia de 2010 e cheia de 2011 considerando as estações de amostragem na calha e nos tributários do rio Madeira. Este teste mostrou haver diferenças significativas em todas as comparações (**Tabela 80**).

Tabela 80. Análise de Variâncias Multivariado das concentrações de mercúrio total nas amostras de sedimento comparando períodos hidrológicos (cheia de 2010 e cheia de 2011); estações de monitoramento (rio Madeira e Afluentes) e períodos versus estações.

	SS	Grau de liberdade	MS	F	p
Intercept	202176,9	1	202176,9	41,74506	0,000000
Período	170302,7	1	170302,7	35,16375	0,000000
Estação	25063,7	1	25063,7	5,17511	0,026500
Período*Estação	21326,8	1	21326,8	4,40350	0,040083
Erro	290588,0	60	4843,1		

A **Figura 28** mostra que as variabilidades nas concentrações de mercúrio total na matriz sedimento nos períodos hidrológicos de cheia de 2010 e cheia de 2011, indica aumento das concentrações no período de cheia de 2011 quando comparado ao período de cheia de 2010. As concentrações de mercúrio total, quando separadas por estações de amostragem na calha do rio Madeira (M) e nos afluentes do rio Madeira (AF) conforme mostra a **Figura 29**, evidencia pronunciado aumento das concentrações de mercúrio total na calha do rio Madeira.

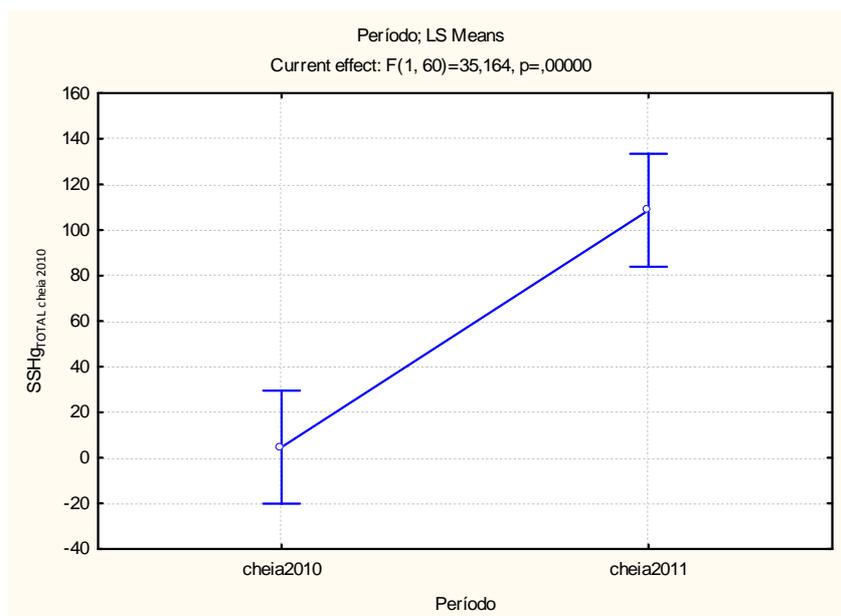


Figura 28 - Variabilidades das concentrações de mercúrio total no sedimento de fundo nos períodos hidrológicos de cheia de 2010 e cheia de 2011.

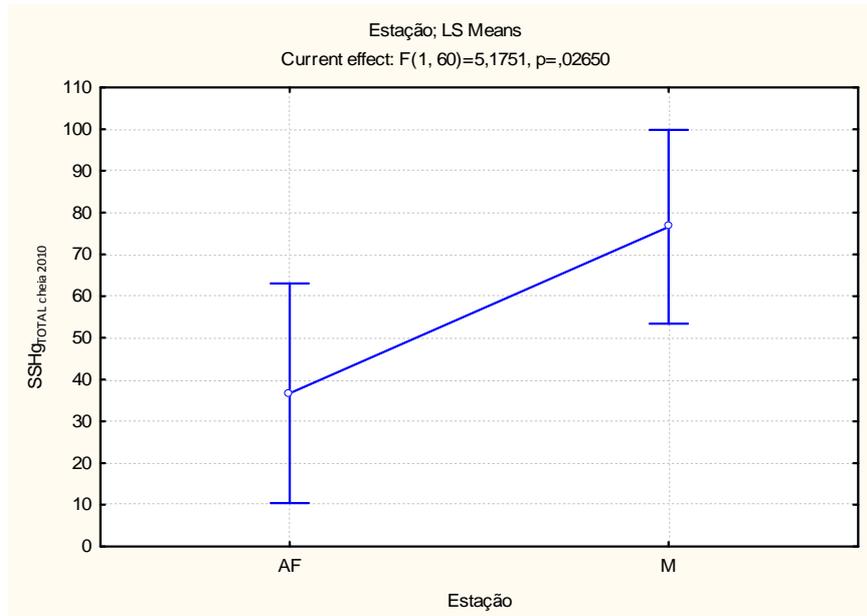


Figura 29. Variabilidades das concentrações de mercúrio total nas amostras de sedimento de fundo nas estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira no período hidrológico de cheia de 2011.

A interação entre os níveis categóricos período hidrológico do rio Madeira e estações de amostragem na calha e nos afluentes do rio Madeira possibilita a verificação da dinâmica fluvial dos teores de mercúrio total na matriz sedimento temporal e espacial, sendo as diferenças entre os níveis significativas (**Figura 30**).

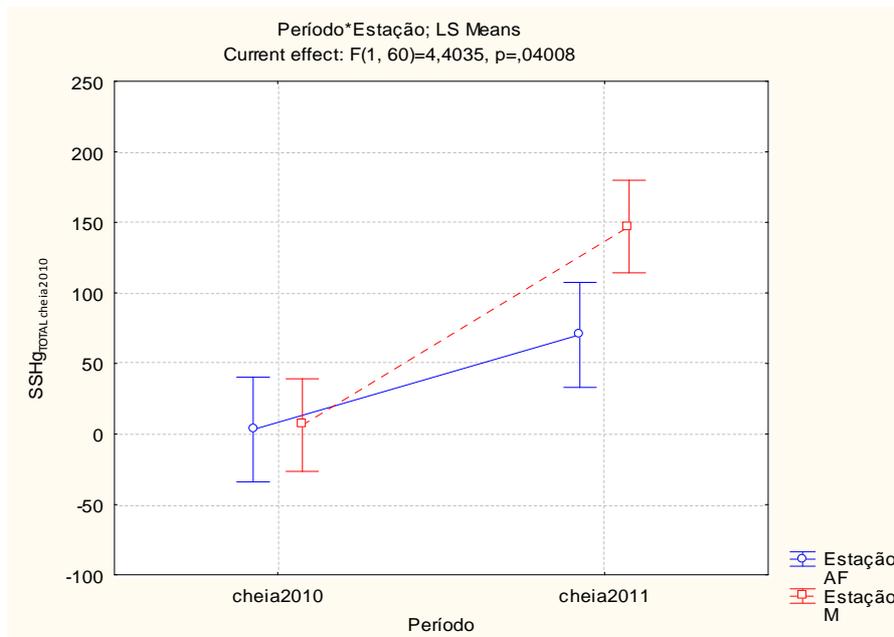


Figura 30. Variabilidades das concentrações de mercúrio total nas amostras de sedimento de fundo nas estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira nos períodos hidrológicos de cheia de 2010 e cheia de 2011.

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) foi aplicada para averiguar as diferenças nas concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo entre os períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011 considerando as estações de amostragem na calha e nos tributários do rio Madeira. A **Tabela 81** mostra os resultados obtidos das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo nas amostras de água superficial coletas nos tributários e calha do rio Madeira nos períodos hidrológicos de vazante 2010 e 2011.

Tabela 81. Concentrações médias e desvios padrões e erro padronizados das médias do mercúrio total (ng L^{-1}) e mercúrio reativo (ng L^{-1}) dispostas por período hidrológico de vazante 2010 e vazante 2011 nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira.

	Nível	Nível	N	Média Hg _T	DP Hg _T	Erro Padrão Hg _T	Média Hg _{REAT}	DP Hg _{REAT}	Erro Padrão Hg _{REAT}
Total			64	17,39	22,65	2,83	2,82	5,89	0,74
Período	Vazante-2010		32	19,84	21,39	3,78	2,60	6,21	1,10
Período	Vazante-2011		32	14,94	23,93	4,23	3,03	5,64	0,99
Estação	AF		28	21,87	31,64	5,98	4,55	8,61	1,63
Estação	M		36	13,90	11,06	1,84	1,47	1,02	0,17
Período*Estação	Vazante-2010	AF	14	17,62	31,16	8,33	3,70	9,44	2,52
Período*Estação	Vazante-2010	M	18	21,56	9,19	2,17	1,75	0,65	0,15
Período*Estação	Vazante-2011	AF	14	26,11	32,70	8,74	5,39	7,95	2,12
Período*Estação	Vazante-2011	M	18	6,247	6,59	1,55	1,20	1,25	0,29

Hg_T – mercúrio total; Hg_{REAT} – mercúrio reativo

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) ou análise de variância multifatorial (**Tabela 82**) foi aplicada para averiguar as hipóteses nulas e seus níveis de significância das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo nas água superficiais nos tributários e calha do rio Madeira nos períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011. A MANOVA permite checar a existência das diferenças entre os fatores (estações de amostragem e períodos hidrológicos), caso as hipóteses nulas entre os níveis categóricos sejam rejeitadas. Este teste mostrou haver diferenças significativas apenas entre os fatores estações de amostragem e período hidrológico. O valor de alfa adotado para o nível de significância foi de 0,05 para o teste de Wilks. Neste sentido a hipótese nula para os níveis categóricos individualizados foram aceitas.

O teste univariado mostra o nível de significância entre as interações dos espécimes mercúrio total e mercúrio reativo, com os níveis categóricos ou fatores (estações de amostragem e

períodos hidrológicos) e entre estes fatores (**Tabela 83**). A análise inferi de forma geral que apenas o mercúrio reativo apresentou diferença significativa no fator estações de amostragem, enquanto o mercúrio total foi significativo entre os fatores. O fator período hidrológico não apresentou diferença significativa no intervalo analisado.

Tabela 82. Análise de Variâncias Multivariado comparando as concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo dispostas por período hidrológico de vazante 2010 e vazante 2011 nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira.

	Test	Valor	F	Effect	Erro	p
Intercepto	Wilks	0,583068	21,09448	2	59	0,000000
Período hidrológico	Wilks	0,969554	0,92637	2	59	0,401669
Estação de amostragem	Wilks	0,930862	2,19106	2	59	0,120813
Período*Estação	Wilks	0,908576	2,96838	2	59	0,059110

Tabela 83 - Análise univariada de variâncias das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo nas amostras de água superficial coletadas nos tributários e calha do rio Madeira, nos níveis categóricos períodos hidrológicos de vazante (2010 e 2011) e entre os níveis categóricos.

	Grau	F (Hg _T)	P (Hg _T)	F (Hg _{REAT})	P (Hg _{REAT})
Intercept	1	42,14679	0,000000	17,00496	0,000116
Período	1	0,38310	0,538292	0,15279	0,697265
Estação	1	2,08983	0,153486	4,44042	0,039286
Período*Estação	1	4,66618	0,034767	0,58839	0,446052

Hg_T – mercúrio total; Hg_{REAT} – mercúrio reativo

A relação das concentrações no fator períodos hidrológicos representado pelo boxplot da análise de variâncias multivariadas mostra, uma diferença muito sutil e não significativa, quase imperceptível ao nível de probabilidade de 0,005 (**Figura 31**). A relação entre as estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira indica variabilidade, porém não foi encontrada diferença significativa nas concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo, entretanto a análise das concentrações individualmente pelo teste univariado (**Figura 32**) indica diferença significativa para o mercúrio reativo. A relação entre os fatores período hidrológicos e estações de amostragem foi significativa adotando-se igual à probabilidade 0,05. As análises mostram maior variação do mercúrio total e do mercúrio reativo nos tributários do rio Madeira quando comparadas a calha do rio Madeira (**Figura 33**), sendo a contribuição maior das concentrações de mercúrio total com probabilidade de 0,03.

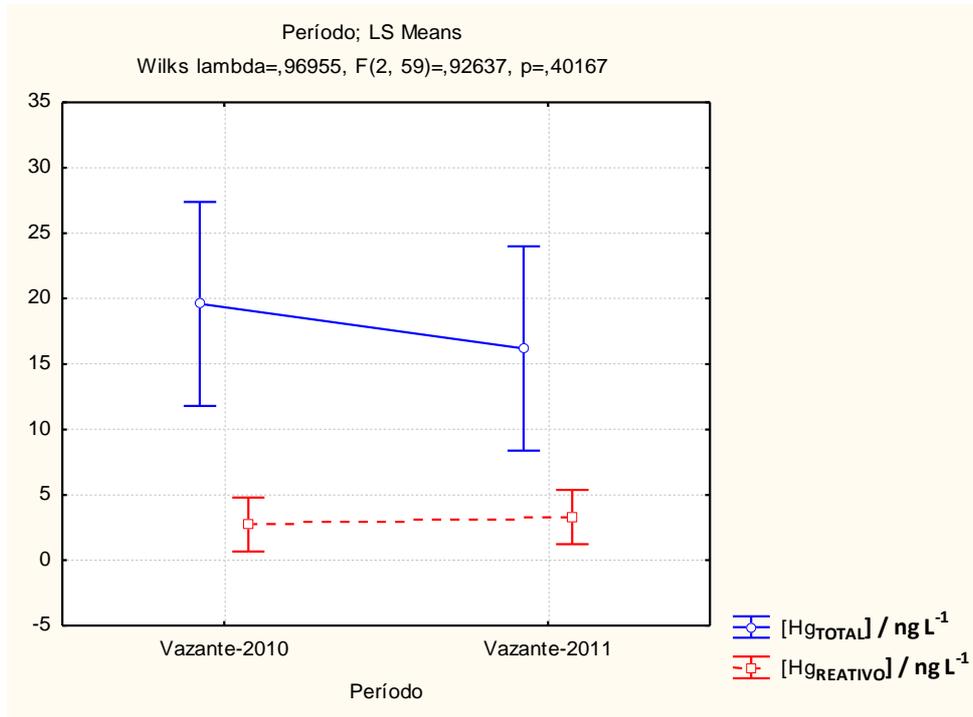


Figura 31 - Boxplot da análise de variâncias multivariadas das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo nas amostras de água superficial nos períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011.

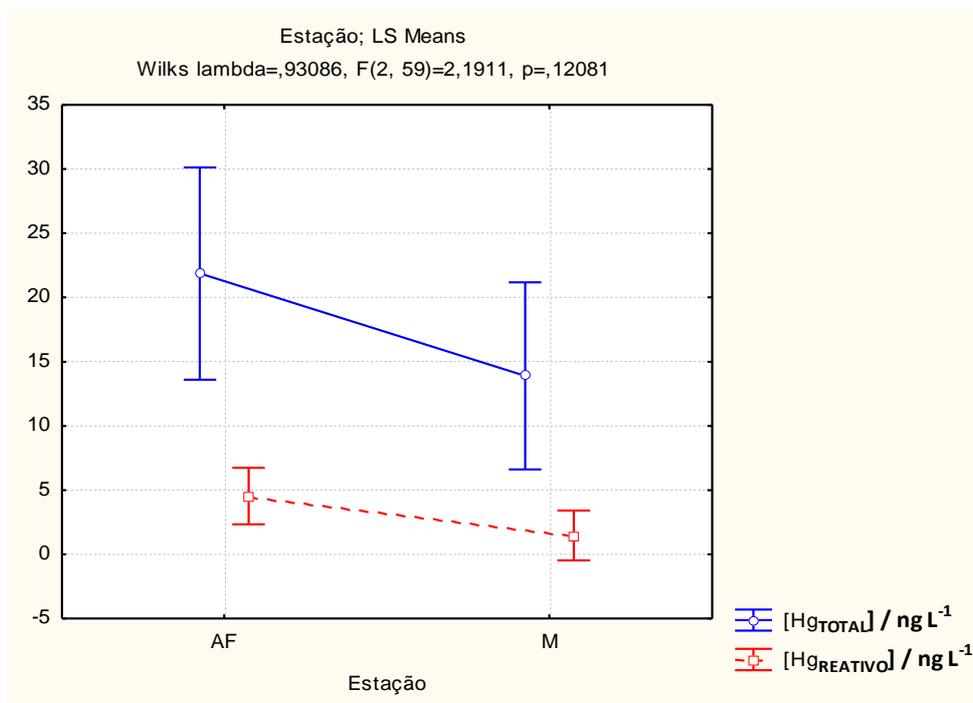


Figura 32 - Boxplot da análise de variâncias multivariadas das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo nas amostras de água superficial nas estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeiro.



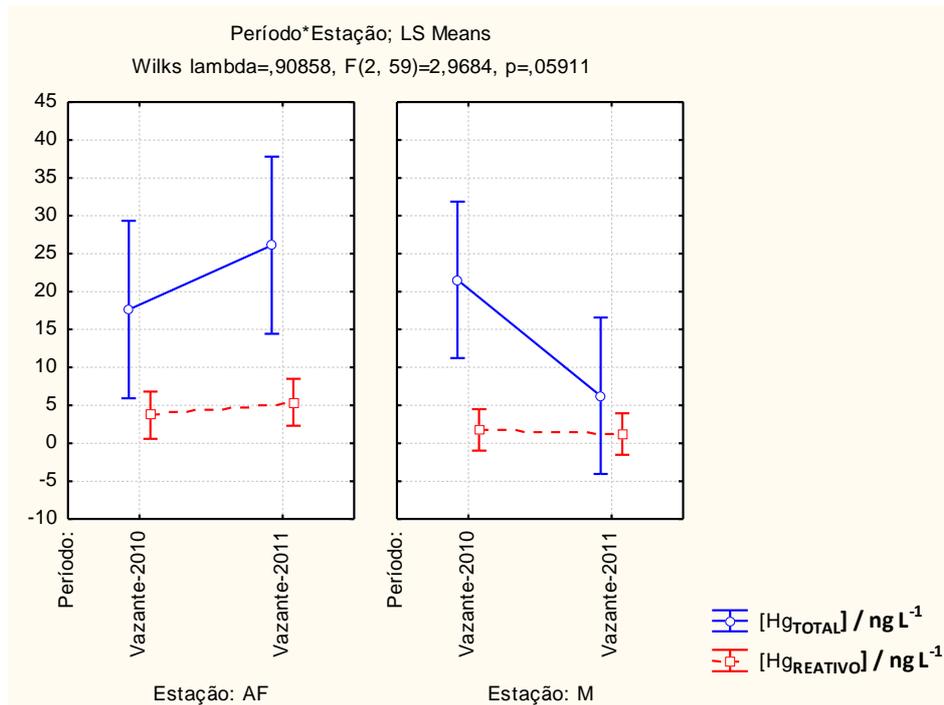


Figura 33 - Boxplot da análise de variâncias multivariadas das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo nas amostras de água superficial nas estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeiro, nos períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011.

O teste de probabilidade a Posteriori LSD Fisher (**Tabela 84**) mostrou que as concentrações do mercúrio total e mercúrio reativo não variaram durante os períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011, sendo as probabilidades encontradas pelo teste maior que 0,05.

A análise de probabilidade a posteriores realizada com as concentrações do mercúrio total no fator estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira não apresentou probabilidade significativa. Enquanto que as concentrações de mercúrio reativo apresentou probabilidade significativa entre as estações de amostragem. A análise de grupos homogêneos foi significativa para as concentrações de mercúrio reativo, com a formação de dois grupos sendo o primeiro composto pelas estações na calha (M) do rio Madeira e o segundo grupo composto pelas estações nos tributários (AF) do rio Madeira (**Tabela 85**).

Tabela 84. Análise a Posteriori de Grupos Homogêneos com o algoritmo LSD – Fisher, para o mercúrio reativo (ng L^{-1}) no fator estação de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira ($\alpha = 0,05000$; $MS = 33,568$, $df = 60,000$).

	Estação	Hg _{REAT}	1	2
2	Calha do rio Madeira (M)	1,471922	****	
1	Tributários do rio Madeira (AF)	4,548257		****

Hg_{REAT} – mercúrio reativo

Tabela 85. Análise de Probabilidades a Posteriori algoritmo LSD – Fisher para as concentrações do mercúrio reativo (ng L^{-1}) nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira ($MS = 33,568$, $df = 60,000$).

	Estação	{1}	{2}
1	Tributários (AF) do rio Madeira		0,039286
2	Calha (M) do rio Madeira	0,039286	

A análise de probabilidade a posteriores entre os fatores mostrou diferença significativa nas concentrações de mercúrio total nas estações do rio Madeira, nos dois períodos hidrológicos de vazante 2010 e vazante de 2011 (**Tabela 86**). A análise de grupos homogêneos para o mercúrio total mostrou a formação de dois grupos significativos com nível de significância maior que 0,05 (**Tabela 87**). As concentrações de mercúrio reativo apresentou probabilidade a posteriori significativas nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira nos períodos hidrológicos de vazante de 2011 (**Tabela 88**).

Tabela 86. Análise de Probabilidades a Posteriori algoritmo LSD – Fisher para as concentrações do mercúrio total (ng L^{-1}) nas estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira e nos dois períodos de hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011 ($MS = 478,28$, $df = 60,000$).

	Período	Estação	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Vazante-2010	AF		0,615245	0,308330	0,149541
2	Vazante-2010	M	0,615245		0,561044	0,039870
3	Vazante-2011	AF	0,308330	0,561044		0,013356
4	Vazante-2011	M	0,149541	0,039870	0,013356	

Hg_{REAT} – mercúrio reativo

Tabela 87. Análise a Posteriori de Grupos Homogêneos com o algoritmo LSD – Fisher, para o mercúrio total (ng L^{-1}) nas estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira e nos dois períodos de hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011 ($\alpha = 0,05$; $MS = 478,28$, $df = 60,000$).

	Período	Estação	Hg _T	1	2
4	Vazante-2011	M	6,24722		****
1	Vazante-2010	AF	17,62429	****	****
2	Vazante-2010	M	21,56167	****	
3	Vazante-2011	AF	26,11714	****	

Hg_T – mercúrio total

Tabela 88. Análise de Probabilidades a Posteriori algoritmo LSD – Fisher para as concentrações do mercúrio reativo (ng L^{-1}) encontradas nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira nos períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011 ($MS = 33,568$, $df = 60,000$).

	Período	Estação	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Vazante-2010	AF		0,347113	0,443164	0,229642
2	Vazante-2010	M	0,347113		0,082409	0,777112
3	Vazante-2011	AF	0,443164	0,082409		0,046543
4	Vazante-2011	M	0,229642	0,777112	0,046543	

A formação de dois grupos para o mercúrio reativo, tem maior contribuição no primeiro grupo nas estações na calha do rio Madeira no período hidrológico de vazante de 2011 e o segundo grupo a maior contribuição foram as estações nos tributários do rio Madeira no período hidrológico de vazante de 2011 (**Tabela 89**).

Tabela 89. Análise a Posteriori de Grupos Homogêneos com o algoritmo LSD – Fisher, para o mercúrio reativo (ng L^{-1}) nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira nos períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011 ($\alpha = 0,05$; $MS = 33,568$, $df = 60,000$).

	Período	Estação	Hg _{REAT}	1	2
4	Vazante-2011	M	1,197333	****	
2	Vazante-2010	M	1,746511	****	****
1	Vazante-2010	AF	3,703015	****	****
3	Vazante-2011	AF	5,393500		****

Hg_{REAT} – mercúrio reativo

Os resultados obtidos das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nas amostras de sedimento nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira nos períodos hidrológicos de vazante 2010 e vazante de 2011 estão apresentados na **Tabela 90**.

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) (**Tabela 91**) foi realizada para averiguar as hipóteses nulas e seus níveis de significância das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no sedimento nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira nos períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011. O teste mostrou haver diferenças significativas apenas entre fator estação de amostragem, sendo o valor de alfa adotado para o nível de significância foi de 0,05 para o teste de Wilks.

Tabela 90. Concentrações médias e desvios padrões e erro padronizados das médias de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no sedimento dos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira nos períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011 e entre os fatores.

	Nível	Nível	N	Média Hg _T	DP Hg _T	Erro padrão Hg _T	Média MeHg	DP MeHg	Erro Padrão MeHg
Total			64	48,33	44,17	5,521	0,238	0,268	0,034
Período	Vazante-2010		33	53,51	37,09	6,457	0,266	0,284	0,049
Período	Vazante-2011		31	42,82	50,68	9,103	0,208	0,252	0,045
Estação	AF		28	70,45	58,09	10,979	0,375	0,356	0,067
Estação	M		36	31,124	14,58	2,430	0,131	0,071	0,012
Período*Estação	Vazante-2010	AF	15	70,29	48,66	12,565	0,392	0,383	0,099
Período*Estação	Vazante-2010	M	18	39,52	13,56	3,196	0,162	0,074	0,018
Período*Estação	Vazante-2011	AF	13	70,64	69,50	19,276	0,355	0,338	0,094
Período*Estação	Vazante-2011	M	18	22,73	10,22	2,409	0,101	0,054	0,013

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

Tabela 91. Análise de variâncias multivariado (ANOVA/MANOVA) para comparação das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no sedimento nos fatores e entre fatores.

	Test	Valor	F	Effect	Erro	p
Intercepto	Wilks	0,364881	51,34818	2	59	0,000000
Período	Wilks	0,988740	0,33595	2	59	0,716016
Estação	Wilks	0,787081	7,98024	2	59	0,000856
Período*Estação	Wilks	0,962349	1,15415	2	59	0,322341

As outras comparações do fator período hidrológico e entre os fatores não foram encontradas diferenças significativas, neste sentido a hipótese nula para os nível categórico período hidrológico e entre os fatores foram aceitas. O teste univariado mostra o nível de significância entre as interações das espécies mercúrio total e metilmercúrio, com os níveis categóricos ou fatores (estações de amostragem e períodos hidrológicos) e entre estes fatores (**Tabela 92**),

sendo possível inferir de forma geral que apenas as concentrações de mercúrio total e metilmercúrio foram significativas apenas no fator estações de amostragem.

Tabela 92. Teste Univariado para avaliação das concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira, nos períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011.

	Grau	F (Hg_T)	p (Hg_T)	F (MeHg)	p (MeHg)
Intercepto	1	101,2772	0,000000	67,49844	0,000000
Período	1	0,6641	0,418349	0,62607	0,431916
Estação	1	15,1877	0,000248	15,55345	0,000212
Período*Estação	1	0,7208	0,399251	0,03663	0,848875
Erro	60				
Total	63				

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

As análises de probabilidades a posteriori realizada para a avaliação das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio, no fator período hidrológico de vazante 2010 e vazante 2011, não apresentou probabilidades significativas. A avaliação das probabilidades para o fator estação de amostragem nos tributários e na calha do rio Madeira apresentou probabilidades significativas, que indicam a diferença entre nas concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nas estações de amostragem (**Tabela 93**).

Tabela 93. Análises de Probabilidades a posteriori para as concentrações de mercúrio total (mg kg^{-1}) e metilmercúrio do sedimento nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira (MS = 1600,3, df = 60,000).

	Estação	{1} Hg_T	{2} Hg_T	{1} MeHg	{2} MeHg
1	AF		0,000244		0,000194
2	M	0,000244		0,000194	

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

As análises de grupos homogêneos foram significativas para o mercúrio total e metilmercúrio com a formação de dois grupos, sendo o primeiro grupo formado pelas estações de amostragem na calha do rio Madeira (M) e o segundo grupo formado pelas estações de amostragem nos tributários (AF) para as concentrações das duas espécies de mercúrio (**Tabela 94**).

Tabela 94. Análise a posteriori de Grupos Homogêneos para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no sedimento das estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira ($\alpha = 0,05$; MS = 1600,3, df = 60,000).

	Estação	Hg _T	1	2
2	M	31,12	****	
1	AF	70,45		****
	Estação	MeHg	1	2
2	M	0,131	****	
1	AF	0,375		****

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

A análise de probabilidade a posteriori entre os fatores mostrou diferença significativa nas concentrações do mercúrio total e metilmercúrio no sedimento nas estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira, nos períodos hidrológicos de vazante 2010 e vazante 2011, mas a comparação intra estações de amostragem entre os períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante 2011 não foi significativa (**Tabela 95**). A análise de Grupos Homogêneos mostrou a formação de dois grupos diferenciados em nível de 0,05 para o valor de alfa, para as espécies de mercúrio total e metilmercúrio. O primeiro grupo é constituído pelas estações de amostragem na calha do rio Madeira e o segundo grupo as estações de amostragem nos tributários do rio Madeira (**Tabela 96**).

Tabela 95. Análise de Probabilidade a posteriori para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) do sedimento nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira nos períodos hidrológicos de vazantes 2010 e vazante de 2011 (Erro: Between MS = 1600,3, df = 60,000).

		Período	Estação	{1}	{2}	{3}	{4}
Hg _T	1	Vazante-2010	AF		0,031661	0,981957	0,001199
	2	Vazante-2010	M	0,031661		0,036695	0,212686
	3	Vazante-2011	AF	0,981957	0,036695		0,001678
	4	Vazante-2011	M	0,001199	0,212686	0,001678	
MeHg	1	Vazante-2010	AF		0,008796	0,690968	0,001140
	2	Vazante-2010	M	0,008796		0,032758	0,459861
	3	Vazante-2011	AF	0,690968	0,032758		0,005711
	4	Vazante-2011	M	0,001140	0,459861	0,005711	

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

Tabela 96. Análise a posteriori de grupos homogêneos para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no sedimento na estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira e nos períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011 ($\alpha = 0,05$, MS = 1600,3, df = 60,000).

		Período	Estação	Concentração	1	2
Hg_T	4	Vazante-2011	M	22,73	****	
	2	Vazante-2010	M	39,52	****	
	1	Vazante-2010	AF	70,29		****
	3	Vazante-2011	AF	70,64		****
MeHg	4	Vazante-2011	M	0,101	****	
	2	Vazante-2010	M	0,161	****	
	3	Vazante-2011	AF	0,355		****
	1	Vazante-2010	AF	0,392		****

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

O mercúrio total e metilmercúrio apresentaram suas maiores concentrações nos sedimentos das estações de amostragem nos tributários do rio Madeira, devido as características físicas e químicas, cujo carácter ácido possibilita a mobilização do mercúrio total para água intersticial. Enquanto que as estações de amostragem na calha do rio Madeira, sendo o meio próximo da neutralidade desfavorece a mobilização de mercúrio, podendo favorecer a precipitação de mercúrio. A análise de variâncias multivariadas mostrou diferença significativa nas concentrações de mercúrio total e metilmercúrio entre as estações de amostragem nos tributários e na calha do rio Madeira. As outras comparações entre períodos hidrológicos e entre fatores não apresentou diferenças significativas. O teste univariado mostrou diferença significativa nas concentrações do mercúrio total e metilmercúrio, quando comparadas no fator estação de amostragem, no fator período hidrológico e entre os fatores as diferenças não foram significativas para ambos espécimes de mercúrio.

A **Tabela 97** mostra os resultados obtidos correspondentes as médias, desvio padrão e erro padrão das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio na matriz sedimento obtidos nas profundidades 5, 10, 20 e 40 cm nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira, para os períodos hidrológicos de vazante 2010 e vazante de 2011.

Tabela 97. Concentrações médias, desvios padrões e erro padronizados das médias de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no perfil do sedimento (5, 10, 20 e 40 cm) nas estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira, para os períodos hidrológicos vazante de 2010 e vazante de 2011.

	Nível	Nível	Nível	N	Média Hg _T	DP Hg _T	Erro* Hg _T	Média MeHg	DP MeHg	Erro* MeHg
Total				160	67,43	67,94	5,37	0,313	0,465	0,036
Perfil	P5			40	93,17	92,22	14,58	0,478	0,684	0,108
Perfil	P10			40	77,30	71,55	11,31	0,379	0,506	0,081
Perfil	P20			40	55,54	46,62	7,37	0,221	0,244	0,038
Perfil	P40			40	43,72	38,96	6,16	0,174	0,201	0,031
Período	Vazante- 2010			80	85,24	74,19	8,29	0,456	0,577	0,064
Período	Vazante- 2011			80	49,62	56,05	6,267	0,170	0,249	0,027
Estação	AF			112	82,85	75,65	7,14	0,393	0,535	0,050
Estação	M			48	31,46	14,56	2,10	0,127	0,076	0,011
Perfil*Período	P5	Vazante- 2010		20	118,68	103,05	23,04	0,687	0,859	0,192
Perfil*Período	P5	Vazante- 2011		20	67,66	73,96	16,53	0,270	0,360	0,080
Perfil*Período	P10	Vazante- 2010		20	97,51	76,66	17,14	0,549	0,618	0,138
Perfil*Período	P10	Vazante- 2011		20	57,09	61,43	13,73	0,210	0,287	0,064
Perfil*Período	P20	Vazante- 2010		20	68,96	46,28	10,34	0,323	0,290	0,064
Perfil*Período	P20	Vazante- 2011		20	42,12	44,06	9,85	0,119	0,127	0,028
Perfil*Período	P40	Vazante- 2010		20	55,82	41,58	9,29	0,266	0,241	0,054
Perfil*Período	P40	Vazante- 2011		20	31,62	32,85	7,34	0,081	0,075	0,016
Perfil*Estação	P5	AF		28	116,88	101,11	19,10	0,614	0,780	0,147
Perfil*Estação	P5	M		12	37,84	17,07	4,92	0,161	0,080	0,023
Perfil*Estação	P10	AF		28	96,90	77,48	14,64	0,485	0,573	0,108
Perfil*Estação	P10	M		12	31,56	12,64	3,64	0,133	0,077	0,022
Perfil*Estação	P20	AF		28	66,40	51,43	9,72	0,268	0,276	0,052
Perfil*Estação	P20	M		12	30,22	14,61	4,21	0,111	0,075	0,021

Tabela 97. Concentrações médias, desvios padrões e erro padronizados das médias de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no perfil do sedimento (5, 10, 20 e 40 cm) nas estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira, para os períodos hidrológicos vazante de 2010 e vazante de 2011 – Continuação.

	Nível	Nível	Nível	N	Média Hg _T	DP Hg _T	Erro* Hg _T	Média MeHg	DP MeHg	Erro* MeHg
Perfil*Estação	P40	AF		28	51,21	43,95	8,30	0,204	0,229	0,043
Perfil*Estação	P40	M		12	26,23	12,85	3,71	0,104	0,068	0,019
Período*Estação	Vazante- 2010	AF		56	104,14	81,35	10,87	0,577	0,653	0,087
Período*Estação	Vazante- 2010	M		24	41,15	13,67	2,78	0,176	0,074	0,015
Período*Estação	Vazante- 2011	AF		56	61,56	63,31	8,46	0,209	0,288	0,038
Período*Estação	Vazante- 2011	M		24	21,77	7,09	1,44	0,079	0,039	0,008
Perfil*Período *Estação	P5	Vazante- 2010	AF	14	149,31	109,55	29,27	0,892	0,963	0,257
Perfil*Período *Estação	P5	Vazante- 2010	M	6	47,20	19,76	8,07	0,209	0,082	0,033
Perfil*Período *Estação	P5	Vazante- 2011	AF	14	84,45	83,47	22,30	0,337	0,416	0,111
Perfil*Período *Estação	P5	Vazante- 2011	M	6	28,48	6,32	2,581	0,113	0,045	0,018
Perfil*Período *Estação	P10	Vazante- 2010	AF	14	121,69	80,34	21,47	0,707	0,683	0,182
Perfil*Período *Estação	P10	Vazante- 2010	M	6	41,10	9,60	3,91	0,181	0,078	0,031
Perfil*Período *Estação	P10	Vazante- 2011	AF	14	72,11	68,47	18,29	0,263	0,331	0,088
Perfil*Período *Estação	P10	Vazante- 2011	M	6	22,02	6,39	2,60	0,085	0,038	0,015
Perfil*Período *Estação	P20	Vazante- 2010	AF	14	81,41	49,95	13,35	0,395	0,319	0,085
Perfil*Período *Estação	P20	Vazante- 2010	M	6	39,93	14,36	5,86	0,155	0,083	0,033
Perfil*Período *Estação	P20	Vazante- 2011	AF	14	51,39	50,15	13,40	0,142	0,147	0,039
Perfil*Período *Estação	P20	Vazante- 2011	M	6	20,50	6,07	2,47	0,067	0,028	0,011

Tabela 97. Concentrações médias, desvios padrões e erro padronizados das médias de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no perfil do sedimento (5, 10, 20 e 40 cm) nas estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira, para os períodos hidrológicos vazante de 2010 e vazante de 2011 – Continuação.

	Nível	Nível	Nível	N	Média Hg _T	DP Hg _T	Erro* Hg _T	Média MeHg	DP MeHg	Erro* MeHg
Perfil*Período *Estação	P40	Vazante- 2010	AF	14	64,15	47,33	12,64	0,313	0,276	0,073
Perfil*Período *Estação	P40	Vazante- 2010	M	6	36,38	9,85	4,02	0,156	0,056	0,023
Perfil*Período *Estação	P40	Vazante- 2011	AF	14	38,28	37,56	10,03	0,094	0,087	0,023
Perfil*Período *Estação	P40	Vazante- 2011	M	6	16,09	4,39	1,79	0,052	0,021	0,008

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio; DP – desvio padrão; Erro* - erro padrão

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) (**Tabela 98**) foi realizada para averiguar as hipóteses nulas e seus níveis de significância das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no sedimento nos quatro níveis de profundidade (5, 10, 20 e 40 cm) nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira, durante os períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011. O teste mostrou haver diferenças significativas no fator período hidrológico e no fator estação de amostragem, considerando o valor de alfa para o nível de significância de 0,05 para o teste de Wilks. As outras comparações do fator perfil e entre os fatores não foram encontradas diferenças significativas, neste sentido a hipótese nula para os nível categórico perfil e entre os fatores foram aceitas.

Tabela 98. Análise de variâncias multivariado (ANOVA/MANOVA) para comparação das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no sedimento em quatro níveis de profundidade (5, 10 20 e 40 cm) nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira, durante os períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011.

	Test	Valor	F	Effect	Erro	p
Intercept	Wilks	0,525708	64,50710	2	143	0,000000
Perfil	Wilks	0,942346	1,43651	6	286	0,200458
Período	Wilks	0,928284	5,52383	2	143	0,004889
Estação	Wilks	0,850849	12,53370	2	143	0,000010
Perfil*Período	Wilks	0,993583	0,15368	6	286	0,988228
Perfil*Estação	Wilks	0,967641	0,79045	6	286	0,578017
Período*Estação	Wilks	0,973167	1,97149	2	143	0,143016
Perfil*Período*Estação	Wilks	0,993405	0,15797	6	286	0,987336

O teste univariado mostra o nível de significância entre as interações dos espécimes mercúrio total e metilmercúrio com os níveis categóricos ou fatores (estações de amostragem e períodos de hidrológico) e entre estes fatores (**Tabela 99**), sendo possível inferir de forma geral que as concentrações de mercúrio total apresentou diferença significativa nos fatores perfil de profundidade, período hidrológico e estações de amostragem, sendo que entre os fatores as concentrações do mercúrio total não foram significativas. As concentrações do metilmercúrio quando comparadas as diferenças foram significativas no fator período hidrológico e no fator estações de amostragem e entre estes dois fatores.

Tabela 99. Teste Univariado para avaliação das concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no sedimento em quatro níveis de profundidade nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira, durante os períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011.

	Grau	F (Hg_T)	p (Hg_T)	F (MeHg)	p (MeHg)
Intercepto	1	124,3019	0,000000	53,27545	0,000000
Perfil	3	2,7787	0,043369	2,28545	0,081335
Período	1	9,1301	0,002977	10,55092	0,001445
Estação	1	25,1169	0,000002	13,83979	0,000285
Perfil*Período	3	0,1821	0,908417	0,30705	0,820260
Perfil*Estação	3	1,4965	0,218064	1,34274	0,262913
Período*Estação	1	1,2799	0,259800	3,62241	0,059002
Perfil*Período*Estação	3	0,2078	0,890839	0,31594	0,813838

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

O Boxplot das concentrações de mercúrio total, distribuídos no perfil de profundidade mostra a tendência das concentrações de mercúrio total serem maiores nos horizontes superficiais orgânicos (**Figura 34**). Enquanto que as concentrações do metilmercúrio não variou no perfil de profundidade e também não foram encontradas diferenças significativas nas comparações realizadas nos fatores e entre os fatores.

A variabilidade das concentrações do mercúrio total nos períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011 foi significativa, conforme ilustra a **Figura 35**. As concentrações do metilmercúrio, apesar de não transparecer no boxplot, a diferença encontrada em suas concentrações foi significativa entre os períodos hidrológicos.

A variabilidade das concentrações do mercúrio total nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira foi significativa, conforme ilustra a **Figura 36**. As concentrações do metilmercúrio, apesar de não transparecer no boxplot, a diferença encontrada em suas concentrações foi significativa entre as estações de amostragem.



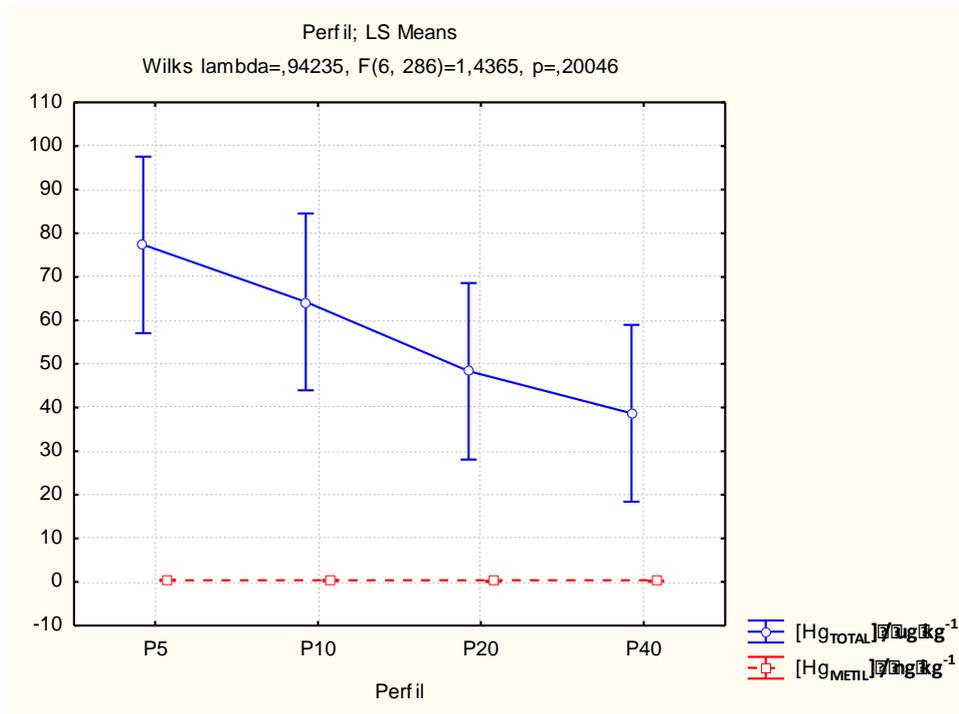


Figura 34. Boxplot das concentrações do mercúrio total e metilmercúrio nos perfis de sedimento coletados nos tributários e calha do rio Madeira.

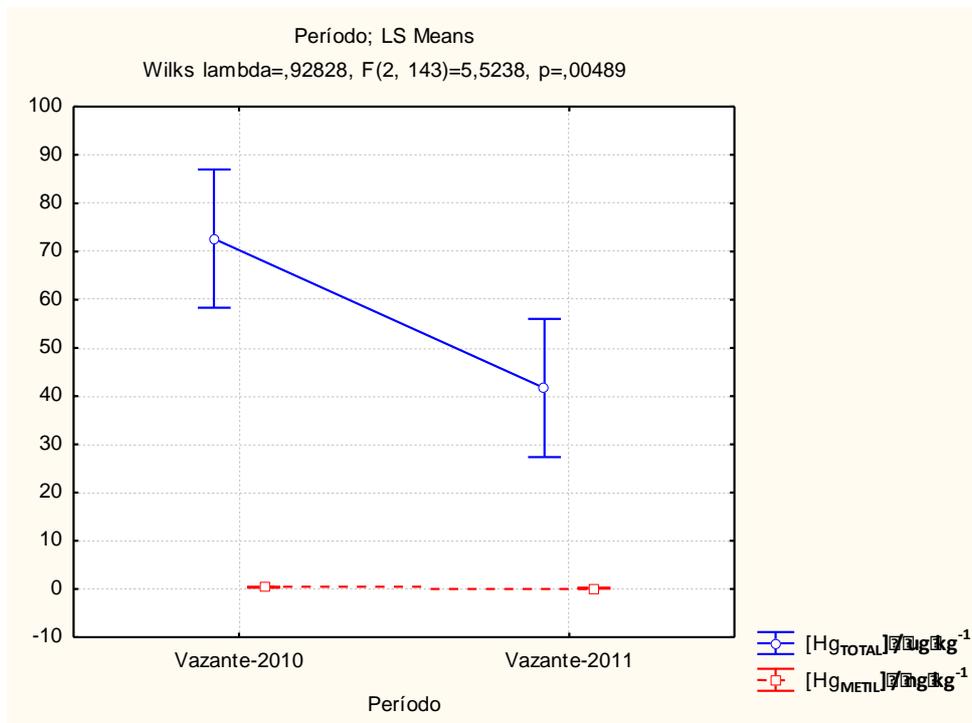


Figura 35. Boxplot das concentrações do mercúrio total e metilmercúrio no sedimento coletados nos tributários e calha do rio Madeira no fator período hidrológico de vazante de 2010 e vazante de 2011.

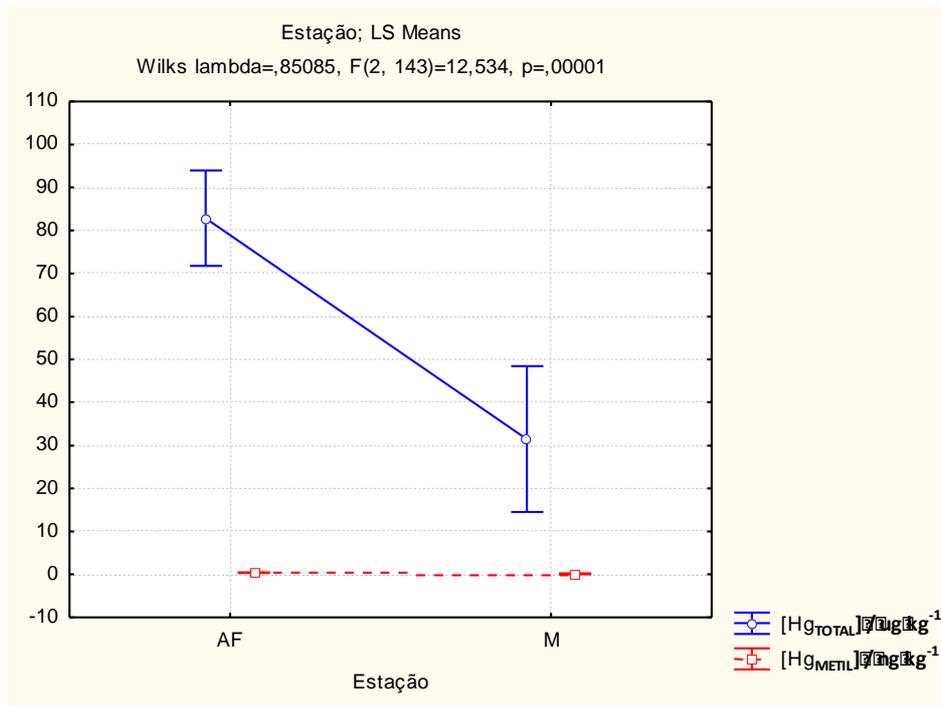


Figura 36. Boxplot das concentrações do mercúrio total e metilmercúrio no sedimento coletados nos tributários e calha do rio Madeira no fator estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira.

As análises de probabilidades a posteriori realizada para a avaliação das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio, no fator perfil (5, 10, 20 e 40 cm) do sedimento de fundo, apresentou probabilidades significativas entre os níveis 5, 20 e 40 cm (**Tabela 100**). As diferenças entre as concentrações são mais significativas entre os extremos.

Tabela 100. Análises de Probabilidades a posteriori para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no sedimento nos quatro níveis de profundidade (5, 10 20 e 40 cm) coletados nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira, durante os período hidrológico de vazante de 2011 (MS = 3532,3, df = 144,00).

		Perfil	{1}	{2}	{3}	{4}	
			Hg _T	1	P5		0,234386
	Hg _T	2	P10	0,234386		0,103811	0,012593
	Hg _T	3	P20	0,005302	0,103811		0,375095
	Hg _T	4	P40	0,000284	0,012593	0,375095	
	MeHg	1	P5		0,287471	0,006186	0,001245
	MeHg	2	P10	0,287471		0,089222	0,027566
	MeHg	3	P20	0,006186	0,089222		0,607375
	MeHg	4	P40	0,001245	0,027566	0,607375	

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

As análises de grupos homogêneos foram significativas para o mercúrio total e metilmercúrio, com a formação de três grupos, o primeiro grupo foi formado com os níveis de profundidade de 20 e 40 cm para as concentrações das duas espécies de mercúrio. O segundo grupo o nível de profundidade de 10 cm faz grupo com o nível de profundidade de 20 cm, tendo compartilhado com o nível de profundidade de 40 cm. O terceiro grupo é o formado pelos níveis superiores do sedimento (5 cm), no qual as concentrações das espécies de mercúrio foram mais elevadas (**Tabela 101**). A análise de probabilidade a posteriori para o fator período hidrológico mostrou diferença significativa nas concentrações do mercúrio total e metilmercúrio nos níveis de profundidade dos sedimentos coletados nas estações nos tributários e calha do rio Madeira (**Tabela 102**).

Tabela 101. Análises a posteriori de grupos homogêneos para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no sedimento nos quatro níveis de profundidade (5, 10 20 e 40 cm) coletados nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira, durante os períodos hidrológicos de vazante de 2011 ($\alpha = 0,05$; MS = 3532,3, df = 144,00).

		Perfil	Concentração	1	2	3
Hg_T	4	P40	43,72080	****		
	3	P20	55,54502	****	****	
	2	P10	77,30043		****	****
	1	P5	93,17021			****
MeHg	4	P40	0,174019	****		
	3	P20	0,221658	****	****	
	2	P10	0,379953		****	****
	1	P5	0,478723			****

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

Tabela 102. Análises de probabilidade a posteriori para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no sedimento nos quatro níveis de profundidade (5, 10 20 e 40 cm) coletados nos tributários e na calha do rio Madeira, durante os períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011 (MS = 3532,3, df = 144,00).

		Período	{1}	{2}
Hg_T	1	Vazante-2010		0,000220
	2	Vazante-2011	0,000220	
MeHg	1	Vazante-2010		0,000023
	2	Vazante-2011	0,000023	

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

As análises de grupos homogêneos foram significativas para o mercúrio total e metilmercúrio, com a formação de dois grupos, sendo o primeiro grupo formado com as concentrações do período hidrológico de vazante de 2010 para as duas espécies de mercúrio e o segundo grupo formado com as concentrações de mercúrio no período hidrológico de vazante de 2011 (**Tabela 103**).

Tabela 103. Análises a posteriori de grupos homogêneos para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no sedimento coletados nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira, durante os períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011 ($\alpha = 0,05$; $MS = 3532,3$, $df = 144,00$).

		Período	Concentração	1	2
Hg_T	2	Vazante-2011	49,62363	****	
	1	Vazante-2010	85,24461		****
MeHg	2	Vazante-2011	0,170499	****	
	1	Vazante-2010	0,456678		****

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

A análise de probabilidade a posteriori para o fator estação de amostragem mostrou diferença significativa nas concentrações do mercúrio total e metilmercúrio nos níveis de profundidade do sedimento nos tributários e na calha do rio Madeira e Afluentes (**Tabela 104**). As análises de grupos homogêneos foram significativas para o mercúrio total e metilmercúrio com a formação de dois grupos, sendo o primeiro grupo formado com as concentrações das estações de amostragem na calha do rio Madeira e o segundo grupo formado com as estações de amostragem nos tributários do rio Madeira (**Tabela 105**).

Tabela 104. Análises de probabilidade a posteriori para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no sedimento nos níveis de profundidade coletados nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira, durante os períodos hidrológicos de vazante de 2011 ($MS = 3532,3$, $df = 144,00$).

		Estação	{1}	{2}
Hg_T	1	AF		0,000002
	2	M	0,000002	
MeHg	1	AF		0,000285
	2	M	0,000285	

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

Tabela 105. Análises a posteriori de grupos homogêneos para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no sedimento coletados nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira, durante os períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011 ($\alpha = 0,05$; MS = 3532,3, df = 144,00).

		Estação	Concentração	1	2
Hg_T	2	M	31,46405	****	
	1	AF	82,84986		****
MeHg	2	M	0,127719	****	
	1	AF	0,393247		****

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

As análises de probabilidades a posteriori para a comparação entre os fatores perfil (5, 10, 20 e 40 cm) e o fator período hidrológico de vazante de 2010 e vazante de 2011 mostrou diferença significativa, nas concentrações do mercúrio total e do metilmercúrio (**Tabela 106**).

As análises de grupos homogêneos para os fatores nível do perfil de profundidade e os períodos hidrológicos foram significativas para o mercúrio total com a formação de 4 grupos, enquanto que o metilmercúrio formou três grupos (**Tabela 107**).

As análises de probabilidades a posteriori para a comparação de mercúrio total e metilmercúrio entre os fatores perfil de profundidade (5, 10, 20 e 40 cm) e o fator estação de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira mostraram diferença significativa, nas concentrações do mercúrio total e metilmercúrio (**Tabela 108**).

As análises de grupos homogêneos para os fatores nível do perfil de profundidade e as estações de amostragem nos tributários e na calha do rio Madeira no período hidrológico de vazante de 2011 foram significativas para o mercúrio total com a formação de 3 grupos, enquanto que para o metilmercúrio também ocorreu a formação de três grupos (**Tabela 109**).

Tabela 106. Análises de probabilidade a posteriori para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no sedimento nos níveis de profundidade (5, 10, 20 e 40 cm) coletados nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira, durante os períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011. (MS = 3532,3, df = 144,00).

	Perfil	Período	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	
Hg_T	1	P5	Vazante-2010		0,007445	0,261937	0,00131	0,00906	0,00007	0,00105	0,00001
	2	P5	Vazante-2011	0,007445		0,114374	0,57462	0,94473	0,17640	0,52969	0,05716
	3	P10	Vazante-2010	0,261937	0,114374		0,03314	0,13094	0,00374	0,02808	0,00061
	4	P10	Vazante-2011	0,001314	0,574628	0,033145		0,52840	0,42730	0,94630	0,17757
	5	P20	Vazante-2010	0,009069	0,944737	0,130948	0,52840		0,15544	0,48541	0,04883
	6	P20	Vazante-2011	0,000076	0,176400	0,003743	0,42730	0,15544		0,46743	0,57714
	7	P40	Vazante-2010	0,001050	0,529697	0,028089	0,94630	0,48541	0,46743		0,20001
	8	P40	Vazante-2011	0,000008	0,057164	0,000607	0,17757	0,04883	0,57714	0,20001	
MeHg	1	P5	Vazante-2010		0,001771	0,295546	0,00037	0,00617	0,00002	0,00160	0,00001
	2	P5	Vazante-2011	0,001771		0,034381	0,64619	0,68490	0,25182	0,97551	0,15162
	3	P10	Vazante-2010	0,295546	0,034381		0,01041	0,08590	0,00127	0,03191	0,00047
	4	P10	Vazante-2011	0,000372	0,646198	0,010412		0,38759	0,49096	0,66837	0,32802
	5	P20	Vazante-2010	0,006178	0,684904	0,085903	0,38759		0,12162	0,66251	0,06664
	6	P20	Vazante-2011	0,000027	0,251822	0,001275	0,49096	0,12162		0,26466	0,77154
	7	P40	Vazante-2010	0,001603	0,975515	0,031909	0,66836	0,66251	0,26465		0,16048
	8	P40	Vazante-2011	0,000008	0,151625	0,000473	0,32801	0,06664	0,77154	0,16048	

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

Tabela 107. Análises a posteriori de grupo homogêneos para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no sedimento nos níveis de profundidade (5, 10, 20 e 40 cm) coletados nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira, durante os períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011. ($\alpha = 0,05$; MS = 3532,3, df = 144,00).

		Perfil	Período	Concentração	1	2	3	4
Hg_T	8	P40	Vazante-2011	31,6225	****			
	6	P20	Vazante-2011	42,1255	****	****		
	7	P40	Vazante-2010	55,8191	****	****		
	4	P10	Vazante-2011	57,0870	****	****		
	2	P5	Vazante-2011	67,6595	****	****	****	
	5	P20	Vazante-2010	68,9645		****	****	
	3	P10	Vazante-2010	97,5139			****	****
	1	P5	Vazante-2010	118,6809				****
MeHg	8	P40	Vazante-2011	0,081735	****			
	6	P20	Vazante-2011	0,119795	****			
	4	P10	Vazante-2011	0,210140	****			
	7	P40	Vazante-2010	0,266303	****			
	2	P5	Vazante-2011	0,270325	****			
	5	P20	Vazante-2010	0,323522	****	****		
	3	P10	Vazante-2010	0,549767		****	****	
	1	P5	Vazante-2010	0,687121			****	

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

Tabela 108. Análises de probabilidade a posteriori para avaliação das concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no sedimento entre os fatores perfil de profundidade (5, 10, 20 e 40 cm) e estações de coletados nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira, durante no período hidrológico de vazante de 2011 (MS = 3532,3, df = 144,00).

		Perfil	Estação	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}
Hg_T	1	P5	AF		0,00017	0,21044	0,00005	0,00181	0,00004	0,00006	0,00001
	2	P5	M	0,0001		0,00458	0,79629	0,16585	0,75385	0,51528	0,63311
	3	P10	AF	0,2104	0,00458		0,00176	0,05680	0,00142	0,00463	0,00074
	4	P10	M	0,0001	0,79629	0,00177		0,09153	0,95579	0,33953	0,82638
	5	P20	AF	0,0018	0,16586	0,05680	0,09153		0,07978	0,34071	0,05207
	6	P20	M	0,0001	0,75386	0,00143	0,95579	0,07978		0,30757	0,86979
	7	P40	AF	0,0001	0,51528	0,00463	0,33959	0,34071	0,30757		0,22511
	8	P40	M	0,0001	0,63313	0,00074	0,82638	0,05207	0,86979	0,22511	
MeHg	1	P5	AF		0,00183	0,24472	0,00096	0,00212	0,00056	0,00028	0,00047
	2	P5	M	0,0018		0,02462	0,86916	0,45281	0,76863	0,76645	0,73644
	3	P10	AF	0,2447	0,02462		0,01482	0,05190	0,00973	0,01188	0,00845
	4	P10	M	0,0009	0,86916	0,01482		0,34470	0,89698	0,62288	0,86352
	5	P20	AF	0,0021	0,45281	0,05190	0,34470		0,27251	0,55767	0,25132
	6	P20	M	0,0005	0,76863	0,00973	0,89698	0,27251		0,51911	0,96616
	7	P40	AF	0,0002	0,76646	0,01188	0,62288	0,55767	0,51911		0,48719
	8	P40	M	0,0004	0,73644	0,00845	0,86352	0,25132	0,96616	0,48719	

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

Tabela 109. Análises a posteriori de grupos homogêneos para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no sedimento nos fatores perfil de profundidade (5, 10, 20 e 40 cm) por estações de coletados nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira, durante no período hidrológico de vazante de 2011 ($\alpha = 0,05$; MS = 3532,3, df = 144,00).

		Perfil	Estação	Concentração	1	2	3
Hg _T	8	P40	M	26,2333	****		
	6	P20	M	30,2177	****		
	4	P10	M	31,5650	****		
	2	P5	M	37,8402	****		
	7	P40	AF	51,2154	****		
	5	P20	AF	66,3996	****	****	
	3	P10	AF	96,9013		****	****
	1	P5	AF	116,8831			****
MeHg	8	P40	M	0,104414	****		
	6	P20	M	0,111591	****		
	4	P10	M	0,133499	****		
	2	P5	M	0,161371	****		
	7	P40	AF	0,203850	****		
	5	P20	AF	0,268830	****	****	
	3	P10	AF	0,485577		****	****
	1	P5	AF	0,614731			****

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

As análises de probabilidades a posteriori para a comparação entre os fatores períodos hidrológico de vazante de 2010 e vazante de 2011 e o fator estação de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira mostraram diferença significativa, nas concentrações do mercúrio total e metilmercúrio (**Tabela 110**). As análises de grupos homogêneos para os fatores período hidrológico e as estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira foram significativas para o mercúrio total com a formação de 3 grupos e para o metilmercúrio a formação de dois grupos (**Tabela 111**).

Tabela 110. Análises de probabilidade a posteriori para avaliação das concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no sedimento entre o fatores perfil de profundidade (5, 10, 20 e 40 cm) e estações de coletados nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira, durante no períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011 (MS = 3532,3, df = 144,00).

		Período	Estação	{1}	{2}	{3}	{4}
Hg_T	1	Vazante-2010	AF		0,000026	0,000220	0,000000
	2	Vazante-2010	M	0,000026		0,161523	0,260499
	3	Vazante-2011	AF	0,000220	0,161523		0,006846
	4	Vazante-2011	M	0,000000	0,260499	0,006846	
MeHg	1	Vazante-2010	AF		0,000110	0,000006	0,000002
	2	Vazante-2010	M	0,000110		0,739067	0,422858
	3	Vazante-2011	AF	0,000006	0,739067		0,200939
	4	Vazante-2011	M	0,000002	0,422858	0,200939	

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

Tabela 111. Análises a posteriori de grupos homogêneos para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no sedimento nos períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011 por estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira ($\alpha = 0,05$; MS = 3532,3, df = 144,00).

		Período	Estação	Concentração	1	2	3
Hg_T	4	Vazante-2011	M	21,7733	****		
	2	Vazante-2010	M	41,1548	****	****	
	3	Vazante-2011	AF	61,5595		****	
	1	Vazante-2010	AF	104,1403			****
MeHg	4	Vazante-2011	M	0,079721	****		
	2	Vazante-2010	M	0,175717	****		
	3	Vazante-2011	AF	0,209404	****		
	1	Vazante-2010	AF	0,577090		****	

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

A variabilidade das concentrações de mercúrio total no material particulado suspenso foi significativa entre os períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011 (**Tabela 112** e **Figura 37**), entre as estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha do rio Madeira (**Figura 38**) e entre os fatores período hidrológico de vazante de 2010 e vazante de 2011 e as estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira (**Tabela 113** e **Figura 39**).

Tabela 112. Concentrações médias, desvios padrões (DP) e erro padronizado das médias das concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) na matriz material particulado suspenso nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira durante os períodos hidrológicos de vazante 2010 e vazante de 2011.

	Nível	Nível	N	Média Hg _T	DP Hg _T	Erro padrão Hg _T
Total			64	74,8968	64,61849	8,07731
Período	Vazante-2010		32	27,8207	13,72832	2,42685
Período	Vazante 2011		32	121,9728	61,00856	10,78489
Estação	AF		28	52,1091	56,52935	10,68304
Estação	M		36	92,6206	65,66815	10,94469
Período*Estação	Vazante-2010	AF	14	23,1867	19,39093	5,18244
Período*Estação	Vazante-2010	M	18	31,4250	4,96987	1,17141
Período*Estação	Vazante 2011	AF	14	81,0314	66,77755	17,84705
Período*Estação	Vazante 2011	M	18	153,8161	30,38437	7,16166

Hg_T – mercúrio total

Tabela 113. Análises de variâncias multivariadas (ANOVA/MAMOVA), para comparação das concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) na matriz material particulado suspenso nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira durante os períodos hidrológicos de vazante 2010 e vazante de 2011, nos fatores e entre fatores.

	SS	Grau	MS	F	p
Intercepto	329910,0	1	329910,0	250,6511	0,000000
Período	127909,5	1	127909,5	97,1800	0,000000
Estação	25848,6	1	25848,6	19,6386	0,000040
Período*Estação	16404,6	1	16404,6	12,4635	0,000804

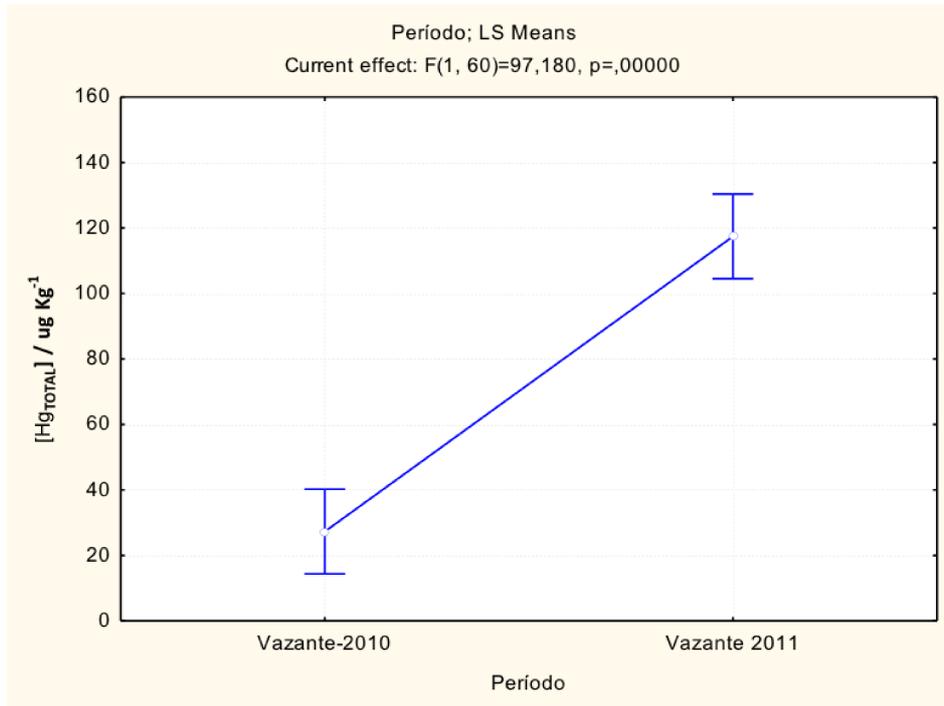


Figura 37. Boxplot das concentrações de mercúrio total entre os períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011 coletados nos tributários e calha do rio Madeira.

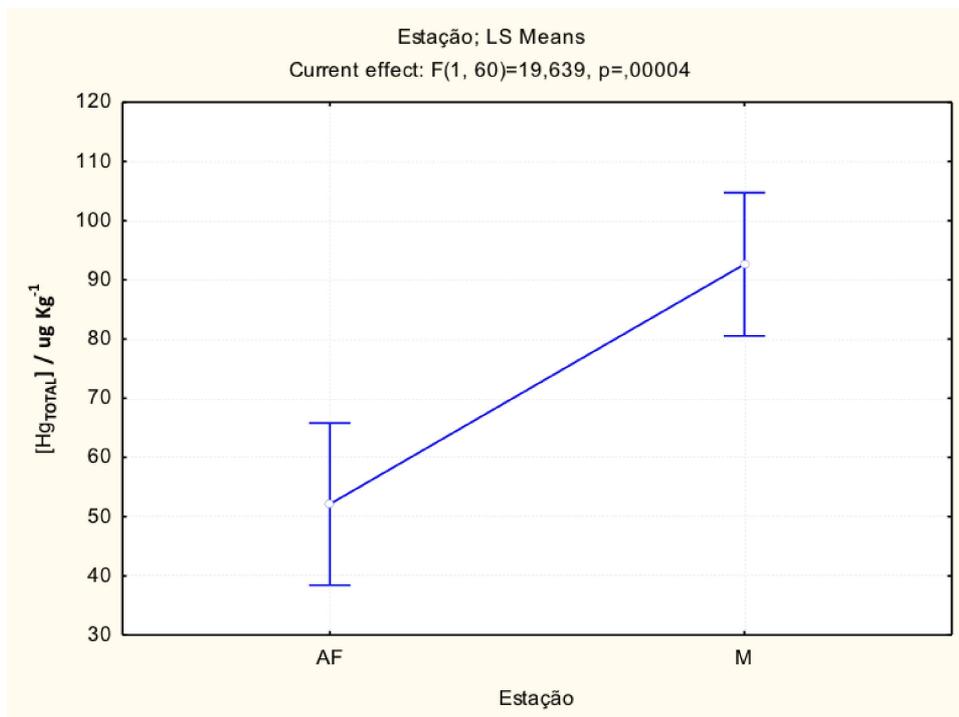


Figura 38 Boxplot das concentrações de mercúrio total distribuídos nas estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira.



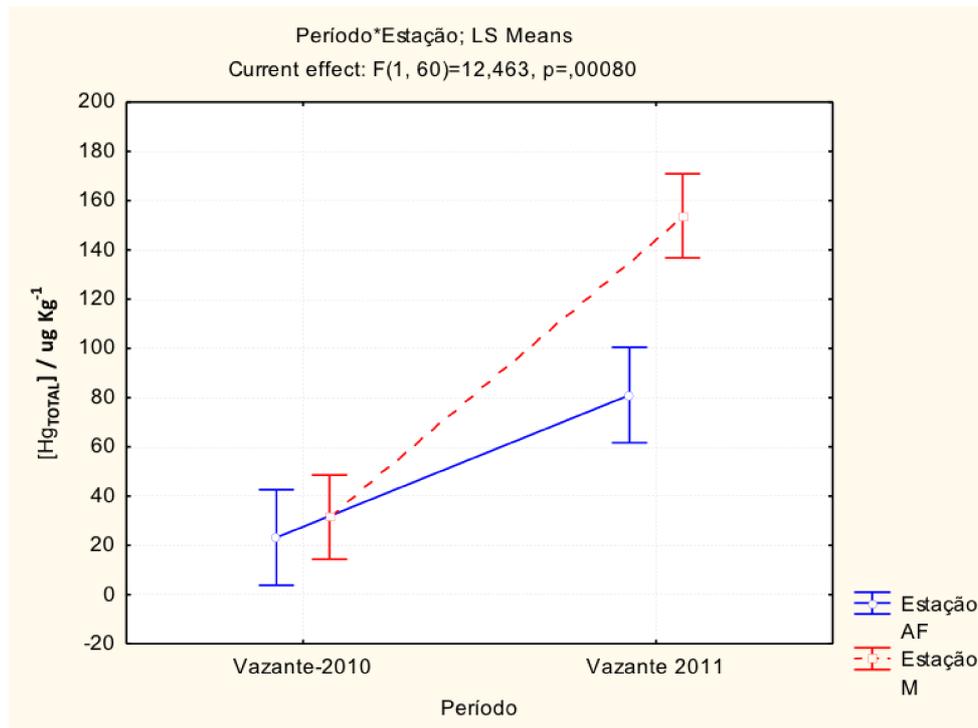


Figura 39. Boxplot das concentrações de mercúrio total distribuídos entre as estações de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira e os períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011.

A análise de probabilidades a posteriori para as concentrações do mercúrio total no material particulado em suspensão, no fator período hidrológico de vazante 2010 e vazante de 2011 foram significativas. A análise de grupos homogêneos para a avaliação das concentrações do mercúrio total no material particulado suspenso possibilitou a separação dos períodos hidrológicos em dois grupos significativos a nível de 0,05 (**Tabela 114**). A análise de probabilidades a posteriori para as concentrações do mercúrio total no material particulado suspenso no fator estações de amostragem nos tributários e na calha do rio Madeira indicou diferenças significativas (**Tabela 115**). A análise de grupos homogêneos para as concentrações do mercúrio total no material particulado suspenso no fator estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira mostrou a formação de dois grupos significativos a nível de 0,05 (**Tabela 116**). A análise de probabilidades para as concentrações do mercúrio total no material particulado suspenso avaliadas entre os fatores período hidrológico de vazante de 2010 e vazante de 2011 e estações de amostragem mostrou as probabilidades significativas em todas as combinações exceto nas estações de amostragem na calha do rio Madeira no período hidrológico de vazante de 2010 (**Tabela 117**).

Tabela 114. Análises de grupos homogêneos para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) na matriz material particulado suspenso nos tributários e na calha do rio Madeira durante os períodos hidrológicos de vazante 2010 e vazante de 2011 ($\alpha = ,05000$; $MS = 1316,2$, $df = 60,000$).

	Período	Hg _T	1	2
1	Vazante-2010	27,8207	****	
2	Vazante 2011	121,9728		****

Hg_T – mercúrio total

Tabela 115. Análises de probabilidade a posteriore para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) na matriz material particulado suspenso no fator estação de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira durante os períodos hidrológicos de vazante 2011 ($MS = 1316,2$, $df = 60,000$).

	Estação	{1}	{2}
1	AF		0,000040
2	M	0,000040	

Tabela 116. Análises de grupos homogêneos para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) na matriz material particulado suspenso no fator estação de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira durante os períodos hidrológicos de vazante 2011 ($\alpha = ,05000$; $MS = 1316,2$, $df = 60,000$).

	Estação	Hg _T	1	2
1	AF	52,10907	****	
2	M	92,62056		****

Hg_T – mercúrio total

Tabela 117. Análises de probabilidade posteriore para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) na matriz material particulado suspenso nos fatores estação de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira e períodos hidrológicos de vazante 2011 ($MS = 1316,2$, $df = 60,000$).

	Período	Estação	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Vazante-2010	AF		0,526396	0,000084	0,000000
2	Vazante-2010	M	0,526396		0,000302	0,000000
3	Vazante 2011	AF	0,000084	0,000302		0,000001
4	Vazante 2011	M	0,000000	0,000000	0,000001	

A análise de grupos homogêneos para as concentrações do mercúrio total no material particulado suspenso foi significativa com a formação de 3 grupos (**Tabela 118**).

Tabela 118. Análises de grupos homogêneos para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) na matriz material particulado suspenso entre os fatores estação de amostragem nos tributários (AF) e na calha (M) do rio Madeira e períodos hidrológicos de vazante 2011 ($\alpha = ,05000$; MS = 1316,2, df = 60,000).

	Período	Estação	Hg _r	1	2	3
1	Vazante-2010	AF	23,1867	****		
2	Vazante-2010	M	31,4250	****		
3	Vazante 2011	AF	81,0314		****	
4	Vazante 2011	M	153,8161			****

As análises de probabilidade a posteriori para os períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011 foram significativas e indicam uma maior aporte em 2010. A análise de grupos homogêneos, mostrou a separação significativa dos períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante 2011. Esta diferença encontrada nos períodos hidrológicos de vazante, em anos diferentes, mostra a dinâmica das águas do rio Madeira formando dois grupos corroborados pela análise de grupos homogêneos. O transporte de material particulado suspenso pela calha do rio Madeira é extremamente maior quando comparado aos seus afluentes, sendo também as concentrações de mercúrio total maiores nas estações na calha do rio Madeira.

A análise de grupos homogêneos mostrou a formação de três grupos significativos, sendo o primeiro grupo formado pelas estações de amostragem nos tributários e as estações de amostragem na calha do rio Madeira ambas no período hidrológico de vazante de 2010, o segundo grupo formado pela estação dos tributários no rio Madeira no período hidrológico de vazante de 2011 e o terceiro grupo formado pelas estações de amostragem na calha do rio Madeira no período hidrológico de vazante de 2011.

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) foi aplicada para averiguar as diferenças nas concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo entre os períodos hidrológicos de seca de 2010 e seca de 2011 considerando as estações de amostragem na calha e nos tributários do rio Madeira. A **Tabela 119** mostram as médias das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo, seus desvios padrões e erros padronizados das médias para

os períodos hidrológicos de seca de 2010 e seca de 2011 na estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira e fator períodos versus fator estações.

Tabela 119. Concentrações médias (ng L^{-1}), desvios padrões e erro padronizados das médias de mercúrio total (Hg_T) e mercúrio reativo (Hg_{REAT}), dispostas por períodos hidrológicos (seca de 2010 e 2011) e estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira.

	Nível	Nível	N	Média Hg_T	DP ^a Hg_T	Erro ^b Hg_T	Média Hg_{REAT}	DP ^a Hg_{REAT}	Erro ^b Hg_{REAT}
Total			66	12,212	6,58	0,810	4,829	3,76	0,463
Período	Seca2010		33	8,656	5,32	0,926	2,087	1,44	0,251
Período	Seca 2011		33	15,769	5,80	1,010	7,571	3,34	0,582
Estação	Afluentes		30	12,235	8,15	1,488	5,456	4,68	0,855
Estação	Madeira		36	12,194	5,05	0,841	4,307	2,74	0,456
Período* Estação	Seca 2010	AF	15	9,197	7,30	1,885	2,233	1,73	0,447
Período* Estação	Seca 2010	M	18	8,205	2,99	0,705	1,966	1,19	0,280
Período* Estação	Seca 2011	AF	15	15,272	8,03	2,075	8,679	4,49	1,160
Período* Estação	Seca 2011	M	18	16,183	3,13	0,738	6,648	1,55	0,366

a – Desvio padrão; b – Erro padronizados

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) (**Tabela 120**) foi realizada para averiguar as hipóteses nulas e seus níveis de significância das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo na água entre os períodos hidrológicos (seca de 2010 e seca de 2011) e entre as estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira. A MANOVA permite checar a existência das diferenças entre os fatores (períodos hidrológicos e estações de amostragem), caso as hipóteses nulas entre os níveis categóricos sejam rejeitadas. Este teste mostrou haver diferenças significativas nos fatores ou níveis categóricos e entre os fatores. O valor de alfa adotado para o nível de significância foi de 0,05 para o teste de Wilks. Neste sentido a hipótese nula, para os níveis categóricos individualizados e entre os níveis categóricos foram rejeitadas.

Tabela 120. Análise de Variâncias Multivariado comparando as concentrações de mercúrio total (Hg_T) e mercúrio reativo (Hg_{REAT}) nos períodos hidrológicos (seca de 2010 e 2011), estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira e períodos hidrológicos versus estações de amostragem.

	Test	Valor	F	Effect	Erro	p
Intercepto	Wilks	0,154523	166,8816	2	61	0,000000
Período	Wilks	0,430948	40,2742	2	61	0,000000
Estação	Wilks	0,913007	2,9061	2	61	0,062295
Período*Estação	Wilks	0,903572	3,2549	2	61	0,045380

O teste univariado mostra o nível de significância entre as interações dos espécimes mercúrio total e mercúrio reativo, com os níveis categóricos ou fatores (períodos hidrológicos e estações de amostragem) e entre estes fatores (**Tabela 121**), sendo possível inferir de forma geral que apenas o mercúrio reativo apresentou diferença significativa no fator período hidrológico, e o mercúrio total foi significativo nos fatores período hidrológicos e estações de amostragem. O fator período versus estação não apresentou diferença significativa, sendo aceita a hipótese nula.

Tabela 121. Análise univariada de variâncias das concentrações ($ng\ L^{-1}$) de mercúrio total (Hg_T) e mercúrio reativo (Hg_{REAT}) nos períodos hidrológicos (seca de 2010 e 2011), estações de amostragem no rio Madeira e períodos hidrológicos versus estações de amostragem.

	Grau	F Hg_T	p Hg_T	F Hg_{REAT}	p Hg_{REAT}
Intercepto	1	307,5811	0,000000	248,1703	0,000000
Período	1	25,4448	0,000004	80,6092	0,000000
Estação	1	0,0009	0,976820	3,4341	0,068623
Período*Estação	1	0,4668	0,496991	2,0250	0,159743

As relações das concentrações no fator período hidrológico representadas pelo boxplot da análise de variâncias multivariadas mostram uma diferença significativa, perceptível ao nível de probabilidade de 0,005 (**Figura 40**). A relação entre as estações de amostragem nos tributários e na calha do rio Madeira no boxplot indica variabilidade (**Figura 41**), foi considerado como diferença significativa nas concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo (valor da probabilidade de 0,06), entretanto quando analisamos as concentrações individualmente pelo teste univariado, apenas o mercúrio reativo apresentou diferença significativa (valor da probabilidade de 0,06).

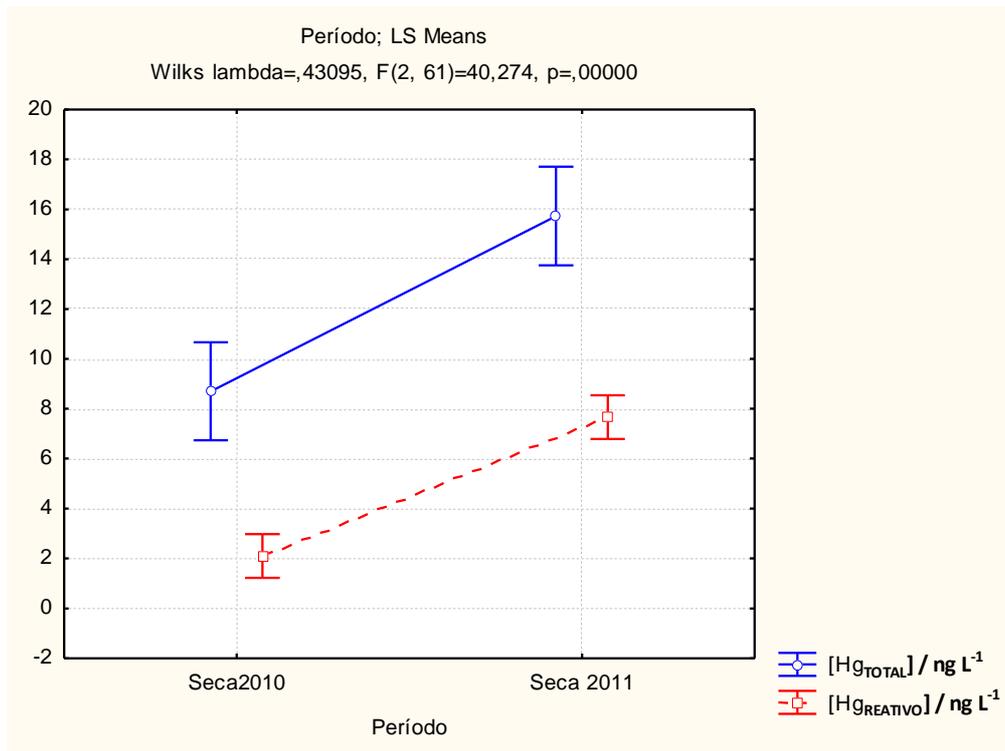


Figura 40 - Boxplot das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo da matriz água para o período hidrológico de seca de 2010 e seca de 2011.

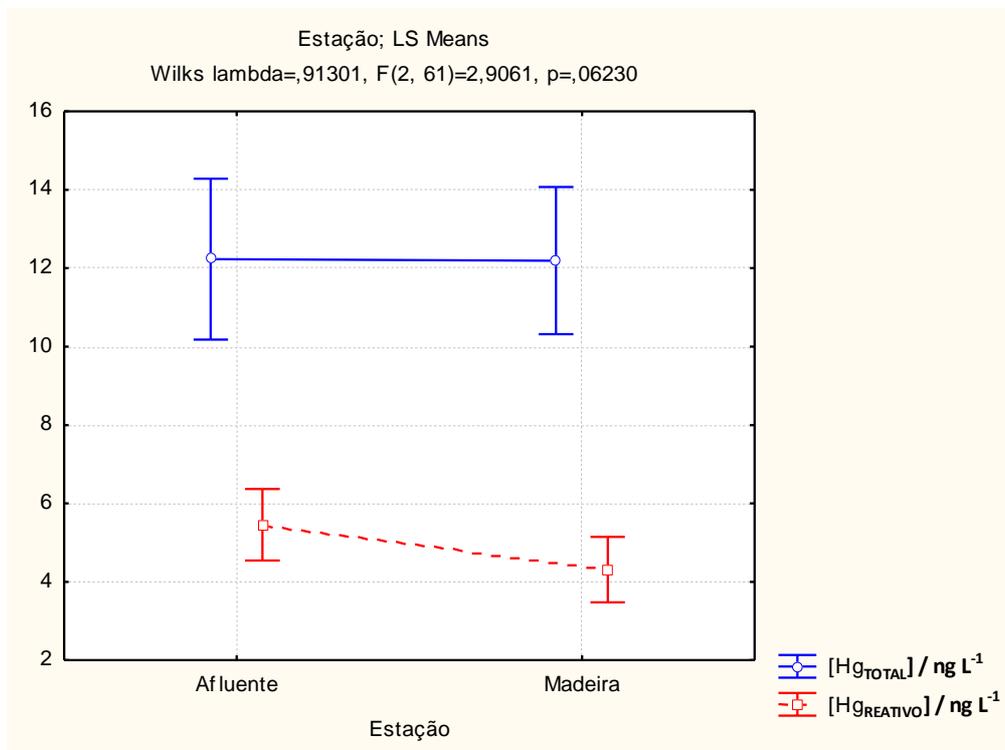


Figura 41 - Boxplot das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo da matriz água para as estações de amostragem nos tributários (Afluente) e calha (Madeira) do rio Madeira.

A relação entre os fatores período hidrológicos e estação de amostragem foi significativa considerando à probabilidade 0,05 pelo teste multivariado (ANOVA), sendo possível verificar maior variação do mercúrio total e do mercúrio reativo nas estações de amostragem nos tributários do rio Madeira quando comparadas com as estações de amostragem na calha do Rio Madeira, sendo maior a contribuição das concentrações de mercúrio reativo (**Figura 42**).

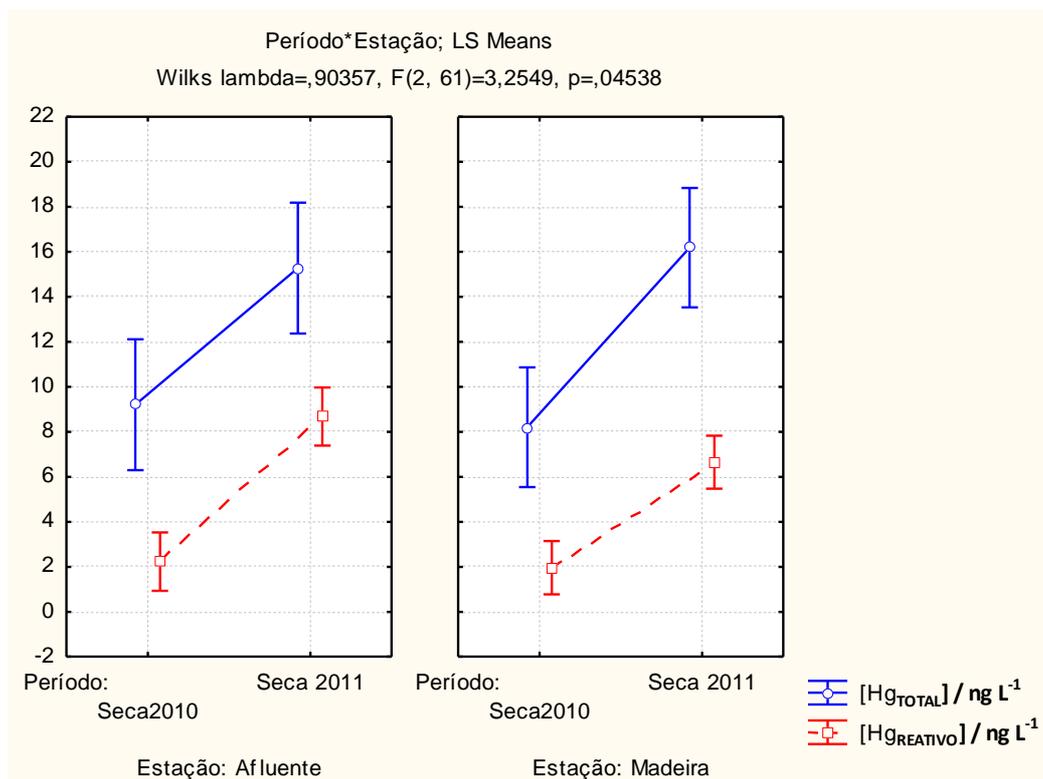


Figura 42 - Boxplot das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo da matriz água para comparação entre os fatores períodos hidrológicos e estações de amostragem nos tributários (Afluentes) e na calha (Madeira) do rio Madeira.

As concentrações de mercúrio total apresentou maiores concentrações nos tributários do rio Madeira com pequena diferença quando comparado com a calha do rio Madeira. As características físico-químicas, cujo carácter ácido, com pH inferior a 4, possibilita a mobilização dos metais (Hg) para água dos tributários do rio Madeira. No caso da calha do rio Madeira, cujo pH é em torno de 6,7 a mobilização é desfavorecida, podendo ocorrer até precipitação de mercúrio. As concentrações de mercúrio reativo apresentou comportamento semelhante ao mercúrio total.

A **Tabela 122** mostram as médias das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio, seus desvios padrões e erros padronizados das médias na matriz sedimento para os períodos hidrológicos de seca de 2010 e seca de 2011 na estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira e fator períodos versus fator estações.

Tabela 122. Concentrações médias ($\mu\text{g kg}^{-1}$), desvios padrões e erro padronizados das médias de mercúrio total (Hg_T) e metilmercúrio reativo (MeHg) na matriz sedimento, dispostas por períodos hidrológicos (seca de 2010 e 2011) e estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira.

	Nível	Nível	N	Média Hg_T	DP ^a Hg_T	Erro ^b Hg_T	Média MeHg	DP ^a MeHg	Erro ^b MeHg
Total			66	55,713	60,6563	7,4662	0,2665	0,3965	0,0488
Período	Seca 2010		33	40,837	41,1104	7,1564	0,2124	0,2734	0,0476
Período	Seca 2011		33	70,589	72,9852	12,7051	0,3207	0,4884	0,0850
Estação	AF		30	90,318	76,1091	13,8955	0,4797	0,5144	0,0939
Estação	M		36	26,875	12,3041	2,0506	0,0889	0,0358	0,0059
Período* Estação	Seca 2010	AF	15	64,617	51,2704	13,2379	0,3592	0,3544	0,0915
Período* Estação	Seca 2010	M	18	21,020	10,0871	2,3775	0,0900	0,0493	0,0116
Período* Estação	Seca 2011	AF	15	116,019	89,1899	23,0287	0,6003	0,6257	0,1615
Período* Estação	Seca 2011	M	18	32,731	11,7188	2,7621	0,0877	0,0142	0,0033

a – Desvio padrão; b – Erro padronizados

A análise de variância multivariada (**Tabela 123**) foi realizada para averiguar as hipóteses nulas e seus níveis de significância das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio do sedimento entre os períodos hidrológico de seca de 2010 e seca de 2011 e entre as estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira. O teste mostrou haver diferenças significativas apenas entre fator estações de amostragem. O valor de alfa adotado para o nível de significância foi de 0,05 para o teste de Wilks. As outras comparações do fator período hidrológico e entre os fatores não foram encontradas diferenças significativas, neste sentido a hipótese nula para os nível categórico período e entre os fatores foram aceitas.

Tabela 123. Análise de Variâncias Multivariado comparando as concentrações ($\mu\text{g kg}^{-1}$) de mercúrio total (Hg_T) e metilmercúrio (MeHg) na matriz sedimento nos períodos hidrológicos (seca de 2010 e 2011), estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira e períodos hidrológicos versus estações de amostragem.

	Test	Valor	F	Effect	Erro	p
Intercepto	Wilks	0,360109	54,19651	2	61	0,000000
Período	Wilks	0,850133	5,37675	2	61	0,007069
Estação	Wilks	0,697930	13,20065	2	61	0,000017
Período*Estação	Wilks	0,959353	1,29227	2	61	0,282058

O teste univariado mostra o nível de significância entre as interações dos espécimes mercúrio total e metilmercúrio, com os níveis categóricos ou fatores (estações de amostragem e períodos hidrológicos) e entre estes fatores (**Tabela 124**), sendo possível inferir de forma geral que apenas as concentrações de mercúrio total e metilmercúrio foram significativas apenas no fator estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira.

Tabela 124. Análise univariada de variâncias das concentrações ($\mu\text{g kg}^{-1}$) de mercúrio total (Hg_T) e metilmercúrio reativo (MeHg) nos períodos hidrológicos (seca de 2010 e 2011), estações de amostragem no rio Madeira e períodos hidrológicos versus estações de amostragem.

	Grau	F Hg_T	p Hg_T	F MeHg	p MeHg
Intercepto	1	91,53168	0,000000	45,04586	0,000000
Período	1	6,63652	0,012387	1,98538	0,163820
Estação	1	26,82415	0,000003	21,27774	0,000020
Período*Estação	1	2,62472	0,110287	2,06239	0,156000

As relações das concentrações de mercúrio total no fator período hidrológico representadas pelo boxplot da análise de variâncias multivariadas mostram uma diferença significativa, perceptível ao nível de probabilidade de 0,005 (**Figura 43**).

A relação entre as estações de amostragem nos tributários e na calha do rio Madeira no boxplot indica variabilidade (**Figura 44**), foi considerado como diferença significativa nas concentrações de mercúrio total e metilmercúrio.

A relação entre os fatores período hidrológicos e estação de amostragem foi significativa considerando à probabilidade 0,05 pelo teste multivariado (ANOVA), sendo possível verificar maior variação do mercúrio total e do metilmercúrio nas estações de amostragem nos tributários do rio Madeira quando comparadas com as estações de amostragem na calha do rio Madeira (**Figura 45**).

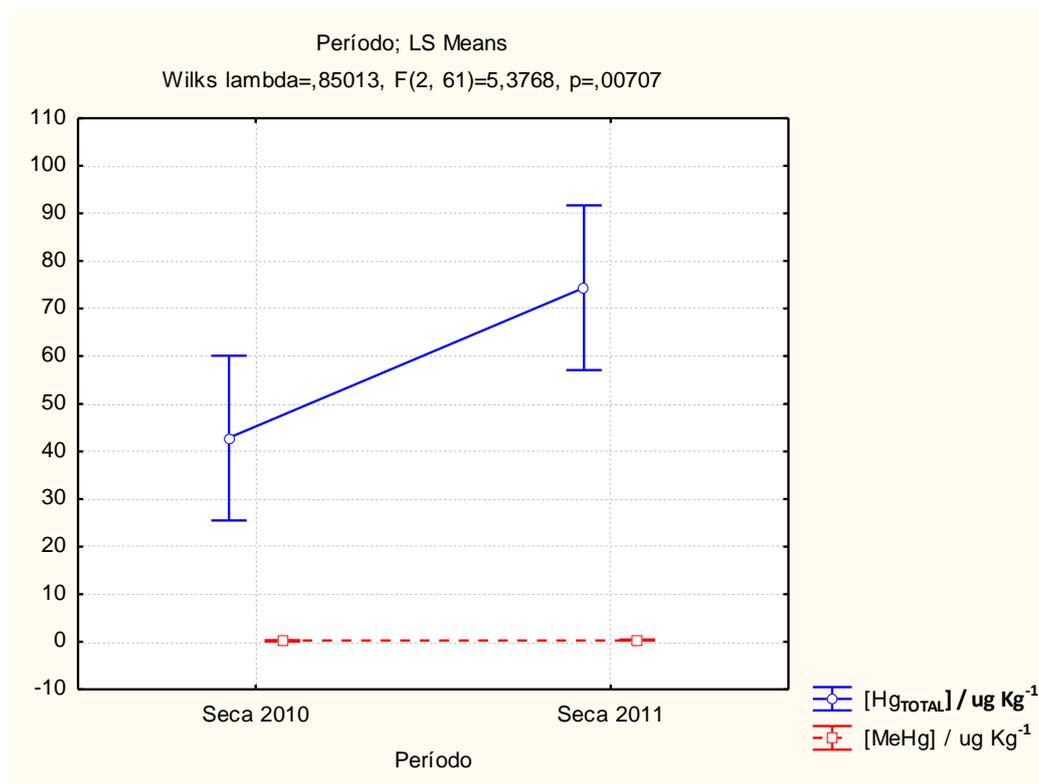


Figura 43. Boxplot das concentrações do Hg total e MeHg no sedimento em suspensão distribuídos por período.

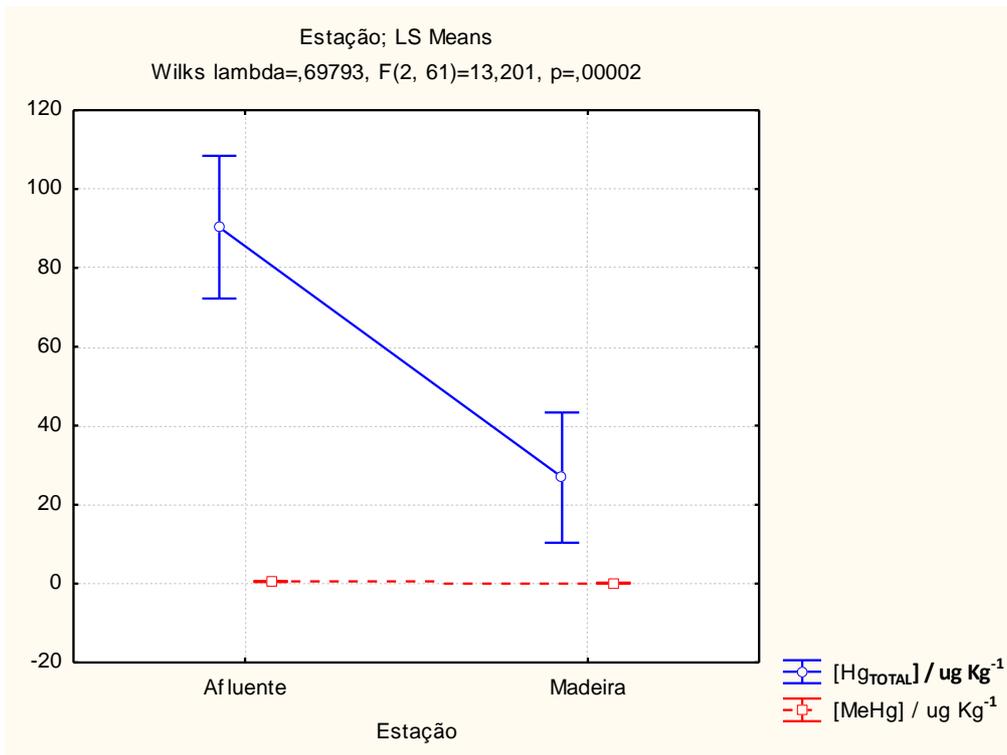


Figura 44. Boxplot das concentrações do Hg total e MeHg distribuídas no fator estações.

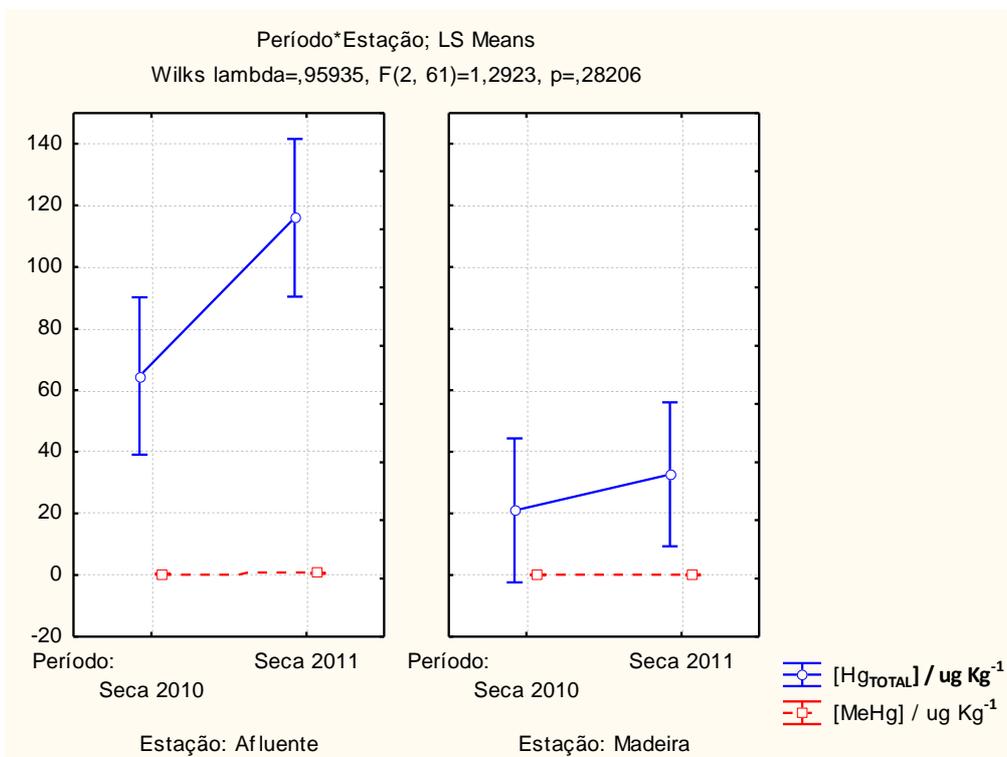


Figura 45. Boxplot das concentrações do Hg total e MeHg distribuídos entre os fatores período e estações.

A **Tabela 125** mostram as médias das concentrações de mercúrio total, seus desvios padrões e erros padronizados das médias na matriz material particulado suspenso para os períodos hidrológicos de seca de 2010 e seca de 2011 na estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira e fator períodos versus fator estações.

Tabela 125. Concentrações médias ($\mu\text{g kg}^{-1}$), desvios padrões e erro padronizados das médias de mercúrio total (Hg_T), dispostas por períodos hidrológicos (seca de 2010 e 2011) e estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira.

	Nível	Nível	N	Média Hg_T	DP Hg_T	Erro padrão Hg_T
Total			66	129,7333	133,9689	16,49043
Período	Seca 2010		33	151,0864	179,2938	31,21104
Período	Seca 2011		33	108,3803	58,0477	10,10481
Estação	Afluente		30	113,3720	152,1251	27,77412
Estação	Madeira		36	143,3678	117,2002	19,53336
Período*Estação	Seca 2010	Afluente	15	131,3880	205,0439	52,94211
Período*Estação	Seca 2010	Madeira	18	167,5017	158,9317	37,46056
Período*Estação	Seca 2011	Afluente	15	95,3560	72,1012	18,61646
Período*Estação	Seca 2011	Madeira	18	119,2339	42,2737	9,96401

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) (**Tabela 126**) foi realizada para averiguar as hipóteses nulas e seus níveis de significância das concentrações de mercúrio total do sedimento em suspensão, entre os períodos hidrológicos de seca de 2010 e seca 2011 e entre as estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira. O teste mostrou haver diferenças significativas no fator período hidrológico e no fator estações de amostragem e entre estes fatores.

Tabela 126. Análise de Variâncias Multivariado comparando as concentrações ($\mu\text{g kg}^{-1}$) de mercúrio total (Hg_T) na matriz material particulado suspenso nos períodos hidrológicos (seca de 2010 e 2011), estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira e períodos hidrológicos versus estações de amostragem.

	Grau	F	p
Intercepto	1	59,64669	0,000000
Período	1	1,60766	0,209563
Estação	1	0,81418	0,370380
Período*Estação	1	0,03387	0,854586
Erro	62		

As relações das concentrações de mercúrio total no fator período hidrológico representadas pelo boxplot da análise de variâncias multivariadas mostram uma diferença significativa, perceptível ao nível de probabilidade de 0,005 (**Figura 46**). A relação entre as estações de amostragem nos tributários e na calha do rio Madeira no boxplot indica variabilidade (**Figura 47**), foi considerado como diferença significativa nas concentrações de mercúrio total.

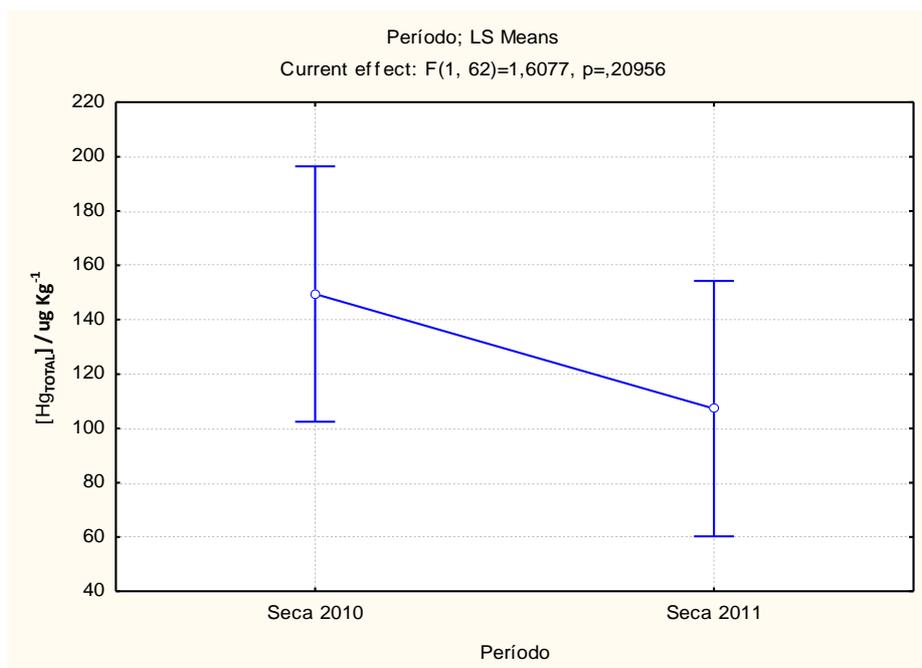


Figura 46. Boxplot do mercúrio total entre os períodos hidrológicos de seca de 2010 e 2011.

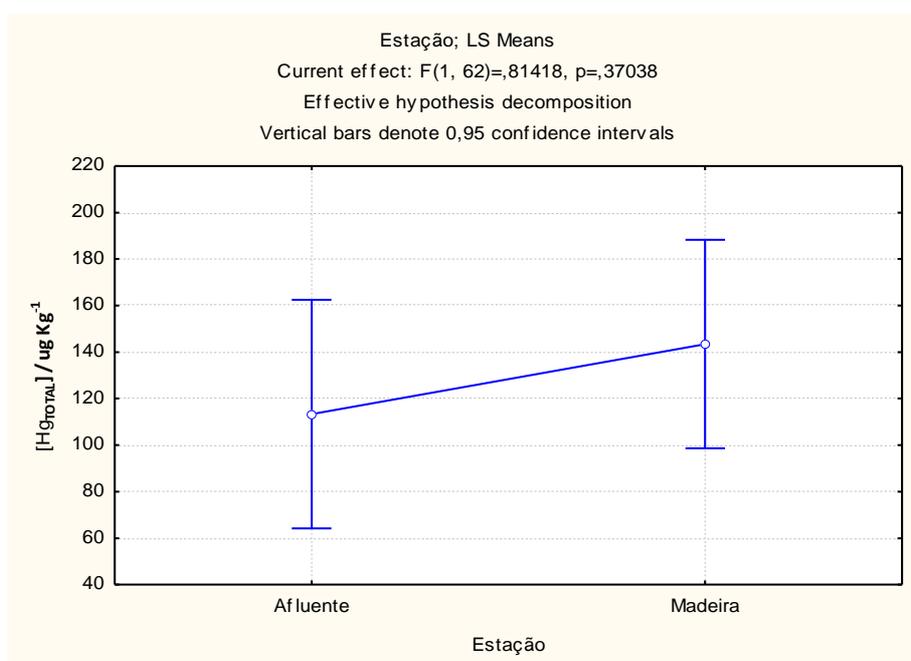


Figura 47. Boxplot do mercúrio total entre as estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira.

A relação entre os fatores período hidrológico e estação de amostragem foi significativa considerando à probabilidade 0,05 pelo teste multivariado (ANOVA), sendo possível verificar maior variação do mercúrio total nas estações de amostragem nos tributários do rio Madeira quando comparadas com as estações de amostragem na calha do rio Madeira (**Figura 48**).

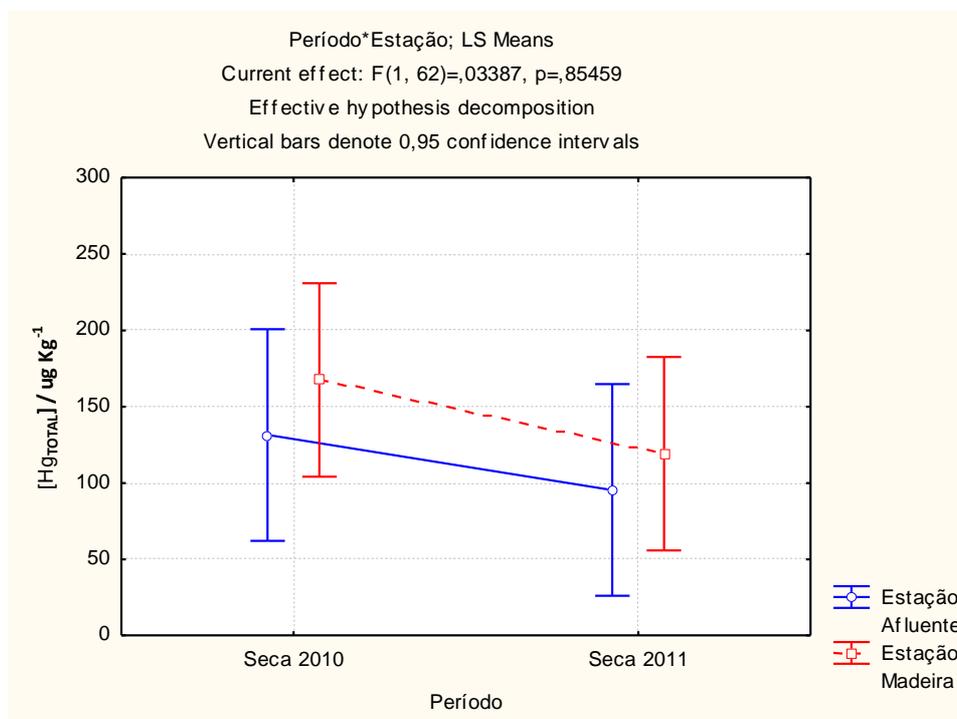


Figura 48. Boxplot mercúrio total entre os fatores período hidrológico (seca de 2010 e seca de 2011) e as estações de amostragem nos tributários (Afluentes) e calha (Madeira) do rio Madeira.

A análise integrada de todas as campanhas de campo (1^a campanha de campo à 10^a campanha de campo) apresentada na **Tabela 127**, mostra as médias das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo, seus desvios padrões e erros padronizados das médias na matriz água superficial para os períodos hidrológicos de seca de 2009 a seca de 2011 na estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira e fator períodos versus fator estações

A análise de variância multivariada (**Tabela 128**) foi realizada para averiguar as hipóteses nulas e seus níveis de significância das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo na água superficial entre os períodos hidrológico de seca de 2009 à seca de 2011 e entre as estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira. O teste mostrou haver diferenças significativas apenas entre fator estações de amostragem. As outras comparações do fator período hidrológico e entre os fatores não foram encontradas diferenças significativas, neste sentido a hipótese nula para os nível categórico período e entre os fatores foram aceitas.

Tabela 127. Concentrações médias ($\mu\text{g kg}^{-1}$), desvios padrões e erro padronizados das médias de mercúrio total (Hg_T) e mercúrio reativo (Hg_{REAT}) na matriz água superficial, dispostas por períodos hidrológicos (seca de 2009 à seca de 2011) e estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira.

	Nível	Nível	N	Média Hg_T	DP ^a Hg_T	Erro ^b Hg_T	Média Hg_{REAT}	DP ^a Hg_{REAT}	Erro ^b Hg_{REAT}
Total			297	10,8900	12,8675	0,7466	2,1453	3,6733	0,2131
Período	S 2009		33	12,9549	7,8887	1,3732	1,0636	0,7230	0,1258
Período	Enc 2010		33	8,1039	11,7229	2,0407	0,8100	0,8750	0,1523
Período	Ch 2010		33	5,0330	3,1652	0,5510	0,4887	0,2116	0,0368
Período	V 2010		33	19,4333	21,1698	3,6852	2,6208	6,1129	1,0641
Período	S 2010		33	8,6561	5,3214	0,9263	2,0872	1,4426	0,2511
Período	Enc 2011		33	8,5927	5,8032	1,0102	1,0324	1,0432	0,1816
Período	Ch 2011		33	4,8318	2,8166	0,4903	0,6829	0,2542	0,0442
Período	V 2011		33	14,5185	23,6753	4,1213	2,9503	5,5754	0,9705
Período	S 2011		33	15,7687	5,8015	1,0099	7,5712	3,3418	0,5817
Estação	AF		135	10,0834	13,6737	1,1768	2,3558	4,0046	0,3446
Estação	M		162	11,5383	12,1582	0,9552	1,9697	3,3751	0,2651
Período* Estação	S 2009	AF	15	7,9933	8,0460	2,0775	0,9666	0,9862	0,2546
Período* Estação	S 2009	M	18	17,0894	4,8997	1,1549	1,1444	0,4098	0,0965
Período* Estação	Enc 2010	AF	15	3,2453	7,1910	1,8567	0,5593	0,8571	0,2212
Período* Estação	Enc 2010	M	18	12,1528	13,3384	3,1439	1,0188	0,8571	0,2020
Período* Estação	Ch 2010	AF	15	4,3420	3,8269	0,9881	0,4433	0,2365	0,0610
Período* Estação	Ch 2010	M	18	5,6089	2,4546	0,5786	0,5266	0,1868	0,0440
Período* Estação	V 2010	AF	15	12,6033	7,1250	1,8397	1,3088	0,6103	0,1575

DP – desvio padrão; Erro – erro padrão; S – período hidrológico de seca; Enc – período hidrológico de enchente; Ch – período hidrológico de cheia; V – período hidrológico de vazante; AF – tributários; M – calha do rio Madeira.

Tabela 127. Concentrações médias ($\mu\text{g kg}^{-1}$), desvios padrões e erro padronizados das médias de mercúrio total (Hg_T) e mercúrio reativo (Hg_{REAT}) – continuação.

	Nível	Nível	N	Média Hg_T	DP ^a Hg_T	Erro ^b Hg_T	Média Hg_{REAT}	DP ^a Hg_{REAT}	Erro ^b Hg_{REAT}
Período* Estação	V 2010	M	18	25,1250	26,9505	6,3523	3,7142	8,2004	1,9328
Período* Estação	S 2010	AF	15	9,1973	7,3000	1,8849	2,2327	1,7310	0,4469
Período* Estação	S 2010	M	18	8,2050	2,9907	0,7049	1,9661	1,1897	0,2804
Período* Estação	Enc 2011	AF	15	8,8627	7,8357	2,0232	1,3160	1,4282	0,3687
Período* Estação	Enc 2011	M	18	8,3678	3,5653	0,8403	0,7961	0,4883	0,1151
Período* Estação	Ch 2011	AF	15	4,7907	3,7853	0,9774	0,6435	0,3388	0,0874
Período* Estação	Ch 2011	M	18	4,8661	1,7694	0,4170	0,7158	0,1566	0,0369
Período* Estação	V 2011	AF	15	24,4440	32,1714	8,3066	5,0539	7,7750	2,0075
Período* Estação	V 2011	M	18	6,2472	6,5864	1,5524	1,1973	1,2538	0,2955
Período* Estação	S 2011	AF	15	15,2718	8,0346	2,0745	8,6787	4,4930	1,1600
Período* Estação	S 2011	M	18	16,1828	3,1293	0,7376	6,6483	1,5533	0,3661

DP – desvio padrão; Erro – erro padrão; S – período hidrológico de seca; Enc – período hidrológico de enchente; Ch – período hidrológico de cheia; V – período hidrológico de vazante; AF – tributários; M – calha do rio Madeira.

Tabela 128. Análise de variâncias multivariado comparando as concentrações ($\mu\text{g kg}^{-1}$) de mercúrio total (Hg_T) e mercúrio reativo (Hg_{REAT}) na matriz água superficial, dispostas por períodos hidrológicos (seca de 2009 à seca de 2011) e estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira.

	Test	Valor	F	Effect	Erro	p
Intercepto	Wilks	0,513607	131,6350	2	278	0,000000
Período	Wilks	0,518821	13,4943	16	556	0,000000
Estação	Wilks	0,974015	3,7083	2	278	0,025740
Período*Estação	Wilks	0,850862	2,9226	16	556	0,000118

O teste univariado mostra o nível de significância entre as interações de mercúrio total com os níveis categóricos ou fatores (períodos hidrológicos e estações de amostragem) e entre estes fatores (**Tabela 129**), sendo possível inferir de forma geral que apenas o mercúrio reativo apresentou diferença significativas.

Tabela 129 Análise univariada de variâncias das concentrações (ng L^{-1}) de mercúrio total (Hg_T) e mercúrio reativo (Hg_{REAT}) nos períodos hidrológicos (seca de 2009 à seca de 2011), estações de amostragem no rio Madeira e períodos hidrológicos versus estações de amostragem.

	Grau	F Hg_T	p Hg_T	F Hg_{REAT}	P Hg_{REAT}
Intercepto	1	259,9063	0,000000	154,6095	0,000000
Período	8	6,2199	0,000000	18,6664	0,000000
Estação	1	1,1769	0,278926	1,2318	0,268005
Período*Estação	8	4,9002	0,000011	2,7584	0,006011

As relações das concentrações no fator período hidrológico representadas pelo boxplot da análise de variâncias multivariadas mostram uma diferença significativa, perceptível ao nível de probabilidade de 0,005 (**Figura 49**). A relação entre as estações de amostragem nos tributários e na calha do rio Madeira no boxplot indica variabilidade (**Figura 50**), foi considerado como diferença significativa nas concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo (valor da probabilidade de 0,06), entretanto quando analisamos as concentrações individualmente pelo teste univariado, apenas o mercúrio reativo apresentou diferença significativa (valor da probabilidade de 0,06).

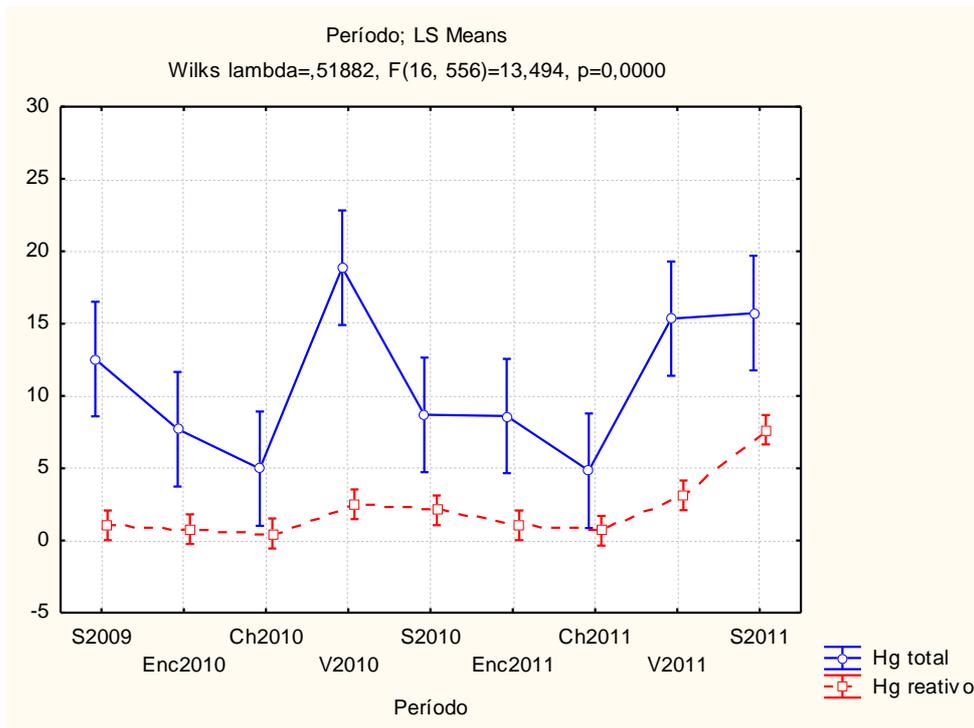


Figura 49 - Boxplot das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo da matriz água para o período hidrológico de seca de 2010 à seca de 2011.

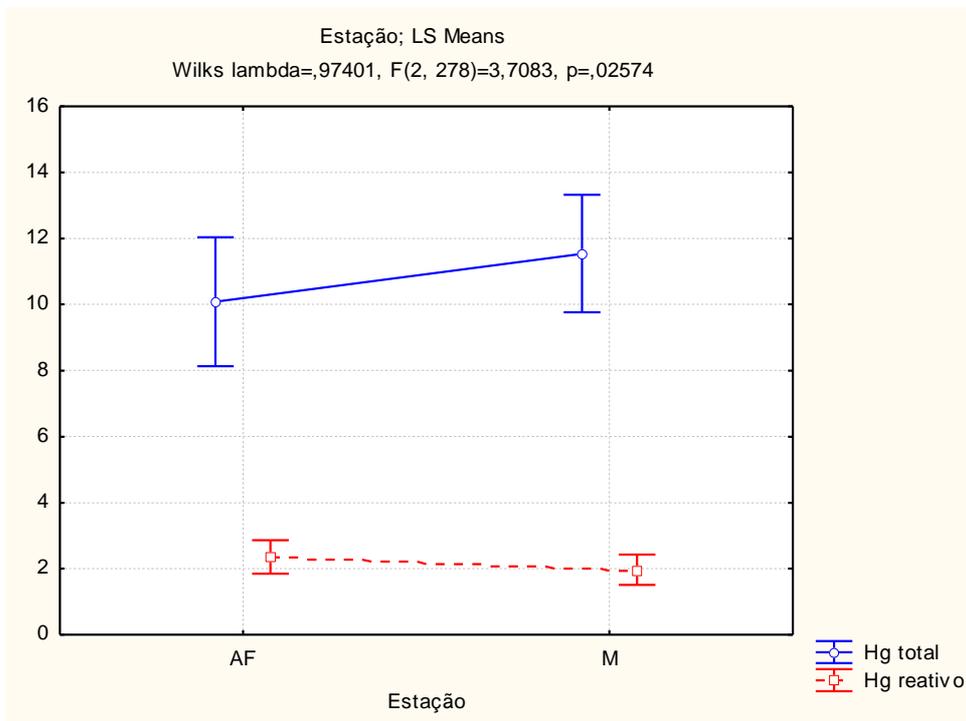


Figura 50 - Boxplot das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo da matriz água para as estações de amostragem nos tributários (Afluentes) e calha (Madeira) do rio Madeira.

A relação entre os fatores período hidrológicos e estação de amostragem foi significativa considerando à probabilidade 0,05 pelo teste multivariado (ANOVA), sendo possível verificar maior variação do mercúrio total e do mercúrio reativo nas estações de amostragem nos tributários do rio Madeira quando comparadas com as estações de amostragem na calha do Rio Madeira, sendo maior a contribuição das concentrações de mercúrio reativo (**Figura 51**).

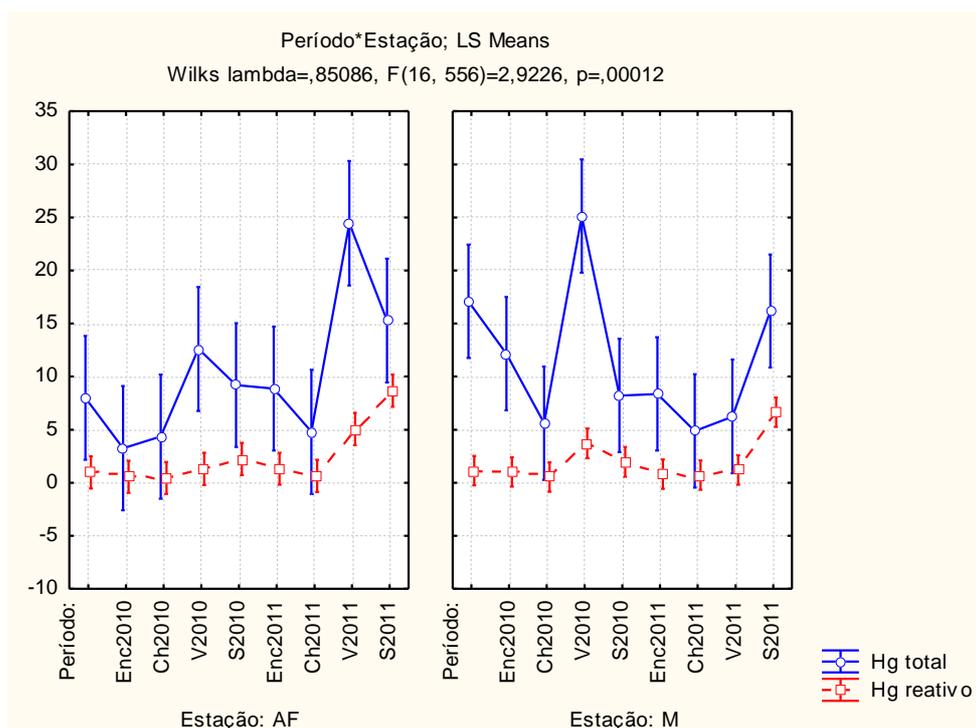


Figura 51 - Boxplot das concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo da matriz água para comparação entre os fatores períodos hidrológicos (seca de 2009 à seca de 2011) e estações de amostragem nos tributários (Afluentes) e na calha (Madeira) do rio Madeira.

A análise integrada de todas as campanhas de campo (2ª campanha de campo à 10ª campanha de campo) apresentada na **Tabela 130**, mostra as médias das concentrações de mercúrio total, seus desvios padrões e erros padronizados das médias na matriz material particulado suspenso para os períodos hidrológicos de enchente de 2010 à seca de 2011 nas estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira e fator períodos versus fator estações

O teste univariado mostra o nível de significância entre as interações dos espécimes mercúrio total e mercúrio reativo, com os níveis categóricos ou fatores (períodos hidrológicos e estações de amostragem) e entre estes fatores (**Tabela 131**).

Tabela 130. Concentrações médias ($\mu\text{g kg}^{-1}$), desvios padrões e erro padronizados das médias de mercúrio total (Hg_T) na matriz material particulado suspenso, dispostas por períodos hidrológicos (enchente de 2010 à seca de 2011) e estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira.

	Nível	Nível	N	Média Hg_T	DP Hg_T	Erro Hg_T
Total			264	82,9402	93,4283	5,75012
Período	Enc 2010		33	29,6597	24,9560	4,34429
Período	Ch 2010		33	29,0327	23,0719	4,01630
Período	V 2010		33	30,1125	18,8654	3,28405
Período	S 2010		33	151,0864	179,2938	31,21104
Período	Enc 2011		33	81,2233	62,1473	10,81846
Período	Ch 2011		33	113,1030	102,5731	17,85568
Período	V 2011		33	120,9233	60,3496	10,50552
Período	S 2011		33	108,3803	58,0477	10,10481
Estação	AF		120	62,8413	98,1575	8,96051
Estação	M		144	99,6892	86,1071	7,17559
Período*Estação	Enc 2010	AF	15	22,7327	31,7379	8,19468
Período*Estação	Enc 2010	M	18	35,4322	16,2844	3,83827
Período*Estação	Ch 2010	AF	15	21,3533	27,9082	7,20587
Período*Estação	Ch 2010	M	18	35,4322	16,2844	3,83827
Período*Estação	V 2010	AF	15	28,5376	27,9039	7,20477
Período*Estação	V 2010	M	18	31,4250	4,9699	1,17141
Período*Estação	S 2010	AF	15	131,3880	205,0439	52,94211
Período*Estação	S 2010	M	18	167,5017	158,9317	37,46056
Período*Estação	Enc 2011	AF	15	49,4680	67,0139	17,30293
Período*Estação	Enc 2011	M	18	107,6861	44,0521	10,38318
Período*Estação	Ch 2011	AF	15	72,4427	108,6228	28,04629
Período*Estação	Ch 2011	M	18	146,9867	86,1018	20,29439
Período*Estação	V 2011	AF	15	81,4520	64,3691	16,62002
Período*Estação	V 2011	M	18	153,8161	30,3844	7,16166
Período*Estação	S 2011	AF	15	95,3560	72,1012	18,61646
Período*Estação	S 2011	M	18	119,2339	42,2737	9,96401

DP – desvio padrão; Erro – erro padrão; S – período hidrológico de seca; Enc – período hidrológico de enchente; Ch – período hidrológico de cheia; V – período hidrológico de vazante.

Tabela 131. Análise univariada de variâncias das concentrações ($\mu\text{g kg}^{-1}$) de mercúrio total (Hg_T) na matriz material particulado suspenso nos períodos hidrológicos (enchente de 2010 à seca de 2011), estações de amostragem no rio Madeira e períodos hidrológicos versus estações de amostragem.

	SS	Grau	MS	F	p
Intercepto	1729058	1	1729058	263,5093	0,000000
Período	510999	7	73000	11,1252	0,000000
Estação	88872	1	88872	13,5442	0,000286
Período*Estação	45513	7	6502	0,9909	0,438352
Erro	1627292	248	6562		

As relações das concentrações no fator período hidrológico representadas pelo boxplot da análise de variâncias multivariadas mostram uma diferença significativa, perceptível ao nível de probabilidade de 0,005 (**Figura 52**). A relação entre os fatores período hidrológicos e estação de amostragem foi significativa considerando à probabilidade 0,05 pelo teste multivariado (ANOVA), sendo possível verificar maior variação do mercúrio total nas estações de amostragem nos tributários do rio Madeira quando comparadas com as estações de amostragem na calha do Rio Madeira (**Figura 53**).

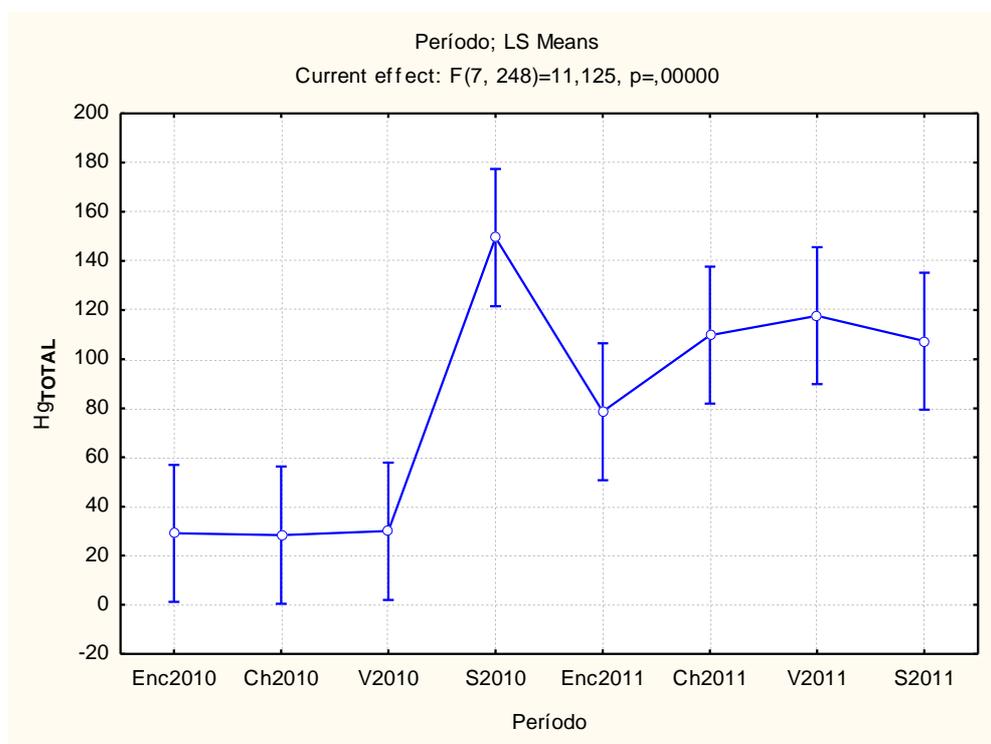


Figura 52 - Boxplot das concentrações de mercúrio total na matriz material particulado suspenso para o período hidrológico de enchente de 2010 à seca de 2011.

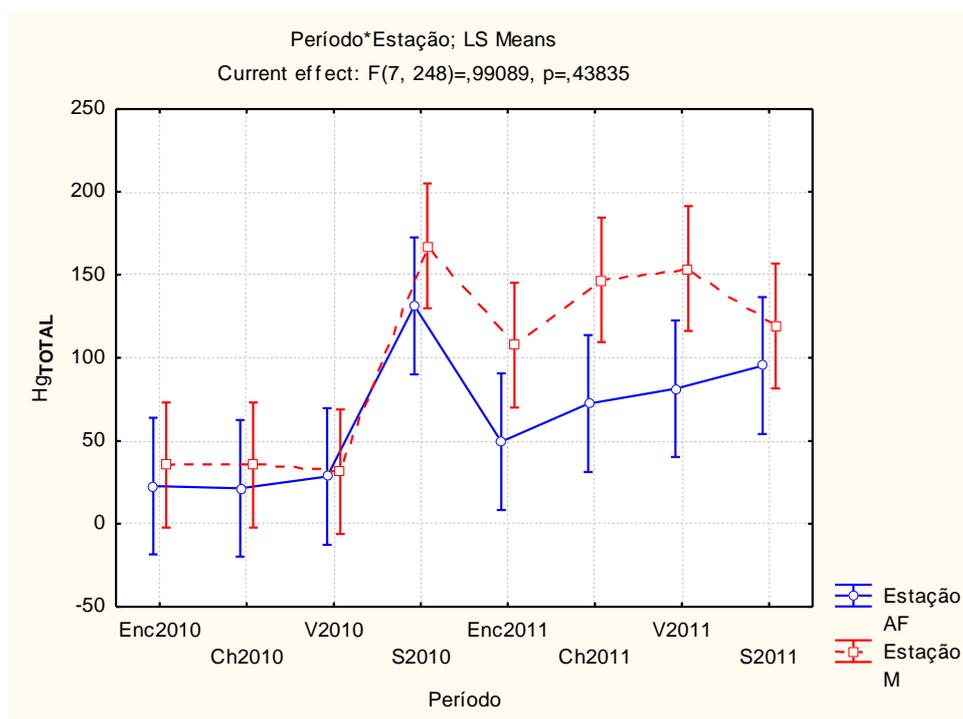


Figura 53 - Boxplot das concentrações de mercúrio total na matriz material particulado suspenso para comparação entre os fatores períodos hidrológicos (enchente de 2010 à seca de 2011) e estações de amostragem nos tributários (Afluente) e na calha (Madeira) do rio Madeira.

A análise integrada de todas as campanhas de campo apresentada na **Tabela 132**, mostra as médias das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio, seus desvios padrões e erros padronizados das médias na matriz perfil de sedimento (5, 10, 20 e 40 cm) para os períodos hidrológicos de enchente e vazante de 2010 e período hidrológico de enchente e vazante de 2011 na estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira e fator períodos versus fator estações.

Tabela 132. Concentrações médias ($\mu\text{g kg}^{-1}$), desvios padrões e erro padronizados das médias de mercúrio total (Hg_T) e metilmercúrio (MeHg) na matriz perfil de sedimento dispostas por períodos hidrológicos (enchente e vazante de 2010 e enchente e vazante de 2011) e estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira.

	Nível	N	Média Hg_{TOTAL}	DP Hg_{TOTAL}	Média MeHg	DP MeHg
Total		336	68,1166	60,8766	0,289830	0,354521
Perfil (cm)	P5	84	91,7133	79,9161	0,423569	0,512636
Perfil (cm)	P10	84	77,1353	62,1701	0,339451	0,376334
Perfil (cm)	P20	84	57,9601	46,4834	0,217440	0,194786
Perfil (cm)	P40	84	45,6578	35,8427	0,178860	0,162964

Tabela 132. Concentrações médias ($\mu\text{g kg}^{-1}$), desvios padrões e erro padronizados das médias de mercúrio total (Hg_T) e metilmercúrio (MeHg) na matriz perfil de sedimento - continuação.

	Nível	N	Média Hg_T	DP Hg_T	Média MeHg	DP MeHg
Estação	AF	240	79,8979	67,5228	0,339944	0,404975
Estação	M	96	38,6634	19,2569	0,164545	0,091633
Período	Enc 2010	84	71,1775	49,7669	0,276945	0,180463
Período	V 2010	84	90,3628	76,7849	0,438193	0,569465
Período	Enc 2011	84	55,4838	44,8830	0,248529	0,208665
Período	V 2011	84	55,4424	61,1247	0,195652	0,271544

DP – desvio padrão; Enc – período hidrológico de enchente; V – período hidrológico de vazante; AF – tributários; M – calha do rio Madeira.

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) (**Tabela 133**) foi realizada para averiguar as hipóteses nulas e seus níveis de significância das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio do sedimento de fundo em quatro níveis de profundidade (5, 10, 20 e 40 cm), entre os períodos de vazante e enchente de 2010 e 2011 e entre as estações do Rio Madeira e de seus afluentes. O teste mostrou haver diferenças significativas no fator período e no fator estação. O valor de alfa adotado para o nível de significância foi de 0,05 para o teste de Wilks. As outras comparações do fator perfil e entre os fatores não foram encontradas diferenças significativas, neste sentido a hipótese nula para os nível categórico perfil e entre os fatores foram aceitas.

Tabela 133. Análise de variâncias multivariado (ANOVA/MANOVA) para comparação das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio do sedimento fundo em quatro níveis de profundidade (5, 10 20 e 40 cm) nos fatores e entre fatores.

	Test	Valor	F	Effect	Erro	p
Intercepto	Wilks	0,478660	165,0084	2	303	0,000000
Perfil (cm)	Wilks	0,939112	3,2228	6	606	0,004002
Estação	Wilks	0,883597	19,9582	2	303	0,000000
Período	Wilks	0,943052	3,0048	6	606	0,006686
Perfil (cm)*Estação	Wilks	0,969016	1,6020	6	606	0,144056
Perfil (cm)*Período	Wilks	0,993810	0,1047	18	606	0,999999
Estação*Período	Wilks	0,962588	1,9440	6	606	0,071732
Perfil (cm)*Estação*Período	Wilks	0,992100	0,1338	18	606	0,999995

O teste univariado mostra o nível de significância entre as interações dos espécimes mercúrio total e metilmercúrio, com os níveis categóricos ou fatores (estações e períodos) e entre estes fatores (**Tabela 134**) indica de forma geral que as concentrações de mercúrio total apresentou diferença significativa nos fatores perfil, período e estações e entre os fatores período e estação e perfil e período. As concentrações do metilmercúrio, quando comparadas as diferenças foram significativas, no fator período e no fator estações e no fator perfil, entre os fatores período e estação. As outras combinações não foi encontrado diferenças significativas.

Tabela 134. Teste Univariado para avaliação das concentrações de mercúrio total (Hg_T) e metilmercúrio (MeHg) nos fatores perfil, período (vazantes e enchentes 2010 e 2011).

	Grau	F Hg_T	p Hg_T	F MeHg	p MeHg
Intercepto	1	329,1705	0,000000	167,7718	0,000000
Perfil (cm)	3	5,6779	0,000854	5,0221	0,002064
Estação	1	39,8160	0,000000	20,2801	0,000010
Período	3	4,7835	0,002845	4,6781	0,003278
Perfil (cm)*Estação	3	2,9612	0,032500	2,2741	0,080024
Perfil (cm)*Período	9	0,1179	0,999254	0,2028	0,993743
Estação*Período	3	2,7131	0,045080	3,2325	0,022683
Perfil (cm)*Estação*Período	9	0,1210	0,999173	0,2416	0,988069

O Boxplot das concentrações de mercúrio total, distribuídos no perfil mostra a tendência das concentrações de mercúrio total serem maiores nos horizontes superficiais orgânicos (**Figura 54**). As concentrações do metilmercúrio não variou no perfil, e não foram encontradas diferenças significativas nas comparações realizadas nos fatores e entre os fatores.

A variabilidade das concentrações do mercúrio total nos períodos de vazante de 2010 e 2011 e enchente 2010 e 2011 (**Figuras 55 e 56**) foi significativa, conforme ilustra o boxplot. As concentrações do metilmercúrio, apesar de não transparecer no boxplot, a diferença encontrada em suas concentrações foi significativa entre os períodos.

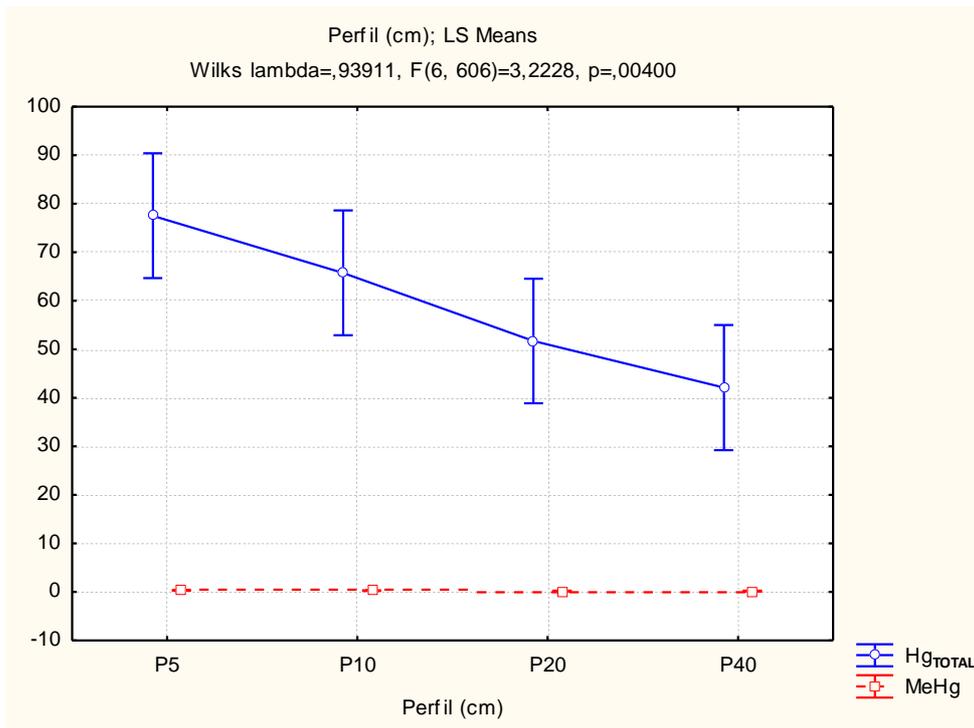


Figura 54 - Boxplot das concentrações de Hg total, distribuídos no perfil mostra a tendência das concentrações de Hg total serem maiores nos horizontes superficiais orgânicos

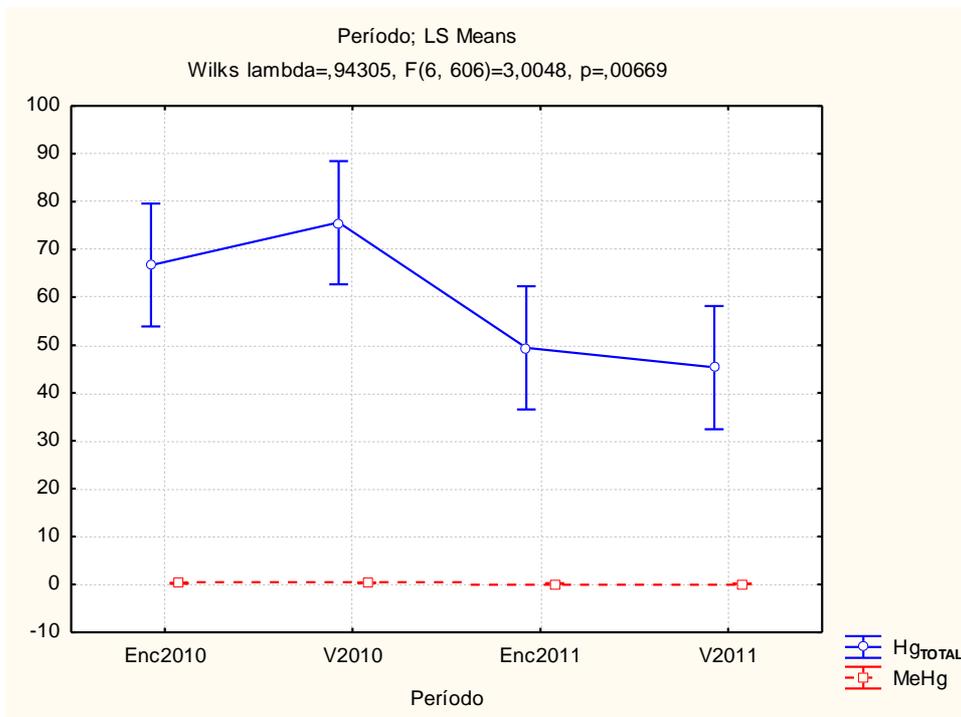
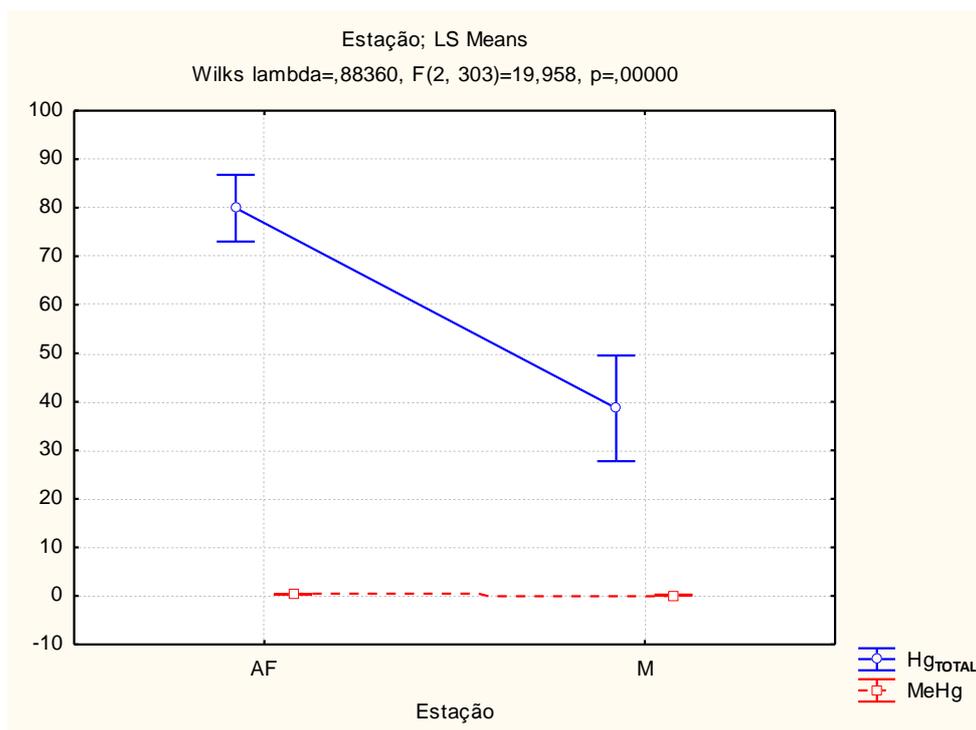


Figura 55 - Boxplot das concentrações de mercúrio total, distribuídos no perfil mostra a tendência das concentrações de Hg total serem maiores nos horizontes superficiais orgânicos.





A **Figura 56** mostra o boxplot das concentrações do mercúrio total e metilmercúrio nas estações do Rio Madeira e Afluentes foram encontradas diferenças significativas entre as estações.

O mercúrio total apresentou suas maiores concentrações nas estações dos Afluentes, devido as características físicas e químicas, cujo caráter ácido, com pH inferior a 05 (cinco), possibilita a mobilização mercúrio total para água intersticial. Para o caso das estações do rio Madeira, cujo pH é em torno de 6,7 a mobilização é bem menor, podendo ocorrer até precipitação de mercúrio total. As concentrações de mercúrio total encontradas nas águas do rio Madeira e tributários estão dentro dos valores de concentração regional. As maiores contribuições ao aporte do mercúrio total foram maiores e mais significativas no nível superior do sedimento (5 cm) e nas estações dos afluentes, cujas características físico-químicas são mais favoráveis a sua mobilização e com isso a sua magnificação nas teias tróficas aquáticas. A relação deste aumento nos níveis superiores do sedimento pode estar associada a atividade bacteriana, que é capaz de metilar o mercúrio. As concentrações de metilmercúrio foram maiores também nos níveis superiores do sedimento e corroboram com a hipótese da maior atividade bacteriana, e que por sua vez maior metilação.

O metilmercúrio quando comparado com mercúrio total teve o mesmo comportamento em suas concentrações, ou seja, quanto mais ácido é o caráter das águas mais metilmercúrio será encontrado na coluna de água. Outro fator considerado refere-se ao carbono e sua decomposição anaeróbica, mais intensificada nos Afluentes, quando comparados com o rio Madeira, cuja característica mais dinâmica não permite formação de ambientes anóxicos, que favorece a metilação. Esta constatação indica uma maior preocupação com estas estações, ou seja, a dos afluentes, cujo caráter ácido de suas águas, pode se intensificar durante o enchimento e submersão de áreas adjacentes, o que vem a adicionar um aumento ao longo do tempo de mercúrio total e metilmercúrio, conforme as condições anaeróbicas forem se intensificando, com o aumento da decomposição anaeróbica da matéria orgânica. Estas condições são bastante favoráveis para a reatividade do mercúrio e sua metilação, pela ação das bactérias anaeróbicas. De uma forma geral isto implicaria em uma mobilização maior do mercúrio e seus espécime orgânico, que por sua vez tem a propriedade de magnificar e bioacumular nas teias tróficas aquáticas, com tais características descritas.

A análise de variâncias multivariadas mostrou diferença significativa nas concentrações de mercúrio total e metilmercúrio entre períodos, as estações do rio Madeira e tributários e entre os níveis do perfil do sedimento. As outras comparações entre fatores não apresentaram diferenças significativas. O teste univariado mostrou diferença significativa nas concentrações do mercúrio total, quando comparadas no fator nível do perfil, fator estação e no fator período e entre os fatores as diferenças foram significativas apenas entre os fatores estação e período e perfil e estação as demais combinações não foram significativas. O metilmercúrio apresentou diferença significativa nas suas concentrações, nos fatores nível do perfil do sedimento, no fator períodos de 2010 e 2011 e nas estações do rio Madeira e dos tributários. A comparação das concentrações do metilmercúrio entre os fatores período e estação foram significativas, entre os outros fatores não houveram diferenças significativas.

O boxplot do fator nível perfil do sedimento de fundo mostra a variabilidade do mercúrio total entre o nível superior 05 cm, onde as concentrações são mais elevadas e o inferior de 40 cm, menos elevadas as concentrações de mercúrio total. Este comportamento se reflete também nas concentrações de metilmercúrio. A comparação da variabilidade do mercúrio total e do metilmercúrio no fator período mostra a maior variabilidade em 2010, onde as concentrações dos espécimes foram mais elevadas. Para as estações a maior variabilidade ficou nas estações dos tributários do rio Madeira.

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) foi aplicada para averiguar as diferenças nas concentrações de mercúrio total no solo nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 (2ª campanha de campo) e enchente de 2011 (6ª campanha de campo). A **Tabela 135** mostra a média global das concentrações de mercúrio total no perfil de solo nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e no período hidrológico enchente de 2011.

Tabela 135 – Estatística descritiva das concentrações médias de mercúrio total (HgT) nos perfis de solo nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

Nível	N	Hg Total ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Desvio padrão
Enchente 2010	67	36,54	42,20
Enchente 2011	80	69,26	31,55
Total	147	54,35	40,14

O teste univariado foi usado para averiguar a diferença das concentrações de mercúrio total no perfil de solo entre os períodos de enchente de 2010 e enchente de 2011. O teste mostrou haver diferença significativa ($F = 20,16$; $p = 0,000$) nas concentrações do mercúrio total no perfil de solo sendo os maiores valores observados no período hidrológicos de enchente de 2011 quando comparado ao período de enchente de 2010 do rio Madeira (**Tabela 136**).

Tabela 136 – Teste de variância univariado para as concentrações de mercúrio total (HgT) no perfil de solo nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

Nível	SS	Degr. of	MS	HgT F	HgT P
Intercepto	408170,9	1	408170,9	301,6950	0,000000
Período hidrológico	39045,0	1	39045,0	28,8596	0,000000
Erro	196174,2	145	1352,9		

A **Figura 57** mostra o boxplot das concentrações de mercúrio total no perfil de solo nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

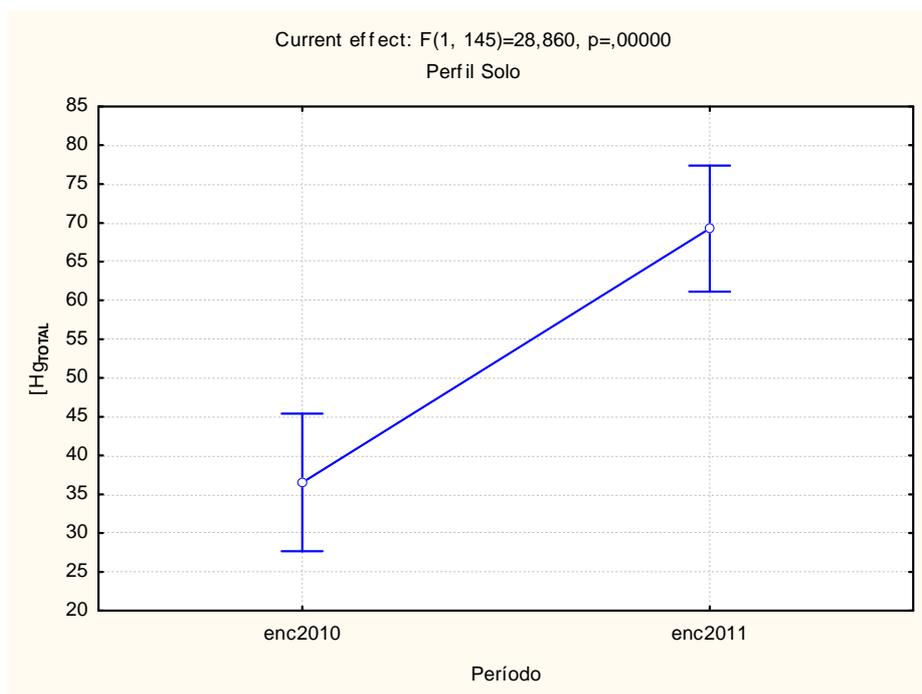


Figura 57: Boxplot da variabilidade das concentrações de mercúrio total no perfil de solo nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

A anova univariada usada para averiguar a matriz perfil do solo mostrou haver diferença significativa entre as concentrações de mercúrio total entre os períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011, sendo as concentrações mais elevadas encontradas no período de enchente ano de 2011, cuja variância foi menor que a média no período de enchente de 2011 enquanto que a variância foi maior que a média no período de enchente de 2010, inferindo de uma forma geral que em 2011 houve maior mobilização de mercúrio total nos perfis de solo.

A **Tabela 137** mostra a estatística descritiva das concentrações do mercúrio total dos solos por perfil em profundidades de 5, 20, 40, 60, 100 centímetros (fator perfil); fator período (período hidrológico vazante de 2010 e vazante de 2011); fator pedologia e entre fatores. As análises do fator perfil (profundidade), comparado inter profundidade, por meio de suas concentrações de mercúrio total, mostra os valores mais elevados de mercúrio total no nível de profundidade de 5 cm. O período hidrológico de vazante de 2011 apresentou as maiores concentrações do mercúrio total quando comparado ao período hidrológico de vazante de 2010. As concentrações do mercúrio total comparadas por tipo de solo (fator pedologia), foram mais elevadas nos gleissolos com destaque para as concentrações no nível de profundidade de 5 cm



e nos latossolos as concentrações de mercúrio total foram menores no nível de profundidade de 5 cm.

Tabela 137. Concentrações médias, desvios padrões e erro padrão da média das concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) dispostas por fator perfil do solo, fator período hidrológico vazante de 2010 e vazante 2011, fator tipos de solos e entre os fatores (período, perfil e pedologia).

	Nível	Nível	Nível	N	Média HgT	DP HgT	Erro Padrão HgT
Total				130	64,75	68,02	5,96
Perfil	P5			26	106,32	127,59	25,02
Perfil	P20			26	69,77	62,51	12,25
Perfil	P40			26	52,58	17,84	3,49
Perfil	P60			26	49,46	16,89	3,31
Perfil	P100			26	45,61	21,98	4,30
Período	Vazante-2010			65	78,41	91,20	11,31
Período	Vazante-2011			65	51,09	25,07	3,10
Pedologia	Latossolos			65	52,18	23,73	2,94
Pedologia	Gleissolos			65	77,32	91,88	11,39
Perfil*Período	P5	Vazante-2010		13	136,48	175,34	48,63
Perfil*Período	P5	Vazante-2011		13	76,17	34,64	9,61
Perfil*Período	P20	Vazante-2010		13	81,12	86,63	24,03
Perfil*Período	P20	Vazante-2011		13	58,43	18,93	5,25
Perfil*Período	P40	Vazante-2010		13	58,52	18,69	5,18
Perfil*Período	P40	Vazante-2011		13	46,65	15,42	4,28

Tabela 137. Concentrações médias, desvios padrões e erro padrão da média das concentrações de mercúrio total – continuação.

	Nível	Nível	Nível	N	Média HgT	DP HgT	Erro Padrão HgT
Perfil*Período	P60	Vazante-2010		13	59,26	15,39	4,27
Perfil*Período	P60	Vazante-2011		13	39,66	12,24	3,39
Perfil*Período	P100	Vazante-2010		13	56,66	23,09	6,40
Perfil*Período	P100	Vazante-2011		13	34,55	14,42	4,00
Perfil*Pedologia	P5	Latossolos		13	72,51	35,65	9,88
Perfil*Pedologia	P5	Gleissolos		13	140,13	173,68	48,17
Perfil*Pedologia	P20	Latossolos		13	49,64	18,12	5,02
Perfil*Pedologia	P20	Gleissolos		13	89,91	83,28	23,09
Perfil*Pedologia	P40	Latossolos		13	49,67	15,89	4,41
Perfil*Pedologia	P40	Gleissolos		13	55,49	19,80	5,49
Perfil*Pedologia	P60	Latossolos		13	47,67	14,89	4,13
Perfil*Pedologia	P60	Gleissolos		13	51,25	19,13	5,31
Perfil*Pedologia	P100	Latossolos		13	41,41	17,90	4,97
Perfil*Pedologia	P100	Gleissolos		13	49,81	25,44	7,05
Período*Pedologia	Vazante-2010	Latossolos		25	55,76	18,27	3,65
Período*Pedologia	Vazante-2010	Gleissolos		40	92,56	113,63	17,97
Período*Pedologia	Vazante-2011	Latossolos		40	49,95	26,56	4,20
Período*Pedologia	Vazante-2011	Gleissolos		25	52,93	22,89	4,58

Tabela 137. Concentrações médias, desvios padrões e erro padrão da média das concentrações de mercúrio total – continuação.

	Nível	Nível	Nível	N	Média HgT	DP HgT	Erro Padrão HgT
Perfil*Período*Pedologia	P5	Vazante-2010	Latossolos	5	72,69	24,11	10,78
Perfil*Período*Pedologia	P5	Vazante-2010	Gleissolos	8	176,34	218,29	77,18
Perfil*Período*Pedologia	P5	Vazante-2011	Latossolos	8	72,40	42,97	15,19
Perfil*Período*Pedologia	P5	Vazante-2011	Gleissolos	5	82,20	17,14	7,67
Perfil*Período*Pedologia	P20	Vazante-2010	Latossolos	5	43,93	10,59	4,74
Perfil*Período*Pedologia	P20	Vazante-2010	Gleissolos	8	104,36	105,81	37,41
Perfil*Período*Pedologia	P20	Vazante-2011	Latossolos	8	53,21	21,47	7,59
Perfil*Período*Pedologia	P20	Vazante-2011	Gleissolos	5	66,77	11,26	5,04
Perfil*Período*Pedologia	P40	Vazante-2010	Latossolos	5	51,51	15,58	6,97
Perfil*Período*Pedologia	P40	Vazante-2010	Gleissolos	8	62,89	20,07	7,09
Perfil*Período*Pedologia	P40	Vazante-2011	Latossolos	8	48,52	17,03	6,02
Perfil*Período*Pedologia	P40	Vazante-2011	Gleissolos	5	43,66	13,67	6,11
Perfil*Período*Pedologia	P60	Vazante-2010	Latossolos	5	60,28	10,05	4,50
Perfil*Período*Pedologia	P60	Vazante-2010	Gleissolos	8	58,63	18,64	6,59
Perfil*Período*Pedologia	P60	Vazante-2011	Latossolos	8	39,79	11,75	4,15
Perfil*Período*Pedologia	P60	Vazante-2011	Gleissolos	5	39,45	14,41	6,44
Perfil*Período*Pedologia	P100	Vazante-2010	Latossolos	5	50,37	18,67	8,35
Perfil*Período*Pedologia	P100	Vazante-2010	Gleissolos	8	60,59	25,87	9,15
Perfil*Período*Pedologia	P100	Vazante-2011	Latossolos	8	35,80	16,04	5,67
Perfil*Período*Pedologia	P100	Vazante-2011	Gleissolos	5	32,55	12,87	5,76

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA Multifatorial) (**Tabela 138**) foi realizada para averiguar as diferenças nas concentrações do mercúrio total entre os fatores períodos hidrológico de vazante de 2010 e vazante 2011, níveis do perfil de solo (profundidades) e fator tipos de solos (pedologia) e checar a existência das diferenças entre os fatores. Este teste mostrou haver diferenças significativas apenas entre os períodos de vazante de 2010 e vazante de 2011 e nos níveis do perfil de solos (profundidades). No fator pedologia não foram encontradas diferenças significativas nas concentrações do mercúrio total. O valor de alfa adotado para o nível de significância foi de 0,05 para o teste de Wilks.

Tabela 138. Análise de Variância Multifatorial elaborada para comparar as concentrações do mercúrio total entre os períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011 nos níveis do perfil do solos (profundidade) e o tipos de solos (pedologia).

	Grau	F	p
Intercepto	1	118,0529	0,000000
Perfil	4	3,1335	0,017527
Período hidrológico	1	3,8641	0,051849
Pedologia	1	2,9620	0,088056
Perfil*Período	4	0,3062	0,873313
Perfil*Pedologia	4	0,9848	0,419005
Período*Pedologia	1	2,1409	0,146271
Perfil*Período*Pedologia	4	0,5361	0,709515

A variabilidade do mercúrio total no perfil dos solos pode ser averiguada pelo boxplot (**Figura 58**), que indica uma tendência do nível do perfil de 5 cm ter as maiores concentrações do mercúrio total, sendo este nível significativamente diferente de todos os outros níveis. As concentrações do mercúrio total avaliadas no fator período hidrológico de vazante de 2010 e vazante de 2011 foram significativamente diferentes, conforme ilustra o boxplot da **Figura 59**.

As concentrações do mercúrio total comparadas no fator tipo de solo ou pedologia, não foi significativa, em nível de 0,05. O boxplot da **Figura 60** ilustra a distribuição das concentrações de mercúrio total por tipo de solo analisado.

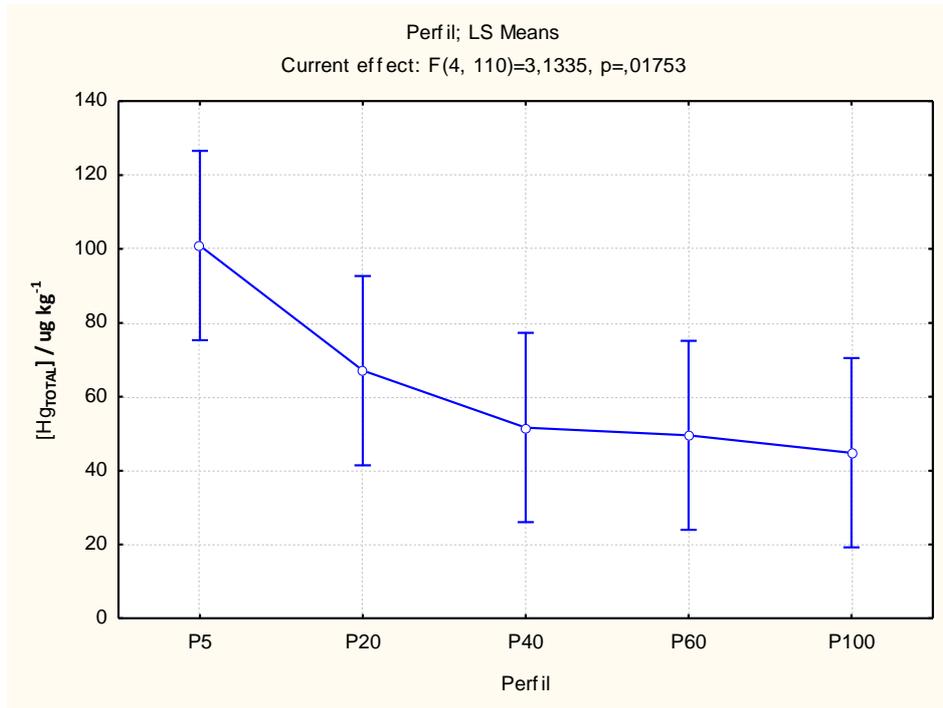


Figura 58. Boxplot das concentrações do mercúrio total distribuídas pelo nível de profundidade do perfil do solo em 5, 20, 40, 60e 100 centímetros.

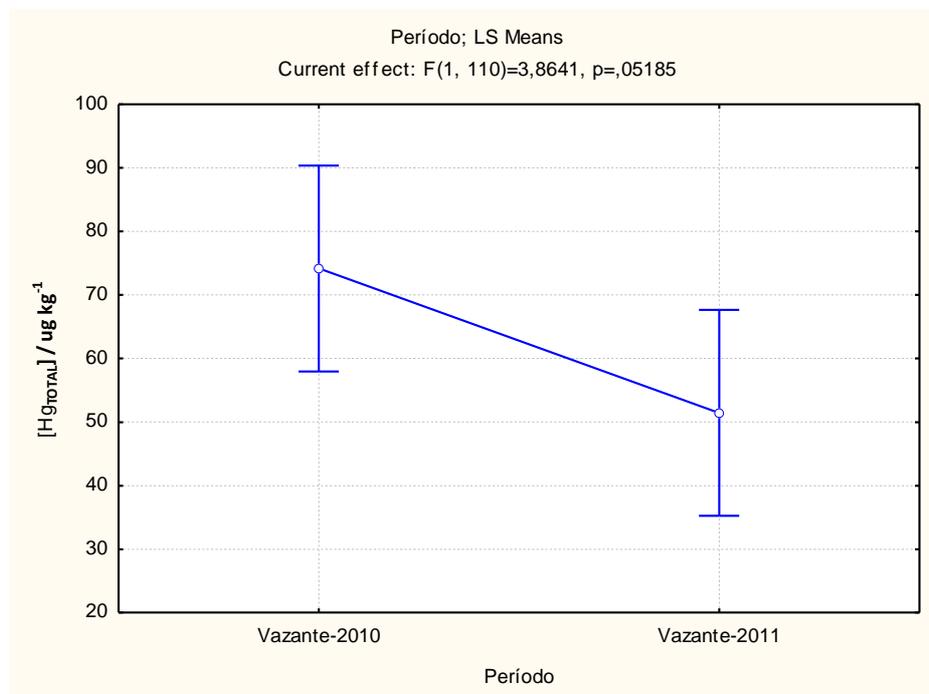


Figura 59. Boxplot das concentrações de mercúrio total no fator período hidrológico de vazante de 2010 e vazante de 2011.



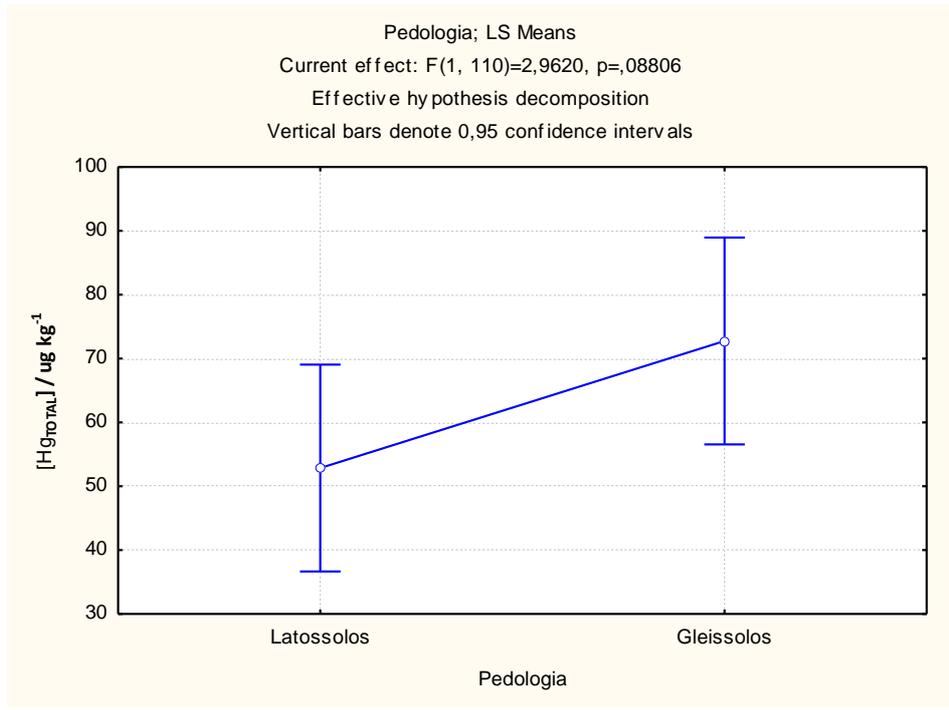


Figura 60. Boxplot das concentrações de mercúrio total distribuídos por tipos de solos (pedologia).

A análise de probabilidades a posteriores, para avaliação das significâncias das concentrações do mercúrio total no fator nível do perfil do solo (profundidade) indicou diferença significativa do nível de 5cm com os demais níveis (**Tabela 139**). A análise grupos homogêneos realizada para avaliação das concentrações do mercúrio total nos níveis do perfil dos solos mostrou a formação de dois grupos significativos ao nível de 0,05 (**Tabela 140**).

Tabela 139. Análise de Probabilidade a Posteriores para as concentrações do mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no fator nível do perfil dos solos (Erro: Between MS = 4111,6, df = 110,00).

	Perfil	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
1	P5		0,042231	0,003127	0,001812	0,000897
2	P20	0,042231		0,335923	0,255916	0,176977
3	P40	0,003127	0,335923		0,860961	0,695554
4	P60	0,001812	0,255916	0,860961		0,828770
5	P100	0,000897	0,176977	0,695554	0,828770	

Tabela 140. Análise de Grupos Homogêneos para as concentrações do mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no fator nível do perfil do solos ($\alpha = ,05000$; $MS = 4111,6$, $df = 110,00$).

	Perfil	Hg _T	1	2
5	P100	45,61	****	
4	P60	49,46	****	
3	P40	52,59	****	
2	P20	69,77	****	
1	P5	106,32		****

Hg_T – mercúrio total

A análise de probabilidades a posteriores elaborada para avaliação das concentrações do mercúrio total, durante os períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011, demonstrou haver diferença significativa entre os períodos hidrológicos (**Tabela 141**). A avaliação do fator período hidrológico vazante de 2010 e vazante de 2011 pela análise de grupos homogêneos corrobora com a análise de probabilidades feitas para este fator e indica a formação de dois grupos significativos ao nível de 0,05 (**Tabela 142**). As concentrações de mercúrio total avaliadas pela análise de probabilidades a posteriore, por tipo de solos (Latosolos e Gleissolos) indicou diferença significativa entre os tipos de solos (**Tabela 143**).

Tabela 141. Análise de Probabilidades a Posteriore para as concentrações do Hg total no fator período de vazante de 2010 e 2011 ($MS = 4111,6$, $df = 110,00$).

	Período	{1}	{2}
1	Vazante-2010		0,016785
2	Vazante-2011	0,016785	

Tabela 142. Análise de Grupos Homogêneos realizada para a avaliação das concentrações do mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no fator período de vazante de 2010 e vazante de 2011 ($\alpha = ,050$; $MS = 4111,6$; $df = 110,00$).

	Período	Hg _T	1	2
2	Vazante-2011	51,09408	****	
1	Vazante-2010	78,40868		****

Hg_T – mercúrio total

Tabela 143. Análise de Probabilidades para as concentrações do mercúrio total no fator pedologia ou tipo de solos (MS = 4111,6; df = 110,00).

	Pedologia	{1}	{2}
1	Latossolos		0,027438
2	Gleissolos	0,027438	

A análise de grupos homogêneos para as concentrações do mercúrio total no fator tipo de solo indicou a formação de dois grupos significativos ao nível de 0,05 (**Tabela 144**).

Tabela 144. Análise de Grupos Homogêneos realizada para a avaliação das concentrações do mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no fator pedologia ou tipo de solos ($\alpha = ,050$; MS = 4111,6; df = 110,0).

	Pedologia	Hg _T	1	2
1	Latossolos	52,18204	****	
2	Gleissolos	77,32071		****

Hg_T – mercúrio total

Nos solos tropicais como os da Amazônia Ocidental o mercúrio total na sua grande maioria apresenta concentrações na ordem de 10 a 100 vezes mais elevadas do que outras regiões. As concentrações anômalas, conforme relata Gomes (2009) podem ocorrer tanto em razão de processos naturais, dependendo da formação geológica da região e da composição química do material de origem, quanto por atividades antropogênicas como garimpo, desmatamento e incêndios florestais que contribuem, por meio da lixiviação e erosão.

Os solos para os ecossistemas são considerados estoques deste elemento, que através da ação dos organismos, este elemento é biomagnificado ao longo da teia trófica e retroalimentados, para os sistemas terrestres e aquáticos. Os solos da bacia do rio Madeira estudados correspondem às ordens latossolos e gleissolos. Os Latossolos são a ordem mais abundante de solos no Brasil e na Amazônia esta ordem é predominante sobre as demais ordens.

O mercúrio total para cada tipo de solo, cujas médias e desvios de suas concentrações estão distribuídos por fator (período, nível do perfil do solo e o tipo de solo), tiveram suas concentrações dentro das faixas propostas por estudos realizados por Kabata-Pendias & Pendias (2001); solos do Brasil (expressos como média \pm desvio padrão) compilado de Pérez *et al.* (1997); mercúrio em solos do Baixo rio Madeira (expresso como média \pm desvio padrão)

compilado de Bastos *et al.* (2006); e solos do cerrado brasileiro compilado de Marques *et al.* (2004).

A comparação dos níveis do perfil dos solos e as concentrações de mercúrio total mostram uma tendência dos horizontes superficiais possuírem as maiores concentrações do mercúrio total em ambos os tipos de solos analisados. A Análise de Variâncias Multifatoriais, mostrou que os fatores analisados (período; perfil do solo, pedologia e entre fator) mostrou diferença significativas nos fatores níveis do perfil, período e pedologia e entre estes dois fatores a comparação não foi significativa. Neste caso a maior contribuição ficou com o fator nível do perfil do solo, que teve o valor de sua probabilidade menor.

No fator pedologia as concentrações comparadas não foram significativas entre os tipos de solos. Os solos possuem características únicas quando comparados aos outros componentes da biosfera (ar, água e biota), pois se apresentam não apenas como um dreno para contaminantes, mas também como um tampão natural que controla o transporte de elementos químicos e outras substâncias para a atmosfera, hidrosfera e biota (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001).

As reações que controlam a disponibilidade Hg total em solos compreendem adsorção e dessorção, precipitação e dissolução, complexação, oxi-redução, fotólise, metilação, bioacumulação e biomagnificação. Estes processos resumidamente governam a solubilidade, disponibilidade e mobilidade do Hg nos solos. Esses processos sofrem influência de diferentes atributos dos solos, destacando-se pH, temperatura, potencial redox, textura, composição mineral, carbono total e teor dos compostos orgânicos, na fase sólida e na solução do solo. Pois, além de afetarem diretamente as reações supracitadas, são também os principais fatores que controlam a especiação do mercúrio em solução.

O boxplot do fator níveis perfil dos solos mostra a variabilidade do mercúrio total entre o nível superior 5 cm, onde as concentrações são mais elevadas e o inferior de 100 cm, menos elevadas. A comparação da variabilidade do Hg total no fator período mostra a maior variabilidade no período hidrológico de vazante de 2010, onde as concentrações do mercúrio total foram mais elevadas.

Referente aos tipos de solo a maior variabilidade e os maiores valores de concentrações de mercúrio total foram verificados no tipo gleissolos. A análise de probabilidade a posteriori realizada para as concentrações do mercúrio total no fator níveis do perfil, mostrou que as

probabilidades significativas, ocorrem entre o perfil de 5 cm com os demais níveis de 20, 40, 60 e 100 cm de profundidade, corroborando assim com a análise de variâncias multivariadas ANOVA/MANOVA.

A análise de grupos homogêneos mostrou a formação de dois grupos para o mercúrio total, sendo o primeiro grupo constituído pelos níveis inferiores de 20, 40, 60 e 100 cm enquanto o segundo grupo é formado somente pelo nível 5 cm. Os outros níveis não apresentaram probabilidades significativas, e deste modo estes níveis ficaram compartilhados no mesmo grupo. Os níveis mais elevados na superfície do solos indicam a ocorrência de atividade biológica mais ativa, que por sua vez eleva os teores de mercúrio total via biomagnificação. As análises de probabilidades e de grupos homogêneos a posteriori indicam uma tendência significativa, na diminuição dos teores dos espécimes de mercúrio com o aumento da profundidade do solo.

A análise de grupo homogêneos entre fatores mostrou a formação de dois grupos, sendo o primeiro grupo formado pelo período hidrológico de vazante de 2010 e o segundo grupo referente ao período hidrológico de vazante de 2011. As análises de probabilidade e a de grupos homogêneos a posteriori corroboram entre si e indicam que realmente, o mercúrio total se diferencia com as condições ambientais de cada período hidrológico de vazante. Assim os dois grupos formados indicam condições diferenciadas no solo nos níveis superiores (5 cm e 100 cm) nos dois períodos hidrológicos de vazante de 2010 e vazante de 2011. Portanto é possível inferir, que mesmo sendo similar o contexto hidrológico, a dinâmica de magnificação do mercúrio foi significativamente diferente quando comparados os dois períodos de vazante de 2010 e vazante de 2011. As probabilidades a posteriori comparadas no fator pedologia ou tipos de solos, corroboram com a hipótese da e da mobilização química do mercúrio ser maior em solos ácidos, nos níveis superiores, onde as atividades biológicas dos detritívoros e decompositores são mais elevadas, que os níveis mais inferiores e profundos dos solos. A análise de grupos homogêneos indica a separação dos tipos de solos de acordo com as concentrações do mercúrio total. As condições mais ácidas das soluções dos solos favorecem a mobilização do mercúrio, sendo que este processo leva a bioacumulação entre os indivíduos das populações e biomagnificação destas populações ao longo da teia trófica. As condições ambientais na Amazônia são mais dinâmicas, e favorecem a metilação, devido as condições de elevada decomposição.

Matrizes Bióticas

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) foi aplicada para averiguar as diferenças nas concentrações das espécies de mercúrio nas matrizes bióticas fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados entre os períodos hidrológicos de seca de 2009 (1^a campanha de campo) a vazante de 2010 (4^a campanha de campo) considerando as estações de amostragem na calha e nos tributários do rio Madeira (**Tabela 145**). A análise de variância método ANOVA-OneWay mostrou diferença significativa ($F=10,29$; $p=0,000$) entre as concentrações de mercúrio total no fitoplâncton, entre os períodos hidrológicos analisados (**Tabela 146**), posteriormente foi realizado a análise a posteriori “post hoc” LSD Fisher, que checa o erro das probabilidades (**Tabela 147**).

Tabela 145. Estatística descritiva das concentrações de mercúrio total (HgT) no fitoplâncton nos períodos hidrológicos.

	Período	N	Média HgT ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão
Média global	Total	80	48,6439	76,89300
Período	Seca	20	< 1,0200	
Período	Enchente	20	30,3660	69,82903
Período	Cheia	20	50,1880	54,58318
Período	Vazante	20	113,0015	98,11625

Tabela 146. Análise de variância (ANOVA-One Way) entre os períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	189298,1	1	189298,1	43,31216	0,000000
Período	134928,0	3	44976,0	10,29069	0,000009
Error	332162,1	76	4370,6		

Tabela 147. Análise a posteriori LSD Fisher, entre os grupos ou períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Seca		0,164475	0,021271	0,000001
2	Enchente	0,164475		0,346056	0,000172
3	Cheia	0,021271	0,346056		0,003601
4	Vazante	0,000001	0,000172	0,003601	

A análise a posteriori mostrou diferença significativa nas concentrações de mercúrio total no fitoplâncton entre os períodos hidrológicos de vazante, seca e cheia, enquanto que o período

hidrológico de enchente somente apresentou diferença significativa com o período de vazante (**Tabela 147**).

A análise de grupos homogêneos mostrou a formação de três grupos distintos, sendo o primeiro formado pelos períodos hidrológicos de seca e enchente, o segundo grupo formado pelos períodos hidrológicos de cheia e enchente e o terceiro grupo formado apenas pelo período de vazante (**Tabela 148**).

Tabela 148. Análise de grupos homogêneos LSD Fisher adotando-se como valor de alfa= 0,05, para comparações entre os grupos (períodos) hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	Média Hg Total ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	1	2	3
1	Seca	1,0200	****		
2	Enchente	30,3660	****	****	
3	Cheia	50,1880		****	
4	Vazante	113,0015			****

A **Figura 61** mostra a variabilidade nas concentrações de mercúrio total no fitoplâncton nos tributários e calha do rio Madeira entre os períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

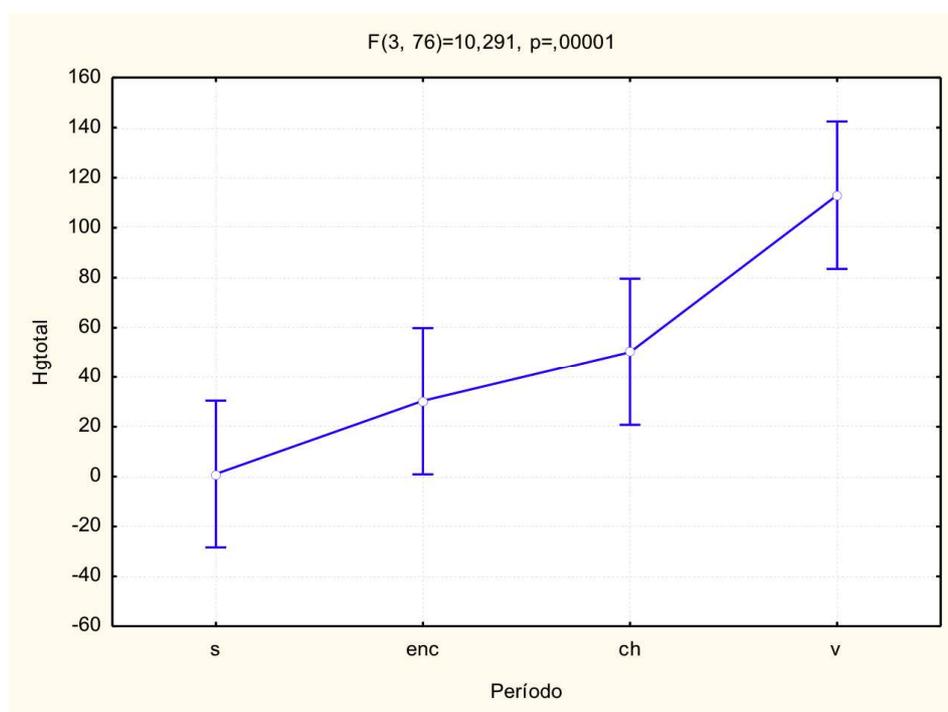


Figura 61. Variabilidade das concentrações de mercúrio total no fitoplâncton nos tributários e calha do rio Madeira por período hidrológico de seca de 2009 a vazante de 2010. Dados: s – seca; em - enchente; ch - cheia e v – vazante.

A **Tabela 149** mostra as concentrações médias de metilmercúrio no fitoplâncton nos tributários e calha do rio Madeira por período hidrológico, sendo média global para metilmercúrio no fitoplâncton em torno de $2,16 \pm 4,03 \mu\text{g Kg}^{-1}$.

Tabela 149. Estatística descritiva das concentrações de metilmercúrio (MeHg) no fitoplâncton nos tributários e calha do rio Madeira nos períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	N	Média MeHg ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Desvio Padrão
	Total	80	2,161082	4,031426
Período	Seca	20	0,030000	0,000000
Período	Enchente	20	2,156500	4,370626
Período	Cheia	20	1,987129	3,073475
Período	Vazante	20	4,470700	5,347862

A análise de variância método ANOVA-OneWay mostrou diferença significativa ($F=4,62$; $p=0,005$) entre as concentrações de metilmercúrio no fitoplâncton, entre os períodos hidrológicos analisados (**Tabela 150**), posteriormente foi realizado a análise a posteriori “post hoc” LSD Fisher, que checa o erro das probabilidades (**Tabela 151**).

Tabela 150. Análise de variância (ANOVA-One Way) entre os períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	373,622	1	373,6222	26,15109	0,000002
Período	198,123	3	66,0408	4,62242	0,005043
Error	1085,817	76	14,2871		

A análise a posteriori mostrou diferença significativa apenas nas concentrações de metilmercúrio no fitoplâncton entre o período hidrológico de vazante em relação aos demais períodos hidrológicos (**Tabela 151**).

Tabela 151. Análise a posteriori LSD Fisher, entre os grupos ou períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Seca		0,079226	0,105686	0,000386
2	Enchente	0,079226		0,887693	0,056573
3	Cheia	0,105686	0,887693		0,041104
4	Vazante	0,000386	0,056573	0,041104	

A análise de grupos homogêneos mostrou a formação de dois grupos, o primeiro formado pelos períodos de seca, cheia e enchente, o segundo grupo formado pelos períodos de vazante e enchente (**Tabela 152**).

Tabela 152. Análise de grupos homogêneos LSD Fisher adotando-se como valor de alfa= 0,05, para comparações entre os grupos (períodos) hidrológicos.

	Período	Média MeHg ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	1	2
1	Seca	0,030000	****	
3	Cheia	1,987129	****	
2	Enchente	2,156500	****	****
4	Vazante	4,470700		****

A **Figura 62** mostra a variabilidade nas concentrações de metilmercúrio no fitoplâncton nos tributários e calha do rio Madeira entre os períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

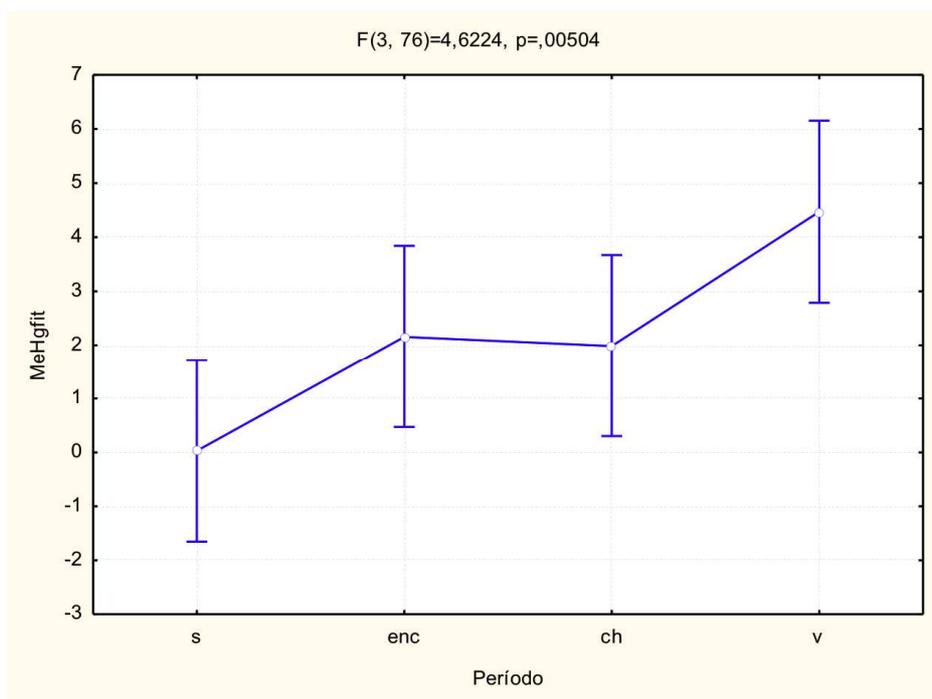


Figura 62. Variabilidade das concentrações de metilmercúrio no fitoplâncton nos tributários e calha do rio Madeira por período hidrológico de seca de 2009 a vazante de 2010. Dados: s – seca; em - enchente; ch - cheia e v – vazante.

A **Tabela 153** mostra as concentrações médias de mercúrio total do zooplâncton dos tributários e calha do rio Madeira por período hidrológico, sendo a média global para mercúrio total no zooplâncton em torno de $111,97 \pm 206,58 \mu\text{g kg}^{-1}$. Os desvios padrões foram relativamente altos indicando uma grande variabilidade entre as amostras de zooplâncton e entre os períodos hidrológicos.

Tabela 153. Estatística descritiva das concentrações de mercúrio total (HgT) no zooplâncton nos tributários e calha do rio Madeira nos períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	N	Média HgT ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Desvio Padrão
Média global	Total	80	111,9717	206,5856
Período	Seca	20	1,0335	0,0254
Período	Enchente	20	101,3640	242,4196
Período	Cheia	20	207,3580	259,2165
Período	Vazante	20	138,1315	167,6819

A análise de variância método ANOVA-OneWay mostrou diferença significativa ($F=3,84$; $p=0,012$) entre as concentrações de mercúrio total no zooplâncton, entre os períodos hidrológicos analisados (**Tabela 154**), posteriormente foi realizado a análise a posteriori “post hoc” LSD Fisher, que checa o erro das probabilidades (**Tabela 155**). A análise a posteriori mostrou diferença significativa apenas nas concentrações de mercúrio total do zooplâncton entre o período hidrológico de seca, cheia e vazante, enquanto que o período hidrológico de enchente não apresentou diferença significativa (**Tabela 155**).

Tabela 154. Análise de variância (ANOVA-One Way) entre os períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercepto	1003014	1	1003014	26,03917	0,000002
Período	444054	3	148018	3,84268	0,012843
Error	2927476	76	38519		

Tabela 155. Análise a posteriori LSD Fisher, entre os grupos ou períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Seca		0,110116	0,001366	0,030189
2	Enchente	0,110116		0,091752	0,555333
3	Cheia	0,001366	0,091752		0,268192
4	Vazante	0,030189	0,555333	0,268192	

A análise de grupos homogêneos mostrou a formação de dois grupos distintos, sendo o primeiro grupo formado pelos períodos hidrológicos de seca e enchente e o segundo grupo formado pelos períodos hidrológicos de vazante, enchente e cheia (**Tabela 156**).

Tabela 156. Análise de grupos homogêneos LSD Fisher adotando-se como valor de alfa= 0,05, para comparações entre os grupos (períodos) hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	Média HgTotal zooplâncton ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	1	2
1	Seca	1,0335		****
2	Enchente	101,3640	****	****
4	Vazante	138,1315	****	
3	Cheia	207,3580	****	

A **Figura 63** mostra a maior variabilidade nas concentrações de mercúrio total no zooplâncton nos tributários e calha do rio Madeira entre os períodos hidrológicos de seca e cheia, enquanto a variação ficou discreta no período de enchente e vazante.

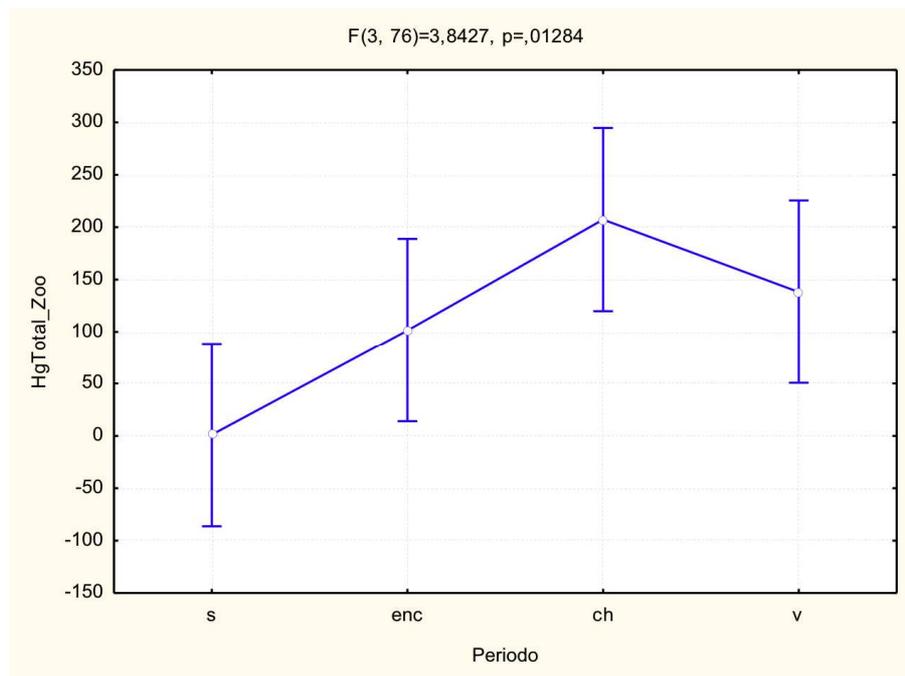


Figura 63. Variabilidade das concentrações de mercúrio total no zooplâncton nos tributários e calha do rio Madeira por período hidrológico de seca de 2009 a vazante de 2010. Dados: s – seca; em - enchente; ch - cheia e v – vazante.

A **Tabela 157** mostra as concentrações médias de metilmercúrio no zooplâncton dos tributários e calha do rio Madeira por período hidrológico, sendo a média global para metilmercúrio no zooplâncton em torno de $3,62 \pm 6,09 \mu\text{g kg}^{-1}$. Os desvios padrões foram altos,

quando comparados com as médias, indicando uma variabilidade grande entre as amostras e entre os períodos hidrológicos.

Tabela 157. Estatística descritiva das concentrações de metilmercúrio (MeHg) no zooplâncton nos tributários e calha do rio Madeira nos períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	N	Média MeHg ($\mu\text{g k}^{-1}$)	Desvio Padrão
Média global	Total	80	3,624413	6,090936
Período	Seca	20	0,036000	0,015009
Período	Enchente	20	2,929000	5,563814
Período	Cheia	20	6,645806	7,789820
Período	Vazante	20	4,886847	6,104745

A análise de variância método ANOVA-OneWay mostrou diferença significativa ($F=4,98$; $p=0,003$) entre as concentrações de metilmercúrio no zooplâncton, entre os períodos hidrológicos analisados (**Tabela 158**), posteriormente foi realizado a análise a posteriori “post hoc” LSD Fisher, que checa o erro das probabilidades (**Tabela 159**).

Tabela 158. Análise de variância (ANOVA-One Way) entre os períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercepto	1050,910	1	1050,910	32,61025	0,000000
Período	481,657	3	160,552	4,98202	0,003293
Erro	2449,204	76	32,226		

A análise a posteriori mostrou diferença significativa nas concentrações de metilmercúrio no zooplâncton entre o período hidrológicos de seca com os períodos de cheia e vazante. Enquanto que o período hidrológico de enchente apresentou diferença significativa com o período hidrológico de cheia (**Tabela 159**).

Tabela 159. Análise a posteriori LSD Fisher, entre os grupos ou períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Seca		0,111206	0,000431	0,008493
2	Enchente	0,111206		0,041807	0,278886
3	Cheia	0,000431	0,041807		0,330280
4	Vazante	0,008493	0,278886	0,330280	

A análise de grupos homogêneos mostrou a formação de três grupos distintos, o primeiro grupo formado pelos períodos hidrológicos de seca e enchente, o segundo grupo formado pelos períodos hidrológicos de vazante e enchente e o terceiro grupo formado pelos períodos hidrológicos de vazante e cheio (**Tabela 160**).

Tabela 160. Análise de grupos homogêneos LSD Fisher adotando-se como valor de alfa= 0,05, para comparações entre os grupos (períodos) hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	Média MeHg zooplâncton ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	1	2	3
1	seca	0,036000	****		
2	enchente	2,929000	****	****	
4	vazante	4,886847		****	****
3	cheia	6,645806			****

A **Figura 64** mostra a maior variabilidade nas concentrações de metilmercúrio no zooplâncton nos tributários e calha do rio Madeira entre os períodos hidrológicos de seca e cheia, enquanto a variação ficou discreta no período de enchente e vazante, muito semelhante ao mercúrio total no zooplâncton.

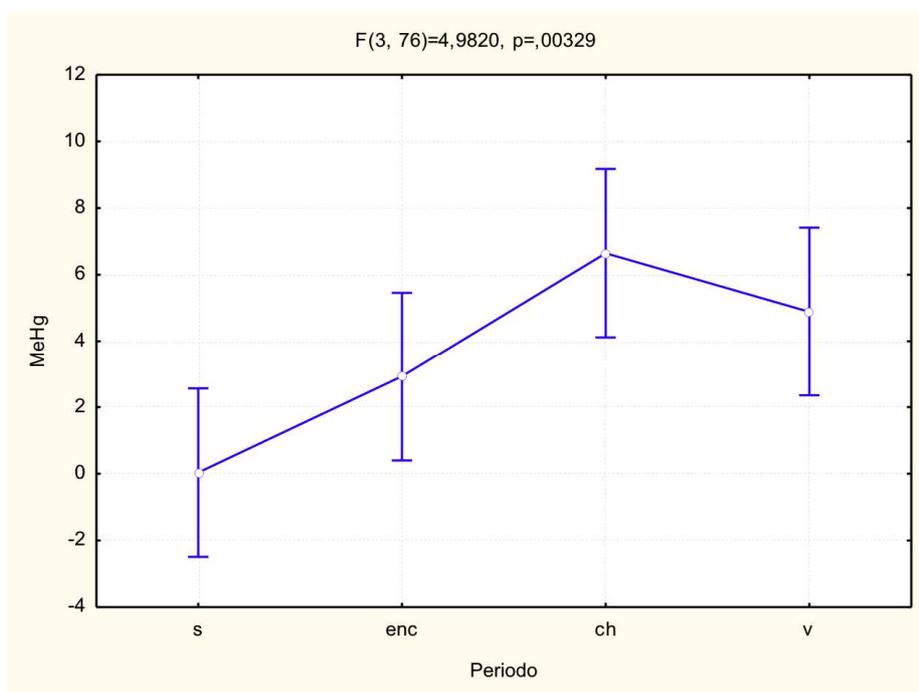


Figura 64. Variabilidade das concentrações de metilmercúrio no zooplâncton nos tributários e calha do rio Madeira por período hidrológico de seca de 2009 a vazante de 2010. Dados: s – seca; em - enchente; ch - cheia e v – vazante.

A **Tabela 161** mostra as concentrações médias de mercúrio total nos invertebrados aquáticos dos tributários e calha do rio Madeira por período hidrológico, sendo a média global para mercúrio total nos invertebrados de $148,29 \pm 231,42 \mu\text{g Kg}^{-1}$. Os desvios padrões foram altos, quando comparados com as médias, indicando uma variabilidade grande entre as amostras e entre os períodos hidrológicos.

Tabela 161. Estatística descritiva das concentrações de mercúrio total (HgT) nos invertebrados nos tributários e calha do rio Madeira nos períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	N	Média HgT ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão
Média global	Total	80	148,2968	231,4239
Período	Seca	20	1,0200	0,0000
Período	Enchente	20	65,1140	112,9546
Período	Cheia	20	138,9307	217,2444
Período	Vazante	20	388,1225	268,2894

A análise de variância método ANOVA-OneWay mostrou diferença significativa ($F=17,42$; $p=0,000$) entre as concentrações de mercúrio total nos invertebrados, entre os períodos hidrológicos analisados (**Tabela 162**), posteriormente foi realizado a análise a posteriori “post hoc” LSD Fisher, que checa o erro das probabilidades (**Tabela 163**).

Tabela 162. Análise de variância (ANOVA-One Way) entre os períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercepto	1759355	1	1759355	53,34087	0,000000
Período	1724278	3	574759	17,42580	0,000000
Erro	2506727	76	32983		

A análise a posteriori mostrou diferença significativa nas concentrações de mercúrio total nos invertebrados nos tributários e calha do rio Madeira entre o período hidrológico de vazante com os demais períodos hidrológicos. O período hidrológico de seca apresentou diferença significativa com os períodos hidrológicos de cheia e vazante. O período hidrológico de enchente não apresentou diferença significativa com os períodos de cheia e seca (**Tabela 163**).

Tabela 163. Análise a posteriori LSD Fisher, entre os grupos ou períodos hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Seca		0,267931	0,018780	0,000000
2	Enchente	0,267931		0,202587	0,000000
3	Cheia	0,018780	0,202587		0,000044
4	Vazante	0,000000	0,000000	0,000044	

A análise de grupos homogêneos mostrou a formação de três grupos distintos, o primeiro grupo formado pelos períodos hidrológicos de seca e enchente, o segundo grupo formado pelos períodos hidrológicos de enchente e cheia e o terceiro grupo formado apenas pelo período hidrológico de vazante (**Tabela 164**).

Tabela 164. Análise de grupos homogêneos LSD Fisher adotando-se como valor de alfa= 0,05, para comparações entre os grupos (períodos) hidrológicos de seca de 2009 a vazante de 2010.

	Período	Média Hg total invertebrado ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	1	2	3
1	Seca	1,0200	****		
2	Enchente	65,1140	****	****	
3	Cheia	138,9307		****	
4	Vazante	388,1225			****

A **Figura 65** mostra a maior variabilidade nas concentrações de mercúrio total nos invertebrados nos tributários e calha do rio Madeira entre os períodos hidrológicos de seca e cheia, enquanto a variação ficou discreta no período de enchente e vazante, muito semelhante ao mercúrio total no zooplâncton.

A **Tabela 165** mostra as concentrações médias de metilmercúrio nos invertebrados aquáticos nos tributários e calha do rio Madeira por período hidrológico, sendo a média global para metilmercúrio nos invertebrados de $22,90 \pm 67,91 \mu\text{g kg}^{-1}$. Os desvios padrões foram altos, quando comparados com as médias, indicando uma variabilidade grande entre as amostras e entre os períodos.

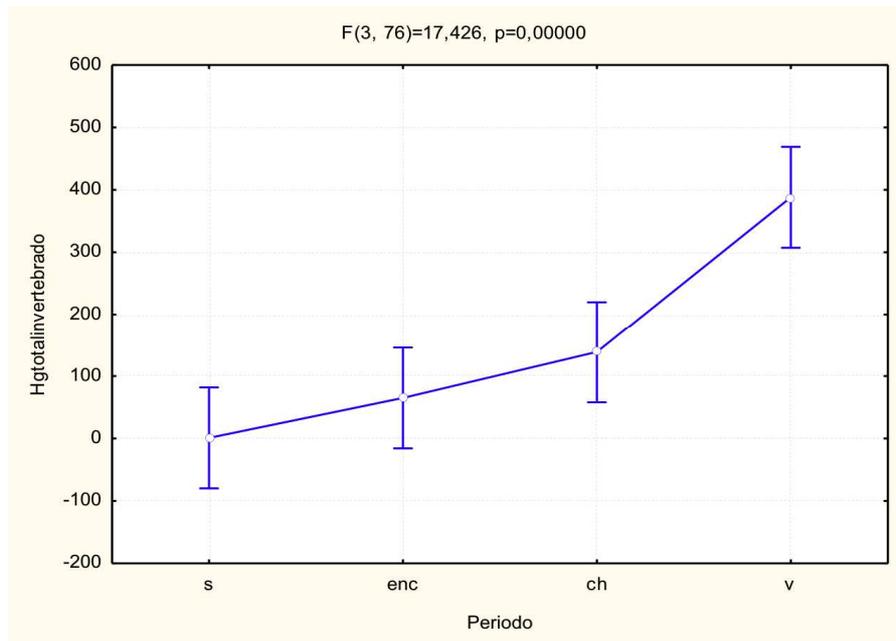


Figura 65. Variabilidade das concentrações de mercúrio total no invertebrado nos tributários e calha do rio Madeira por período hidrológico de seca de 2009 a vazante de 2010. Dados: s – seca; em - enchente; ch - cheia e v – vazante.

Tabela 165. Estatística descritiva das concentrações de metilmercúrio nos invertebrados nos tributários e calha do rio Madeira nos períodos hidrológicos.

	Período	N	Média MeHg invertebrados ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desvio Padrão
Média global	Total	80	22,90421	67,9081
Período	Seca	20	0,04750	0,0249
Período	Enchente	20	6,93250	12,3883
Período	Cheia	20	12,72389	19,9464
Período	Vazante	20	71,91294	123,1545

A análise de variância método ANOVA-OneWay mostrou diferença significativa ($F=5,57$; $p=0,001$), entre as concentrações de metilmercúrio nos invertebrados, entre os períodos hidrológicos analisados (**Tabela 166**), posteriormente foi realizado a análise a posteriori “post hoc” LSD Fisher, que checa o erro das probabilidades (**Tabela 167**).

Tabela 166. Análise de variância (ANOVA-One Way) entre os períodos hidrológicos do rio Madeira.

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercepto	41968,2	1	41968,22	10,68006	0,001627
Período	65660,4	3	21886,80	5,56974	0,001653
Erro	298648,7	76	3929,59		

A análise a posteriori mostrou diferença significativa nas concentrações de MeHg nos invertebrados, entre os períodos de vazante, com os demais períodos. Os outros períodos, entre si, não apresentaram diferenças significativas (**Tabela 167**).

Tabela 167. Análise de grupos homogêneos LSD Fisher adotando-se como valor de alfa= 0,05, para comparações entre os grupos ou períodos hidrológicos do rio Madeira.

	Período	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Seca		0,729311	0,524438	0,000520
2	Enchente	0,729311		0,770966	0,001578
3	Cheia	0,524438	0,770966		0,003804
4	Vazante	0,000520	0,001578	0,003804	

A análise de grupos homogêneos mostrou a formação de dois grupos distintos, o primeiro grupo formado pelos períodos hidrológicos de seca, enchente e cheia, enquanto o segundo grupo é formado apenas pelo período hidrológico de vazante (**Tabela 168**).

Tabela 168. Análise de grupos homogêneos LSD Fisher adotando-se como valor de alfa= 0,05, para comparações entre os grupos (períodos) hidrológicos.

	Período	Média MeHg invertebrados ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	1	2
1	Seca	0,04750	****	
2	Enchente	6,93250	****	
3	Cheia	12,72389	****	
4	Vazante	71,91294		****

A **Figura 66** mostra a maior variabilidade nas concentrações de metilmercúrio nos invertebrados nos tributários e calha do rio Madeira entre os períodos hidrológicos de seca e vazante, enquanto a variação ficou discreta no período hidrológicos de enchente e cheia.

A análise de regressão múltipla foi aplicada para averiguar as diferenças nas concentrações das espécies de mercúrio nas matrizes bióticas (fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados) e abióticas (água superficial e sedimento de fundo) no período hidrológico de vazante de 2010 (4ª campanha de campo) considerando as estações de amostragem na calha e nos tributários do rio Madeira.

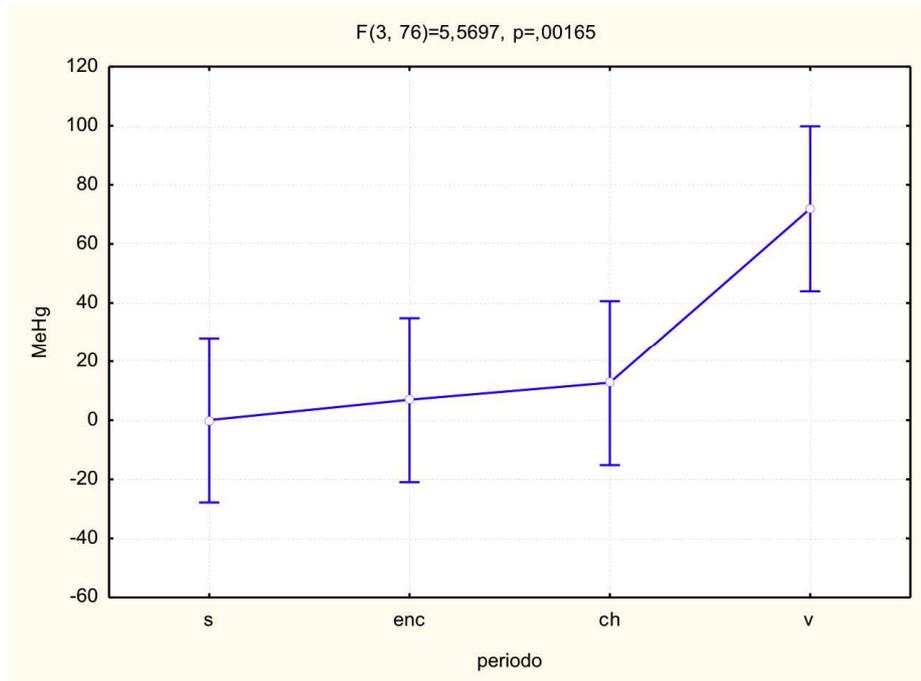


Figura 66. Variabilidade das concentrações de metilmercúrio no invertebrado nos tributários e calha do rio Madeira por período hidrológico de seca de 2009 a vazante de 2010. Dados: s – seca; em - enchente; ch - cheia e v – vazante.

O resultado da regressão múltipla considerando a variável dependente dos teores de metilmercúrio nos invertebrados (MeHg – Invertebrados) e variáveis independentes dos teores de mercúrio total nos invertebrados, metilmercúrio no fitoplâncton, mercúrio total no zooplâncton, metilmercúrio no zooplâncton, mercúrio total invertebrado, metilmercúrio no sedimento, mercúrio orgânico na água superficial e mercúrio total no material particulado suspenso foram significativos ($p < 0,005$). A correlação múltipla observada foi da ordem de 89% com um coeficiente de determinação ajustado em torno de 80% para um valor de $F(3,16) = 5,5042$. A regressão parcial (**Tabela 169**) indica uma significância parcial das variáveis independentes e os valores do coeficiente angular (Beta) das variáveis, responsável pelo grau de variação da variável dependente em relação às independentes.

Tabela 169 - Análise de regressão múltipla parcial considerando a variável dependentes sendo os teores de metilmercúrio em invertebrados coletados na 4ª campanha de campo (período de vazante).

Variáveis	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(11)	p-level
Intercepto			47	57,83	0,82	0.433585
Hg Total - Fitoplâncton	-0,65	0,46	-0,79	0,56	-1,41	0,05
MeHg - Fitoplâncton	0,31	0,53	7,03	12,04	0,59	0,57
Hg Total - Zooplâncton	-2,37	1,54	-1,71	1,11	-1,54	0,05
MeHg - Zooplâncton	2,83	1,52	56,19	30,23	1,86	0,05
Hg Total - Invertebrado	0,40	0,19	0,18	0,08	2,12	0,05
MeHg – Sedimento	0,32	0,32	116,05	116,81	1,00	0,34
Hg Org – Água superficial	-0,03	0,37	-6,37	64,73	-0,09	0,92
Hg Total- Particulado	-0,28	0,20	-2,18	1,52	-1,38	0,19

Hg Total – mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$); MeHg – metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$); Hg Org – mercúrio orgânico (ng L^{-1})

A **Tabela 170** e as **Figuras 67** apresentam os resultados das análises das componentes principais aplicados às variáveis metilmercúrio no fitoplâncton, metilmercúrio no zooplâncton, metilmercúrio invertebrado, metilmercúrio no sedimento e mercúrio orgânico na água.

Tabela 170 - Cargas das componentes principais indicando as percentagens de explicação da variabilidade das concentrações de mercúrio orgânico na água superficial e metilmercúrio nos invertebrados, zooplâncton, fitoplâncton e sedimento.

Variáveis	Fator 1	Fator 2
MeHg Fitoplâncton	-0,601011	-0,425643
MeHg Zooplâncton	-0,567190	-0,592590
MeHg Invertebrado	-0,780569	-0,205061
MeHg Sedimento	-0,825247	0,421639
Hg Org Água superficial	-0,537234	0,752064

A projeção polar das cargas das variáveis associadas às duas primeiras componentes mostra a ordenação dos vetores das variáveis no espaço (**Figura 67**). As variáveis metilmercúrio nos invertebrados, metilmercúrio no zooplâncton e metilmercúrio fitoplâncton foram agrupadas com cargas negativas na primeira componente, que explica 45,24% da variabilidade total formando um grupo. As variáveis metilmercúrio no sedimento e mercúrio orgânico na água superficial foram agrupadas no segundo grupo e apresentaram cargas negativa na primeira componente. A segunda componente explicou em torno de 26,36% a variação e as duas componentes juntas explicou 72% da variabilidade total.

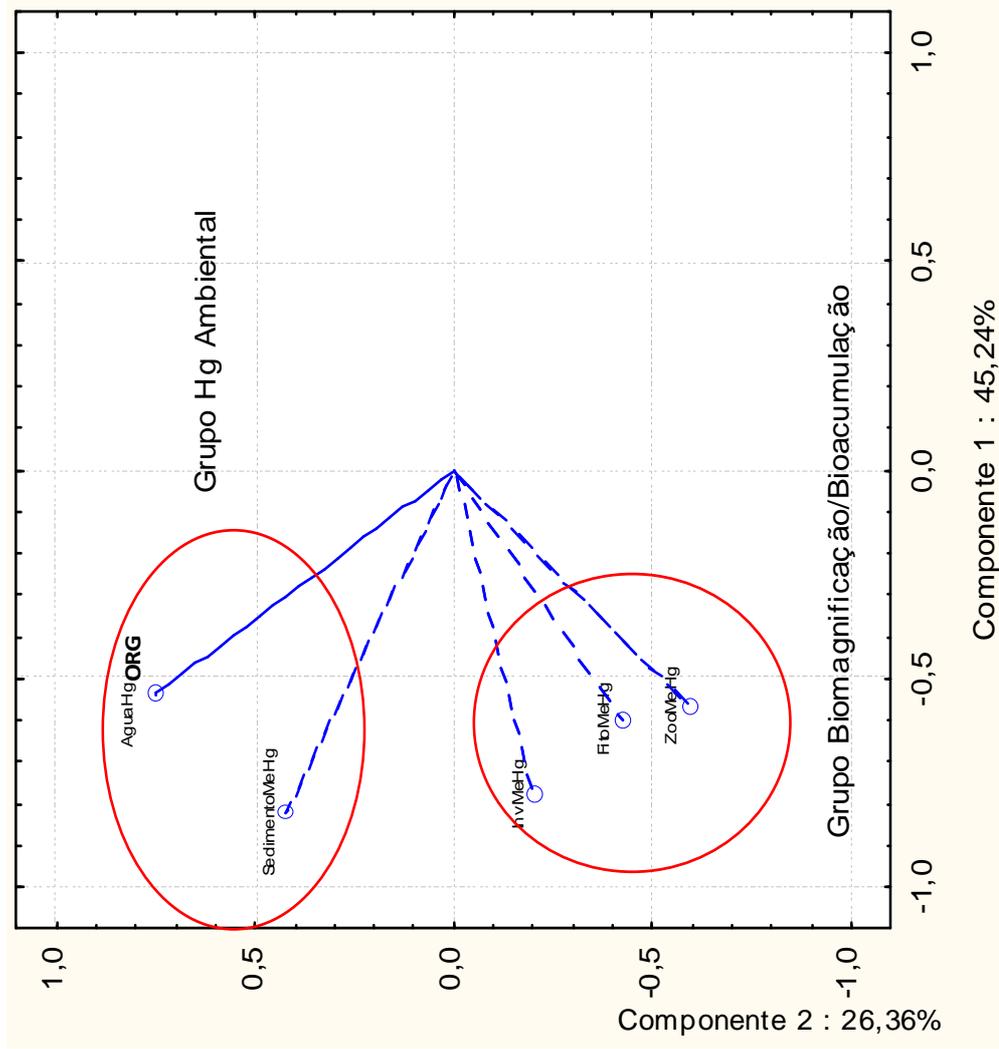


Figura 67. Projeção espacial da ordenação dos vetores de mercúrio orgânico na água e metilmercúrio nos invertebrados, zooplâncton, fitoplâncton e sedimento nas duas componentes principais para a 4ª campanha de campo (período de vazante).

A regressão múltipla é uma ferramenta estatística muito importante na validação das relações de causa e efeito. Diversos autores como Suchanek *et al.* (1995); Watras *et. al.* (1998); Rennie *et al.* (2005); Ackerman *et. al.* (2010) utilizaram esta técnica, para validar a relação do metilmercúrio e sua biomagnificação ao longo das teias tróficas. Esta técnica estatística possibilita estabelecer, fazendo uso da regressão múltipla, os efeitos significativos de bioacumulação do metilmercúrio nos invertebrados, em relação ao fitoplâncton, zooplâncton, sedimento e água superficial coletados nos pontos de amostragem no rio Madeira e tributários ocasionando a alta correlação múltipla (89%), e pelo elevado coeficiente de determinação da regressão (80%). Embora os paradigmas atuais sobre a bioacumulação de mercúrio estão enraizados nas observações, de que o metilmercúrio biomagnifica ao longo das cadeias alimentares pelágicas. No entanto, os mecanismos que regulam a formação de metilmercúrio, a sua incorporação inicial na base das cadeias alimentares pelágicas e sua posterior transferência trófica permanecem controversos (Watras *et. al.*,1998).

As variáveis analisadas estão fortemente correlacionadas, quando analisadas em conjunto, mas na regressão parcial a variável dependente metilmercúrio no invertebrado teve correlação significativa com as variáveis de mercúrio total no fitoplâncton, mercúrio total no zooplâncton, metilmercúrio no zooplâncton e mercúrio total nos invertebrados. Isto indica que a relação dos invertebrados em termos tróficos, é mais correlacionada com o fitoplâncton, zooplâncton e o sedimento. Esta relação pode ser explicada em termos da dimensão espacial do nicho ecológico, dos invertebrados e do zooplâncton, que ocupa durante o dia a parte superior do sedimento, sendo bem provável, que estes organismos sirvam de alimento aos invertebrados. Outro fator importante refere-se aos coeficientes angulares que não foram significativos, indicando variações pequenas, ou seja, variações mais lentas na causa e efeito durante o processo de biomagnificação e bioacumulação dos indivíduos.

A ordenação das variáveis nos dois vetores principais explica 72% da variabilidade dos dados (**Figura 67**). A projeção espacial dos vetores das variáveis discriminou dois grupos, o primeiro refere-se ao metilmercúrio nos invertebrados, metilmercúrio no fitoplâncton e metilmercúrio no zooplâncton, enquanto que o segundo grupo ficou discriminado pelas variáveis metilmercúrio no sedimento e metilmercúrio na água superficial, ambos os grupos tiveram as cargas mais altas na primeira componente que explica 45% da variabilidade dos dados (**Tabela 170**).

Esta estratégia estatística confere ao primeiro grupo a maior importância na ordenação, sendo aqui denominada componente do “potencial de biomagnificação/bioacumulação”, que pode estar associado à dinâmica de bioacumulação das populações nas teias tróficas bentônicas.

A segunda componente explica 26% e discriminou melhor o mercúrio orgânico na água superficial. Esta componente indica uma associação com a biomagnificação, por esse motivo foi determinada como sendo a “componente do Hg ambiental”, pois a relação é atribuída à base da teia trófica (fitoplâncton), que incorpora o Hg por difusão (Fishe e Hook, 2002 e Hebram e Masson, 2003), que por sua vez é incorporado via predação, para o nível trófico superior o Zooplâncton, que por sua vez, é incorporado via predação pelos invertebrados, que estão nesse caso específico em um nível superior.

Esta disponibilização pode ser explicada pelas variações em parte explicadas pelo regime de vazões do período hidrológico cuja dinâmica se inicia com o degelo das geleiras nos contrafortes andinos da Bolívia e Peru e pelo efeito da geomorfologia da área de estudo, que condiciona uma variação altimétrica das nascentes do rio Beni nos Andes a formação do rio Madeira no Brasil de 6.500 m para 120 m, (Guyot *et al.*, 1999), e com isso a lixiviação do mercúrio para o sedimento iniciando a ciclagem do mercúrio.

Desta forma monitoramento do metilmercúrio nas diversas matrizes utilizadas passa a ter maior importância. Eldaw *et al.* (2003) e Debels *et al.* (2005) atribuem a essa técnica a capacidade de reduzir as informações contidas nas variáveis condicionantes, que neste estudo discriminaram a relação do metilmercúrio nos invertebrados em relação ao metilmercúrio no zooplâncton, metilmercúrio no fitoplâncton e o metilmercúrio no sedimento.

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) foi aplicada para averiguar as diferenças nas concentrações das espécies de mercúrio nas matrizes bióticas fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados entre os períodos hidrológicos de enchente de 2010 (2ª campanha de campo) e enchente de 2011 (6ª campanha de campo) considerando as estações de amostragem na calha e nos tributários do rio Madeira. A **Tabela 171** mostra a média global das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no fitoplâncton nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e no período hidrológico enchente de 2011.

Tabela 171 – Estatística descritiva das concentrações médias de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) no fitoplâncton nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011.

Nível	N	HgT ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Desvio padrão	MeHg ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Desvio padrão
Enchente 2010	20	53,2640	93,65179	2,156500	4,370626
Enchente 2011	21	101,4548	92,18223	3,678571	3,654528
Total	41	77,9471	94,91887	2,936098	4,042860

O teste univariado foi usado para averiguar a diferença das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no fitoplâncton, entre os períodos de enchente de 2010 e enchente de 2011. O teste mostrou não haver diferença significativa entre os dois períodos hidrológicos para as duas variáveis (**Tabela 172**).

Tabela 172 – Teste de variância univariado para as concentrações de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) no fitoplâncton nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011.

Nível	Degr. Of	HgT F	HgT P	MeHg F	MeHg P
Intercepto	1	28,41253	0,000004	21,58952	0,000038
Período hidrológico	1	2,75646	0,104883	1,46900	0,232796

A análise de variância multivariada não mostrou diferença significativa entre as concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no fitoplâncton entre os períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 (**Tabela 173**).

Tabela 173 – Análise de variância das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no fitoplâncton nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

Nível	Valor	F	Effect	Error	Desvio padrão
Intercepto	0,576669	13,94782	2	38	0,000029
Período hidrológico	0,922926	1,58669	2	38	0,217859

(teste Wilks)

A **Figura 68** mostra o boxplot das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no fitoplâncton nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira indicando pouca variabilidade.

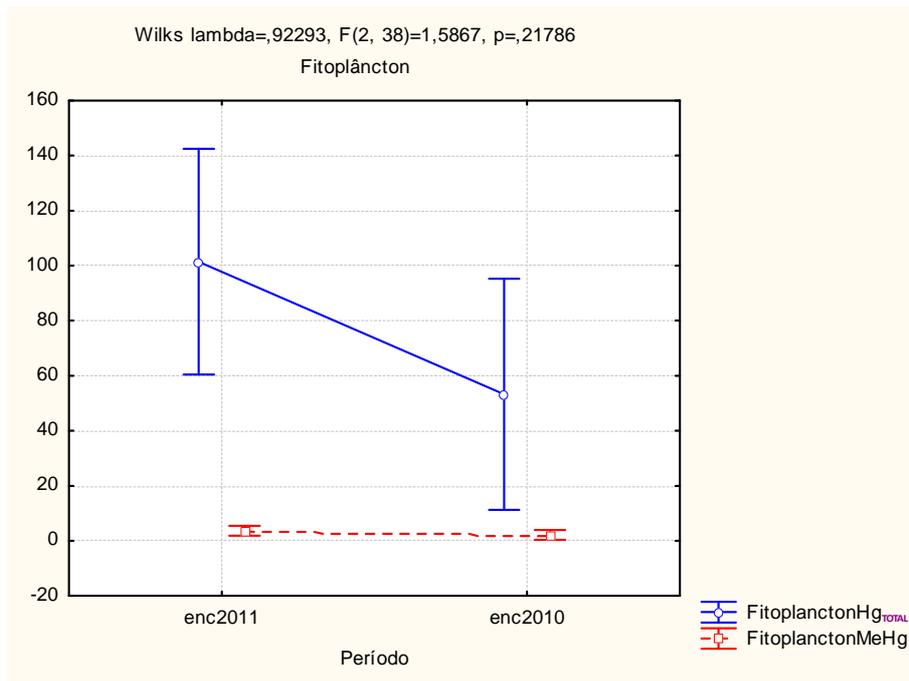


Figura 68: Boxplot da variabilidade das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no fitoplâncton nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

A **Tabela 174** mostra a média global das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no zooplâncton nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e no período hidrológico enchente de 2011.

Tabela 174 – Estatística descritiva das concentrações médias de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) no zooplâncton nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011.

Nível	N	HgT ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Desvio padrão	MeHg ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Desvio padrão
Enchente 2010	20	101,3640	242,4196	2,929000	5,563814
Enchente 2011	21	143,7352	147,5654	5,165714	6,008853
Total	41	123,0663	198,1464	4,074634	5,834252

O teste univariado foi usado para averiguar a diferença das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no zooplâncton, entre os períodos de enchente de 2010 e enchente de 2011. O teste mostrou não haver diferença significativa entre os dois períodos hidrológicos para as duas variáveis (**Tabela 175**).

Tabela 175 – Teste de variância univariado para as concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no zooplâncton nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

Nível	Degr. Of	Hg total F	Hg total P	MeHg F	MeHg P
Intercepto	1	15,46312	0,000335	19,97861	0,000066
Período hidrológico	1	0,46212	0,500650	1,52540	0,224193

A análise de variância multivariada não mostrou diferença significativa entre as concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no zooplâncton entre os períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 (**Tabela 176**).

Tabela 176 – Análise de variância das concentrações de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) no zooplâncton nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

Nível	Valor	F	Effect	Error	Desvio padrão
Intercepto	0,660518	9,765315	2	38	0,000378
Período hidrológico	0,938095	1,253813	2	38	0,296954

(teste Wilks)

A **Figura 69** mostra o boxplot das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no zooplâncton nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira indicando pouca variabilidade.

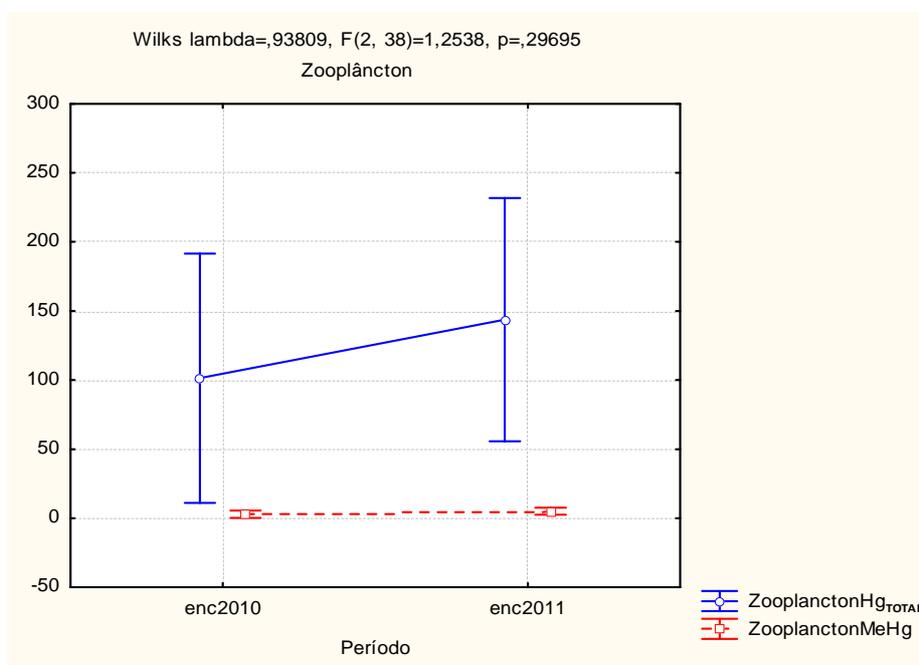


Figura 69: Boxplot da variabilidade das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no zooplâncton nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

O resultado da regressão múltipla adotando como variável dependente a concentração de mercúrio total do zooplâncton e como variáveis independentes as concentrações de metilmercúrio no zooplâncton, metilmercúrio no fitoplâncton e mercúrio total no fitoplâncton foram significativos ($p < 0,00000$). A correlação múltipla foi da ordem de 90% com coeficiente de determinação ajustado em torno de 80% para um valor de $F(3,37) = 55,99$. A regressão parcial indica que apenas as concentrações de metilmercúrio foram significativas, na relação causa e efeito.

Tabela 177 – Análise de variância das concentrações de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) no zooplâncton nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

Nível	Beta	Std.Err.	B	Erro	t(37)	p-level
Intercepto			3,46069	19,58677	0,17669	0,860719
Fitoplâncton Hg Total	0,095491	0,173202	0,19934	0,36156	0,55133	0,584724
Fitoplâncton MeHg	-0,139453	0,171804	-6,83478	8,42038	-0,81169	0,422158
Zooplâncton MeHg	0,897027	0,071654	30,46537	2,43357	12,51882	0,000000

A **Tabela 178** mostra a média global das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nos invertebrados nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e no período hidrológico enchente de 2011.

Tabela 178 – Estatística descritiva das concentrações médias de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) nos invertebrados nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011.

Nível	HgT ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Desvio padrão	MeHg ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Desvio padrão
Enchente 2010	65,11	112,95	6,93	12,39
Enchente 2011	289,82	194,70	12,26	10,23
Total	180,21	194,79	9,66	11,51

O teste univariado foi usado para averiguar a diferença das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no zooplâncton, entre os períodos de enchente de 2010 e enchente de 2011. O teste mostrou haver diferença significativa ($F = 20,16$; $p = 0,000$) nas concentrações do mercúrio total enquanto que não houve diferença significativa nas concentrações de metilmercúrio nos invertebrados entre os períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira (**Tabela 179**).

Tabela 179 – Teste de variância univariado para as concentrações de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) no invertebrado nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011.

Nível	Degr. Of	HgT F	HgT P	MeHg F	MeHg P
Intercepto	1	50,30218	0,000000	29,39129	0,000003
Período hidrológico	1	20,16144	0,000062	2,26641	0,140263

A análise de variância multivariada mostrou diferença significativa entre as concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nos invertebrados em conjunto entre os períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 (**Tabela 190**).

Tabela 190 – Análise de variância das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nos invertebrados nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

Nível	Valor	F	Effect	Error	Desvio padrão
Intercepto	0,436711	24,50705	2	38	0,000000
Período hidrológico	0,575136	14,03566	2	38	0,000027

(teste Wilks)

A **Figura 70** mostra o boxplot das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nos invertebrados nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

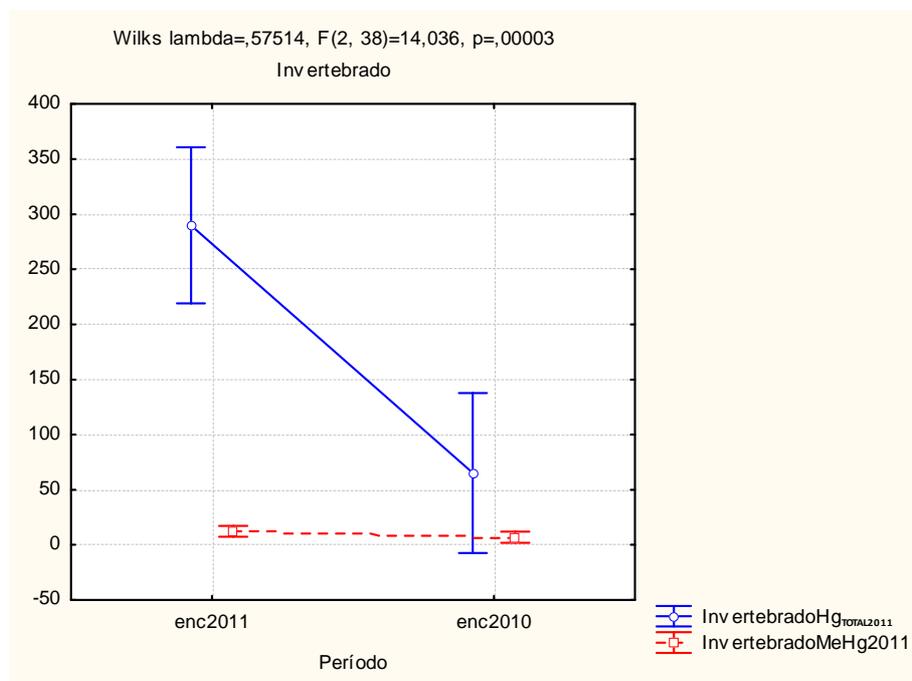


Figura 70: Boxplot da variabilidade das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nos invertebrados nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 e enchente de 2011 do rio Madeira.

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) foi aplicada para averiguar as diferenças nas concentrações das espécies de mercúrio nas matrizes bióticas fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados entre os períodos hidrológicos de cheia de 2010 (3^a campanha de campo) e cheia de 2011 (7^a campanha de campo) considerando as estações de amostragem na calha e nos tributários do rio Madeira. A **Tabela 191** mostra a média global das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nas matrizes biótica fitoplâncton, zooplâncton e invertebrado nos períodos hidrológicos de cheia de 2010 e no período hidrológico de cheia de 2011.

A análise de variância método ANOVA-One-way, mostrou haver diferença significativa entre as concentrações de mercúrio total e metilmercúrio entre os períodos hidrológicos de cheia de 2010 e cheia de 2011 (**Tabela 192**).

O teste univariado foi usado para averiguar a diferença das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nas matrizes bióticas fitoplâncton, zooplâncton e invertebrado entre os períodos de cheia de 2010 e cheia de 2011(**Tabela 193**).

A **Figura 71** mostra que as variabilidades nas concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nas matrizes bióticas fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados nos períodos hidrológicos de cheia de 2010 e cheia de 2011, indica aumento das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nas matrizes fitoplâncton e invertebrado no período de cheia de 2011 quando comparado ao período de cheia de 2010, enquanto que a matriz zooplâncton apresente menores concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no período de cheia de 2011. As concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nas matrizes bióticas, quando separadas por estações de amostragem na calha do rio Madeira (M) e nos afluentes do rio Madeira (AF) conforme mostra a **Figura 72** evidencia pronunciado aumento das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nos tributários do rio Madeira, sendo característico de sistema com menor hidrodinâmica associado a maior riqueza de espécimes nestas matrizes bióticas.

Tabela 191 – Estatística descritiva das concentrações de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) nas matrizes fitoplâncton, zooplâncton e invertebrado nos períodos hidrológicos de cheia de 2010 e cheia de 2011 do rio Madeira.

	Nível	Nível	N	Média Fito. HgT	DP Fito. HgT	Média Fito. MeHg	DP Fito. MeHg	Média Zoo. HgT	DP Zoo. HgT	Média Zoo. MeHg	DP Zoo. MeHg	Média Inv. HgT	DP Inv. HgT	Média Inv. MeHg	DP Inv. MeHg
Total			40	97,04	101,56	3,596	4,163	178,17	194,50	5,979	6,087	232,19	226,90	13,937	18,098
Período	Cheia 2010		20	50,20	54,62	1,987	3,074	207,34	259,22	6,646	7,790	138,91	217,24	12,724	19,948
Período	Cheia 2011		20	143,87	116,50	5,206	4,547	148,98	93,10	5,313	3,800	325,47	200,41	15,151	16,471
Estação	AF		28	123,86	110,14	4,716	4,522	204,31	211,39	7,273	6,597	262,92	249,37	18,339	20,040
Estação	M		12	34,46	26,33	0,985	0,795	117,18	136,55	2,960	3,215	160,48	147,91	3,667	3,326
Período*Estação	Cheia 2010	AF	14	62,93	58,54	2,575	3,500	244,43	282,45	8,343	8,467	178,51	247,06	17,463	22,317
Período*Estação	Cheia 2010	M	06	20,51	30,21	0,617	0,918	120,85	187,31	2,685	4,160	46,51	77,38	1,667	2,735
Período*Estação	Cheia 2011	AF	14	184,78	117,35	6,857	4,510	164,18	97,81	6,203	4,030	347,35	229,71	19,215	18,288
Período*Estação	Cheia 2011	M	06	48,41	12,09	1,353	0,474	113,51	76,85	3,235	2,291	274,44	104,74	5,668	2,693

Fito. HgT – mercúrio total na matriz fitoplâncton; Fito. MeHg – metilmercúrio total na matriz fitoplâncton; Zoo. HgT – mercúrio total na matriz zooplâncton; Zoo. MeHg – metilmercúrio na matriz zooplâncton; Inv. HgT – mercúrio total na matriz invertebrado; Inv. MeHg – metilmercúrio na matriz invertebrado; DP. – desvio padrão

Tabela 192 – Análise de variância das concentrações de mercúrio total (Hg) e metilmercúrio (MeHg) nas matrizes fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados nos períodos hidrológicos de cheia de 2010 e cheia de 2011 do rio Madeira (teste Wilks).

Nível	Valor	F	Effect	Erro	Desvio padrão
Intercepto	0,281458	13,19015	6	31	0,000000
Período hidrológico	0,303885	11,83537	6	31	0,000001
Estação	0,676872	2,46649	6	31	0,045683
Período *Estação	0,793092	1,34792	6	31	0,266353

Tabela 193 – Teste de variância univariado para as concentrações de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) nas matrizes fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados nos períodos hidrológicos de cheia de 2010 e cheia de 2011 do rio Madeira.

Nível	Grau de liberdade	F Fito. HgT	P Fito. HgT	F Fito. MeHg	P Fito. MeHg	F Zoo. HgT	P Zoo. HgT	F Zoo. MeHg	P Zoo. MeHg	F Inv. HgT	P Inv. HgT	F Inv. MeHg	P Inv. MeHg
Intercepto	1	33,11803	0,000001	22,90974	0,000029	22,87342	0,000029	25,21727	0,000014	34,65540	0,000001	13,44044	0,000789
Período hidrológico	1	7,40690	0,009948	4,43863	0,042168	0,42442	0,518875	0,15222	0,698724	7,60811	0,009073	0,22970	0,634643
Estação	1	10,56010	0,002507	9,81238	0,003436	1,68011	0,203159	4,48032	0,041267	2,02895	0,162938	5,97392	0,019548
Período *Estação	1	2,91609	0,096312	2,21512	0,145373	0,29415	0,590913	0,43566	0,513428	0,16873	0,683674	0,03511	0,852417

Fito. HgT – mercúrio total na matriz fitoplâncton; Fito. MeHg – metilmercúrio total na matriz fitoplâncton; Zoo. HgT – mercúrio total na matriz zooplâncton; Zoo. MeHg – metilmercúrio na matriz zooplâncton; Inv. HgT – mercúrio total na matriz invertebrado; Inv. MeHg – metilmercúrio na matriz invertebrado.

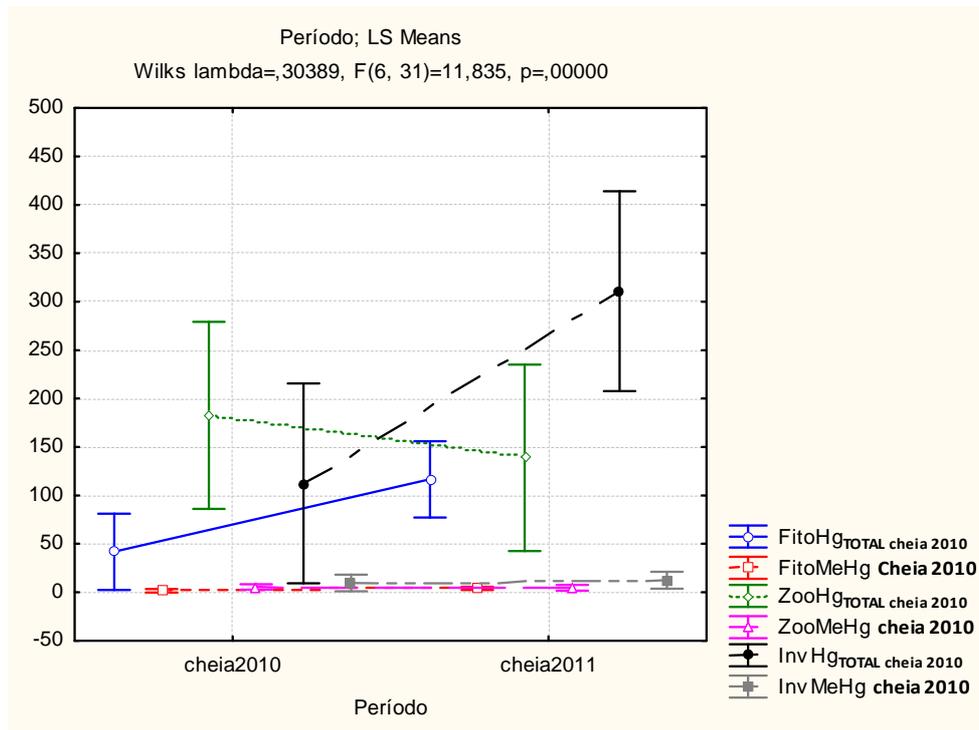


Figura 71. Boxplot da variabilidade das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nas matrizes bióticas fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados nos períodos hidrológicos de cheia de 2010 e cheia de 2011 do rio Madeira.

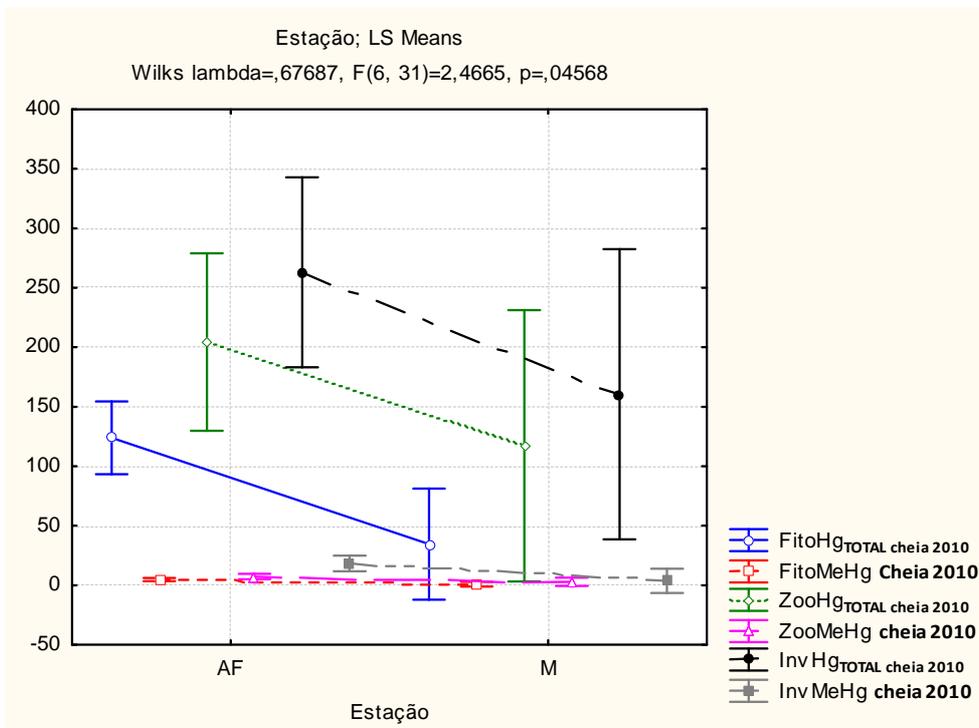


Figura 72. Boxplot da variabilidade das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nas matrizes bióticas fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados nas estações de amostragem nos afluentes (AF) e calha do rio Madeira (M) no período hidrológico de cheia de 2011 do rio Madeira.



A interação entre os níveis categóricos período hidrológico do rio Madeira e estações de amostragem nos afluentes e calha do rio Madeira possibilita a verificação da dinâmica fluvial dos teores de mercúrio total e metil mercúrio nas matrizes bióticas (fitoplâncton, zooplâncton e invertebrado) temporal e espacial, sendo as diferenças entre os níveis significativas (**Figura 73**).

A análise de variâncias fatoriais (ANOVA-MANOVA) realizado com as concentrações de mercúrio total e mercúrio reativo na matriz água, dispostos em dois níveis categóricos período (cheia de 2010 e cheia de 2011) e estações de amostragem (afluente e calha do rio Madeira), mostrou haver diferença significativa, apenas no nível categórico período de cheia de 2010 e cheia de 2011. A análise de variâncias univariada realizado, com as concentrações do mercúrio total na água não foi significativa em nenhum nível categórico, enquanto que as concentrações de mercúrio reativo na água apresentam diferenças significativas no nível categórico período hidrológico.

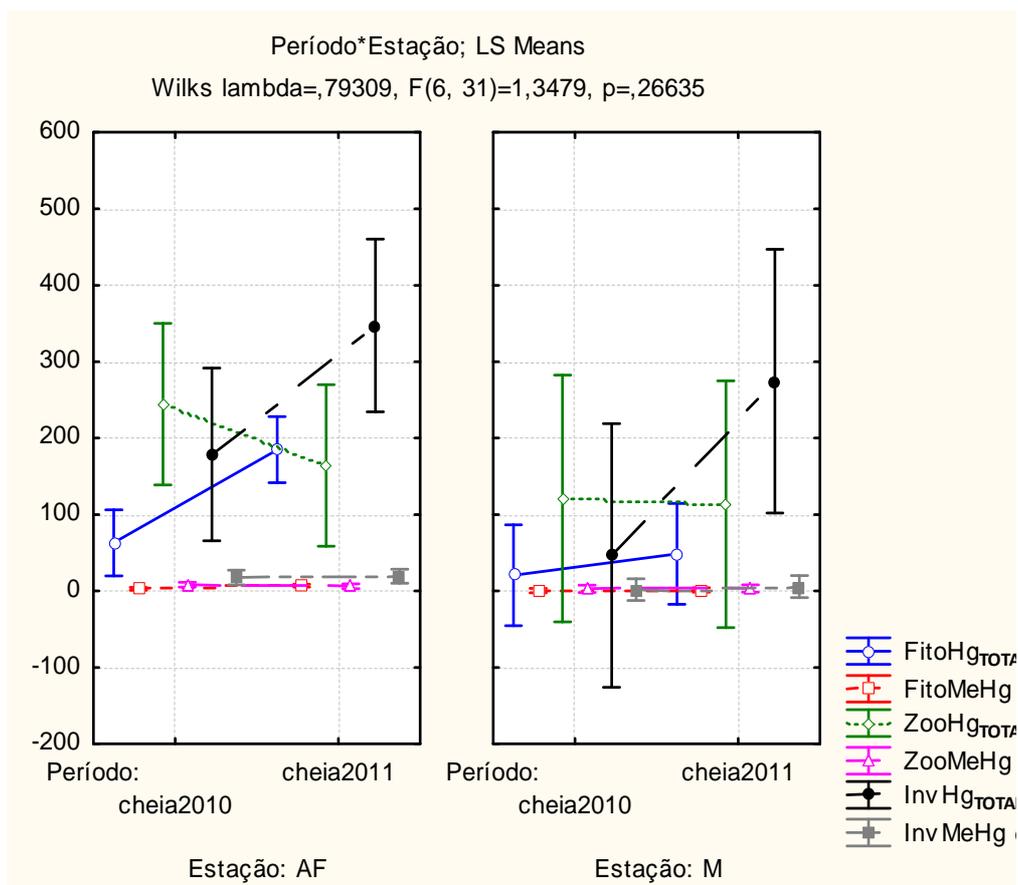


Figura 73. Variabilidades das concentrações de mercúrio total nas matrizes fitoplâncton, zooplâncton e invertebrado nas estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira nos períodos hidrológicos de cheia de 2010 e cheia de 2011.

As variações das médias ocorreram em ambos os espécimes do mercúrio, mas apenas o mercúrio reativo no nível categórico período hidrológico mostrou variabilidade significativa, onde o aporte sazonal desse elemento mobilizado na água pode sofrer organificação por processos de metilação. Outro fator importante conforme estudo de Gomes (2009), esta associado às cargas catiônicas destes metais e seu potencial oxidante que para ambiente lótico pode ocasionar a organificação pela metilação e conseqüentemente a biomagnificação ao longo da teia trófica. A diferença encontrada nas matrizes bióticas pode estar relacionada com a vazão, efeito de diluição e ao transporte de massas realizado pelos rios tem sido reportado como um mecanismo eficiente de migração de mercúrio na paisagem (Bayens *et al.*, 1998; Bonotto & Silveira, 2003).

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) foi aplicada para averiguar as diferenças nas concentrações das espécies de mercúrio nas matrizes bióticas fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados entre os períodos hidrológicos de vazante de 2010 (4ª campanha de campo) e vazante de 2011 (8ª campanha de campo) considerando as estações de amostragem na calha e nos tributários do rio Madeira. A estatística descritiva das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio na matriz biológica das populações de fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados aquáticos estão dispostas na **Tabela 194**.

Tabela 194. Estatística descritiva das concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) na matriz biológica constituída do fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados aquáticos coletadas nos tributários e calha do rio Madeira durante o período hidrológico de vazante de 2011.

	N	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
Hg _T - Invertebrado	40	395,0555	1,02000	1044,230	275,8254
MeHg - Invertebrado	40	43,5092	1,02000	402,853	91,4255
Hg _T - Zooplâncton	40	149,7663	2,65000	1041,990	193,1971
MeHg - Zooplâncton	40	4,3122	0,23690	22,463	4,9033
Hg _T - Fitoplâncton	40	143,7145	18,80000	642,630	124,7208
MeHg - Fitoplâncton	40	5,2656	0,51000	21,984	5,1014

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

O resultado da regressão múltipla adotando-se como variável dependente a concentração de mercúrio total dos invertebrados e como variáveis independentes as concentrações de metilmercúrio do zooplâncton, metilmercúrio do fitoplâncton e metilmercúrio do sedimento foram significativos ($p < 0,00324$). A correlação múltipla foi da ordem de 68% com um

coeficiente de determinação ajustado em torno de 46% para um valor de $F(5,34) = 4,4336$. A regressão parcial (**Tabela 195**) mostra a significância parcial das variáveis independentes e indica os valores do coeficiente angular (Beta) das variáveis, responsável pelo grau de variação da variável dependente em relação às independentes.

Tabela 195. Análise de regressão múltipla para as concentrações de mercúrio total e metilmercúrio na matriz biológica constituída do fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados aquáticos coletadas nos tributários e calha do rio Madeira durante o período hidrológico de vazante de 2011, adotando-se como variável dependente a concentração de mercúrio total dos invertebrados ($R = 0,68$; $R^2 = 0,46$; $F(5,34) = 4,4336$; $p < 0,00324$).

	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(34)	P
Intercepto			227,7836	59,87028	3,80462	0,000565
MeHg - Invertebrado	0,641694	0,170428	1,9360	0,51417	3,76519	0,000631
Hg_T – Zooplâncton	0,270799	0,185125	0,3866	0,26430	1,46279	0,152708
MeHg – Zooplâncton	-0,280786	0,189533	-15,7950	10,66177	-1,48146	0,057692
Hg_T – Fitoplâncton	0,800064	0,312172	1,7694	0,69038	2,56289	0,014978
MeHg – Fitoplâncton	-0,565623	0,334879	-30,5827	18,10657	-1,68904	0,050365

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

As concentrações médias de mercúrio total e metilmercúrio nos invertebrados, zooplâncton e fitoplâncton indicam magnificação ao longo da teia trófica. Devido à complexidade do rio Madeira torna-se necessárias técnicas que possibilitem uma análise conjunta das informações biogeoquímicas do mercúrio e suas interações, durante o ciclo hidrológico. Neste sentido, a regressão múltipla torna-se uma ferramenta estatística muito importante na validação das relações de causa e efeito. Diversos autores (Suchanek, *et al.*, 1995; Watras, *et al.*, 1998; Rennie, *et al.*, 2005; Ackerman *et al.*, 2010) utilizaram esta técnica, para validar a relação do metilmercúrio e sua biomagnificação ao longo das teias tróficas.

A técnica de regressão múltipla possibilitou estabelecer, fazendo-se uso da regressão múltipla, os efeitos significativos de bioacumulação do metilmercúrio nos invertebrados, em relação ao fitoplâncton, zooplâncton e sedimento, coletados nas estações conforme pode-se verificar pela alta correlação múltipla (68%), e pelo elevado coeficiente de determinação da regressão (48%). Embora os paradigmas atuais sobre a bioacumulação de mercúrio estão enraizados nas observações, de que metilmercúrio biomagnifica ao longo das cadeias alimentares pelágicas. No entanto, os mecanismos que regulam a formação de metilmercúrio, a sua incorporação

inicial na base das cadeias alimentares pelágicas e sua posterior transferência trófica permanecem controversos (Watras, *et. al.*, 1998).

As variáveis analisadas estão fortemente correlacionadas, quando analisadas em conjunto, mas na regressão parcial a variável mercúrio total do zooplâncton não foi significativa. Isto indica que a relação dos invertebrados em termos tróficos, é mais correlacionada com o fitoplâncton e o metilmercúrio do zooplâncton. Esta relação pode ser explicada em termos da dimensão espacial do nicho ecológico, dos invertebrados e do fitoplâncton, que ocupa durante o dia a parte superior do sedimento, e é bem provável, que estes organismos sirvam de alimento aos Invertebrados. Outro fator importante refere-se aos coeficientes angulares destas duas variáveis, que foram maiores e significativos, indicando uma variação mais rápida da variável dependente, ou seja, na causa e efeito.

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) foi aplicada para averiguar as diferenças nas concentrações das espécies de mercúrio nas matrizes bióticas fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados entre os períodos hidrológicos de seca de 2010 (5ª campanha de campo) e seca de 2011 (9ª campanha de campo) considerando as estações de amostragem na calha e nos tributários do rio Madeira. A estatística descritiva das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio na matriz biológica das populações de fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados aquáticos estão dispostas na **Tabela 196**.

Tabela 196. Estatística descritiva das concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) da matriz biológica constituída do fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados aquáticos.

	N	Média	DP	Erro padrão
Fitoplâncton Hg_T	42	244,5350	183,9119	28,37823
Fitoplâncton MeHg	42	8,8382	7,3357	1,13192
Zooplâncton Hg_T	42	311,8986	231,8495	35,77515
Zooplâncton MeHg	42	12,1245	11,0779	1,70936
Invertebrado Hg_T	42	680,9810	350,2495	54,04467
Invertebrado MeHg	42	66,6593	124,9716	19,28353

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio; DP – desvio padrão

O resultado da regressão múltipla adotando-se como variável dependente a concentração de mercúrio total dos invertebrados e como variáveis independentes as concentrações de metilmercúrio no zooplâncton, fitoplâncton e sedimento de fundo foram significativos ($p < 0,00007$). A correlação múltipla foi da ordem de 71% com coeficiente de determinação ajustado em torno de 50% para um valor de $F(5,36) = 7,389$. A regressão parcial (**Tabela 197**) mostra a significância parcial das variáveis independentes e indica os valores do coeficiente angular (Beta) das variáveis, responsável pelo grau de variação da variável dependente em relação às independentes.

Tabela 197. Análise de regressão múltipla para as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e metilmercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) para a matriz biológica do fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados aquáticos, adotando-se a matriz invertebrado como variável dependente.

	Beta	Erro padrão	B	Erro padrão	t(36)	P
Intercepto			445,4351	77,49700	5,74777	0,000002
Fitoplâncton HgT	-0,529730	0,225685	-1,0088	0,42980	-2,34721	0,024532
Fitoplâncton MeHg	0,246941	0,203136	11,7904	9,69890	1,21565	0,232032
Zooplâncton HgT	0,713667	0,213562	1,0781	0,32262	3,34173	0,001951
Zooplâncton MeHg	-0,068709	0,239222	-2,1724	7,56346	-0,28722	0,775592
Invertebrado MeHg	0,364582	0,123638	1,0218	0,34651	2,94880	0,005574

Hg_T – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio; DP – desvio padrão

A complexidade do rio Madeira exige a necessidade de técnicas que possibilitem uma análise conjunta das informações biogeoquímicas do mercúrio e suas interações, durante o ciclo hidrológico e ao longo da teia trófica. Neste contexto, a regressão múltipla é uma ferramenta estatística muito importante na validação das relações de causa e efeito. Diversos autores como Suchanek, et al., (1995); Watras, et. al., (1998); Rennie, et al., (2005); Ackerman et. al., (2010) utilizaram esta técnica, para validar a relação do metilmercúrio e sua biomagnificação ao longo das teias tróficas.

A técnica estatística regressão múltipla aplicada as concentrações das espécies de mercúrio nas matrizes biológicas possibilitou estabelecer os efeitos significativos de bioacumulação do metilmercúrio nos invertebrados, em relação ao fitoplâncton e zooplâncton, coletados nas estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira no período hidrológico de seca de 2010, conforme pode-se verificar pela alta correlação múltipla (71%), e pelo coeficiente de determinação da regressão (50%). Embora os paradigmas atuais sobre a bioacumulação de

mercúrio estão enraizados nas observações, de que metilmercúrio biomagnifica ao longo das teias alimentares. No entanto, os mecanismos que regulam a formação de metilmercúrio, a sua incorporação inicial na base das teias alimentares pelágicas e sua posterior transferência trófica permanecem controversos (Watras, et. al., 1998).

As variáveis analisadas estão fortemente correlacionadas, quando analisadas em conjunto, mas na regressão parcial as variáveis metilmercúrio no fitoplâncton e metilmercúrio no zooplâncton não foram significativas. Portanto indica que a relação dos invertebrados em termos tróficos, é mais correlacionada com o mercúrio total do fitoplâncton e zooplâncton e o metilmercúrio nos invertebrados. Esta relação pode ser explicada em termos da dimensão espacial do nicho ecológico, dos invertebrados, que habita a parte superior do sedimento, filtrando estes organismos, que servem de alimento aos Invertebrados. Outro fator importante refere-se aos coeficientes angulares destas três variáveis, que foram maiores e significativos, indicando uma variação mais rápida da variável dependente, ou seja, na causa e efeito.

A análise integrada de todas as campanhas de campo (2ª campanha de campo à 10ª campanha de campo) apresentada na **Tabela 198**, mostra as médias das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio seus desvios padrões e valores mínimos e máximos nas matrizes biológicas de fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados para os períodos hidrológicos de enchente de 2010 à seca de 2011 na estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira e fator períodos versus fator estações.

Tabela 198. Concentrações médias ($\mu\text{g kg}^{-1}$), desvios padrões e valores máximos e mínimos de mercúrio total (Hg_T) e metilmercúrio (MeHg) nas matrizes biológicas de fitoplâncton (Fito), zooplâncton (Zoo) e invertebrados (Inv) nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 a seca de 2011, nas estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira.

	N	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
Hg_T – Inv	168	358,6680	1,020000	1345,500	331,7114
MeHg - Inv	168	32,2029	0,030000	537,480	80,3333
MeHg – Zoo	168	6,2040	0,030000	49,240	7,8899
Hg_T – Zoo	168	180,3908	1,020000	1041,990	217,1534
Hg_T – Fito	168	142,2964	1,020000	938,670	147,8125
MeHg - Fito	168	5,1610	0,030000	38,980	5,8146

O resultado da regressão múltipla adotando-se como variável dependente o mercúrio total dos invertebrados e como variáveis independentes os metilmercúrio do zooplâncton, metilmercúrio do fitoplâncton e metilmercúrio do sedimento foram significativos ($p < 0,0000$). A correlação múltipla foi da ordem de 68% com um coeficiente de determinação ajustado em torno de 47% para um valor de $F(5,162) = 28,65$. A regressão parcial (**Tabela 199**) mostra a significância parcial das variáveis independentes e indica os valores do coeficiente angular (Beta) das variáveis, responsável pelo grau de variação da variável dependente em relação às independentes.

Tabela 199. Análise de regressão múltipla para as concentrações ($\mu\text{g kg}^{-1}$) de mercúrio total (Hg_T) e metilmercúrio (MeHg) nas matrizes biológicas de fitoplâncton (Fito), zooplâncton (Zoo) e invertebrados (Inv) nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 a seca de 2011, nas estações de amostragem nos tributários (AF) e calha (M) do rio Madeira..

	Beta	Erro	Beta	Erro	t(162)	P
Intercepto			168,2315	27,44758	6,129193	0,000000
MeHg - Inv	0,393738	0,062239	1,6258	0,25700	6,326241	0,000000
MeHg - Zoo	0,065254	0,126043	2,7434	5,29916	0,517714	0,605364
Hg_T - Zoo	0,325381	0,110502	0,4970	0,16880	2,944571	0,003710
Hg_T - Fito	-0,091281	0,130888	-0,2048	0,29373	-0,697401	0,486552
MeHg - Fito	0,205651	0,125146	11,7321	7,13935	1,643296	0,102261

Erro – erro padrão;

Devido à complexidade do rio Madeira torna-se necessárias técnicas que possibilitem uma análise conjunta das informações biogeoquímicas do mercúrio e suas interações, durante o ciclo hidrológico e ao longo da teia trófica. Neste sentido, a regressão múltipla torna-se uma ferramenta estatística muito importante na validação das relações de causa e efeito. Diversos autores (Suchanek, *et al.* (1995); Watras, *et al.* (1998); Rennie, *et al.* (2005); Ackerman, *et al.* (2010)) utilizaram esta técnica, para validar a relação do metilmercúrio e sua biomagnificação ao longo das teias tróficas. Esta técnica estatística possibilitou estabelecer, com uso da regressão múltipla, os efeitos significativos de bioacumulação do metilmercúrio nos invertebrados, em relação ao fitoplâncton e zooplâncton, coletados nas estações de amostragem conforme verificar pela correlação múltipla (68%), e pelo coeficiente de determinação da regressão (47%). Embora os paradigmas atuais sobre a bioacumulação de mercúrio estão enraizados nas observações, de que MeHg biomagnifica ao longo das teias

alimentares. No entanto, os mecanismos que regulam a formação de MeHg, a sua incorporação inicial na base das teias alimentares pelágicas e sua posterior transferência trófica permanecem controversos (Watras, et. al., 1998).

As variáveis analisadas estão fortemente correlacionadas, quando analisadas em conjunto, mas na regressão parcial as variáveis metilmercúrio do fitoplâncton, mercúrio total fitoplâncton e metilmercúrio no zooplâncton não foram significativas. Esta análise indica que a relação dos invertebrados em termos tróficos, é mais correlacionada com o mercúrio total do zooplâncton e o metilmercúrio dos invertebrados que por sua vez são colineares. Esta relação pode ser explicada em termos da dimensão espacial do nicho ecológico, dos invertebrados, que habita a parte superior do sedimento, filtrando estes organismos, que servem de alimento aos invertebrados. Outro fator importante está associado aos coeficientes angulares do mercúrio total do zooplâncton e metilmercúrio dos invertebrados, que foram maiores e significativos, indicando uma variação mais rápida da variável dependente, ou seja, na causa e efeito.

Estudos de Saúde Humana

Neste Relatório Final (3º Relatório Consolidado), referente ao período de setembro de 2009 a janeiro de 2012, são apresentados os dados consolidados provenientes de diversas campanhas de coleta de dados na região de abrangência do Programa, conforme períodos e suas respectivas fases de ciclo hidrológico regional listados abaixo:

- 1ª abordagem humana – 13/05 a 18/05/2010 (período de águas altas – cheia);- 2ª abordagem humana – 12/07 a 17/07 e 23/08 a 28/08/2010 (período de descida das águas – vazante);- 3ª abordagem humana – 18/10 a 22/10/2010, 12/11 a 16/11/2010 e 18/02 a 23/02/2011 (períodos de águas baixas – seca e enchente);- 4ª abordagem humana – 18 a 24/05/2011 e 19 a 24/08/2011 (períodos de águas altas – cheia e vazante);- 5ª abordagem humana – 16/10 a 29/10/2011 (período de águas baixas - seca).

Durante esses períodos, diversos aglomerados humanos residentes em diferentes comunidades tomaram parte nas atividades dos estudos de saúde humana, conforme proveniências abaixo:

- Localidade de Nova Mutum Paraná;
- Distrito de Abunã (Abuña e Fortaleza do Abuña);
- Região ribeirinha (comunidades de Palmeiral, Prainha, Ramal Arrependido, outras);
- Região garimpeira (dragas, flutuantes mineradores e garimpeiros manuais);
- Canteiro de obras do AHE Jirau.

O universo amostral humano das 05 (cinco) abordagens humana é composto de 1.002 participantes, com idade variando entre 1 e 89 anos (média = $35,7 \pm 16,5$). O recrutamento desse efetivo foi feito no âmbito de uma série de amostragens transversais realizadas em cada campanha de campo, durante as quais articuladores locais (pessoas chave de cada comunidade, garimpos manuais e garimpeiros de dragas fluviais) eram previamente contatadas pela coordenação geral do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico com o apoio da ESBR, no intuito de divulgar e esclarecer as atividades dos estudos de saúde humana do AHE Jirau. Os articuladores locais sempre se mostraram bastante abertos a esses préstimos. Apesar de resistência/recusa de moradores da região em participar do Programa, até o momento tem-se obtido êxito em envolver uma parcela expressiva da população local. É pertinente lembrar que a cada uma dessas amostragens transversais novas pessoas eram adicionadas ao efetivo total, com algumas raras situações isoladas de pessoas que retornavam para refazer a avaliação dosimétrica de mercúrio, avaliações neuropsicológicas e clínico-neurológicas.

Ainda sobre a estratégia de recrutamento humano, se por um lado é reconhecido e valorizado o recrutamento da população com base em metodologia rigorosa de amostragem aleatória, por outro lado as condições de trabalho de campo no interior da Amazônia tornam bastante difícil, para não dizer inviável, a aplicação de tais métodos. Diante de tais dificuldades em adotar uma estratégia randômica de amostragem humana nesse contexto, amostras de conveniência têm sido utilizadas, as quais têm se mostrado apropriadas para representar populações de base em outros estudos e contextos (Passos et al., 2007; Kelly et al., 2002; Zelinski et al., 2001). Tais amostragens são realizadas com verificação paralela das distribuições de parâmetros como sexo e faixas etárias de idade na população de base da região e para fins de verificação da representatividade da população regional (área de abrangência do Programa), estimada por meio de dados constantes no EIA dos AHE Santo Antônio e Jirau e em levantamentos posteriores. Para fins de avaliação da exposição humana, amostras de cabelo para análises dosimétricas do teor de mercúrio total nas pessoas têm sido amplamente utilizadas em diversos estudos visando a avaliação de exposição crônica a baixas doses de mercúrio por via alimentar no meio ambiente natural, e apresenta diversas vantagens metodológicas, como por exemplo o fato de se poder estabelecer um histórico da exposição ao longo do tempo, além do fato de serem coletadas por meio de método não-invasivo, e portanto, mais aceito pelos participantes, diferentemente de outros fluidos biológicos, como o sangue por exemplo (Passos & Mergler, 2008). Essa vantagem metodológica é particularmente interessante em tipos de estudo de avaliação de exposição onde necessita-se o voluntariado por parte da população. Apesar disso, as agentes de campo responsáveis pela coleta de amostras de cabelo encontraram certa rejeição nas comunidades tradicionais do rio Madeira quanto à participação no Programa para doação das amostras de cabelo.

A extratificação do universo amostral humano das 05 (cinco) abordagens humana combinadas mostra que o grupo de voluntários é composto por 589 homens e 413 mulheres, onde os voluntários do sexo masculino apresentam idade média de $37,7 \pm 16,5$ anos sendo quatro anos superior quando comparados à idade média das voluntárias femininas que apresentaram idade média de $33,0 \pm 16,1$ anos. Plotada com base nos dados do questionário geral para coleta de informações sociodemográficas, visando traçar o perfil da população avaliada, a **Figura 74** mostra as diferentes categorias de grau de instrução considerando uma sub-amostra composta por 894 voluntários (89,2%), sendo possível observar que a maioria das pessoas



(34,1%) possui apenas o ensino básico incompleto, seguidos por 21,3% com ensino médio completo e 15,1% com ensino médio incompleto.

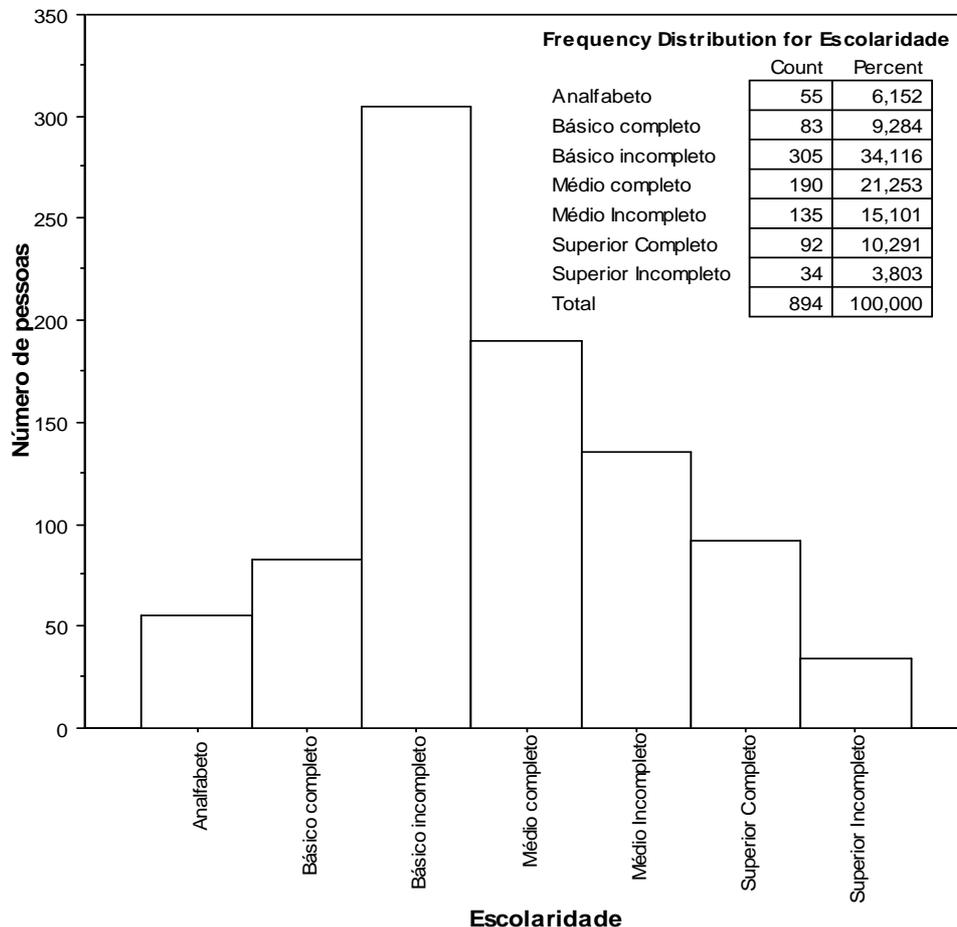


Figura 74 - Distribuição das categorias de grau de instrução da população de estudo.

Vale ressaltar que estes resultados globais apresentando somente 6,2% de analfabetos na população são possivelmente influenciados pela porção de trabalhadores do Canteiro de Obras, em função da exigência de diferentes níveis de escolaridade média e superior para o exercício de suas funções. Com efeito, quando considera-se os dados em termos do número de anos formalmente estudados (455 voluntários, 45,4% do universo amostral), é possível perceber uma faixa variando de 1 a 20 anos, porém com média geral de apenas $8,7 \pm 2,8$ anos, confirmando a influência acima indicada.

Os voluntários do universo amostral das 05 (cinco) abordagens humana combinadas declararam ter residência em diferentes pequenas comunidades ao longo do rio e da rodovia BR-364, dentro da área de abrangência do empreendimento, tais como: Palmeiral (km 144 da

rodovia BR-364), Mutum Paraná, Nova Mutum Paraná, Ramal Primavera, Jaci Paraná, Ilha Três Irmãos, Ramal do Rio Madeira, Ramal Arrependido, Abunã, Fortaleza do Abunã, entre outras pequenas localidades como sítios e ramais, além das dragas fluviais de extração de ouro ao longo do rio Madeira.

A frequência de histórico de malária nesta população é elevada, com cerca de 661 dos voluntários (66,0% do universo amostral) já tendo adquirido malária pelo menos uma vez durante a vida, o que não é o caso para outras endemias tropicais ou infecções emergentes da Amazônia, tais como dengue, doença de Chagas, febre amarela, leishmaniose, entre outras. Por outro lado, e com base em uma sub-amostra composta por 374 pessoas (37,3% do universo amostral), é possível verificar que 15,2% sofre de hipertensão arterial, somente 1,8% possui diabetes mellitus, 1,3% foi vítima de acidente cerebral isquêmico ou hemorrágico e 1,7% declarou ter feito uso de drogas ilícitas em sua vida pregressa. Importante destacar que 73,1% desta sub-amostra não relatou quaisquer queixas de problemas de saúde no momento do inquérito epidemiológico.

O questionário sobre tabagismo e etilismo foi respondido por 941 voluntários (93,9% do universo amostral) sendo que 221 pessoas (23,5% do universo amostral) se declararam fumantes, e dentre esse contingente 103 pessoas fumam entre 1 e 10 cigarros por dia, seguidas de 69 pessoas que fumam entre 11 e 20 cigarros por dia. O consumo de bebidas alcoólicas apresenta maior frequência quando comparado ao de cigarros, com 407 pessoas declarando ser consumidores regulares de bebidas, perfazendo 43,2% da população abordada neste estudo.

No universo amostral das 05 (cinco) abordagens humanas combinadas, 715 participantes (71,4% do universo amostral) declararam trabalhar em alguma atividade, e as ocupações assumem as mais diversas formas. Dentre as atividades observadas nesta população tem-se a atividade garimpeira (189 pessoas, 23,4% do universo amostral), atividades de apoio no Canteiro de Obras e fora dele (244 pessoas, 30,3% do universo amostral), atividade estudantil (10,7% do universo amostral), agropecuária (6,7% do universo amostral) e a atividade pesqueira extremamente baixa (4,2% do universo amostral).

A **Figura 75** mostra a distribuição dos teores de HgT determinado nas amostras de cabelo da população humana do universo amostral das 05 (cinco) abordagens humana combinadas. As

concentrações de mercúrio variaram entre 0,3 e 50,2 $\mu\text{g g}^{-1}$, sendo a média observada de $4,2 \pm 4,3 \mu\text{g g}^{-1}$ e a mediana de $3,0 \mu\text{g g}^{-1}$.

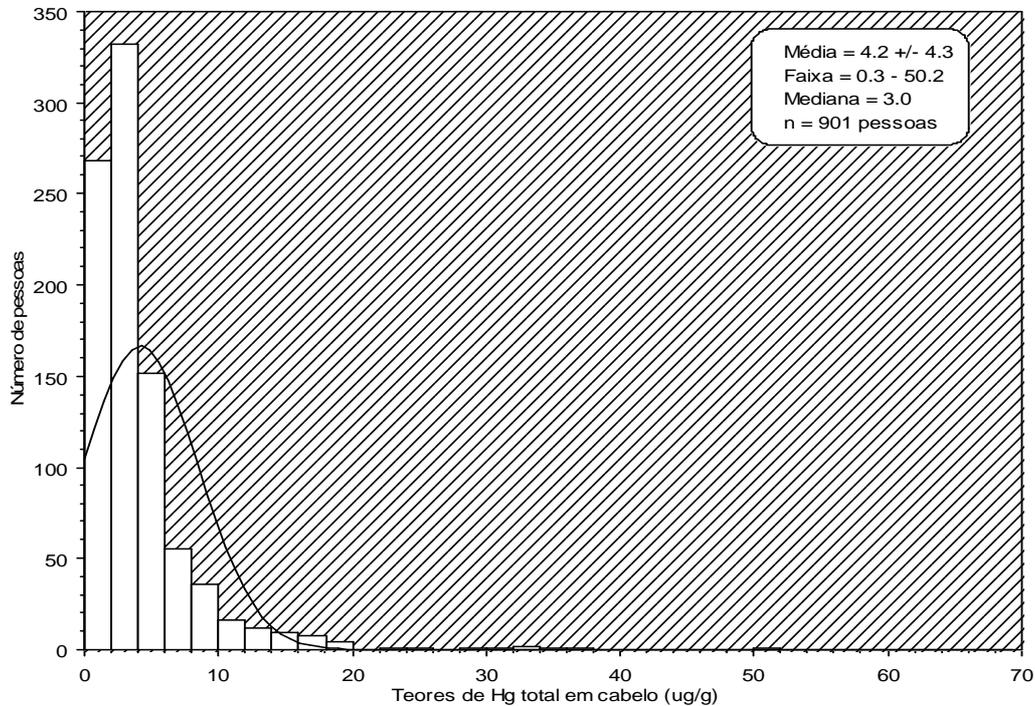


Figura 75 - Distribuição das concentrações de mercúrio total em amostras de cabelo.

Quando os teores de mercúrio total no cabelo dos participantes são analisados separadamente em função dos sexos masculino e feminino e as médias de ambos os sexos comparadas pelo teste não-paramétrico Mann-Whitney U para grupos independentes (**Figura 76**), constata-se uma forte diferença e estatisticamente significativa ($p < 0,0001$) entre a concentração média mais elevada de teores de mercúrio total em homens ($4,7 \pm 5,0 \mu\text{g g}^{-1}$) do que nas mulheres ($3,4 \pm 3,0 \mu\text{g g}^{-1}$).

Apesar de não terem sido realizadas análises de fracionamento químico, com base na literatura científica de estudos anteriores na região, estima-se que a concentração média de metilmercúrio no cabelo dos participantes seria de aproximadamente 62 a 70 % do teor de mercúrio total (Passos & Mergler, 2008).

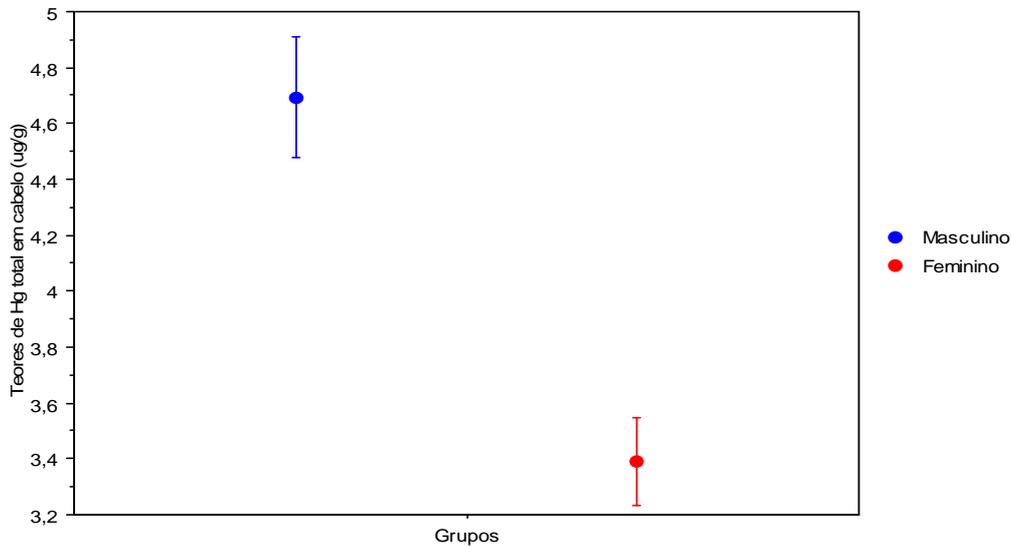


Figura 76 – Diferença forte e estatisticamente significativa entre concentrações médias de mercúrio total em cabelos de homens e mulheres (Mann-Whitney U test, $p < 0,0001$).

Diversos estudos têm mostrado que parte expressiva das exposições ambientais ao mercúrio na Amazônia se dão por via alimentar, devido à contaminação dos recursos pesqueiros nos ecossistemas aquáticos. Assim, torna-se importante examinar o perfil alimentar da população em estudo, com o objetivo de documentar a importância desta via de exposição na área de abrangência do empreendimento. Por meio da utilização de questionários de frequência alimentar, realizou-se um inquérito recordatório do consumo de diversos alimentos ao longo dos últimos sete dias anteriores à realização da entrevista. Com base nessa metodologia, e considerando uma sub-amostra de 384 pessoas (38,3% do universo amostral), observou-se que a maioria das pessoas tem na carne bovina sua principal fonte de proteína animal (281 pessoas, 73,2% da sub-amostra), seguida de frango (71 pessoas, 18,5% da sub-amostra), e somente 27 pessoas (7,1% da sub-amostra) declararam ter consumido algum tipo de peixe ao longo dos últimos sete dias, durante as campanhas de campo. O restante da amostra consumiu outras fontes de proteína animal, bem menos expressivas, como ovos e carne de caça, de maneira bem mais esporádica (**Figura 77**).

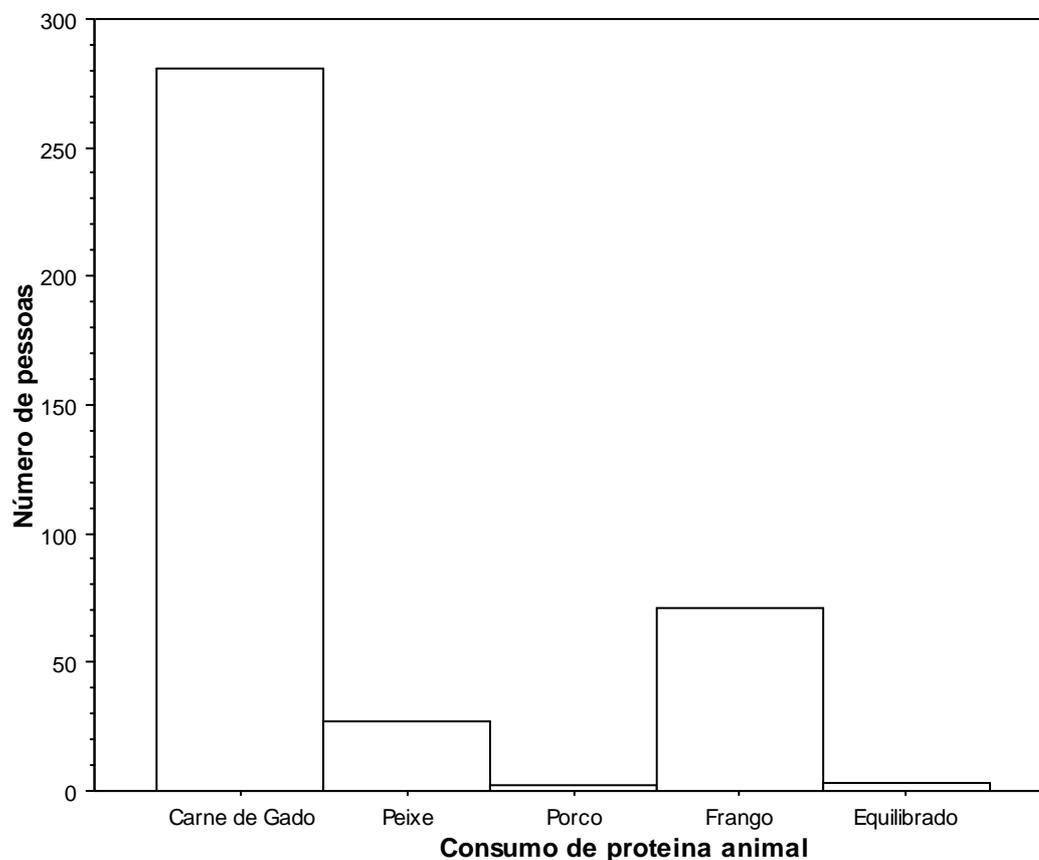


Figura 77 – Principais fontes de proteínas animal consumida pela população amostrada.

Ao se analisar especificamente o perfil do consumo de peixes nesta população, observa-se que além desse consumo já ser globalmente baixo, o mesmo é majoritariamente dominado por espécies de hábito alimentar herbívoro (**Figura 78**), tais como Tambaqui, Pacu, Piau e Curimatã, além de outros peixes deste mesmo hábito alimentar, os quais bioacumulam Hg em taxas muito mais baixas quando comparados aos peixes de hábito carnívoro/piscívoro. Considerando-se o total de refeições de peixe no recordatório de sete dias (556 refeições), estima-se um consumo per capita de menos que duas refeições (1,4) de peixe por semana, o que encontra-se consideravelmente baixo quando comparado aos padrões observados em comunidades tradicionais do interior da Amazônia (Passos & Mergler, 2008).

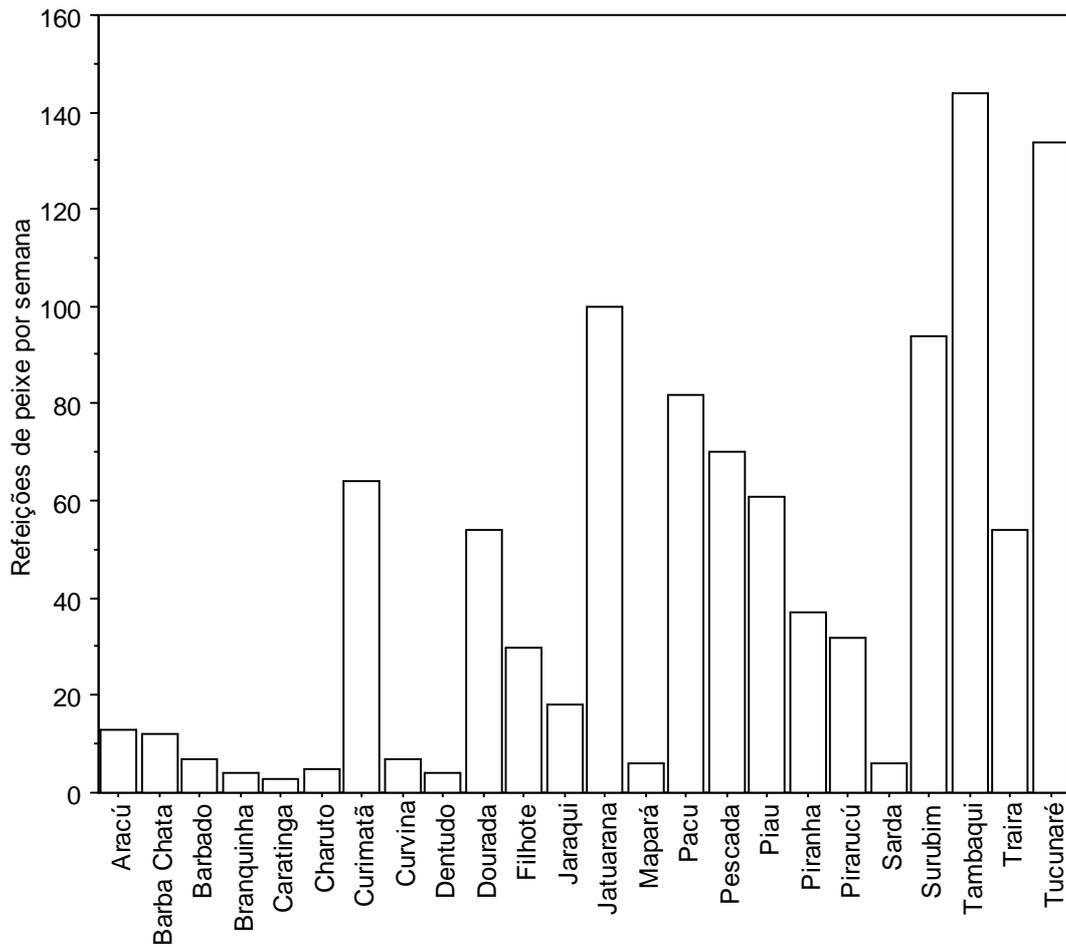


Figura 78 – Principais espécies de peixes consumidas pela população amostrada.

Análises não-paramétricas preliminares de correlação (Spearman) mostraram uma relação direta entre o número de refeições de Tucunaré e os teores de Hg dosados no cabelo da população (**Figura 79**), porém análises mais aprofundadas são necessárias para melhor se avaliar a real contribuição e o impacto do consumo de peixes em geral para essa exposição ambiental na região.



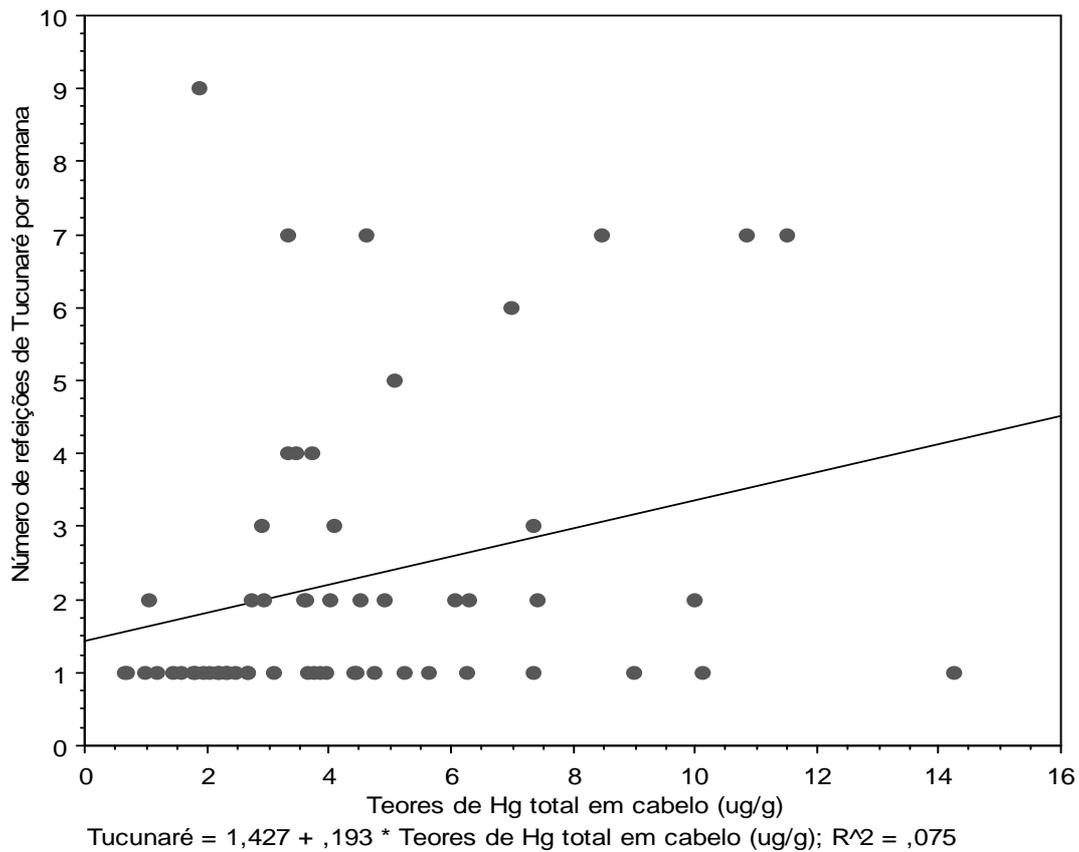


Figura 79 – Correlação direta entre o número de refeições de Tucunaré por semana e os teores de HgT no cabelo da população amostrada.

Análise não-paramétrica de correlação (Spearman) é representada graficamente na **Figura 80**, mostrando que os teores de mercúrio total determinados nas amostras de cabelo do universo amostral das 05 (cinco) abordagens humana combinadas são diretamente relacionados à idade da população, com forte significância estatística ($r = 0,3$; $p < 0,0001$), e essa correlação se mantém tanto em modelos onde homens e mulheres são analisados conjuntamente quanto modelos onde estes são analisados separadamente. Ainda com relação à possível influência da idade sobre os níveis de exposição ao mercúrio nesta população, observa-se que tais níveis variam de maneira progressivamente crescente e com forte significância estatística ao longo das diferentes faixas etárias do grupo (Kruskall Wallis para amostras independentes, $p < 0,0001$), com exceção da faixa a partir de 65 anos, provavelmente devido a um menor consumo de peixes e/ou trabalho nos garimpos/dragas.

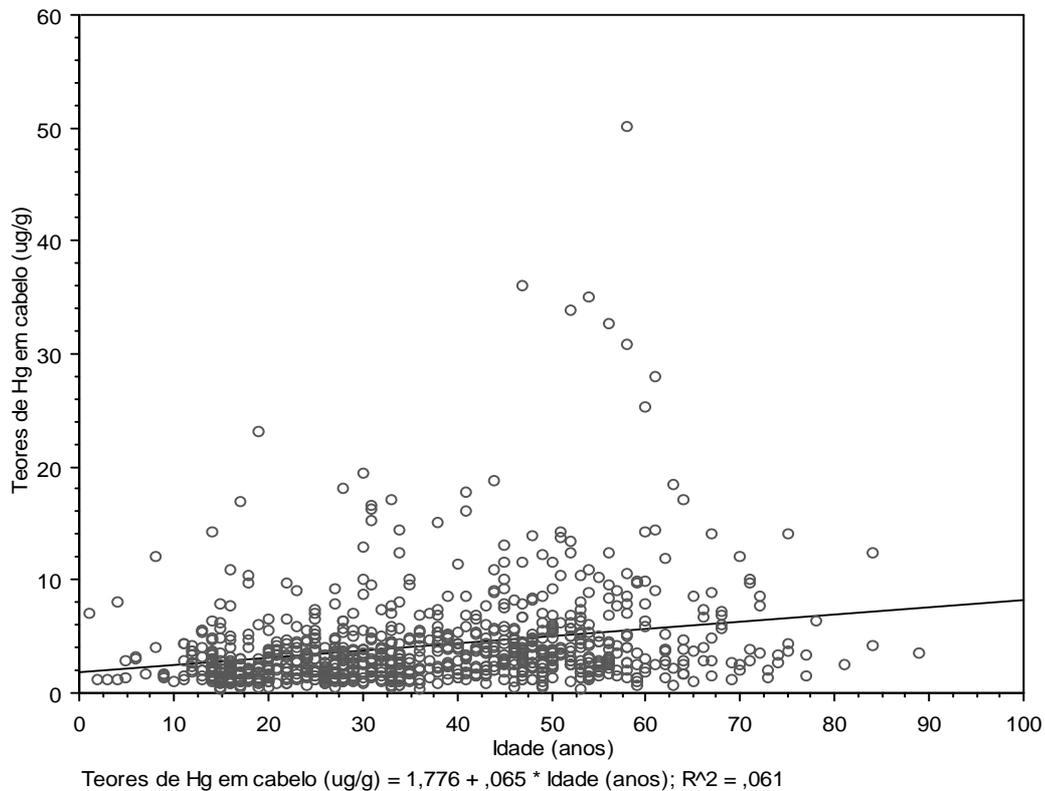


Figura 80 – Correlação positiva entre teores de mercúrio em cabelo e idade da população (Spearman, $p < 0.0001$).

A **Figura 81** mostra as distribuições dos teores de mercúrio em amostras de cabelo dos diferentes grupos etários em gráficos caixa (*box-plots*). Os gráficos mostram que apesar da grande maioria dos valores de mercúrio total em cabelo se encontrar na faixa de 1 a 14 $\mu\text{g g}^{-1}$ (871 pessoas, 96,7% do universo amostral) existem 30 valores situados acima de 14 $\mu\text{g g}^{-1}$ (~ 3,3% do universo amostral) alcançando até 50,2 $\mu\text{g g}^{-1}$, sendo 03 (três) valores situados na faixa etária de 15 a 25 anos e os demais valores nas faixas etárias subsequentes, porém não atingindo pessoas na faixa etária mais idosa (acima de 65 anos).

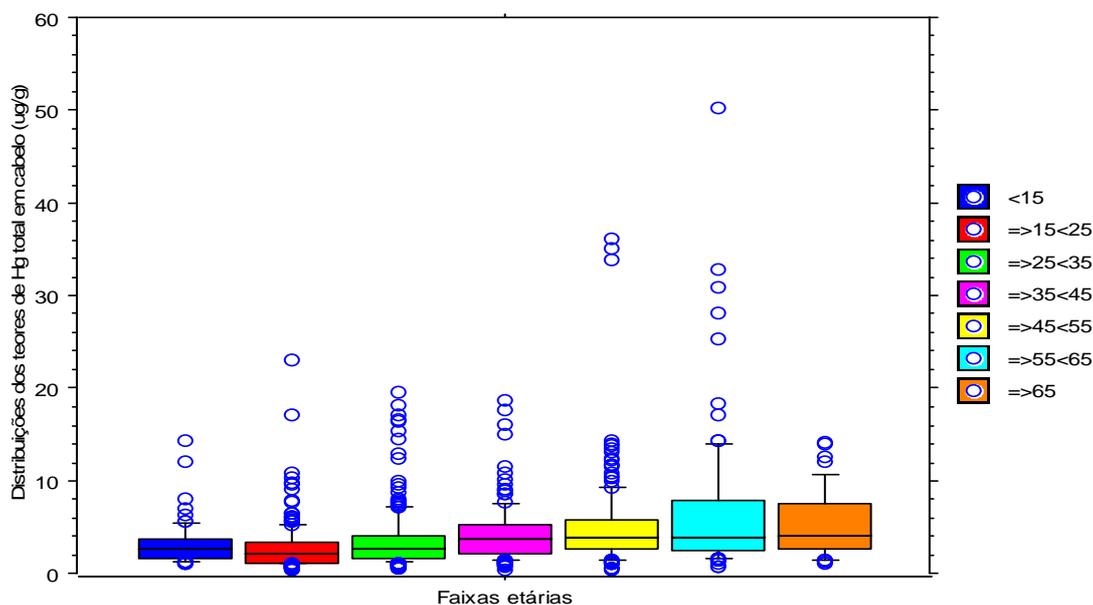


Figura 81 - Distribuição dos teores de mercúrio nos diferentes grupos etários da população (Kruskal Wallis, $p < 0.0001$).

Os voluntários de todos os grupos etários apresentaram valores medianos de mercúrio total no cabelo abaixo de $10 \mu\text{g g}^{-1}$, porém estes grupos apresentam indivíduos com valores acima de $14 \mu\text{g g}^{-1}$, sendo possível eventualmente representar algum risco de toxicidade quando considera-se as atuais normas de exposição utilizadas por agências reguladoras em saúde pública, tais como a Organização Mundial de Saúde (JECFA, 2003), a qual com base em grandes estudos longitudinais e internacionais recentemente estimou o valor de $14 \mu\text{g}$ de Hg por grama de cabelo como a concentração de referência a partir da qual efeitos neurotóxicos podem ser esperados na população exposta (GRANDJEAN *et al.*, 2005). As pessoas que apresentaram valores superiores a $14 \mu\text{g}$ de Hg por grama de cabelo têm sido sistematicamente convidadas a participar da etapa de avaliações clínica, neurológica e neuropsicológica.

Dentre todos os grupos etários, os teores mais elevados de mercúrio total no cabelo são observados nas faixas etárias de 45 a 65 anos de idade, provavelmente devido ao processo de bioacumulação do metal por meio do consumo de peixes ao longo de suas vidas, mas também em muitos casos devido à atividade garimpeira de alguns homens situados nestas faixas etárias, tal qual claramente observado durante os trabalhos de pesquisa de campo da equipe do Programa.

A **Figura 82** mostra a distribuição dos teores de mercúrio nas amostras de cabelo dos voluntários do universo amostral das 05 (cinco) abordagens humana combinadas, e estratificados em 04 (quatro) grandes faixas de concentração: inferior a $2 \mu\text{g g}^{-1}$; de 2 a $6 \mu\text{g g}^{-1}$; de 6 a $14 \mu\text{g g}^{-1}$ e superiores a $14 \mu\text{g g}^{-1}$, a partir da qual efeitos neurotóxicos podem ser esperados na população exposta (GRANDJEAN *et al.*, 2005). Com base na estratificação apresentada na **Figura 82** e considerando os limites de exposição publicados pela Organização Mundial de Saúde em 2003, nesta presente avaliação consolidada um total de 30 pessoas (aproximadamente 3,3% do universo amostral) apresentaria níveis de exposição acima de $14 \mu\text{g g}^{-1}$ de Hg no cabelo, o que poderia ser utilizado como indicadore de possível risco de neurotoxicidade mercurial.

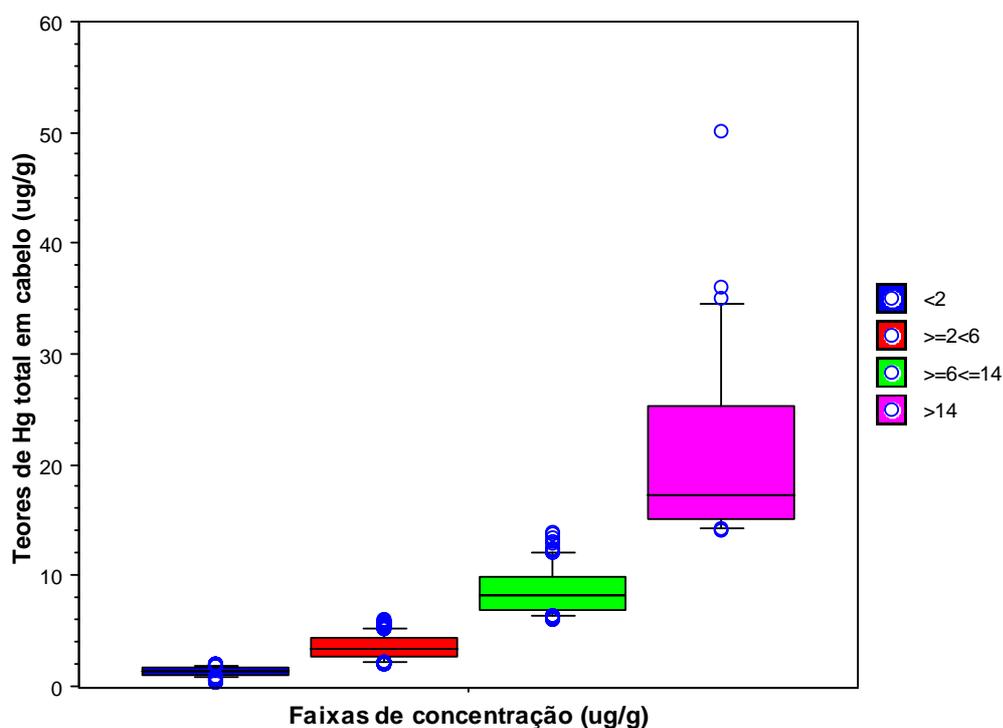


Figura 82 - Distribuição das concentrações de mercúrio nas amostras de cabelo dos voluntários, estratificados nas faixas de concentração inferior a $2 \mu\text{g g}^{-1}$; de 2 a $6 \mu\text{g g}^{-1}$; de 6 a $14 \mu\text{g g}^{-1}$ e superiores a $14 \mu\text{g g}^{-1}$.

No universo amostral das 05 (cinco) abordagens humana combinadas, aproximadamente 235 voluntários (23,5% do universo amostral) declarou ter vivido e/ou trabalhado em regiões de garimpo na bacia do rio Madeira, incluindo-se 187 pessoas (18,7% do universo amostral) que

declaram ter tido atividades garimpeiras ao longo do último ano. O teste não-paramétrico Mann-Whitney U mostra que os teores de mercúrio total em cabelo do grupo de pessoas com histórico de trabalho em áreas garimpeiras apresentaram níveis de exposição ao mercúrio mais elevados do que pessoas que nunca viveram e/ou trabalharam em áreas de garimpo ($p < 0.0001$), evidenciando a persistência e a importância de exposições ocupacionais ao mercúrio na região de abrangência do empreendimento (**Figura 83**), apesar de tais atividades não serem decisivas na determinação dos níveis de exposição da população regional, visto que foram observados valores extremos de concentrações de mercúrio (e.g., $50,2 \mu\text{g g}^{-1}$) em pessoas sem histórico de trabalho em garimpos.

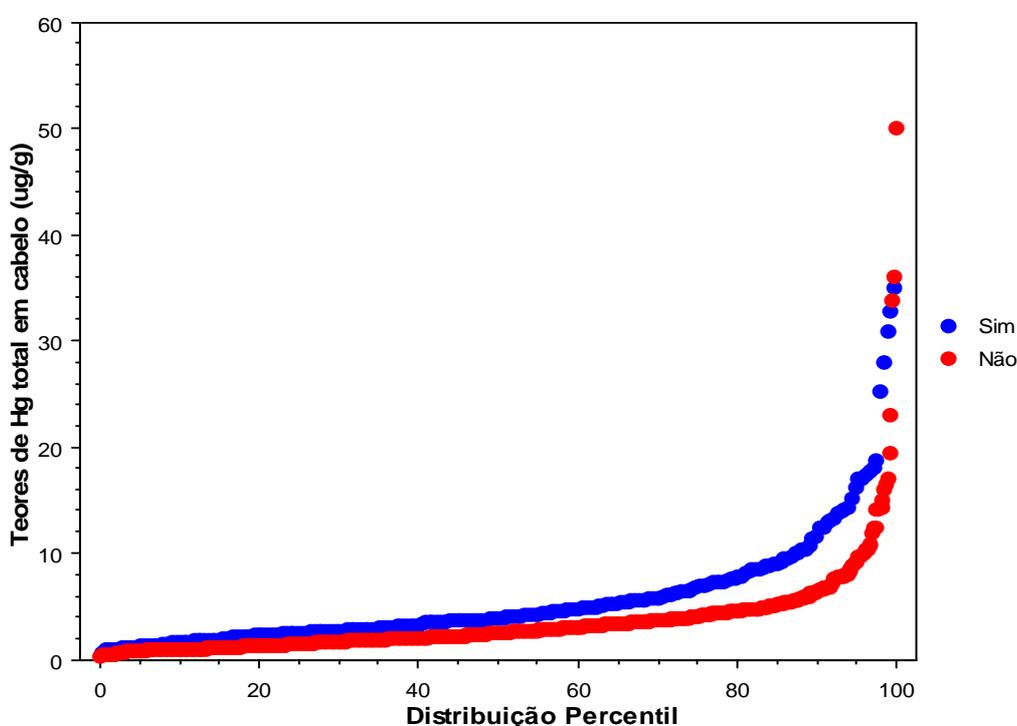


Figura 83: Distribuição percentil dos teores de Hg total em cabelos de pessoas com histórico de trabalho em garimpos (SIM) comparativamente a pessoas sem histórico (NÃO).

De todo modo, talvez algumas exposições mais elevadas poderiam estar sendo sub-registradas por estar sendo utilizado somente o cabelo como biondicador de exposição, o qual não necessariamente constitui a melhor métrica de exposição a formas inorgânicas do metal, tal qual é o caso predominante em regiões de atividade garimpeira de ouro na Amazônia (HACON et al., 2008; Passos & MERGLER, 2008).

Devido às dinâmicas migratórias de pessoas de outras regiões da Amazônia e do país como um todo para o estado Rondônia em busca de trabalho na região de abrangência do empreendimento, torna-se importante examinar não somente as diferenças de perfil de exposição entre essa população imigrante e a população local, mas também a evolução desses perfis ao longo do tempo.

A **Figura 84** apresenta os contrastes de exposição entre os diferentes aglomerados humanos definidos de Nova Mutum Paraná, Abuña, região ribeirinha, região garimpeira e Canteiro de Obras, confirmando que apesar da atividade garimpeira permanecer como importante determinante do risco de exposição humana ao mercúrio, o grupo dos ribeirinhos decididamente ainda constitui aquele de maior risco de exposição e possivelmente de efeitos adversos à saúde. Por outro lado, é interessante notar que os moradores da região de Abunã assim como os colaboradores do Canteiro de Obras constituem um segundo perfil com níveis de exposição mais baixos quando comparados aos ribeirinhos e garimpeiros. Este perfil provavelmente se deve ao fato dos moradores de Abunã terem uma relação muito maior com a rodovia BR-364 do que com o rio Madeira e/ou seus afluentes e igarapés, e também devido ao fato dos colaboradores do Canteiro de Obras terem uma alimentação diversificada nos refeitórios das empresas, ocasionando a diminuição da frequência semanal de consumo de peixes. Por fim, é ainda mais interessante notar que os moradores de Nova Mutum Paraná apresentam o perfil de menor nível de exposição ao Hg quando comparados aos outros grupos, e isso ocorre provavelmente devido à diminuição expressiva da frequência de consumo de peixes.

A literatura científica nas últimas duas décadas (PASSOS & MERGLER, 2008; BARBIERI & GARDON, 2009) tem registrado uma forte influência sazonal nos níveis de exposição da população abordada. O recrutamento cumulativo de voluntários em cada abordagem humana dos estudos de saúde humana do AHE Jirau impede as análises pareadas entre as estações, as quais na Amazônia são determinadas pelo ciclo hidrológico ao longo do ano (cheia, vazante, seca, enchente). A **Figura 85** apresenta o perfil dessas variações inter-sazonais, com base nos teores médios de mercúrio total no cabelo dos efetivos humanos analisados em cada período hidrológico, sendo possível notar claramente as variações dos níveis de exposição ao longo do ciclo hidrológico do rio Madeira, observando-se os maiores valores nos períodos de vazante e enchente e diminuição progressiva aos períodos das águas altas (período hidrológico de cheia) e águas baixas (período hidrológico de seca), tendências essas provavelmente influenciadas pelas dinâmicas de consumo de peixes e de trabalho nos garimpos e dragas ao longo do rio Madeira.

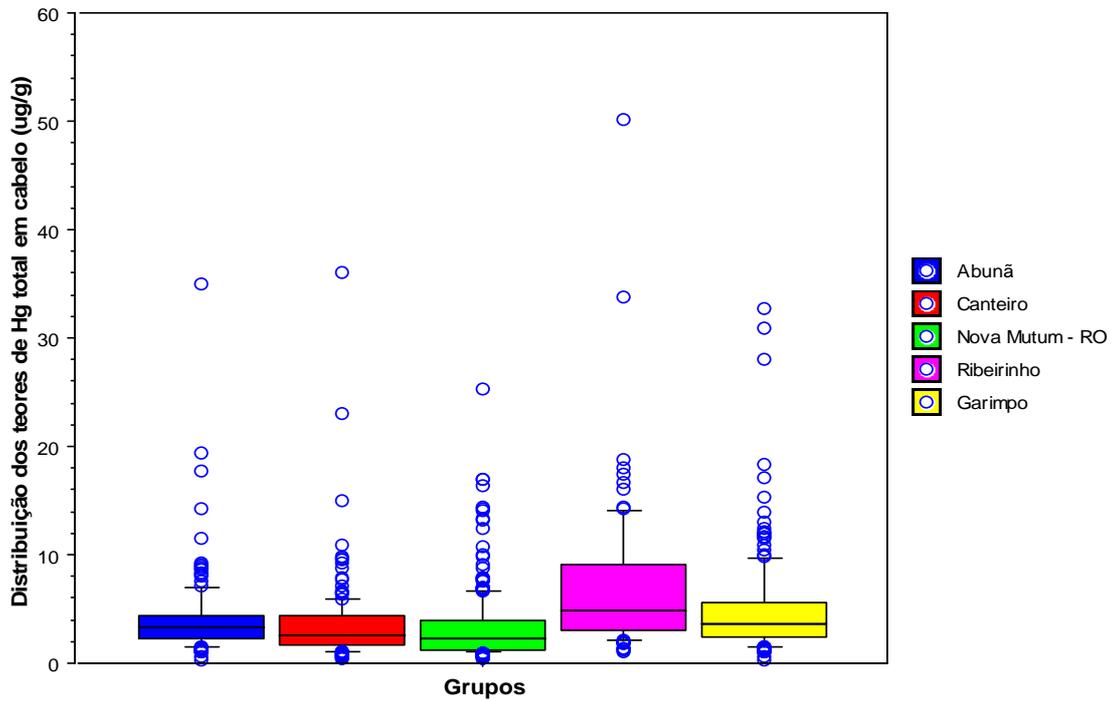


Figura 84: Distribuição dos teores de Hg em de diferentes aglomerados humanos (Distrito de Nova Mutum, Distrito de Abuña, região ribeirinha, região garimpeira e canteiro de obras).

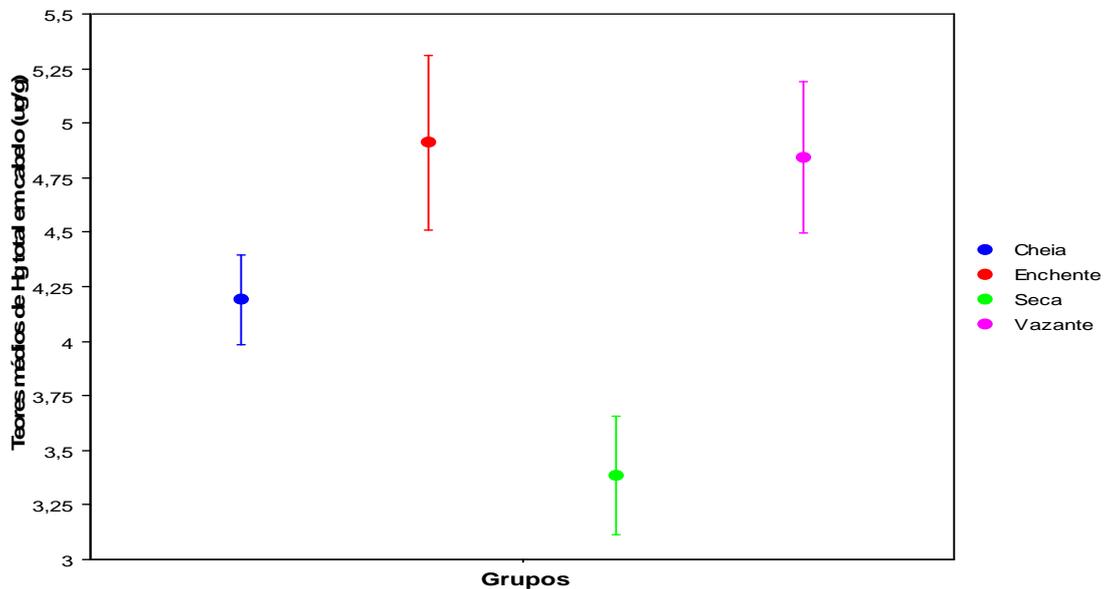


Figura 85 –Variações inter-sazonais da exposição humana ao Hg na região de abrangência do programa (Teste Kruskal Wallis, amostras independentes, $p < 0.0001$).



As análises preliminares dos níveis de exposição humana ambiental ao mercúrio em relação a indicadores de possível neurotoxicidade avaliados nos protocolos neuropsicológicos e clínico-neurológica, indicam que o desempenho das pessoas no conjunto dos testes neuropsicológicos que compõem a bateria utilizada nos trabalhos de campo aparentemente não é influenciado pelos teores de mercúrio determinados nas amostras de cabelo, conforme indica a **Tabela 200**. Entretanto, é importante ressaltar as limitações de interpretação destes resultados preliminares, visto que os efetivos humanos compoem cada subgrupo de resposta para os diferentes testes permanecem relativamente pequenos, principalmente quando se estratifica a população segundo critérios de sexo, localização geográfica e ocupações, fase do ciclo hidrológico, entre outros parâmetros. O desenvolvimento dos estudos de saúde humana ao longo do tempo possibilitarão análises multivariadas (modelos de regressão linear múltipla e regressão logística) que levem em conta outros fatores com potencial de influência sobre o desempenho na bateria testatória neuropsicológica, obviamente com os devidos ajustes para eventuais influências sazonais nos níveis de exposição por via alimentar (consumo de peixes) ou meio ambiente de trabalho (exposição ocupacional).

Tabela 200: Resultados do Teste Kruskal Wallis para verificação de diferenças de teores médios de mercúrio (Amostras Independentes) entre as diferentes categorias dos resultados dos testes neuropsicológicos.

Teste neuropsicológico	Categoria de desempenho	"p"
TEDIF I	Superior, Médio Superior, Médio, Médio Inferior, Inferior	> 0.05
TEDIF II	Superior, Médio Superior, Médio, Médio Inferior, Inferior	> 0.05
TEDIF III	Superior, Médio Superior, Médio, Médio Inferior, Inferior	> 0.05
Memória de Reconhecimento	Superior, Média Superior, Média, Média Inferior, Inferior	> 0.05
Atenção Concentrada	Superior, Média Superior, Média, Média Inferior, Inferior	> 0.05
Teste de Produtividade	Superior, Médio Superior, Médio, Médio Inferior, Inferior	> 0.05
Teste de Emotividade	Muito Aumentada, Aumentada, Média, Diminuída, Muito Diminuída	> 0.05
Organização ou Ordem	Muito Boa, Boa, Média, Regular, Ruim, Muito Ruim	> 0.05
Gráfico Paleográfico	Irregular, Rígido, Equilibrado, Ascendente, Convexo, Côncavo, Descendente	> 0.05
Ritmo	Muito Alto, Alto, Médio, Baixo, Muito Baixo	> 0.05

A totalidade dos parâmetros clínico-neurológicos avaliados em uma sub-amostra da população abrangida pelas 05 (cinco) abordagens humana combinadas (inclusive pessoas apresentando os níveis mais elevados de exposição (e.g., acima da norma de $14 \mu\text{g g}^{-1}$)), não parece ser influenciada pelos níveis de exposição ambiental ao mercúrio, e isso com base tanto no teste não paramétrico Mann Whitney para amostras independentes (com resposta de dois níveis), quanto utilizando-se o Teste Kruskal Wallis para comparação de médias (com resposta em mais de dois níveis).

Apesar dos resultados prévios referentes à inexistência da influência dos níveis de exposição ao mercúrio nas avaliações clínica médica-neurológico e nos indícios iniciais de uma possível relação entre a exposição ao mercúrio e déficit neuropsicológico a nível precoce (fino), é importante notar que os mesmos não podem ser considerados conclusivos neste momento devido ao número ainda reduzido de pessoas distribuídas nas diferentes categorias de desempenho, variando de teste para teste ou exame para exame, conforme sua estrutura própria, sobretudo quando se estratifica a população segundo critérios como sexo, localização geográfica e ocupações, fase do ciclo hidrológico, entre outros parâmetros.

A problemática da contaminação de diversos compartimentos ambientais por mercúrio na Amazônia tem sido objeto de inúmeros estudos das mais diversas naturezas desde o final da década de 1980, já perfazendo mais de 2 décadas de produção acadêmico-científica e técnica sobre o assunto (para extensas revisões favor consultar HACON et al., 2008; PASSOS & MERGLER, 2008; BARBIERI & GARDON, 2009).

BOISCHIO *et al.* (1993) investigaram 150 famílias ao longo de 170 km do rio Madeira, a jusante de Porto Velho, sendo amostrado cabelo de 311 indivíduos, e os resultados mostraram que 70,4% dos indivíduos ($n = 219$) apresentaram valores menores que $15 \mu\text{g g}^{-1}$, enquanto que 27% dos indivíduos ($n = 84$) na faixa de 15 a $50 \mu\text{g g}^{-1}$ e apenas 2,6% dos indivíduos ($n = 8$) valores acima de $50 \mu\text{g g}^{-1}$. Os resultados de pesquisas na Amazônia apontam para teores elevados de mercúrio nos peixes piscívoros, sendo observados valores médios de $0,669 \text{ mg Kg}^{-1}$, e como consequência também elevado o teor de mercúrio em amostras de cabelo da população ribeirinha da Amazônia (média de $19,1 \mu\text{g g}^{-1}$) em cuja alimentação o consumo do peixe é predominante (SOUZA *et al.*, 2000).

Estudos mais recentes têm apresentado uma atualização dos níveis de contaminação ambiental e exposição humana a este poluente na Amazônia. Bastos et al. (2006) apresenta e

discute dados de uma ampla campanha amostral em diferentes compartimentos ambientais (sedimentos de rios, solos de floresta, matéria orgânica suspensa, peixe, além de amostras humanas) cerca de 15 a 20 anos após a diminuição expressiva das atividades garimpeiras na Amazônia, e conclui que apesar da redução das emissões de mercúrio no rio Madeira provenientes de atividades garimpeiras, os teores de mercúrio em peixes e humanos permanecem similares àqueles determinados na época do pico de tais atividades (final dos anos 1980 e início dos anos 1990).

Por sua vez, PASSOS & MERGLER (2008) apresentam uma ampla revisão da literatura científica brasileira e internacional, com vistas a avaliar os níveis de exposição ao mercúrio em diversos países amazônicos. Uma das tabelas apresentadas no artigo e reproduzida abaixo (**Tabela 201**), relata de maneira sumária e cronológica uma grande quantidade de dados sobre os teores de Hg em cabelos de diversas comunidades consumidoras de peixe, dentre as quais as populações ribeirinhas encontram-se dentre as mais expostas, com médias de mercúrio no cabelo tão altas quanto $38 \mu\text{g g}^{-1}$ e $65 \mu\text{g g}^{-1}$.

A análise integrada dos estudos de saúde humana da população das 05 (cinco) abordagens humana combinadas, na área de influência do AHE JIRAU, indica que as concentrações médias de mercúrio encontrado nas amostras de cabelo da população abordada até o presente momento apresentam valores abaixo das médias gerais observadas em várias regiões da Amazônia, provavelmente por se tratar de uma população que tem vivido dividida entre a Amazônia dos Rios (ribeirinha) e a Amazônia das Estradas. As próximas fases dos estudos de saúde humana do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do AHE Jirau serão portanto de grande importância para se verificar o real significado em termos de risco tóxico dessas observações iniciais, na medida em que os tamanhos amostrais serão mais robustos (avaliações bianuais e/ou comparação entre as fases pré-enchimento e pós-enchimento do reservatório), o que permitirá inclusive ajustar modelos estatísticos multivariados para examinar essas possíveis associações, ao mesmo tempo controlando para outros importantes fatores de risco presentes na população.

Tabela 201 - Teores de mercúrio no cabelo relatados para comunidades consumidoras de peixe na Bacia Amazônica (extraída de PASSOS & MERGLER, 2008).

Localização	População	Idade	n	HgT ($\mu\text{g g}^{-1}$)		% MeHg		Referencia
				Média \pm SD	Faixa	Faixa	Faixa	
Rio Madeira	Ribeirinho	-	713	15,2 \pm 9,6	6 - 150	-	-	Bastos et al. 26
Rio Tapajós	Ribeirinho	< 15 a 65	69	15 \pm NA	-	-	-	Pinheiro et al. 27
Rio Madeira	Ribeirinho	-	241	17,2 \pm NA	NA - 303*	**	-	Boischio & Barbosa 30
Parque Xingu	Indígena	-	27	18,5 \pm NA	6,9 - 34	-	-	Vaconcelos et al. 154
Lago Cuniã	Ribeirinho	-	75	8,7 \pm NA	NA - 31,9	70 - 80	-	Barbosa et al. 45
Rio Fresco	Indígena	-	419	8,0 \pm NA	-	-	-	Barbosa et al. 45
Rio Tapajós	Ribeirinho	-	101	21 \pm NA	4,7 - 151	85 - 91	-	Malm et al. 65
Município de Santarém	Urbana	-	10	2,7 \pm NA	-	-	-	Malm et al. 65
Rio Negro	Ribeirinho	-	101	38,6 \pm 14,4	-	-	-	Eve et al. 37
Rio Teles Pires e Juruena	Indígena	-	55	34,2 \pm NA	10 a > 50	87,2***	-	Barbosa et al. 66
Yanomami	Indígena	-	14	3,3 \pm 1,2	1,5 - 6,0*	58 - 97	-	Kehrig et al. 67
Rio Tapajós e Madeira	Ribeirinho	-	82	16,7 \pm 7,3	1,0 - 59,4*	8,7 - 100	-	Kehrig et al. 67
Rio Tapajós	Ribeirinho	\geq 15	96	12,9 [#]	0 - 145	73 - 94	-	Lebel et al. 68
Rio Fresco	Indígena	< 2 a 45	28	8,1 \pm 3,2	0,8 - 13,7	-	-	Barbosa et al. 155
Rio Madeira	Ribeirinho	< 2 a 45	98	14,1 \pm 10,7	2,6 - 94,7	-	-	Boischio & Cernichiari 156
Rio Madeira	Ribeirinho	0,1 - 32	28	-	4,0 - 84,4	84 - 90	-	Barbosa et al. 155
Lago Pracuúba	Ribeirinho	-	15	16,7 \pm NA	-	-	-	Guimarães et al. 75

Tabela 201 - Teores de mercúrio no cabelo relatados para comunidades consumidoras de peixe na Bacia Amazônica – continuação.

Localização	População	Idade	n	HgT (µg g ⁻¹)		% MeHg		Referencia
				Média ± SD	Faixa	Faixa	Faixa	
Cidade de Alta Floresta	Urbana	14 - 45	75	1,1±1,17	0,1 – 8,2	-	-	Hacon et al. 70
Rio Tapajós	Ribeirinho	-	-	17±8,5	2,9 – 71,5	-	-	Pinheiro et al. 71
Parque Xingu	Indígena	-	-	13,6±4,7	4,3 – 32,8*	-	-	Vasconcelos et al. 118
Rio Negro	Ribeirinho	< 15 a 40	76	21,4±12,7	1,7 - 59	34 - 100	-	Barbosa et al. 157
Rio Tapajós	Ribeirinho	12 - 68	36	12,5 [#]	2,9 - 27	-	-	Dolbec et al. 72
Município de Rio Branco	Urbana	0 a > 60	2,32	2,4±3,9	0,8 – 72,7	-	-	Santos et al. 39
Rio Tapajós	Ribeirinho	< 1	-	12±NA	9,6 – 14,6	-	-	Boischio et al. 158
Município de Santarém	Urbana	17 - 25	44	2,0±1,8	0,08 – 15,2	-	-	Passos et al. 40
Reserva Pakaanóva	Indígena	0,5 - 90	910	8,4±6,4	0,5 – 83,9	-	-	Santos et al. 73
Rio Tapajós	Indígenas	< 10	203	8,1±5,2	-	-	-	Dórea et al. 159
Rio Negro	Urbana	-	399	11,4±NA	0,1 – 83,1	-	-	Santos et al. 41
Rio Tapajós e Tocantins	Ribeirinho	0,1 - 12	168	5,1 ^{##}	0,4 – 53,8	-	-	Pinheiro et al. 160
Rio Beni	Indígenas	-	80	9,8±NA	4,3 – 19,5	-	-	Maurice-Bourgoin et al 33

NA – não avaliado; * - metilmercúrio no cabelo; ** - indicação do autor que 70% da sub-amostra > 80% MeHg; *** - média aritmética; # - média; ## - média geométrica; HgT – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

Avaliação Clínica e Neurológica

Na 1ª abordagem humana, realizada entre os dias 19/04 a 24/04/2010, um questionário com vários módulos 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. Entretanto nenhuma avaliação clínica e neurológica foi realizada.

A 2ª abordagem humana foi realizada entre os dias 12/07 a 17/07/2010 e de 23/08 a 28/08/2010, sendo direcionada para a população residente na comunidade de Mutum Paraná e colaboradores das empresas Leme Engenharia, Camargo Corrêa e ENESA Engenharia residentes nas áreas de influência direta e indireta do AHE Jirau.

A 3ª abordagem humana foi realizada entre os dias 18/10 a 22/10/2010, 12/11 a 16/11/2010 e 18/02 a 22/02/2011, sendo direcionada para a população residente nas comunidades de Fortaleza do Abuña, Abuña, Mutum Paraná, margens direita e esquerda do rio Madeira, garimpeiros residentes em balsas e dragas ao longo do rio Madeira e colaboradores das empresas Leme Engenharia e ENESA Engenharia residentes nas áreas de influência direta e indireta do AHE Jirau.

A 4ª abordagem humana foi feita em duas etapas, sendo a primeira etapa no período 18 a 24 de maio de 2011 e a segunda etapa no período de 19 a 24 de agosto de 2011, sendo direcionadas para a população residente nas comunidades de Fortaleza do Abunã, Abunã e Nova Mutum Paraná, além de dragas e flutuantes mineradores de ouro ao longo do rio Madeira e garimpeiros manuais na área de influência direta e indireta do AHE Jirau (**Fotos de 01 a 12**).

A 5ª abordagem humana foi realizada entre os dias 16/10 a 29/10/2011, sendo direcionada para a população residente nas comunidades de Fortaleza do Abunã, Abunã e Nova Mutum Paraná, além de dragas e flutuantes mineradores de ouro ao longo do rio Madeira e garimpeiros manuais na área de influencia direta e indireta do AHE Jirau.



Foto 1 – Abordagem humana – Fortaleza do Abuña.



Foto 2 – Abordagem humana – Abuña .



Foto 3 – Abordagem humana – Margem direita do rio Madeira.



Foto 4 – Abordagem humana – Mutum Paraná.



Foto 05 – Abordagem humana – Draga no rio Madeira.



Foto 06 – Abordagem humana – Draga no rio Madeira.





Foto 07 – Abordagem humana – Garimpo manual na margem esquerda do rio Madeira.



Foto 08 – Abordagem humana – Draga no rio Madeira.



Foto 09 – Abordagem humana – Garimpo manual na margem esquerda do rio Madeira.



Foto 10 – Abordagem humana – Draga no rio Madeira.



Foto 11 – Abordagem humana – Garimpo manual na margem esquerda do rio Madeira.



Foto 12 – Abordagem humana Garimpo manual na margem esquerda do rio Madeira.

O universo amostral humano das 05 (cinco) abordagens humana realizadas é composta por 1002 voluntários. Na 3ª abordagem humana foram excluídos 02 (dois) voluntários com acidente vascular encefálico, 04 (quatro) voluntários por uso de drogas e 01 (um) voluntário com diabetes sem tratamento com neuropatia importante, tendo em vista serem patologias e fatores que podem interferir no exame físico e conseqüentemente nas correlações com os efeitos neurotóxicos do mercúrio. Na 4ª abordagem humana 06 (seis) pessoas foram excluídas das análises por não residirem na área de influência direta do empreendimento e estarem somente de passagem em férias, 01 (um) voluntário possuía um histórico de acidente vascular encefálico isquêmico e outro voluntário possuía um histórico de uso de drogas. Na 5ª abordagem humana foram excluídos 04 (quatro) participantes, 03 (três) por uso de drogas e 01 (um) por neuropatia diabética.

Conforme consta no Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico a avaliação médica foi feita em uma sub-amostra composta de 36,5% dos voluntários do universo amostral humano das 05 (cinco) abordagens humana combinadas, sendo constituída de 366 indivíduos aleatórios e voluntários em um estudo transversal. Todos entrevistados foram submetidos a uma avaliação clínica geral e neurológica, sendo feita em duas etapas: a primeira com uma anamnese e exame físico geral, e a segunda etapa com uma anamnese direcionada aos sintomas neurológicos que possam estar relacionados com o mercúrio.

Todos entrevistados foram submetidos a uma avaliação clínica geral e neurológica, sendo realizada em duas etapas: a primeira com uma anamnese e exame físico geral, e a segunda etapa com uma anamnese direcionada aos sintomas neurológicos que possam estar relacionados com o mercúrio. A anamnese geral consta de: (1) identificação do paciente, sexo, grau de instrução, faixa etária, profissão e contato com o garimpo, (2) história médica ambiental e ocupacional, (3) histórico familiar, (4) alimentação, consumo de peixe quantas vezes na semana, (5) hábitos gerais de vida (fumo, consumo de álcool condições gerais de saúde) e questões específicas dos indivíduos (problemas: gastrointestinal, cardiorrespiratório, neurológico, psíquico, dérmico, visual, auditivo), (6) uso de medicamentos e (7) queixa e duração. A primeira fase do exame físico foi direcionada para a inspeção geral com os itens hidratação, icterícia, cianose e temperatura, sendo essas informações cruciais para a avaliação da saúde geral do voluntário (**Foto 13**). Na segunda fase do exame físico foi abordado o exame cardiorrespiratório com a ausculta cardíaca e respiratória com aferição de pressão arterial sistólica e diastólica, frequência cardíaca e frequência respiratória além de exame físico da tireoide.



Foto 13 – Avaliação clínica geral e anamnese do estado de saúde do voluntário.

No contato com o médico 14 voluntários (3,8% da sub-amostra) quando questionados relataram queixas relacionadas com L.E.R. (lesão por esforço repetitivo), uso de analgésico ou anti inflamatório não hormonal com melhora do quadro, sendo portanto orientados para esclarecimento do quadro álgico ou mesmo dúvidas como utilizar o medicamento anti hipertensivo ou sobre a doença de base.

Na avaliação clínica 57 voluntários (15,6%) da sub-amostra, quando questionados relataram possuir hipertensão arterial sistêmica e o uso de medicação para esta doença, sendo usada pela maioria desses voluntários inibidoras da enzima conversora da angiotensina como medicamento. A utilização de beta bloqueadores podem camuflar o tremor fino de extremidades, dado importante para a análise do efeito neurotóxicos do mercúrio na população humana. Na avaliação clínica apenas 06 voluntários (1,6% da sub-amostra), quando questionados, relataram possuir diabetes e usar corretamente os medicamentos. Na avaliação clínica apenas 03 voluntários (0,8% da sub-amostra) fizeram relato de acidente vascular encefálico isquêmico, sendo este critério de exclusão, pois sabidamente terão alteração neurológica no exame físico.

Na avaliação clínica 13 voluntários (3,5% da sub-amostra) quando questionados admitiram o uso de drogas ilícitas como maconha e cocaína, as quais também acarretam alterações nos

exames neurológicos. Entretanto na avaliação sócio-demográfica e inquérito alimentar realizada pelos agentes de campo durante as cinco abordagens humanas, nenhum voluntário declarou consumir de drogas, dado de difícil relato devido aos aspectos criminais relacionados ao consumo de tais substâncias ilícitas. A avaliação clínica mostra que 140 voluntários (38,2% da sub-amostra) fazem uso regular de medicamentos, sendo considerado uso regular mais que 03 vezes por semana, principalmente antialérgicos e anti-hipertensivos. Os descongestionantes nasais ou antialérgicos a base de efedrina podem causar tremor fino de extremidades além de taquicardia horas após ser utilizado. Nas 05 (cinco) abordagens humanas 03 voluntários (0,8% da sub-amostra), quando questionados, relataram o uso de benzodiazepínicos, os quais podem lentificar respostas verbais e motoras influenciando, ocasionando alteração neurológica no exame físico. Na sub-amostra clínica das cinco abordagens humanas a média da pressão sistólica aferida durante as entrevistas (**Foto 14**) foi de 108 mmHg e a média da pressão diastólica de 68 mmHg, com frequência cardíaca média de 80 batimentos por minuto, sendo que não houve intercorrência, ou seja, nenhum dos voluntários submetidos a avaliação clínica apresentou medições com alterações importantes ou sintomas associados.



Foto 14 – Aferição da pressão dos voluntários .

A primeira fase do exame físico foi direcionada para a inspeção geral com os itens hidratação, icterícia, cianose e temperatura, sendo essas informações cruciais para a avaliação da saúde geral do voluntário. Nas avaliações da primeira fase do exame físico foi realizada a inspeção da mucosa e turgor de pele, além da aferição da temperatura corporal, sendo que não foi observado voluntários em estado febril, ictérico ou cianótico, sendo que 25 voluntários (6,8% da sub-amostra) apresentaram hipocorados leve possivelmente associado a anemia, entretanto sem comprometimento geral (**Foto 15**). Os voluntários foram prontamente informados da alteração e sugerido investigação mais elucidativa do quadro.



Foto 15 – Primeira fase do exame físico nos voluntários.

Na segunda fase do exame físico foi abordado o exame cardiorrespiratório com a ausculta cardíaca e respiratória com aferição de pressão arterial sistólica e diastólica, frequência cardíaca e frequência respiratória além de exame físico da tireóide (**Foto 16**). No exame físico da tireóide apenas 03 (três) voluntários do sexo feminino (0,8% da sub-amostra) possuiu alteração na palpação da tireoide sendo imediatamente comunicados, para uma reavaliação médica com esclarecimento.



Foto 16 – Exame físico da tireoide nas voluntárias .

No exame cardíaco apenas 01 (um) voluntário (0,2% da sub-amostra) possuía um sopro cardíaco e não sabia desta alteração, sendo orientado para seguimento com especialista (**Foto 17**). Outros 03 (três) voluntários (0,8% da sub-amostra) relataram terem sofrido infarto do miocárdio, usarem medicamentos regularmente para essa enfermidade e serem acompanhados por um cardiologista.



Foto 17 – Exame respiratório nos voluntários.

No exame respiratório 09 (nove) voluntários (2,4% da sub-amostra) apresentaram alterações, sendo as mesmas tabagistas, com alterações na ausculta respiratória leve e provocada por associação do fumo e baixa umidade relativa do ar que se encontrava na época. Os 09 (nove) voluntários diagnosticados estavam em uso de antialérgicos e foram insistentemente incentivadas à cessação do tabagismo, esclarecendo sua relação como fator de piora do quadro atual e os malefícios que o cigarro causa no futuro.

No teste neurológico referente à mobilidade ocular, o examinador solicita ao voluntário que olhe de um lado, do outro, para cima e para baixo, estando sua cabeça fixa e dirigida para frente. Deve-se, também, testar a mobilidade ocular em direção intermediária àquelas, ou seja, obliquamente para cima e para fora, para cima e para dentro, etc. A seguir, pede-se para olhar para um dedo, colocado próximo aos olhos, na linha mediana, para testar a capacidade de convergência ocular. Na sub-amostra das cinco abordagens humanas (366 voluntários) não foi observado alteração em nenhum entrevistado.

No teste de memória recente, o examinador solicita ao voluntário que repita palavras simples como: cachorro, gato e casa, e após outro teste neurológico desenvolvido durante um período de tempo solicita ao voluntário para repetir as mesmas palavras supracitadas. Esse teste é um dos itens do mini-exame do estado mental, teste criado em 1975, por Folstein, Folstein & McHugh, e o mais utilizado mundialmente que avalia de uma forma simples a memória recente do entrevistado, lembrando que uma alteração neste item pode estar relacionada a um número extenso de possibilidades. Inicialmente o conjunto de palavras (cachorro, gato e casa) é repetido com o examinador e após alguns minutos o conjunto de palavras deve ser lembrado pelo entrevistado. Neste teste de memória recente 184 voluntários (50,27% da sub-amostra) lembraram das três palavras, 127 voluntários (34,7% da sub-amostra) lembraram de apenas duas palavras, 31 dos voluntários (8,46% da sub-amostra) lembraram de apenas uma palavra e 26 dos voluntários (7,1% da sub-amostra) não conseguiu lembraram de nenhuma palavra.

No teste de reflexo foi escolhido o reflexo bicipital, percutir o tendão do bíceps na sua inserção na região interna do cotovelo com interposição do dedo (fossa intercubital) e com o antebraço fletido em 90° em relação ao braço. Como o indivíduo estava sentado, o antebraço e as mãos ficarão apoiadas nas coxas homolaterais, com os membros superiores bem relaxados. Resposta, contração do bíceps com flexão do antebraço. Na sub-amostra clínica das cinco abordagens

humanas os 366 voluntários apresentaram testes de reflexo normal, sendo que apenas 01 (um) voluntário apresentou arreflexia e poucos apresentaram hiper ou hiporreflexia que se mostraram sem outras alterações. Entretanto, esse voluntário foi excluído do estudo por ser diabético e etilista inveterado e com uso de álcool durante o exame.

O exame da sensibilidade tátil dos membros superiores e inferiores foram testados (**Foto 18**), sendo solicitado ao voluntário expor todo o braço e em seguida colocar o braço estendido sobre a mesa, posteriormente solicitado para fechar os olhos. Tocando com a ponta da caneta (sem deixar marcas) um ponto na superfície ventral da última falange do dedo indicador do voluntário. Logo em seguida o voluntário deveria abrir os olhos e apontar o local que foi tocado. A distância (em milímetros) entre os dois pontos tocados é medida e todo o procedimento é repetido mais duas vezes variando o local tocado. Na sub-amostra das cinco abordagens humanas não foi observado alteração. A sensibilidade dolorosa dos membros inferiores e superiores também foram testadas e sem alteração na sub-amostra dos voluntários.

O sinal de Romberg foi aplicado para testar o equilíbrio estático (**Foto 19**), sendo solicitado ao voluntário permanecer em pé com os pés juntos, mãos ao lado do corpo e olhos fechados por um minuto. O examinador permaneceu perto do paciente por precaução, minimizando possíveis riscos de queda.

O teste é considerado positivo quando se observa o paciente balançar, balançar irregularmente ou mesmo queda. A característica principal a ser observada é que o paciente se torna mais instável com os olhos fechados. Na sub-amostra clínica das cinco abordagens humanas 04 voluntários (1,1% da sub-amostra) apresentaram o teste alterado. No início do teste do equilíbrio estático, a avaliação da marcha é feita observando o caminhar do voluntário, sendo que apenas 01 (um) voluntário (0,2% da sub-amostra) apresentou marcha alargada (**Foto 20**).



Foto 18 – Teste de reflexo realizado nos voluntários.



Foto 19 – Exame de equilíbrio estático realizado nos voluntários.



Foto 20 – Avaliação da marcha realizada nos voluntários.

Na prova índice-nariz (**Foto 21**), o examinador solicitou ao voluntário estender e abduzir os braços e, a seguir, colocar os dedos indicadores no nariz, repetidamente. A prova foi realizada com movimentos simétricos e ao mesmo tempo ou alternadamente, colocando-se primeiro o índice direito no nariz voltando a estender o braço direito e, a seguir, fletir o braço esquerdo, colocando o índice esquerdo no nariz repetindo-se essa sequência várias vezes, de olhos abertos e, a seguir de olhos fechados. Durante o movimento, observou-se a harmonia, a medida e o aparecimento de tremores. Alterações:

- a - Na harmonia do movimento com fases de movimento mais rápidos e mais lentos, mais para o alto ou mais para baixo;
- b - Na medida do movimento com interrupção, antes do alvo (nariz ou orelha) ou a ultrapassagem do alvo (dismetria);
- c - Tremor que se acentua quando o índice está parado, próximo do alvo (tremor de intenção).

Na sub-amostra das cinco abordagens humanas apenas 05 (cinco) voluntários (1,4 % da sub-amostra) apresentaram prova índice-nariz com provável dismetria.



Foto 21 – Prova índex-nariz realizado durante a 4ª abordagem humana.

A prova do calcanhar Joelho testa a coordenação dos membros inferiores. A prova foi feita com o voluntário, em decúbito dorsal, sendo solicitado que coloque um dos calcanhares no joelho oposto e, a seguir, deslize o calcanhar encostado na região tibial da perna, até a ponta dos pododáctilos. Este movimento deve ser feito alternado, ora com um membro, ora com o outro, com o voluntário olhando os movimentos e, a seguir, de olhos fechados. As alterações citadas anteriormente nas provas índex-nariz deverão ser observadas nesta fase da prova do calcanhar-Joelho. Quando as alterações se acentuam, após o fechamento dos olhos, há comprometimento da coordenação muscular. Na sub-amostra das cinco abordagens humanas apenas 03 (três) voluntários (0,8 % da sub-amostra) apresentaram prova índex-nariz com provável dismetria.

A diadococinesia é a capacidade de inverter, rapidamente, a direção de um movimento. A prova utilizada para avaliação da diadococinesia (**Foto 22**) foi a supinação-pronação da mão (movimentos rápidos, alternados, batendo ora com a palma, ora com o dorso da mão no próprio joelho). Estas provas alteradas indicam que há disdiadococinesia (incoordenação de origem cerebelar), sendo que na sub-amostra das cinco abordagens humanas 04 (quatro) voluntários (1,1 % da sub-amostra) apresentaram alteração na avaliação da diadococinesia. A fala também foi analisada com a articulação das palavras e pensamento lógico, sendo que não observado alteração nos voluntários da sub-amostra das cinco abordagens humanas.



Foto 22 – Prova para avaliação da diadococinesia realizada nos voluntários.

O campo visual dos voluntários foi analisado com o examinador deslocando o dedo indicador de ambas as mãos, nos vários pontos do campo visual do examinado. O examinador olha fixamente no olho do voluntário para ter certeza do mesmo não desviar o olho do ponto fixo (geralmente a testa do examinador). As hemianopsias ou quadrantopsias são detectadas com certa facilidade por esta prova, sendo com maior dificuldade detecção dos escotomas centrais e amaurose. Nesta fase da avaliação neurológica também foi realizado teste da gnosis visual dos voluntários, o qual também faz parte do mini mental, sendo solicitado ao voluntário o reconhecimento de objetos simples como caneta, relógio ou lápis. Na sub-amostra das cicno abordagens humanas 03 (três) voluntários (0,8% da sub-amostra) apresentaram alteração na avaliação do campo visual.

Na avaliação neurológica, também foi solicitado ao voluntário a elevação o membro superior sem apoio para avaliar se possui tremores (**Foto 23**), sendo que 69 voluntários (18,8% da sub-amostra) apresentaram teste positivo. De forma subjetiva foi realizada a avaliação de parestesias, sensação de formigamento em membros superiores e inferiores, com uma pergunta direcionada enquanto era realizado o exame neurológico, sendo que 72 voluntários (19,6% da sub-amostra) responderam que sentiam formigamento em membro superior ou inferiores no fim do dia.



Foto 23 – Avaliação de tremores nos voluntários realizada na 4ª abordagem humana.

A capacidade de localização temporo espacial do indivíduo faz parte da avaliação do minimal, sendo perguntado ao voluntário a data completa (dia, mês e ano) e sua localização (cidade, estado, país), sendo observado que 64 voluntários (17,5% da sub-amostra) erraram na resposta referente à data, com erro principalmente na identificação do dia; e 03 (três) voluntários (0,8% da sub-amostra) erraram na resposta referente à localização, com erro principalmente na identificação do estado e país.

No final do atendimento médico foi esclarecido ao voluntário que os testes são apenas de triagem e não indicam uma saúde perfeita quando não indicam alterações, sendo que o voluntário deve continuar o seguimento que vem fazendo com os seus médicos especialistas ou generalistas, e não deixem de fazer uso de seus medicamentos de uso diários. Nesta etapa do atendimento médico foi distribuído o material informativo sobre os riscos do mercúrio para a saúde humana (**Foto 24**).



Foto 24 – Avaliação de tremores nos voluntários realizada na 4ª abordagem humana.

O teste do monofilamento de Semmes-Weinstein (estesiometria) é um método que consiste na inspeção de dez pontos específicos nos pés com um filamento de nylon, visando determinar a presença ou ausência de sensibilidade tátil. A incapacidade de sentir a pressão necessária ao se curvar suavemente o monofilamento de 10 g, quando observado em quatro dos dez pontos do pé avaliados é compatível com neuropatia sensorial. Segundo Pedrosa (2007), considerando estudos de vários autores, a sensibilidade do uso de quatro pontos plantares é de 90% e a sensibilidade é de 80%. Porém a maioria das vezes a condição de realização do exame médico é em condições adversas para a prática deste teste, que exige o paciente em posição confortável.

Avaliação Neuropsicológica

No Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do AHE Jirau a bateria testatória neuropsicológica foi adequada para estabelecer a presença ou não de disfunção cognitiva associadas aos efeitos neurotóxicos do mercúrio. A bateria testatória neuropsicológica foi aplicada em uma sub-amostra de 520 voluntários referente a 51,9% do universo amostral humano das 05 (cinco) abordagens realizadas, sendo direcionadas para a população residente nas comunidades de Fortaleza do Abunã, Abunã e Nova Mutum Paraná, além de dragas e flutuantes mineradores de ouro ao longo do rio Madeira e garimpeiros manuais na área de influência direta e indireta do AHE Jirau. Durante as abordagens humanas foram feitas as

devolutivas da bateria testatória neuropsicológica e dosimetria do mercúrio, sendo todas as devolutivas individualizadas e acompanhadas pelo grupo de psicólogas, minimizando quaisquer impactos neuropsicológicos negativos deste estudo e resguardando a confidencialidade dos exames (**Fotos de 25 e 26**).



Foto 25 – Devolutiva dos resultados dos estudos de saúde humana.



Foto 26 – Devolutiva dos resultados dos estudos de saúde humana no garimpo manual na margem esquerda do rio Madeira.

Os cenários de avaliação foram oferecidos pela própria comunidade atendida, como: Centro Comunitário local, escolas e residências dos voluntários conforme mostra as **Fotos de 27 a 29**. A aplicação de testes foi realizada em pequenos grupos, pelas psicólogas Msc. Valéria Vasconcelos Serra (CRP – 01/3559) e Msc Vera L. D. Simões (CRP – 01/2198), mestres em psicologia, credenciadas pelo Conselho Federal de Psicologia.



Foto 27 – Aplicação da bateria de testes neuropsicológicos durante a 4ª abordagem humana no distrito de Fortaleza do Abuña.



Foto 28 – Aplicação da bateria de testes neuropsicológicos durante a 4ª abordagem humana nas dragas ao longo do rio Madeira.



Foto 29 – Aplicação da bateria de testes neuropsicológicos durante a 4ª abordagem humana no ambiente escolar de Nova Mutum Paraná.

Teste de atenção concentrada - Susy Vijande Cambraia

A literatura científica relata ampla discussão sobre o conceito de atenção concentrada. Em uma perspectiva psicológica, Warren (1956), no Dicionário de Psicologia, apresenta dentre tantas outras a atenção como um processo que consiste em focar certas porções de uma experiência de modo que elas se tornem mais evidentes ou destacadas. Segundo Strauss, Barton e Reilley (1995), a atenção pode ser considerada uma função mental complexa que se refere à capacidade do sujeito para focalizar sua mente em algum aspecto ou estímulo do meio ambiente ou do seu conteúdo interno. Portanto trata-se da capacidade para selecionar e manter o controle sobre a entrada de informações externas e o processamento de informações internas necessárias em um dado momento. Essa capacidade seletiva é fundamental para a manutenção da atividade mental, pois ela controla o processamento da grande quantidade de estímulos provenientes do meio ambiente e do mundo interior que uma pessoa recebe. Como afirmam Cortese, Mattos e Bueno (1999), “sem esta capacidade de seleção a quantidade de informações externas e/ou internas, seria enorme a tal ponto de inviabilizar qualquer atividade mental”.

Luria (apud Fazzani Neto, 1985), Cortese, Mattos e Bueno (1999) e Hilgard e Atkinson (1979) afirmam que a capacidade de atenção também pode ser influenciada por estados emocionais. Estes seriam responsáveis por aumentar ou diminuir o grau de atenção que uma pessoa coloca



sobre determinados estímulos. Segundo Luria (1979), a seletividade dos estímulos e o direcionamento de nossa atividade mental é mediada também pela importância e interesse por uma determinada tarefa em detrimento de outras. Esses autores relatam que além de todos os complexos processos que compõem a capacidade de atenção, ela envolveria também as atividades e operações intelectuais necessárias para executar a tarefa que foi selecionada.

Existe uma relação entre a atenção e a concentração. Segundo, Székely (1946) toda concentração começa pela atenção e a concentração não é senão a unificação das atenções. A atenção concentrada pode ser definida como a capacidade de selecionar uma fonte de informação (estímulo do meio ambiente ou do mundo interior) entre todas as que estão disponíveis em um determinado momento e conseguir dirigir sua atenção (manter o foco) para esse estímulo ou tarefa ser realizada no decorrer do tempo. Então, em qualquer tarefa que precise ser realizada ou atividade em que esteja envolvido, é necessário que o indivíduo focalize sua atenção concentrada por um maior intervalo de tempo, a fim de facilitar o processo de aprendizagem, promovendo o bom aproveitamento e a qualidade de seu trabalho.

Os testes de Atenção Concentrada podem ser usados na avaliação psicológica em geral e também na avaliação neuropsicológica, que por sua vez preocupa-se com o conhecimento dos aspectos funcionais da atenção e as relações com os circuitos cerebrais e também com o tipo de intervenção mais apropriado para cada caso, inclusive reabilitação cognitiva. A atenção é um centro funcional complexo que percorre extensos caminhos cerebrais envolvendo tanto áreas corticais como subcorticais, sendo solicitada a cada momento da vida e é extremamente importante para o funcionamento cognitivo e afetivo do psiquismo. A atenção é uma qualidade da percepção, enquanto que a percepção é o ponto de contato mais imediato entre os órgãos dos sentidos e o cérebro e também entre o estado interno corporal por meio das mais variadas sensações, permitindo receber informações tanto sobre o mundo interno como externo. Dessa maneira, é possível compreender a importância da avaliação da atenção concentrada e a atenção difusa por estarem extremamente relacionadas com a qualidade com que as pessoas executam as tarefas que se propõem a realizar no seu dia a dia.

A bateria de testes neuropsicológicos aplicados na sub-amostra neuropsicológica de todas as campanhas realizadas (520 voluntários) teve início com o teste de Atenção Concentrada, sendo que para consecução dos resultados (**Figura 86**) foi considerada a tabela de percentil em função da escolaridade e para a amostra do Estado do Amazonas (2008).

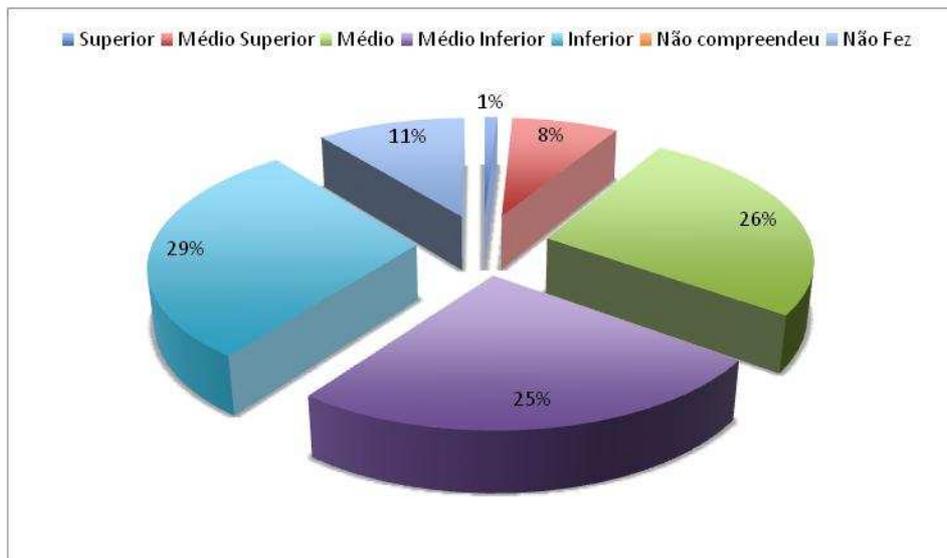


Figura 86 – Resultado do teste de Atenção Concentrada aplicado aos voluntários da sub-amostra neuropsicológica (520 voluntários).

O teste de Atenção Concentrada possibilita a diferenciação de dois grupos da sub-amostra de todas essas campanhas, sendo o primeiro grupo formado pelos percentuais obtidos das classificações superior, média superior e média correspondendo a 36,0% da sub-amostra neuropsicológica e o segundo grupo formado pelos percentuais obtidos das classificações média inferior e inferior correspondendo a 55,8% da sub-amostra neuropsicológica. Portanto uma considerável parcela da população avaliada apresenta dificuldades de atenção concentrada e 11,0% não realizaram esse teste.

Considerando que o teste de Atenção Concentrada avalia a função cognitiva de atenção ou a capacidade de selecionar uma fonte de informação (estímulo do meio ambiente ou do mundo interior) entre todas as que estão disponíveis em um determinado momento e conseguir dirigir sua atenção (manter o foco) para esse estímulo ou tarefa a ser realizada no decorrer do tempo, os resultados prévios inferem que a população avaliada, em sua maioria, apresenta um nível baixo de capacidade de selecionar e manter o foco em estímulos no decorrer do tempo, ou seja, de atenção concentrada.

Infere-se que um contingente significativo de sujeitos (55,8% da sub-amostra neuropsicológica) pode ter prejuízo da qualidade de sua atividade laboral em função das dificuldades em atenção concentrada. Portanto, pode-se afirmar alicerçados nos resultados obtidos, que os baixos escores percentuais dos sujeitos participantes, em atenção concentrada podem ter como causas os estados emocionais que, como afirmam os autores consultados, são responsáveis por aumentar ou diminuir o grau de atenção que uma pessoa coloca sobre

determinados estímulos. Como afirma Luria (1979), a seletividade e o direcionamento da atividade mental é mediada também pela importância e interesse por uma determinada tarefa. E ainda, os complexos processos que formam a capacidade de atenção envolvem atividades e operações intelectuais necessárias para executar a tarefa. Em suma, os resultados numéricos apresentados se devem a problemas emocionais relacionados ao interesse e motivação, como também às dificuldades intelectivas dos sujeitos avaliados que podem estar relacionados a problemas no funcionamento das áreas corticais e subcorticais do cérebro.

Teste de Atenção Difusa – Emílio Carlos Tonglet

O Teste de Atenção Difusa possibilita avaliar a função mental que foca simultaneamente diversos estímulos que estão dispersos espacialmente, realizando uma captação rápida, no tempo determinado. A Bateria Geral de Funções Mentais: Testes de Atenção Difusa consiste de um conjunto de instrumentos psicológicos com a finalidade de investigar, avaliar, classificar e padronizar as funções mentais relacionadas à cognição representadas pelos sistemas atentos, memória e raciocínio lógico.

A BGFM – 1 - Bateria Geral de Funções Mentais em seu primeiro volume tem os Testes de Atenção Difusa cujas funções mentais investigadas são a atenção difusa e a atenção difusa complexa. A Atenção Difusa é a função mental que focaliza simultaneamente diversos estímulos que estão dispersos espacialmente, realizando uma captação rápida de informações e fornecendo um conhecimento instantâneo para o indivíduo. Enquanto que a Atenção Difusa Complexa é a função mental que focaliza parcialmente diversos estímulos coloridos, compostos por figuras geométricas idênticas ou diferenciadas, que se encontram bem dispersas espacialmente, realizando uma captação rápida de informações e fornecendo um conhecimento instantâneo e parcial para o indivíduo (Tonglet,1999).

Os testes que compõem a Bateria Geral de Funções Mentais - BGFM 1 são :

TEDIF – 1 Teste de Atenção Difusa Forma 1 – é um novo instrumento psicológico com o objetivo de ser utilizado tanto na avaliação psicológica para candidatos à admissão em empresas e funcionários para avaliação de potencial como também na avaliação neuropsicológica. Emprega apenas um tipo de símbolo. Por meio da aplicação deste instrumento psicológico pode-se observar a rapidez ou lentidão com que o examinando utiliza sua atenção difusa, tornando possível classificá-lo de acordo com a padronização do teste;

TEDIF – 2 Teste de Atenção Difusa Complexa Forma 2 – construído com a finalidade de investigar, avaliar e mensurar a atenção difusa complexa. Sua utilização é similar a do TEDIF 1 e também emprega apenas um tipo de símbolo;

TEDIF – 3 Teste de Atenção Difusa Complexa Forma 3 – construído com a mesma finalidade e utilização do TEDIF 2. Emprega dez tipos de símbolos, cujas formas são representadas por: triângulos, quadrados, losangos, pentágonos, hexágonos, octógonos com figuras maiores e menores.

Os resultados obtidos pelos voluntários no Teste de Atenção Difusa – TEDIF 1 (**Figura 87**) que envolve maior simplicidade, indica que um percentual significativo dos sujeitos testados está na categoria inferior (28,5 % da sub-amostra) significando um desempenho em atenção difusa muito abaixo da média ou inferior, se acrescido do percentual (23,3%) da categoria médio inferior ou abaixo da média tem-se 51,7% da sub-amostra. Considerando o agrupamento das categorias de análises com percentual de desempenho superior, médio superior e médio tem-se um percentual de 46,2% da sub-amostra neuropsicológica, enquanto que as categorias de análises com desempenhos médio inferior e inferior apresentam percentual de 51,7% da sub-amostra neuropsicológica, representando uma quantidade muito significativa de pessoas com dificuldades em atenção difusa de menor complexidade, ou seja, a maior parte do universo amostral das 05 (cinco) abordagens humana realizadas.

O Objetivo do Teste de Atenção Difusa é avaliar a função mental que foca, de uma só vez, diversos estímulos que estão dispersos espacialmente, realizando uma captação rápida, no tempo determinado. Pode-se afirmar que um contingente muito significativo dos participantes apresenta dificuldades na expressão desta função cognitiva, o que pode significar problemas nas áreas corticais e subcorticais do cérebro.

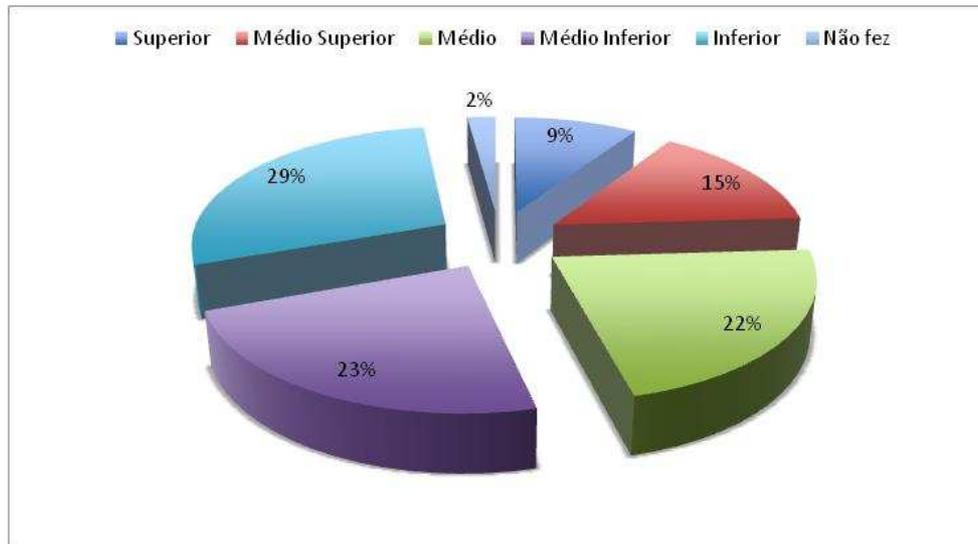


Figura 87 – Resultado percentuais do teste de atenção difusa – TEDIF 1 aplicado a sub-amostra neuropsicológica de todas as campanhas já realizadas (520 voluntários).

Os resultados referentes ao teste de atenção difusa complexa - TEDIF 2 (**Figura 88**) mostram que o maior percentual dos voluntários está na categoria Inferior (37,3% da sub-amostra neuropsicológica) seguido pelo grupo dos voluntários com classificação Média Inferior (19,2% da sub-amostra neuropsicológica), portanto o agrupamento dos voluntários com percentuais abaixo e muito abaixo da média resulta em 56,5% da sub-amostra neuropsicológica. Enquanto que o agrupamento dos voluntários nas categorias Superior, Médio Superior e Médio representa 36,9% da sub-amostra neuropsicológica. Os resultados indicam que houve muitas dificuldades nas respostas ao teste de Atenção Difusa Complexa 2, ou seja, a maioria das pessoas teve desempenho abaixo da média demonstrando a possibilidade de problemas na estrutura cerebral nas áreas corticais e subcorticais.

Os resultados do teste de atenção difusa complexa 3 – TEDIF 3 (**Figura 89**) mostram que o maior percentual dos voluntários está categoria Inferior (33,8% da sub-amostra neuropsicológica) seguido pelo grupo dos voluntários Médio Inferior ou abaixo da média (16,9% da sub-amostra neuropsicológica), portanto o agrupamento dos voluntários com percentuais abaixo e muito abaixo da média resulta em 50,8% da sub-amostra neuropsicológica. No teste de atenção difusa complexa 3 – TEDIF 3 o agrupamento dos voluntários nas categorias Média, Médio Superior e Superior representa 41,9% sub-amostra neuropsicológica. Esses voluntários apresentam bom desempenho em atenção difusa complexa como também na compreensão das instruções do teste, sendo possível inferir que

este grupo possui bom potencial cognitivo no que se refere aos processos atentos e especificamente em atenção difusa complexa, como também um potencial para aprendizagens, em caso de desempenho bom ser fruto de aprendizagem da técnica de respostas para esse tipo de teste, após realização do TEDIF 1 e 2. O percentual significativo de sujeitos que apresentou dificuldades nessa função cognitiva leva-se a aventar a possibilidade de tais sujeitos apresentarem problemas nas áreas corticais e subcorticais do cérebro.

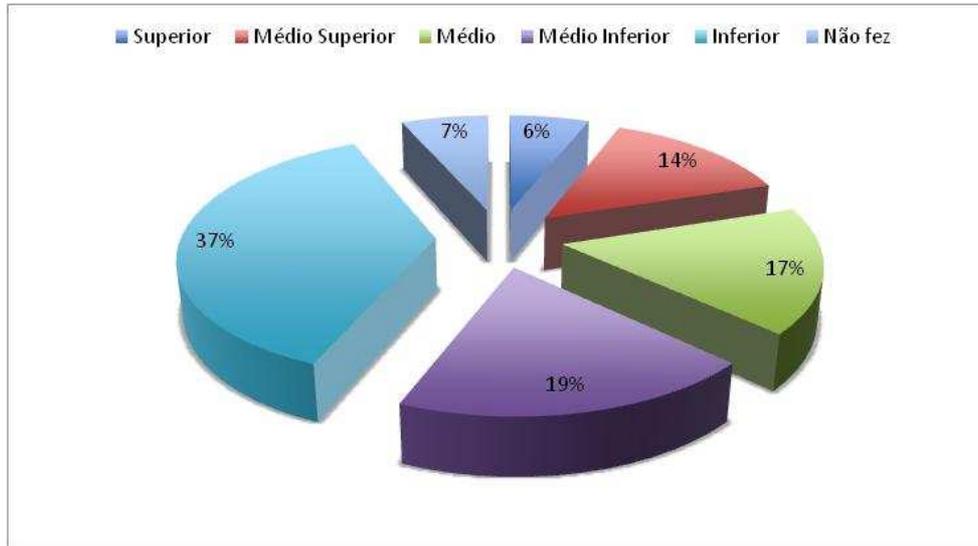


Figura 88 – Resultado percentuais do teste de atenção difusa complexa – TEDIF 2 aplicado a sub-amostra neuropsicológica de todas as campanhas já realizadas (520 voluntários).

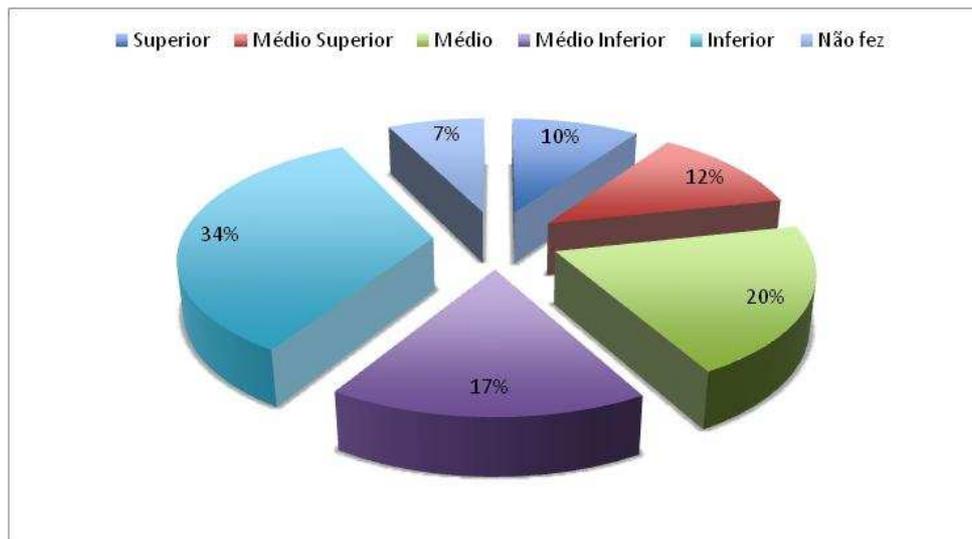


Figura 89 – Resultado percentuais do teste de atenção difusa complexa 3 – TEDIF 3 aplicado a sub-amostra neuropsicológica de todas as campanhas já realizadas (520 voluntários).

O desempenho dos sujeitos nos quatro testes de atenção aplicados teve um saldo representativo de participantes posicionados nas categorias Inferior e Média Inferior o que é sugestivo de problemas nesta função cognitiva em termos da estrutura cerebral, quer afetando o aspecto emocional (Lobo Límbico) quer prejudicando as funções psicológicas superiores da Atenção Concentrada e da Atenção Difusa (partes Corticais e Sub-corticais do cérebro).

A atenção é um centro funcional complexo que percorre extensos caminhos cerebrais envolvendo tanto áreas corticais como subcorticais. Ela é solicitada a cada momento da vida e é extremamente importante para o funcionamento cognitivo e afetivo do psiquismo. Esta capacidade seletiva é fundamental para a manutenção da atividade mental, pois controla o processamento da grande quantidade de estímulos provenientes do meio ambiente e do mundo interior que uma pessoa recebe. O fato dos sujeitos apresentarem resultados similares nos dois tipos de atenção parece óbvio, pois, se não se aprendeu ou desenvolveu a habilidade de selecionar estímulos ou porções de uma experiência também não vai conseguir focalizar de uma só vez diversos estímulos numa captação rápida pois, está implícito que para tanto será necessário a habilidade de selecionar, focalizar, ou seja, utilizar as mesmas áreas cerebrais.

Portanto pode-se concluir que um percentual significativo dos sujeitos avaliados apresenta problemas em uma função cognitiva tão importante para o funcionamento geral do ser humano em todas as suas atividades no mundo.

Teste de Memória de Reconhecimento Visual de Curto Termo – TMR – Emílio Carlos Tonglete

Tonglet (2000) define a memória de curto termo como sendo a capacidade de memorizar ou fixar determinadas informações, de reter estes dados e depois evocá-los através da linguagem escrita ou falada, em curto prazo de tempo. Gazzaniga e Heatherton (2005) definem a memória de curto prazo como sendo um sistema de memória de capacidade limitada, que mantém informações na consciência por um breve período de tempo.

A Psicologia Sócio-histórica de Vygotsky e Luria relacionou os conceitos de consciência e memória. Luria (1990) mostra que a psicologia soviética empregou o conceito de consciência como “existência consciente” e sustentou que a consciência é a forma mais elevada de reflexão da realidade, criada pelo desenvolvimento sócio-histórico com as primeiras relações sociais e comunicações da criança e formada por meios de instrumentos utilizados pelo

homem para se orientarem e manipularem o ambiente. Os instrumentos servem como mediadores para organizar as operações cognitivas e também a consciência.

Ao se refletir sobre a consciência definida como habilidade, pode ser pensada como responsável pela criação dos sistemas de memória, explícita que exige a participação consciente, e, implícita que antes de ser automatizada (sem a participação da consciência) necessitou de uma aprendizagem que passou pelo sistema consciente. Na memória de reconhecimento a participação da consciência é mais evidente. Segundo Stemberg (2000) o reconhecimento é um processo de memória frequentemente empregado em tarefas de memória, no qual a pessoa é solicitada apenas a reconhecer como correto (não a produzir) um fato, uma palavra ou um item de memória.

A memória de reconhecimento é um tipo diferenciado de memória que envolve dois mecanismos distintos: a familiaridade e a lembrança, como são descritas pela teoria da memória de reconhecimento, elaborada por Mandler (1980):

- um mecanismo que se baseia na familiaridade do estímulo; a familiaridade é determinada pela quantidade de organização intra-item, o que por sua vez depende do grau de integração dos elementos sensoriais e perceptuais do estímulo;
- se o nível de familiaridade do estímulo for alto, então o sujeito decide rapidamente que reconhece o estímulo; se o nível de familiaridade for baixo, é tomada uma decisão rápida de que o estímulo não é um item a ser lembrado;

O outro mecanismo é a identificação, que envolve um processo de recuperação. A identificação é utilizada se o nível de familiaridade for intermediário, de forma que uma decisão acurada não possa ser feita baseada simplesmente na familiaridade do estímulo. (citado por Eysenck & Keane, 1994).

A identificação também é conhecida como lembrança (recordação) e neste sentido os dois mecanismos, familiaridade e lembrança são essenciais para a memória de reconhecimento. O teste TMR avalia a familiaridade e lembrança.

O resultado da avaliação do teste de memória de reconhecimento visual (**Figura 90**) mostra que o maior percentual dos voluntários está na categoria Médio (23,3% da sub-amostra neuropsicológica) seguido pelo grupo dos voluntários posicionados na categoria Superior (19,8% da sub-amostra neuropsicológica), portanto o agrupamento dos voluntários das categorias Médio, Médio Superior e Superior resulta em 58,8% da sub-amostra

neuropsicologia. As faixas Médio Inferior e Inferior quando somadas resultam em 41,2% da sub-amostra neuropsicológica de todas as campanhas já realizadas, demonstrando dificuldades na memória de reconhecimento visual de curto termo de um contingente significativo de pessoas.

O Teste de Memória de Reconhecimento de Curto Tempo avalia a aprendizagem e a memória. Para tanto, utiliza-se dos mecanismos da familiaridade e da identificação. Esses dois mecanismos, familiaridade e lembrança são essenciais para a memória de reconhecimento. Partindo de tais pressupostos pode-se afirmar que os participantes da pesquisa possuem um bom potencial de familiaridade e de lembrança das formas e cores apresentadas pelo teste, pois 58,8% da sub-amostra neuropsicológica situam-se nas faixas Média, Média Superior e Superior. Os resultados inferem, de acordo com os pressupostos teóricos do teste, que o nível de consciência da realidade da maior parte dos participantes da pesquisa é bom, como também seu potencial de aprendizagem.

Os resultados do teste de memória de reconhecimento visual mostram percentual significativo dos sujeitos que realizaram o teste e se posicionaram nas faixas Inferior e Médio Inferior (41,2% da sub-amostra neuropsicológica), demonstrando que os mecanismos de familiaridade e de lembrança estão problemáticos, o que prejudicou sua memória de reconhecimento visual, pois eles são essenciais para que em curto prazo memorizem-se os estímulos propostos pelo teste.

Pode-se inferir que tais dificuldades na habilidade de memorização em curto prazo dos estímulos e acontecimentos do dia-a-dia influenciam em termos de prejuízos no desempenho laboral como também nas vivências cotidianas e nas relações sociais. Essas dificuldades podem se relacionar ao Lobo Occipital do cérebro responsável pelo processamento das informações visuais, ou ao Bloco de Recepção, Reelaboração e Conservação da Informação (partes posteriores do Córtex). Portanto, trata-se de um contingente significativo de pessoas com problemas nessa função cognitiva que podem estar relacionadas às questões de escolaridade que dificultam a compreensão das instruções dos testes, às dificuldades emocionais e/ou neuropsicológicas.

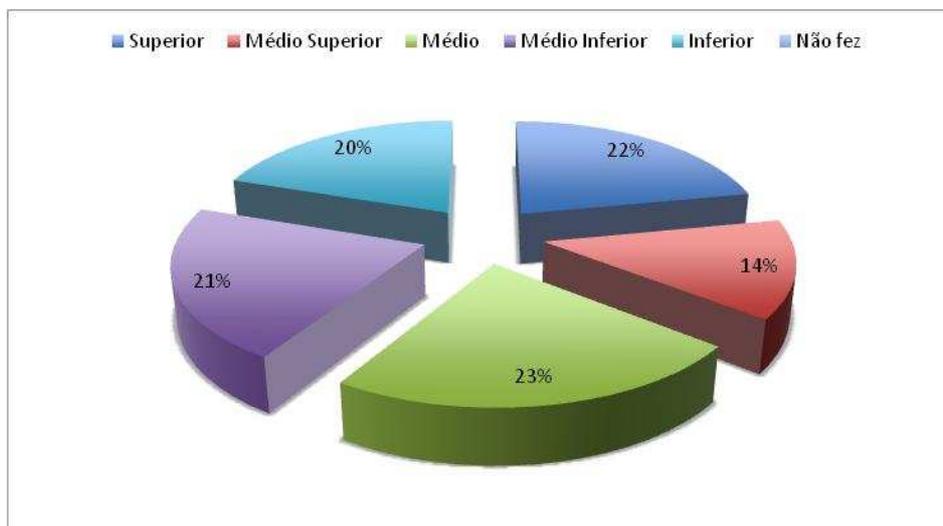


Figura 90 – Resultado do teste de memória de reconhecimento visual aplicado aos voluntários da sub-amostra de todas as campanhas já realizadas (520 voluntários).

Teste Palográfico – Irai Cristina Boccato Alves e Cristiano Esteves

De acordo com a classificação de testes de personalidade proposta por Van Kolck (1974-1975), o teste Palográfico pode ser considerado um teste expressivo de personalidade. Segundo Van Kolck (1984), no ato de desenhar estão presentes e juntas a adaptação, a expressão e a projeção, e mais do que qualquer produção pessoal deve ser analisada cuidadosamente. A adaptação se refere à adequação em relação à tarefa solicitada, isto é, realiza-se a tarefa de modo convencional, original ou fantasioso, bem como se a execução está de acordo com a idade e o sexo. A expressão se refere ao estilo peculiar da resposta do sujeito, que se revela através das qualidades propriamente gráficas, que dizem mais respeito à forma. A projeção é avaliada por meio da atribuição de qualidades às situações e objetos, que aparecem no conteúdo e na maneira de tratar o tema.

Em seus estudos sobre o comportamento expressivo, Allport e Vernon concluíram que tanto os gestos como a escrita refletem um estilo individual constante e estável. As atividades expressivas parecem não estar dissociadas, mas sim relacionadas e organizadas entre si. As evidências encontradas indicam que existe uma congruência entre os movimentos expressivos e as atitudes, os traços, os valores e outras disposições de personalidade.

Existem numerosas questões relativas às disposições subjacentes ao movimento e ao efeito do movimento sobre os outros. Allport e Vernon (1933) definem o movimento expressivo como

aqueles aspectos do movimento que são suficientemente característicos para diferenciar um indivíduo do outro.

Segundo KLAGES (1959), o princípio da expressão diz que a todo movimento interior corresponde um movimento corporal análogo ou que todo movimento expressivo é involuntariamente dirigido para o fim instintivo contido na vivência da vida interior. Na força do movimento é expressa a força do impulso psíquico, que pode se manifestar de diversas formas como a amplificação do movimento, a aceleração da velocidade, o reforçamento do traço ou a intensificação da pressão sobre o lápis.

Os movimentos, em geral, têm características expressivas e não expressivas. Allport (1974) afirma que todos os nossos movimentos apresentam dois componentes: o adaptativo ou instrumental e o expressivo. O instrumental, que constitui “o que fazemos”, seria o predicado da ação, e o expressivo, que é o “como fazemos”, seria o advérbio da ação. O autor resume as seguintes diferenças entre os comportamentos instrumental e expressivo:

Instrumental	Expressivo
Intencional	Não intencional
Determinado pelas necessidades do momento e da situação	Reflete a estrutura mais profunda da personalidade
Produzido formalmente	Transmitido espontaneamente
Pode ser controlado	Menos alterável e frequentemente Incontrolável
Procura mudar ambiente	Não tem objetivo, embora possa ter efeito sobre os outros
Tipicamente consciente	Abaixo do limiar da consciência

A fase de treino do Palográfico avalia mais aspectos adaptativos e instrumentais, uma vez que no início da tarefa o examinando vai trabalhar tentando se adequar as instruções dadas. No entanto, à medida que a tarefa continua, vai se tornando uma tarefa mais espontânea, menos controlada vai revelando mais aspectos expressivos, principalmente na segunda parte do teste. O Palográfico subdivide-se em vários aspectos que são analisados individualmente e o conjunto dos resultados produz as características de personalidade, alguns deles são:

produtividade, ritmo, gráfico produzido a partir do nível de oscilação rítmica, emotividade, organização ou ordem.

I - Produtividade

A produtividade no Teste Palográfico refere-se à quantidade de trabalho que o examinado é capaz de fazer, tanto em termos profissionais, como em outros tipos de atividade. A produtividade pode ser classificada em:

Superior ou muito alta – indica rendimento superior no trabalho, capacidade de produzir muito acima da média. Minicucci (2002) chama este grupo de Taquipsíquico;

Muito Superior ou alta – revela rendimento no trabalho acima da média;

Média – reflete rendimento médio no trabalho;

Médio inferior ou baixa – relaciona-se ao rendimento abaixo da média no trabalho e;

Inferior ou lento – apresenta rendimento no trabalho muito abaixo da média, com capacidade de produção deficiente em relação à média.

O resultado da análise de desempenho de produtividade (**Figura 91**) mostrou que os voluntários da sub-amostra neuropsicológica de todas as campanhas já realizadas, em sua maioria, estão na faixa entre Superior, Média Superior e Média perfazendo 78,7% da sub-amostra neuropsicológica revelando rendimento no trabalho acima da média e na média. Por outro lado, o percentual considerável de 20,8% da sub-amostra neuropsicológica com produção laboral na faixa de classificação abaixo da média e outra com desempenho muito abaixo da média, inferior ou lento com capacidade de produção deficiente em relação à média.

Como a Produtividade no Teste Palográfico refere-se à quantidade de trabalho que o examinado é capaz de fazer, tanto em termos profissionais, como em outros tipos de atividade pode-se afirmar que um percentual muito alto dos participantes apresenta um nível muito bom de produção laboral. Devendo-se observar a possibilidade de existência da patologia das funções psíquicas aceleradas em alguns indivíduos ou grupo Taquipsíquico (Minicucci, 2002). Em contrapartida é importante verificar que é um percentual significativo de sujeitos (20,8%) que apresentou produtividade baixa no trabalho havendo casos de muita lentidão ou capacidade de produção deficiente em relação à média. Este grupo pode ser que apresente lentidão anormal dos movimentos devida a transtornos dos centros psicomotores, grupo Bradipsíquico, ou pode



apresentar dificuldades relacionadas ao Bloco de Regulação do Tonus e de Vigília relacionado às estruturas profundas do cérebro (suncorticais e da espinha dorsal).

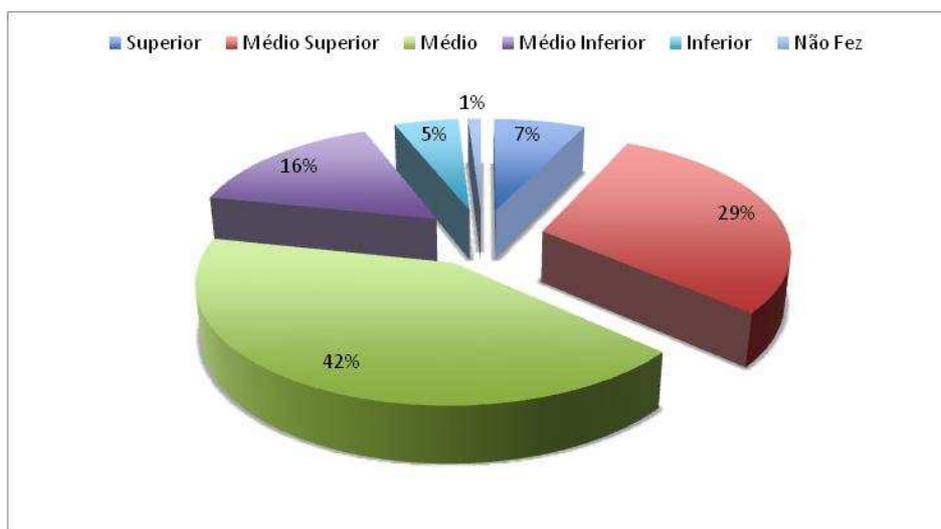


Figura 91 – Resultado do desempenho de produtividade dos voluntários da sub-amostra de todas as campanhas já realizadas (520 voluntários).

II – Ritmo

O ritmo no palográfico é avaliado pelo Nível de Oscilação Rítmica (NOR), que verifica a variabilidade da produtividade do trabalho do indivíduo nos diferentes tempos do teste, reproduzindo as possíveis flutuações de produtividade no desenvolvimento das tarefas. Assim, os valores menores do NOR indicam uma regularidade e uma estabilidade da produtividade, porém um valor muito baixo pode indicar rigidez e mesmo obsessividade. Os valores altos significam maior irregularidade no ritmo de trabalho. A classificação é:

Muito alto – indica grandes variações no rendimento no trabalho;

Alto – significa flutuações e instabilidade no desempenho das tarefas;

Médio – corresponde à pessoa que, embora apresente instabilidade no ritmo de produção, consegue adaptação adequada às tarefas rotineiras;

Baixo – denota estabilidade no ritmo de produção, que permite desenvolver tarefas com certa uniformidade;

Muito baixo – revela alta regularidade na realização das atividades, se oscilações bruscas na produção, tendência à rigidez.

A análise da variabilidade da produtividade no trabalho do indivíduo nos diferentes tempos do teste (**Figura 92**), com as possíveis flutuações no desempenho de tarefas, indica que 30,2% da

sub-amostra neuropsicológica está na faixa de classificação de ritmo Muito Alto e Alto demonstrando grandes variações no rendimento no trabalho, e também flutuações e instabilidade no desempenho de tarefas. Nesta análise foi observado que 39,8% da sub-amostra neuropsicológica que embora apresentem instabilidade no ritmo de produção conseguem adaptação adequada às tarefas rotineiras, sendo classificados de ritmo médio. Os 26,9% dos voluntários analisados estão na faixa de oscilação no ritmo de trabalho classificada como ritmo Baixo ou Muito Baixo demonstrando que esse grupo de indivíduos mantém estabilidade no ritmo de produção que permite desenvolver tarefas com certa uniformidade, sendo que alguns sujeitos revelam alta regularidade na realização das atividades, sem oscilações bruscas, podendo, no entanto, apresentar tendência à rigidez.

Trata-se de um percentual significativo (30,2%) de pessoas que não consegue manter regularidade na produção laboral ou em outras atividades que desempenha. Tais dificuldades podem ser relacionadas ao Bloco de Programação, Regulação e Controle da Atividade – partes parietais do cérebro que quando problemáticas o indivíduo não apresenta facilidade para programar e executar um plano, distrai-se, não consegue se concentrar e pode apresentar inércia ou hiperatividade.

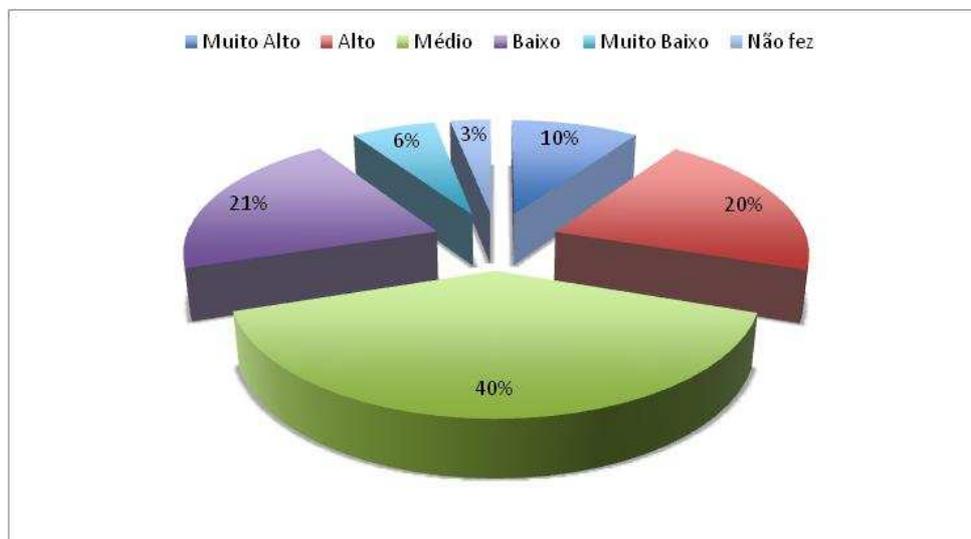


Figura 92 – Resultado do nível de oscilações rítmicas dos voluntários da sub-amostra de todas as campanhas já realizadas (520 voluntários).

III – Gráfico de rendimento

A avaliação da qualidade do rendimento no trabalho e a propensão à fadiga é demonstrada no gráfico do teste que permite uma visão mais clara entre a produtividade e o ritmo. O gráfico mostra como o sujeito produz durante a atividade laboral e em que momento demonstra

aumento ou diminuição dessa produtividade. Na amostra de voluntários avaliados (**Figura 93**) aproximadamente 26,4% produziram traçado de gráfico de característica Irregular ou oscilante cuja interpretação é de irregularidade no ritmo de trabalho, pode indicar estresse, falta de ânimo e disposição, motivação deficiente, ou interferência do estado emocional. Dos voluntários avaliados 17,2% produziram traçado de gráfico horizontal, constante ou estável compatível com a interpretação de Rígido o que reflete pessoas obsessivas por detalhes e organização, com rigidez da personalidade. Na população avaliada 27,4% dos voluntários produziram um traçado de gráfico Horizontal, constante ou estável compatível com a interpretação Equilibrado o que indica capacidade e distribuição do tônus muscular de forma organizada e sistemática. Revela realização de trabalho uniforme. O traçado de gráfico Ascendente ou Crescente foi produzido por 9,4% dos voluntários avaliados e sua interpretação indica prudência diante de uma nova tarefa, mas aumento da produção à medida que o indivíduo se sente mais seguro na situação. Também significa dinamismo e iniciativa.

A produção do gráfico de 7,3% dos voluntários avaliados foi de formato Convexa ou Parabólica cuja interpretação é de que expressa ímpeto para iniciar as tarefas, que não se mantém até o final, podendo estar relacionado a falta de planejamento das suas ações e do tempo. É característico de pessoas que não concluem o que começam. A forma do traçado do gráfico de 7,7% dos voluntários avaliados foi compatível com a classificação Côncava cuja interpretação é a de que a produção inicial é mais alta, que diminui por uma falta de disposição durante a atividade e recupera com a continuação da tarefa. O gráfico de 4,6% dos voluntários avaliados foi do tipo Descendente ou Decrescente e é indicativo de cansaço, fadiga ou estresse, dificuldade de manter o tônus muscular, falta de ânimo e disposição. Pode refletir também tendência à depressão.

A análise dos resultados apresentados pelos sujeitos mostra que o percentual maior de sujeitos está com ritmo de trabalho de ritmo de atividade laboral Irregular ou oscilante 26,4%, se for acrescido do percentual de 4,6% de pessoas com classificação Descendente ou decrescente e de 7,3% Convexa ou parabólica perfazendo 35,2% da sub-amostra neuropsicológica, o que pode ser significativo de estresse, falta de ânimo e disposição, motivação deficiente, indicativo de cansaço, fadiga, dificuldade de manter o tônus muscular, falta de ânimo e disposição. Pode refletir também tendência à depressão. Pode indicar também, falta de planejamento das suas ações e do tempo. É característico de pessoas que não concluem o que começam. Observa-se que parte importante dos participantes apresenta

problemas na qualidade do rendimento no trabalho e propensão à fadiga. O que caracteriza as dificuldades apresentadas pelos sujeitos que podem ser relacionadas ao Bloco de Programação, Regulação e Controle da Atividade – partes parietais do cérebro que quando problemáticas o indivíduo não apresenta facilidade para programar e executar um plano, distrai-se, não consegue se concentrar e pode apresentar inércia ou hiperatividade.

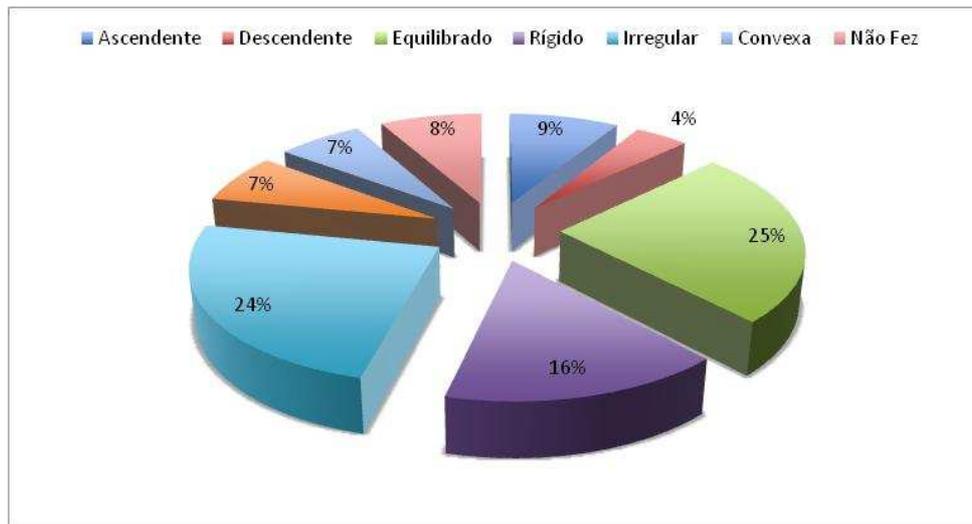


Figura 93 – Classificação do traço do gráfico dos voluntários da sub-amostra neuropsicológica de todas as campanhas já realizadas (520 voluntários).

IV - Emotividade

A emotividade caracteriza-se por vibrações, choques ou comoções interiores das funções psicológicas e fisiológicas (Vels, 1983). Ela depende das condições do sistema nervoso, sendo normal quando os acontecimentos não repercutem de forma exagerada, as funções orgânicas e psicológicas estão equilibradas e não se produzem sobressaltos nem mudanças bruscas. Quando a emotividade é forte, os choques e as mudanças de ânimo são violentos e as emoções atuam sobre as funções orgânicas e psíquicas excitando ou deprimindo sua atividade. Entretanto se o grau de emotividade é muito baixo, produz um choque lento, retardado e grave, levando à apatia, indiferença e indolência afetiva. Uma pessoa muito emotiva apresenta sempre desproporção entre a causa da emoção e o efeito que ela produz. A emotividade no Palográfico é avaliada por diversas irregularidades no traçado, sendo verificada a presença de cada uma das irregularidades e a intensidade da emotividade será dada pelo número de características presentes, consultando a tabela própria referente aos dados normativos.

Os resultados de emotividade (**Figura 94**) mostram que o agrupamento das classificações muito aumentada e aumentada corresponde a 41,7% dos voluntários avaliados significando

emotividade forte característica de reações exageradas diante dos choques e as mudanças de humor ou ânimo são bruscos e as emoções polarizadas, ora excitando ora deprimindo as atividades das funções orgânicas e psíquicas. Enquanto que o agrupamento das classificações de emotividade Média ou normal corresponde a 53,7% dos voluntários avaliados significando reações aos acontecimentos não são exageradas, e há equilíbrio das funções orgânicas e psicológicas. 1,2% dos voluntários avaliados apresentaram emotividade diminuída e muito diminuída, sendo que esse grupo apresenta grau de emotividade muito baixo então a reatividade é lenta, atrasada e séria, levando à apatia, indiferença e indolência afetiva.

Como a emotividade caracteriza-se por vibrações, choques ou comoções interiores das funções psicológicas e fisiológicas (Vels, 1983). Ela depende das condições do sistema nervoso. Pelos dados observados pode-se inferir que um percentual significativo dos sujeitos avaliados (53,7%) possui condições favoráveis do sistema nervoso o que possibilita o controle emocional na maior parte das situações que requer tal comportamento.

Contudo, verifica-se que as classificações Muito Aumentada e Aumentada perfazem um total de 44,5% de pessoas que evidenciam emotividade forte que é característica de reações exageradas diante dos choques e as mudanças de humor ou ânimo são bruscas e as emoções polarizadas, ora excitando ora deprimindo as atividades das funções orgânicas e psíquicas. Pode-se afirmar que este percentual dos participantes apresenta problemas no funcionamento cerebral (Lobo Límbico – envolvido com os aspectos do comportamento emocional e sexual e com o processamento da memória), o que impede que seu sistema nervoso mantenha íntegras as funções psicológicas e fisiológicas.

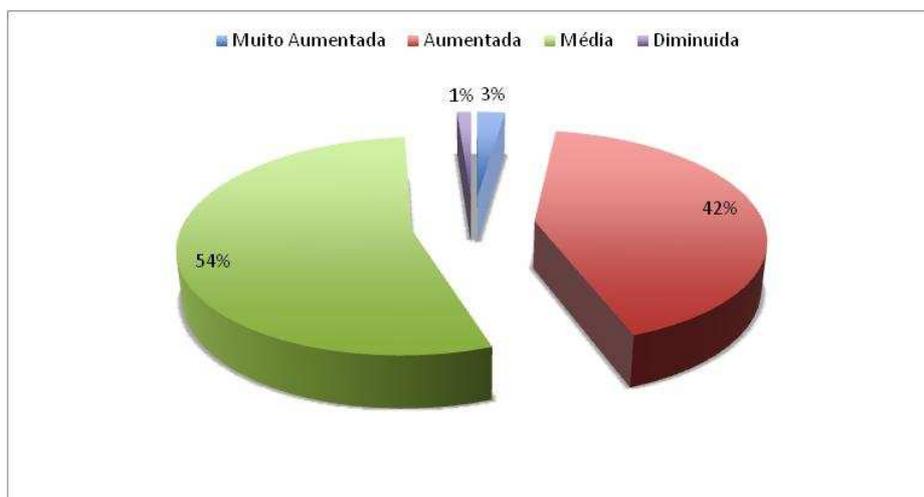


Figura 94 – Resultado da emotividade na sub-amostra neuropsicológica de todas as campanhas já realizadas (520 voluntários).

V – Organização ou ordem

Organização é considerada como uma forma de pensar e de agir de acordo com um plano, método ou regra que avalie relacione os fatos e as coisas de uma maneira clara, coerente, precisa e ordenada. Organizar constitui também procurar uma harmonia no conjunto e uma disposição adequada para se obter o máximo de rendimento, com economia e com um mínimo de esforço. A organização é um sinal de inteligência e de moral e relaciona-se à educação, à cultura e á adaptação. (VELS, 1983).

A maturidade psicológica tem como subproduto a harmonia. Há por parte do indivíduo uma separação clara entre fantasia e realidade, entre o possível e o impossível. A harmonia é retratada quando a pessoa mantém certo equilíbrio nas suas reações e/ou comportamento.

Segundo Camargo (1999) a ordem é sinal da capacidade de organização e adaptação às leis e exigências sociais, e categorizar as coisas utilizando a hierarquia dos valores predeterminados.

Os resultados obtidos no Teste Palográfico (**Figura 95**) indicam que 35,6% da sub-amostra neuropsicológica receberam a classificação Regular que reflete qualidade regular na execução das atividades, sem muita preocupação com a ordem e a apresentação do trabalho, mostrando certa dificuldade em relação a limites. Entretanto 26% da sub-amostra neuropsicológica foram classificados como Ruim, pois apresentam trabalho com baixa qualidade, descuidado e sem método, levando a certa desordem na execução das tarefas. Também mostra falta de objetividade, inconstância e emotividade.

Enquanto 16,6% da sub-amostra neuropsicológica tiveram a classificação Boa, evidenciando boa qualidade na realização das atividades, com esmero e cuidado. Esses voluntários possuem boa capacidade discriminativa, capacidade de realizar trabalho com ordem e método, sendo pessoas com ideias claras, capacidade de reflexão e pensamento lógico, que apresentam autocontrole dos sentimentos pela razão, e o estado de ânimo é geralmente estável. Nestes resultados do teste palográfico 8,7% da sub-amostra neuropsicológica receberam a classificação Muito Ruim, inferindo falta de preocupação com a qualidade do trabalho, não possui ordem e método e necessita de supervisão para executar atividades relativas a minúcias. Apresenta falta de objetividade, desordem moral, inconstância e emotividade. Portanto pessoas que usam mais a intuição para captar o ambiente e em sua personalidade predominam os componentes sentimentais.

Os 8,7% dos voluntários avaliados tiveram a classificação Muito Boa, possivelmente possui qualidade excelente na realização dos trabalhos, mostram ordem e método, estética, meticulosidade e boa apresentação. Está classificação infere boa capacidade discriminativa, respeito em relação aos outros, mas pode mostrar rigidez em algumas atitudes e comportamentos. Revela capacidade de organizar bem as atividades, equilíbrio moral e social. Sendo a Organização ou Ordem um quesito do teste que, de acordo com seus autores, revela capacidades e habilidades importantes para garantir um desempenho eficiente com harmonia nas relações humanas, economia de esforço e produção com qualidade e máximo rendimento. Esses autores afirmam que tal item é sinal de inteligência e de moral estando relacionada com a educação, a cultura e a adaptação dos seres humanos. Considera-se que um percentual considerável das pessoas pesquisadas (34,6%) que demonstra dificuldades em Organização apresenta também, problemas no Sistema Nervoso relacionados ao Lobo Frontal do cérebro responsável pela elaboração do pensamento, planejamento, programação de necessidades individuais e emoção. Ao Lobo Límbico (ao redor do hemisfério cerebral e tronco encefálico) que está envolvido com os aspectos do comportamento emocional e sexual e com o processamento da memória.

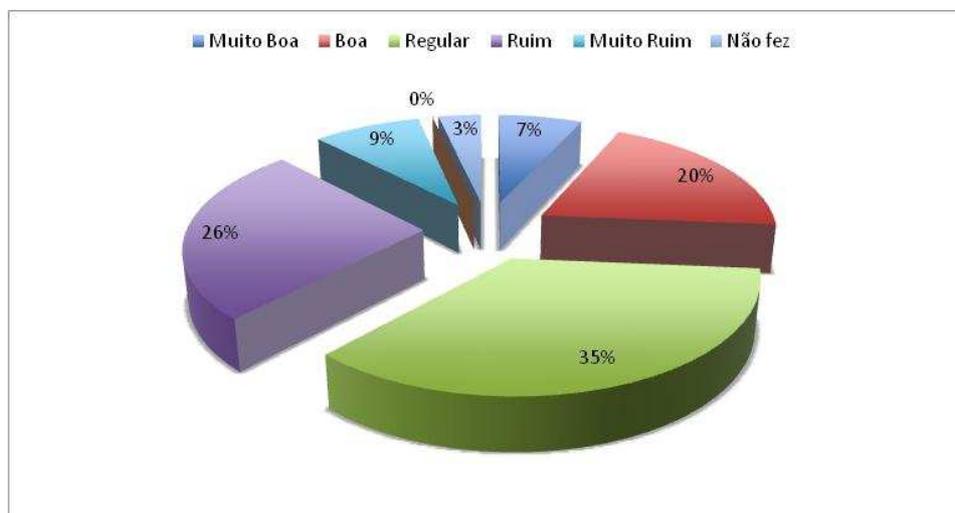


Figura 95 – Resultado de organização ou ordem na sub-amostra de todas as campanhas já realizadas (520 voluntários).

Todas as informações da bateria testatória neuropsicológica são compiladas em relatório individual com o perfil neuropsicológico dos sujeitos. Esse material complementar aos estudos de saúde humana associado aos efeitos neurotóxicos do mercúrio é entregue de forma individualizada no processo de devolutiva dos resultados em que o sujeito tem acesso ao seu

desempenho nos testes como também, sugestões de formas mais saudáveis de comportamento, exercícios simples para estimular as funções cognitivas, busca do controle emocional (técnicas de relaxamento) e orientações variadas em função da história do sujeito. Em alguns casos pode ocorrer o encaminhamento para aprofundamento do diagnóstico.

O processo de devolutiva ocorre no início das abordagens humanas em que os sujeitos são convocados a conhecerem seus resultados das avaliações realizadas, bem como convocados para futuros retestes, ou seja, fazer novas avaliações para o monitoramento de seu desempenho neuropsicológico.

Os resultados, em termos dos objetivos da pesquisa, foram relevantes no sentido de possibilitar um mapeamento dos problemas, dificuldades e características de personalidade dos sujeitos respondentes. Os aspectos analisados foram distribuídos da seguinte forma: função cognitiva, memória (funções dos processos atentos) e aprendizagem, coordenação motora, personalidade nos aspectos de produtividade no trabalho, ritmo e oscilação rítmica na realização do trabalho, emotividade (inclusive transtorno de humor e afeto), organização ou ordem.

As análises realizadas e descritas ao longo do relatório evidenciam as disfunções cognitivas, as dificuldades de atenção memória e aprendizagem, os problemas no ritmo de produção laboral e no rendimento no trabalho, os problemas da emotividade e da organização ou ordem que destacam as dificuldades na coordenação motora, na organização da atividade no trabalho e as irregularidades cometidas ao longo dos testes significativas de emotividade aumentada em uma parte significativa dos sujeitos.

O que caracteriza as dificuldades apresentadas pelos sujeitos em Atenção Concentrada (55,8% da sub-amostra) e Difusa 1(51,7%), 2(56,5%), 3(50,8%) pode ser relativo aos problemas no funcionamento das áreas corticais e subcorticais do cérebro e relacionado ao Bloco de Programação, Regulação e Controle da Atividade – partes parietais do cérebro que quando problemáticas o indivíduo não apresenta facilidade para programar e executar um plano, distrai-se, não consegue se concentrar e pode apresentar inércia ou hiperatividade.

As dificuldades na habilidade de memorização em curto prazo dos estímulos e acontecimentos do dia-a-dia influenciam em termos de prejuízos no desempenho laboral como também nas vivências cotidianas e nas relações sociais. Essas dificuldades podem se relacionar ao Lobo Occipital do cérebro responsável pelo processamento das informações visuais, ou ao Bloco de Recepção, Reelaboração e Conservação da Informação (partes posteriores do Córtex).

Os problemas na Produtividade levanta a possibilidade de existência da patologia das funções psíquicas aceleradas em alguns indivíduos (7,1% com classificação Superior) ou grupo Taquipsíquico (Minicucci, 2002). Em contrapartida é importante ressaltar que um percentual significativo (20,8%) de sujeitos apresentou produtividade baixa no trabalho havendo casos de muita lentidão ou capacidade de produção deficiente em relação à média. Tal grupo pode ser que apresente lentidão anormal dos movimentos devida a transtornos dos centros psicomotores, grupo Bradipsíquico. Ou problemas no Bloco de Regulação do Tônus e de Vigília – estruturas profundas (subcorticais e da espinha dorsal).

O que caracteriza as dificuldades apresentadas pelos sujeitos (26,9%) no Ritmo podem ser relacionadas ao Bloco de Programação, Regulação e Controle da Atividade – partes parietais do cérebro que quando problemáticas o indivíduo não apresenta facilidade para programar e executar um plano, distrai-se, não consegue se concentrar e pode apresentar inércia ou hiperatividade.

O gráfico mostra como o sujeito produz durante a atividade laboral e em que momento demonstra aumento ou diminuição dessa produtividade. Observa-se que parte importante dos participantes (38,3% da sub-amostra neuropsicológica) apresenta problemas na qualidade do rendimento (estresse, falta de ânimo e disposição, motivação deficiente, ou interferência do estado emocional) no trabalho e propensão à fadiga. O que caracteriza as dificuldades apresentadas pelos sujeitos que podem ser relacionadas ao Bloco de Programação, Regulação e Controle da Atividade – partes parietais do cérebro que quando problemáticas o indivíduo não apresenta facilidade para programar e executar um plano, distrai-se, não consegue se concentrar e pode apresentar inércia ou hiperatividade. Pode-se afirmar que este percentual dos participantes apresenta problemas no funcionamento cerebral, o que impede que seu sistema nervoso mantenha íntegras as funções psicológicas e fisiológicas.

Considera-se que um percentual significativo das pessoas pesquisadas que apresentam dificuldades em Emotividade (44,0 Muito Aumentada e Aumentada mais 1,2% Diminuída) pode ter problemas no Sistema Nervoso relacionados ao Lobo Límbico (ao redor do hemisfério cerebral e tronco encefálico) que está envolvido com os aspectos do comportamento emocional e sexual e com o processamento da memória e ao Lobo Frontal do cérebro responsável pela elaboração do pensamento, planejamento, programação de necessidades individuais e emoção.

Quanto a Organização tem-se um contingente considerável de pessoas (34,6%) com dificuldades e apresenta também, problemas no Sistema Nervoso relacionados ao Lobo Frontal do cérebro responsável pela elaboração do pensamento, planejamento, programação de necessidades individuais e emoção. Ao Lobo Límbico (ao redor do hemisfério cerebral e tronco encefálico) que está envolvido com os aspectos do comportamento emocional e sexual e com o processamento da memória.

A avaliação neuropsicológica aplicada na sub-amostra (520 voluntários) do universo amostral das 05 (cinco) abordagens humana realizadas possibilitou o mapeamento dos problemas, dificuldades e características de personalidade dos voluntários respondentes. Os aspectos analisados foram distribuídos da seguinte forma: função cognitiva, memória e aprendizagem, coordenação motora, personalidade nos aspectos de produtividade no trabalho, ritmo e oscilação rítmica na realização do trabalho, emotividade (inclusive transtorno de humor e afeto), organização ou ordem.

As análises realizadas e descritas ao longo do relatório e da conclusão evidenciam as disfunções cognitivas, as dificuldades de memória e aprendizagem, os problemas no ritmo de produção laboral e no rendimento no trabalho, os problemas de organização ou ordem que destacam as dificuldades na coordenação motora, naninteligência, na organização da atividade no trabalho e as irregularidades cometidas ao longo do testes significativas de emotividade aumentada numa parte significativa dos sujeitos que de maneira geral podem estar diretamente relacionados ao funcionamento do Sistema Nervoso nas suas áreas corticais e subcorticais, - Bloco de Programação, Regulação e Controle da Atividade – partes parietais do cérebro; Lobo Occipital do cérebro responsável pelo processamento das informações visuais, ao Bloco de Recepção, Reelaboração e Conservação da Informação (partes posteriores do Córtex); Bloco de Regulação do Tônus e de Vigília – estruturas profundas (subcorticais e da espinha dorsal).

A bateria de teste neuropsicológica aplicada a sub-amostra neuropsicológica do universo amostral das 05 (cinco) abordagens humana combinadas evidenciou problemas neuropsicológicos, porém ainda não foi possível relacioná-los aos efeitos neurotóxicos do mercúrio nesta população avaliada.

6. INDICADORES DO PROGRAMA

Os indicadores do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico estão apresentados no **Quadro 04**.

Quadro 04 – Metas e Indicadores do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

Meta	Resumo das atividades	Indicadores
Mensurar variáveis físico-químicas do sistema aquático e hidrológica	Análises dos parâmetros físicos e químicos (ph, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido e temperatura) trimestral em consonância com o Programa de Monitoramento Limnológico.	Ph, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido e temperatura em conformidade com a legislação/norma incidente
Análise das espécies de mercúrio na matriz abiótica - água superficial	Análises das espécies de mercúrio reativo (HgR), mercúrio total (HgT) e mercúrio orgânico (HgORG), trimestral durante todas as fases do empreendimento.	Mercúrio reativo (HgR), mercúrio total (HgT) e mercúrio orgânico (HgORG) em conformidade com a legislação/norma incidente
Análise de mercúrio na matriz abiótica - material suspensão	Análise de mercúrio total (HgT), trimestral durante todas as fases do empreendimento.	Mercúrio total (HgT) em conformidade com a legislação/norma incidente
Análise de mercúrio nos perfis da matriz abiótica – solo	Análise de mercúrio total (HgT) no perfil de solo (profundidades: 5, 20, 40, 60 e 100 cm) e granulometria, semestral durante todas as fases do empreendimento.	Mercúrio total (HgT) no perfil de solo (profundidades: 5, 20, 40, 60 e 100 cm) e granulometria em conformidade com a legislação/norma incidente
Análises das espécies de mercúrio na matriz abiótica – sedimento	Análises das espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) no perfil (profundidades: 5, 10, 20 e 40 cm) trimestral durante todas as fases do empreendimento.	Espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) no perfil (profundidades: 5, 10, 20 e 40 cm) em conformidade com a legislação/norma incidente
Análises das espécies de mercúrio nos perfis da matriz abiótica - sedimento	Análises das espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) semestralmente durante todas as fases do empreendimento.	Espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em conformidade com a legislação/norma incidente
Análises das espécies de mercúrio na matriz biótica - ictiofauna e mamíferos aquáticos e semiaquáticos	Análises das espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em consonância com o Programa de Conservação da Ictiofauna e Subprograma da Mastofauna Aquática, do Programa de Conservação da Fauna.	Espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) na matriz biótica aquática e semiaquática em conformidade com a legislação /norma incidente
Análises das espécies de mercúrio na matriz biótica - macrófitas aquáticas	Análises das espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg), trimestral durante todas as fases do empreendimento, em consonância com o Programa de Monitoramento e Controle de Macrófitas Aquáticas.	Espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em macrófitas aquáticas em conformidade com a legislação/norma incidente
Análises das espécies de mercúrio na matriz biótica – fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados aquáticos	Análises das espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg), trimestral durante todas as fases do empreendimento, em consonância com o Programa de Monitoramento Limnológico e Ciclo Hidrológico.	Espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) na matriz biótica – fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados aquáticos em conformidade com a legislação/norma incidente

Meta	Resumo das atividades	Indicadores
Avaliação da taxa de metilação	Avaliação da taxa de metilação no solo, água superficial, sedimento de fundo e nas raízes das macrófitas semestralmente durante todas as fases do empreendimento.	Taxa de metilação no solo, água superficial, sedimento de fundo e nas raízes das macrófitas em conformidade com a legislação/norma incidente
Estudo de saúde humana	Dosimetria de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em cabelo, avaliação clínica médica, avaliação neurológica e avaliação neuropsicológica, semestralmente durante todas as fases do empreendimento.	Mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em cabelo, avaliação clínica médica, avaliação neurológica e avaliação neuropsicológica em conformidade com a legislação/norma incidente
Banco de dados, estatística e integração dos programas de monitoramento	Sistematizar as informações das campanhas de campo e análise de laboratório, análises estatísticas, geoestatística, construção de indicadores de saúde ambiental e ecotoxicologia.	Todos os indicadores analisados durante as campanhas de monitoramento

7. INTERFACES DO PROGRAMA

O Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico possui interfaces com o Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico, Programa de Monitoramento Limnológico, Programa de Monitoramento de Macrófitas Aquáticas, Programa de Conservação e Monitoramento da Ictiofauna, Programa de Conservação da Fauna: Sub-Programa de Etnomofauna, Sub-Programa de Mamíferos Aquáticos e Semiaquáticos, Programa de Controle do Desmatamento, Programa de Comunicação Social, Programa de Saúde Pública, além do Programa Ambiental para Construção (PAC).

8. ATENDIMENTO AO CRONOGRAMA DO PROGRAMA

As atividades propostas no Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico estão de acordo com o cronograma proposto inicialmente (**Figura 96 e 97**).

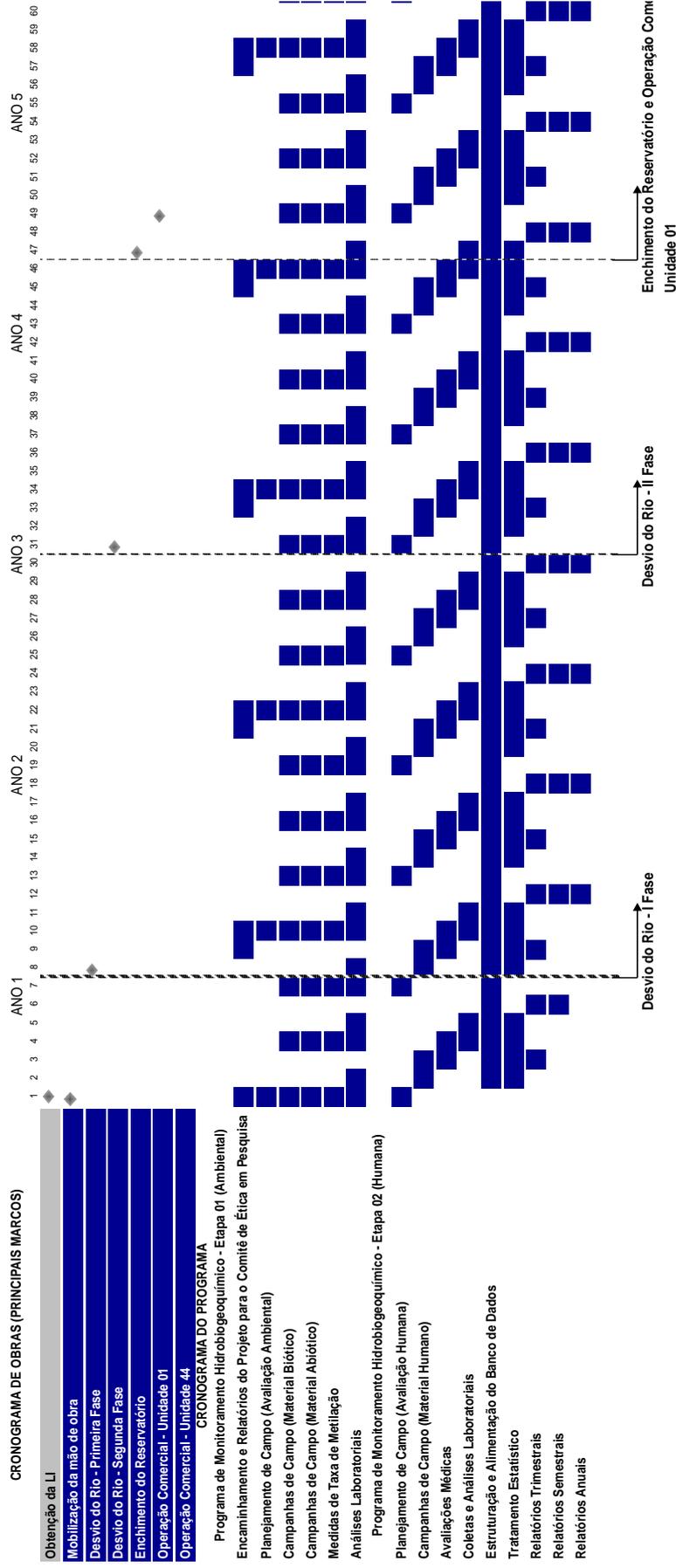


Figura 96 – Cronograma de atividades do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico – Parte I



9. ATIVIDADES FUTURAS

As atividades futuras de execução do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico estão apresentadas na **Quadro 05**.

Quadro 05 – Atividades futuras do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

Meta	Atividades para a Fase de Operação
Mensurar variáveis físico-químicas do sistema aquático e hidrológica	Análises dos parâmetros físicos e químicos (ph, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido e temperatura), trimestral no primeiro ano e semestral nos anos seguintes em consonância com o Programa de Monitoramento Limnológico.
Análise das espécies de mercúrio na matriz abiótica - água superficial	Análises das espécies de mercúrio reativo (HgR), mercúrio total (HgT) e mercúrio orgânico (HgORG), trimestral no primeiro ano e semestral nos anos seguintes da fase de operação do empreendimento.
Análise de mercúrio na matriz abiótica - material suspensão	Análise de mercúrio total (HgT), trimestral no primeiro ano e semestral nos anos seguintes da fase de operação do empreendimento.
Análise de mercúrio nos perfis da matriz abiótica – solo	Análise de mercúrio total (HgT) no perfil de solo (profundidades: 5, 20, 40, 60 e 100 cm) e granulometria, semestral conforme realizado durante a fase de instalação do empreendimento.
Análises das espécies de mercúrio na matriz abiótica – sedimento	Análises das espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) trimestral no primeiro ano e semestral nos anos seguintes da fase de operação do empreendimento.
Análises das espécies de mercúrio nos perfis da matriz abiótica - sedimento	Análises das espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) no perfil (profundidades: 5, 10, 20 e 40 cm) semestralmente conforme realizado durante a fase de instalação do empreendimento.
Análises das espécies de mercúrio na matriz biótica - ictiofauna	Análises das espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em consonância com o Programa de Conservação da Ictiofauna sendo trimestral no primeiro ano e semestral nos anos seguintes da fase de operação do empreendimento.
Análises das espécies de mercúrio na matriz biótica - macrófitas aquáticas	Análises das espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em consonância com o Programa de Monitoramento e Controle de Macrófitas Aquáticas, sendo trimestral no primeiro ano e semestral nos anos seguintes da fase de operação do empreendimento.
Análises das espécies de mercúrio na matriz biótica – fitoplâncton e zooplâncton e invertebrados aquáticos	Análises das espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg), em consonância com o Programa de Monitoramento Limnológico sendo trimestral no primeiro ano e semestral nos anos seguintes da fase de operação do empreendimento.
Estudo de saúde humana	Dosimetria de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em cabelo, avaliação clínica médica, avaliação neurológica e avaliação neuropsicológica, semestralmente conforme realizado durante a fase de instalação do empreendimento.
Banco de dados, estatística e integração dos programas de monitoramento	Sistematizar as informações das campanhas de campo e análise de laboratório, análises estatísticas, geoestatística, construção de indicadores de saúde ambiental e ecotoxicologia.

As análises das concentrações das espécies de mercúrio observadas durante o período de setembro de 2009 a fevereiro de 2012 (10 campanhas de campo) possibilita propor a adequação da malha amostral na fase de operação do AHE Jirau em consonância com o Programa de Monitoramento Limnológico sendo removido o P1-MAM na foz do rio Mamoré, P1.2-Beni na foz do rio Beni, P2-MAD1 na calha do rio Madeira, P3-RIB no igarapé Ribeirão, P4-ARA no igarapé Araras, P7-SIZ no igarapé Simãozinho e P9-MAD3 na calha do rio Madeira e incluído os pontos de amostragem no rio Mutum (acima do ponto P11-MTP1), no rio Cotia (acima do ponto P12-COT), no igarapé São Lourenço (acima do ponto P15-LOU), no igarapé Caiçara (acima do ponto P16-CAI) e no igarapé Jirau (acima do ponto P17-JIR). Nesta nova malha amostral o ponto P5-ABU no rio Abunã será ajustado logo à montante da Vila Abunã e o ponto P8-SIM no igarapé São Simão será deslocado para o igarapé Castanho.

Na fase de instalação foram executadas as análises na calha do rio Madeira em transecto, sendo considerado amostras na margem direita, centro e margem esquerda. Considerando as diferença com baixa significância nos transectos é sugerido a amostragem apenas no centro ou áreas de menor hidrodinâmica no P6-MAD2, P14-MAD4, P18-MAD5 E P19-MAD6.

As baixas taxas de metilação de mercúrio observadas no solo, sedimento, água superficial e macrófitas nas áreas de possível favorecimento do processo de metilação possibilitam sugerir a suspensão desta análise na fase de operação.

As análise dos teores de mercúrio em mamíferos aquáticos e semiaquáticos, em interface com o Programa de Conservação da Fauna Silvestre, não foi possível pois o monitoramento de mamíferos aquáticos e semiaquáticos é realizado apenas por avistamentos, contemplando apenas amostras de material biológico (tecido muscular) de animais destinados para o tombamento em coleção científica, evitando o stress com a captura e retirada de material biológico com o animal vivo, neste contexto é sugerido o cancelamento das análises de mercúrio em mamíferos aquáticos e semiaquáticos durante na fase de operação do AHE Jirau.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os valores de mercúrio total nas amostras de água superficial no ciclo hidrológico do rio Madeira de setembro de 2009 (período hidrológico de seca) a janeiro de 2012 (período hidrológico de enchente) estão abaixo dos níveis preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para sistema de águas doces Classe II e pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

Os teores de mercúrio orgânico em todas as amostras analisadas no período de setembro de 2009 (período hidrológico de seca) a janeiro de 2012 (período hidrológico de enchente) estão abaixo de 10%

do estoque de mercúrio total na água, não evidenciando pontos de contaminação difusa ou biorreatores naturais ao longo da área de influência direta e indireta do AHE Jirau.

Os teores de mercúrio total nas amostras de solo coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira e tributários no período de junho de 2010 (período hidrológico de enchente) a janeiro de 2012 (período hidrológico de enchente) estão abaixo do valor de prevenção preconizado pela Resolução CONAMA nº 420/2009, com exceção de apenas 01 (uma) amostra no perfil de solo até 5 cm do ponto P8 (margem direita do rio Mutum Paraná) que apresentou valor médio acima do nível de prevenção, entretanto extremamente abaixo do nível de investigação preconizado pela Resolução CONAMA nº 420/2009.

Os teores de mercúrio total nas amostras de sedimento dos tributários e da calha do rio Madeira coletadas na em todas as campanhas de campo de setembro de 2009 (período hidrológico de seca) a janeiro de 2012 (período hidrológico de enchente) atendem aos teores orientadores preconizados na Resolução CONAMA nº 344/2004 e são coerentes com os valores publicados na literatura científica para a região Amazônica.

As porcentagens de metilmercúrio no fitoplâncton (3-7% do estoque total de mercúrio), no zooplâncton (2-7% do estoque total de mercúrio) e nos invertebrados (4-23% do estoque total de mercúrio) observadas nas campanhas de campo no período de setembro de 2009 (período hidrológico de seca) a janeiro de 2012 (período hidrológico de enchente) estão coerente com os valores relatados para a região Amazônica.

As concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nas amostras de peixes adquiridas diretamente nas comunidades tradicionais no período de setembro de 2009 (período hidrológico de seca) a janeiro de 2012 (período e hidrológico de enchente) apresentaram valores dentro dos níveis relatados pela literatura para a região Amazônica. Os teores médios de mercúrio total observados em todas as amostras de peixes estão abaixo dos valores preconizados pela Portaria ANVISA nº 685 de 27 de agosto de 1998, com exceção das 12 amostras do espécime Filhote ou Piraíba (*Hoplias malabaricus*), entretanto estão de acordo com os resultados relatados pela literatura para este espécime na região Amazônica.

O Programa de Conservação da Fauna Silvestre executa o monitoramento por avistamentos de mamíferos aquáticos e semiaquáticos. Apenas amostras de material biológico (tecido muscular) de animais destinados para o tombamento em coleção científica ou descarte são destinados à análise de mercúrio, evitando assim estressar os animais com a captura e retirada de material biológico. No período de setembro de 2009 a janeiro de 2012 não houve ocorrência de animais destinados para tombamento em coleção científica ou descarte. Os níveis de mercúrio observados nos espécimes da ictiofauna piscívoras, onívoras e carnívoras associada à ausência de fontes de contaminação difusa de

mercúrio na bacia do rio Madeira possibilita inferir tendência de níveis normais de mercúrio nos elos superiores da cadeia alimentar correspondentes aos mamíferos aquáticos e semi-aquáticos, sendo que a execução das análises de mercúrio na amostras de mamíferos aquáticos e semi-aquáticos neste contexto são desconsideráveis à avaliação da dinâmica do mercúrio nas áreas de influência direta e indireta do AHE Jirau.

Os estudos de saúde humana apresentaram níveis de mercúrio nos voluntários compatíveis aos relatados pela literatura para a população tradicional da região Amazônica. Com base na estratificação dos voluntários em diferentes faixas de exposição e considerando os limites de exposição publicados pela Organização Mundial de Saúde em 2003, no universo amostral humano das 05 (cinco) abordagens humana combinadas (1002 voluntários) somente 3,0% deste universo amostral (30 voluntários) apresentariam níveis de exposição indicadores de possíveis riscos de neurotoxicidade mercurial. Os níveis de exposição ambiental ao mercúrio quando relacionados aos resultados da bateria dos testes neuropsicológicos não evidenciam possíveis efeitos neurotóxicos do mercúrio na sub-amostra do universo amostral, com exceção dos testes de emotividade. Associado a este fato as avaliações clínica médica e neurológica não evidenciaram possíveis danos neurotóxicos do mercúrio nos voluntários

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMAN References and further reading may be available for this article. To view references and further reading you must purchase this article.

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.

Barbieri, FL., Gardon, J. (2009). Hair Mercury Levels in Amazonian Populations: spatial distributions and trends. International Journal of Health Geographics 8:71.

BARBOSA, A. C.; DE SOUZA, J.; DOREA, J. G.; JARDIM, W. F.; FADINI, P. S.; Arch Environ. Contam. Toxicol. 2003, 45, 235.

BARRETO, W.J; SCARMINIO, I.; SOLCI, M.C.; ISHIKAWA, D.N.; OGASAWARA, M.T.; NOMI, S.N; BARRETO, S.R.G. (2007) Analysis of physical and chemical parameters for discrimination of water origin in a hydroelectric reservoir. Clean-Soil Air Water, 35: 239-245.

BARRETO, W.J; SCARMINIO, I.; SOLCI, M.C.; ISHIKAWA, D.N.; OGASAWARA, M.T.; NOMI, S.N; BARRETO, S.R.G. (2007) Analysis of physical and chemical parameters for discrimination of water origin in a hydroelectric reservoir. Clean-Soil Air Water, 35: 239-245



- BASTOS, W. R., MALM, O., PFEIFFER, W. & CLEARY, D. Establishment and analytical quality control of laboratories for Hg determination in biological and geological samples in the Amazon, Brazil. Technical Review. An. Acad. Bras. Cienc., 1998, 8, 255-260.
- 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.
- BERNARD, P.; ANTOINE, L.; BERNARD, L. Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management-application to a tropical lake system. Ecological Modelling 2004, 178, 295.
- BERNARDI, J.V.E.; FOWLER, H.G.; LANDIM, P.M.B. Um estudo de impacto ambiental utilizando análises estatísticas espacial e multivariada. Holos Environmental 2001, 1, 162.
- BERNARDI, J.V.E.; LACERDA, L.D.; DÓREA, J.G.; LANDIM, P.M.B.; GOMES, J.P.O.; ALMEIDA, R.; MANZATOO, A.G.; BASTOS, W.R. Aplicação da análise das componentes Principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no Alto Rio Madeira e afluentes, Amazônia Ocidental. Geochimica Brasiliensis 2009, 23, 079.
- BISINOTI, M. C.; JARDIM, W. F.; Production of organica mercury from Hg0: Experiments using microcosms Braz. Chem. Soc. 2004, 14, 242.
- BISINOTI, M. C.; JARDIM, W.F. O comportamento do metilmercúrio (metilHg) no ambiente Química Nova 2007, 27, 593.
- BISINOTI, M. C.; JARDIM, W.F. Production of organic mercury from Hg0: experiments using microcosms. J. Braz. Chem. Soc. 2003, 244
- 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.
- BOISCHIO, A. A. P., BARBOSA, A. Exposure to Organic Mercury in Riparian Populations on the Upper Madeira River, Rondonia, Brazil, 1991: Preliminary Results. Cad. Saúde Públ 1993, 9, 155.
- 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. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA RESOLUÇÃO CONAMA nº 357, Brasília, 2005

BRASIL. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria MS n.º 2.914/2011/Ministério da Saúde – Brasília, Editora do Ministério da Saúde, 2005.

CASTILHOS, Z. C.; BIDONE, E. D.; HARTZ, S. M.; BULL. ENVIRON. CONTAM. TOXICOL. 2001, 66, 631.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, DECISÃO DE DIRETORIA Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005, São Paulo, 2005

DEBELS, P.; FIGUEROA, R.; URRUTIA, R.; BARRA R.; NIELL, X. (2005) Evaluation of water quality in the Chilla River (central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index. Environmental Monitoring and Assessment 2005,110, 301.

DOREA, J. G.; MOREIRA, M. B.; BARBOSA, A. A. C.; Biol. Trace Elem. Res. 1998, 65, 211.

ELDAW, A.K.; SALAS, J.D.; GARCIA, L.A. Long-range forecasting of the Nile River Flows Using Climatic Forcing. Journal of Applied Meteorology 2003, 27, 890.

FADINI, P.S. & JARDIM, W.F. Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? Sci. Tot. Environ. 275:71-82, 2001.

GARCIA, E. AND CARIGNAN R. Impact of wildfire and clear-cutting in the boreal forest on methyl mercury in zooplankton. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1999, 56, 339

GRANDJEAN, P., CORDIER, S., KJELLSTRÖM, T., WEIHE, P., JØRGENSEN, E. (2005). Health Effects and Risk Assessment. In: DYNAMICS OF MERCURY POLLUTION ON REGIONAL AND GLOBAL SCALES: Part-IV, 511-538, DOI: 10.1007/0-387-24494-8_22.

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.

- 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.
- GUYOT, J.L.; JOUANNEAU, J.M.; WASSON, J.G. (1999) Characterization of river bed and suspended sediments in the Madeira River drainage basin (Bolivian Amazonian), *Journal of South American Earth Sciences*, 1999, 12, 401.
- HACON, S., BARROCAS, PRG., VASCONCELLOS, ACS., BARCELLOS, C., WASSERMAN, JC., CAMPOS, RC., RIBEIRO, C., AZEVEDO-CARLONI, FB. (2008). An overview of mercury contamination research in the Amazon Basin with an emphasis on Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro 24(7): 1479-1492.
- JECFA (Joining FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Sixty-first Meeting, Rome 10-19 2003. Summary and Conclusions. Available from URL: <ftp://ftp.fao.org/es/esn/jecfa/jecfa61sc.pdf>. Acessado em 22 de dezembro de 2011.
- JOINT FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. 2003. Sixty-first meeting. Summary and conclusions. <ftp://ftp.fao.org/es/esn/jecfa/jecfa61sc.pdf>.
- KELLY, H., RIDDELL, MA., GIDDING, HF., NOLAN, T., GILBERT, GL., (2002). A random cluster survey and a convenience sample give comparable estimates of immunity to vaccine preventable diseases in children of school age in Victoria, Australia. *Vaccine* 20: 3130-3136.
- 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.

- M. D. RENNIE, N. C. COLLINS, C. F. PURCHASE, and A. Tremblay Predictive models of benthic invertebrate methylmercury in Ontario and Quebec lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2005, 62(12): 2770–2783.
- 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.
- MALM, O. Gold Mining as a Source of Mercury Exposure in the Brazilian Amazon. *Environmental Research.* 1998, 77, 73.
- MALM, O.; BRANCHES, F. J. P.; AKAGI, H.; CASTRO, M. B.; PFEIFFER, W.; HARADA, M.; BASTOS, W. KATO, H. Mercury and methylmercury in fish and human hair from the Tapajós river basin, Brazil. *The Science Total Environment*, 1995, 260, 87.
- 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
- MILES, J.T. A.; EAGLES- SMITH, A.C. Invertebrate mercury bioaccumulation in permanent, seasonal, and flooded rice wetlands within California's Central Valley. *Science of The Total Environment* 2010, 48, 666.
- 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.
- PASSOS, C J S ; MERGLER, D. Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: a review. *Cad. Saúde Pública* 2008, 24, 503
- PASSOS, CJS., MERGLER, D. (2008). Human Mercury Exposure and Health Effects in the Amazon: a review. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 24 sup 4: S503-S520.
- PASSOS, CJS., MERGLER, D., FILLION, M., LEMIRE, M., MERTENS, F., GUIMARÃES, JRD., PHILLIBERT, A.. Epidemiologic confirmation that fruit consumption influences mercury exposure in the Brazilian Amazon. *Environmental Research* 2007 105: 183-193.
- 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.



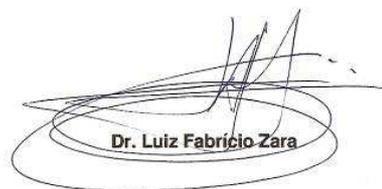
- RENNIE, M. D.; COLLINS, N. C.; PURCHASE, C. F.; 2005. Tremblay Predictive models of benthic invertebrate methylmercury in Ontario and Quebec lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2005, 62, 2770.
- ROCHA, J.C.; ROSA, A.H.; CARDOSO, A.A. (2004) *Introdução à Química Ambiental* Makron Books, São Paulo.
- 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.
- RODRIGUES, B. A.; LENZI, E.; LUCHESE, E. B. Estudo da Potencialidade de Plantas Aquáticas do Rio Paraná, Região de Porto Rico – Pr, de Despoluir Efluentes Contaminados por Mercúrio. *Anais do 4o Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente*, 1993.
- SIOLI, H. (1985) *Amazônia. Fundamentos da Ecologia da Maior Região de Florestas Tropicais*, Editora Vozes: Petrópolis.
- SOUZA, J. R.; BARBOSA, A. C. Contaminação por mercúrio e o caso da Amazônia Química Nova na Escola *2000*, 12, 3
- 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.* 1996, 26, 1996
- STORDAL, M. C.; GILL, G. A.; *Water, Air, Soil Pollut.* 2005, 80, 725
- SUCHANEK T. H.; RICHERSON P. J.; HOLTS L. J.; LAMPHERE B. A.; WOODMANSEE C. E.; SLOTTON D. G.; HARNER E. J.; WOODWARD L. A. Impacts of mercury on benthic invertebrate populations and communities within the aquatic ecosystem of Clear Lake, California. *Journal Water, Air, & Soil Pollution* 1995, 80, 951.
- SUCHANEK, T. H., RICHERSON, P. J.; HOLTS, L. J.; LAMPHERE, B. A.; WOODMANSEE, C. E.; SLOTTON, D. G.; HARNER, E. J. AND WOODWARD, L. A. Impacts of mercury on benthic invertebrate populations and communities within the aquatic ecosystem of Clear Lake, California. *Journal Water, Air, & Soil Pollution*, 1995, 80, 951-960.
- 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.
- WATRAS, C.J. BACK, R.C. HALVORSEN, S. HUDSON, R.J.M. MORRISON K.A. AND WENTE, S.P. 1998. Bioaccumulation of mercury in pelagic freshwater food webs. *Science of The Total Environment Volume 219, Issues 2-3*, 183-208.
- WATRAS, C.J. BACK, R.C. HALVORSEN, S. HUDSON, R.J.M. MORRISON K.A. AND WENTE, S.P. 1998. Bioaccumulation of mercury in pelagic freshwater food webs. *Science of The Total Environment* 1998, 219, 183.
- WHO. Environmental Health Criteria 101: Methylmercury. World Health Organization Geneva 1990
- ZELINSKI, EM., BURNIGHT, KP., LANE CJ., (2001). The Relationship Between Subjective and Objective Memory in the Oldest Old: Comparisons of Findings From a Representative and a Convenience Sample. *J Aging Health* 13(2): 248-266.
- 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.

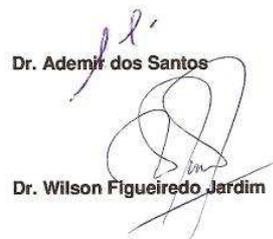
EQUIPE TÉCNICA DE TRABALHO

Profissional	CTF/IBAMA	Qualificação	Função no Contrato	Participação (%)
Luiz Fabricio Zara	485251	Doutor/Químico	Coordenador geral	100
Ademir dos Santos	2132749	Doutor/Químico	Especialista em análise de campo	100
Julio Cesar Rocha	5185347	Doutor/Químico	Especialista em mercúrio na Amazônia	100
Wilson Figueiredo Jardim	5397904	Doutor/Químico	Especialista em mercúrio na Amazônia	100
José Vicente Elias Bernardi	5185340	Doutor/Ecologia	Especialista em Geoestatística e Banco de Dados	100
Carlos José de Souza Passos	5185323	Doutor/Ciências Ambientais	Especialista em estudos de saúde humana	100
Vanessa Pesa Franzini	5185340	Doutora/Química	Especialista em análise de mercúrio	100
Livia Marcela Santos	5350517	Doutora/Médica	Estudo de Saúde Humana - Neuropsicologia	100
Valeria Vasconcellos Serra	5183767	Mestre/Psicóloga	Estudo de Saúde Humana - Neuropsicologia	100
Clarisse Vasconcellos Serra	5183831	Mestre/Psicóloga	Estudo de Saúde Humana - Neuropsicologia	100
Vera Lucia Damasio Simões	5183830	Mestre/Psicóloga	Estudo de Saúde Humana - Neuropsicologia	100
Ednaldo R. Souza	5185380	Téc. em Química	Analista laboratorial	100
Wllyane Figueiredo	5185391	Gestão Ambiental	Analista em SIG	100
Tania Machado	4340910	Gestão Ambiental	Analista em SIG	100

Goiânia, 24 de janeiro de 2012



Dr. Luiz Fabricio Zara



Dr. Ademir dos Santos



Dr. Julio César Rocha



Dr. Wilson Figueiredo Jardim

ANEXO I



Título do Projeto: Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do Mercúrio (Hg) e de Riscos à Saúde Humana.

Coordenadores : Prof. Dr. Luiz Fabrício Zara, Coordenador Geral
Prof. Dr. Carlos J.S. Passos, Coordenador de Saúde Humana

Endereço dos pesquisadores responsáveis
Faculdade UnB Planaltina
Universidade de Brasília
Área Universitária 1, Vila N. Sra. de Fátima
73.300-0000, Planaltina - DF
Fones: 0xx61.3308.5185 / 1390
Fax: 0xx61.3389.2601 / 3466
Email: cjpassos@unb.br

Centro de Informações de Mutum
Rua da Pista, 159
Tel: (69) 3237-3067
Ligação Gratuita: 0800 647 7747

Voluntário N^o: _____

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Você está sendo convidado(a) a participar de um programa ambiental de monitoramento biológico, cujos detalhes são os seguintes:

A exposição (contato) de populações ribeirinhas ao mercúrio (Hg) na região amazônica, principalmente vinda do consumo de peixes, já é conhecida há muitos anos. Além do Hg utilizado nos garimpos de ouro e/ou presentes naturalmente nos solos da Amazônia, esta substância pode também se encontrar no meio ambiente de usinas hidrelétricas após o enchimento dos reservatórios. Assim, neste programa de monitoramento nós pretendemos avaliar a quantidade de Hg em diversas partes do ambiente da região da usina hidrelétrica, e também em amostras de cabelo da população local a fim de assegurarmos-nos que não haverá problemas de saúde humana devido à exposição ao Hg.

Este programa envolve profissionais da empresa VENTURO CONSULTORIA AMBIENTAL, visando a condução do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do Aproveitamento Hidrelétrico Jirau, sob coordenação geral do Prof. Dr. Luiz Fabrício Zara, da Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília.

Sua participação no programa se dará da seguinte maneira:

Será coletada uma amostra de cabelo (uma pequena mecha) por enfermeiro(a) devidamente treinado(a) no procedimento, utilizando-se uma pinça e tesoura inoxidável devidamente esterilizada, não havendo portanto qualquer risco de contaminação para você. Este cabelo será utilizado para realizar o exame da quantidade de Hg no seu corpo.

Também pedimos que você responda um questionário que abrange questões sobre: perfil sócio-demográfico, história médica ambiental e ocupacional, morbidade referida, fatores de risco de adoecimento, além de hábitos sociais, culturais e alimentares.

Por fim, solicitamos que você se submeta a uma consulta com o profissional médico integrante de nossa equipe a fim de que este possa avaliar seu estado geral de saúde, particularmente em relação à exposição ao Hg.

As medidas dos níveis de concentração de 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.

Os benefícios de sua participação neste programa serão a obtenção de informações sobre a quantidade de substâncias químicas (metais) presentes no seu corpo, o acesso a um profissional médico que lhe instruirá sobre os resultados dos exames e avaliará seu estado geral de saúde com os devidos encaminhamentos, além de orientações gerais de outros profissionais da equipe quanto à problemática geral da presença de Hg no meio ambiente.

Assumimos que você compreende que os dados obtidos neste programa podem ser publicados, à condição que seu nome ou identificação não sejam revelados. Para manter a confidencialidade de seus registros, nossa equipe manterá sua identidade em forma de número e seus dados serão guardados dentro de envelopes, aos quais somente membros da coordenação terão acesso.

Nossa equipe não provê qualquer remuneração por sua participação voluntária no programa. Quaisquer dúvidas que você tiver em relação ao programa ou à sua participação, antes ou depois do seu consentimento, serão respondidas pela empresa Venturo Consultoria Ambiental.

CONSENTIMENTO

Eu li as informações acima, recebi as explicações sobre a natureza, demanda, riscos e benefícios do programa. 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.

Eu, _____, ao assinar o presente termo, estarei consentindo à utilização da amostra de cabelo para a análise de elementos traço (metais) e em específico mercúrio, cujas informações sejam, confidencialmente, utilizadas para fins do programa de monitoramento biológico que me foi apresentado.

Assinatura do (a) voluntário (a)

Data: ___/___/_____

Voluntário N°: _____

**Questionário Estruturado para Coleta de Dados Humanos na Região de
Abrangência do AHE-Jirau, Bacia do Rio Madeira – Rondônia**

Data de Nascimento: ___/___/___

Idade: _____

1) Sexo:

Masculino Feminino

2) Altura: _____ **Peso:** _____

3) Grau de instrução:

Até que série você estudou? _____

Analfabeto Fundamental incompleto Fundamental completo
 2° grau incompleto 2° grau completo Superior incompleto
 Superior completo

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

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

Faz quantos anos que você mora nesse local? _____

De 1 a 5 anos De 5 a 10 anos Mais de 10 anos

6) Já morou em outro lugar nos últimos 10 anos? Onde? Por quanto tempo?

7) Já teve Malária?

Sim Não **Quantas?** _____

8) Trabalha? Sim Não

Tipo de atividade realizada? _____

9) 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

VoluntárioNº:

10) Trabalha no garimpo de ouro?

Sim Não

11) Já trabalhou 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) Tem algum tipo de problema de visão?

Sim Não Nunca consultou o médico, mas não enxerga bem

14) Tem dificuldades para dormir?

Sim Não

15) Aspectos Cognitivos

Em relação à memória você observa se ocorrem esquecimentos frequentes no seu dia-a-dia?

Sim Não

Apresenta dificuldade de se concentrar, por algum tempo, em conversas, TV, rádio, explicações de professores ou outras pessoas?

Sim Não

Apresenta dificuldade em prestar atenção ao ler textos ou livros?

Sim Não

Apresenta dificuldade em compreender o que lê?

Sim Não

Apresenta dificuldade para escrever, copiar, redigir ou produzir textos?

Sim Não

Apresenta dificuldade em realizar operações matemáticas envolvendo as quatro operações?

Sim Não

Apresenta dificuldade para escutar?

Sim Não



Voluntário N°: _____

16) Você fuma?

Sim Não

Fuma há quanto tempo? _____

Quantos cigarros por dia? _____

17) Já fumou?

Sim Não

Fumou desde que idade? _____

Parou com quantos anos? _____

18) Você consome bebida alcoólica?

Sim Não

19) Com qual frequência consome bebida alcoólica?

Diariamente 2 vezes/ semana 3 vezes/semana final de semana

Datas comemorativas

20) Você achou estas perguntas difíceis de serem respondidas?

Sim Não

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

Sim Não **Qual o número da pergunta?** _____

Dados da História de Vida

ANEXO II



Voluntário N^o: _____

Inquérito Alimentar Recordatório

1) Quais desses alimentos você come com mais frequência?

Carne Peixe Porco Frango

2) Costuma comer peixe?

Sempre Algumas vezes Raramente Não come

3) Quantas vezes durante a última semana você se alimentou de peixe?

De maneira geral, qual porção de peixe você consome? _____ g

Peixes	Número de refeições para cada dia							Total
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	
Aracu								
Barba chata								
Barbado								
Branquinha								
Caratinga								
Charuto / Flexeira								
Curimatá								
Curvina								
Dentudo / Cangoia								
Dourada								
Filhote								
Jaraqui								
Jatuarana								
Mapará								
Pacu								
Pescada								
Piau								
Piranha								
Pirarucu								
Sarda / Apapá								
Surubim								
Tambaqui								
Traira								
Tucunaré								
Ova de peixe Qual peixe?								
Outros								

4) Quantas vezes você comeu carne durante a última semana?

De maneira geral, qual porção de carne você consome? _____ g

<i>Carnes</i>	Número de refeições para cada dia							
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Total
Gado								
Carne								
Charque (jabá)								
Miúdos, <i>Qual?</i>								
Fígado								
Coração								
Rim								
<i>Outros?</i>								
Frango								
Ovos de galinha								
Carne								
Miúdos, <i>Qual?</i>								
Fígado								
Coração								
Rim								
<i>Outros?</i>								
Porco								
Carne								
Miúdos, <i>Qual?</i>								
Fígado								
Coração								
Rim								
<i>Outros?</i>								
Carne de caça								
Jabuti								
Jacaré								
Paca								
Porco do mato								
Tatu								
Tracajá								
Veado								
Pato e outras aves Qual (is)?								

5) Quantas vezes você comeu frutas durante a última semana?(conforme aos modelos de porções)

<i>Frutas do quintal e colhidas no mato</i>	Número de frutas consumidas durante o dia							
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Total
Abacaba								
Abacate								
Açaí								

Acerola								
Água de coco								
Babaçu								
Banana								
Castanha-de-sapucaia								
Castanha-do-Pará								
Goiaba								
Ingá								
Jambo								
Laranja								
Leite de castanha-do-Pará								
Lima								
Limão								
Maçã								
Mamão								
Melancia								
Popa de coco								
Pupunha								
Suco de Cupuaçu								
Suco de Maracujá								
Tangerina								
Tucumã								
<i>Outras frutas</i>								

6) Quantas vezes você comeu verduras e condimentos durante a última semana? (porções)

	Número de refeições para cada dia							Total
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	
Verduras e condimentos								

7) Quantas vezes você comeu laticínios durante a última semana? (modelos de porções)

<i>Laticínios</i>	Número de refeições para cada dia							Total
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	
Leite								
Manteiga								
Queijo								

ANEXO III

Avaliação Clínica e Neurológica

- 1) Possui hipertensão arterial?
 Não Sim Quanto tempo? _____
- 2) Possui Diabetes Mellitus?
 Não Sim Quanto tempo? _____
- 3) Teve um acidente cerebral isquêmico ou hemorrágico?
 Não Sim Quando? _____
- 4) Faz uso ou usou alguma droga ilícita?
 Não Sim Quanto tempo? _____
- 5) Faz uso de alguma medicação diariamente ou mais que 3 vezes por semana?
 Não Sim Quanto tempo? _____
- 6) Tem alguma queixa no momento?
 Não Sim Qual? _____

Exame Físico

- 7) Aspecto
 Normal (Hidratado, corado, anictérico, acianótico afebril)
 Anormal _____
- 8) Exame Cardiovascular
 Normal (cardiovascular 2 bulhas rítmicas normofonéticas sem sopro)
 Anormal _____
PA: _____
- 9) Exame Respiratório
 Normal (murmúrio vesicular positivo sem ruídos adventícios, eupnéico)
 Anormal _____
- 10) Palpação de tireóide _____

Exame físico neurológico

- 11) Repita as palavras: Casa, Cachorro, Rua _____
- 12) Movimentos oculares _____
- 13) Repita, novamente, as palavras: Casa, Cachorro, Rua _____
- 14) Reflexo bicipital _____
- 15) Avaliação da marcha _____
- 16) Sensibilidade tátil dos membros superiores
- Não Sim Qual (esquerdo/direito)? _____
- 17) Sensibilidade tátil dos membros inferiores
- Não Sim Qual (esquerdo/direito)? _____
- 18) Sensibilidade dolorosa dos membros superiores?
- Não Sim Qual (esquerdo/direito)? _____
- 19) Sensibilidade dolorosa dos membros inferiores
- Não Sim Qual (esquerdo/direito)? _____
- 20) Equilíbrio – estático
- Normal Anormal _____
- 21) Index nariz
- Normal Anormal _____
- 22) Fala
- Normal Anormal _____
- 23) Campo visual
- Normal Anormal _____
- 24) Movimentos alternados _____
- 25) Tremor de extremidades
- Não Sim Qual? _____
- 26) Sente parestesias em membros?
- Não Sim Qual (s)? _____
- 27) Identificação de objetos simples _____
- 28) Localização de tempo (data) _____
- 29) Localização de espaço (cidade/ país)



ANEXO IV

SUBPROGRAMA DE DIVULGAÇÃO DAS ATIVIDADES E RESULTADOS DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO

As ações de comunicação do Subprograma de Divulgação das Atividades e Resultados do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico possibilita a divulgação de materiais didáticos voltados a educação ambiental associado aos riscos do mercúrio para a saúde humana em atividades de campo nas escolas e comunidades da área de influência do UHE Jirau, além das instituições de ensino superior em Porto Velho – RO conforme indicado no **Quadro 05 e nas Foto de 01 a 10.**

Quadro 05 – Descrição das atividades de comunicação social do subprograma de divulgação das atividades e resultados do programa de monitoramento Hidrobiogeoquímico.

Descrição da atividade	Locais	Distritos e localidades
1º ciclo de Palestras "O mercúrio no rio Madeira"	Escolas Marechal Rondon, Nossa Senhora de Nazaré, Maria de Nazaré dos Santos e Faculdade São Lucas	Abunã, Mutum-Paraná, Jaci-Paraná, Abunã e Porto Velho
2º ciclo de palestras "O mercúrio no rio Madeira"	Escolas Vicente Rondon, Marechal Rondon e Nossa Senhora de Nazaré	Jaci-Paraná, Abunã e Mutum-Paraná
Dia de campo – Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico	Escola Nossa Senhora de Nazaré	Mutum-Paraná
Palestra "Dinâmica do Mercúrio na bacia do rio Madeira e a Usina Jirau"	Faculdade São Lucas, União das Escolas Superiores (Uniron), nas 1ª e 2ª edições da Jornada de Biologia	Porto Velho
3º ciclo de palestras "O mercúrio no rio Madeira – Saúde Humana"	Escolas Marechal Rondon e Nossa Senhora de Nazaré	Abunã e Nova Mutum Paraná
Reunião GT Atividades Minerárias "Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico"	Auditório do escritório da Energia Sustentável do Brasil	Porto Velho
Palestra "A biogeoquímica do mercúrio na área de influência da Usina Jirau"	III Encontro da Pós-Graduação do Instituto de Química da Universidade de São Paulo – IQ/USP	São Paulo



Foto 1. 1º ciclo de Palestra em Abunã.



Foto 2. Palestra na Faculdade São Lucas (Porto Velho-RO).



Foto 3. 1º Ciclo de Palestras em Mutum Paraná.



Foto 4. 1º Ciclo de Palestras em Jaci Paraná.



Foto 5. Pesquisador apresenta resultados do monitoramento do mercúrio no 2º Ciclo de Palestras em Jaci Paraná.



Foto 6. Alunos recebem cartilha sobre mercúrio, no 2º Ciclo de Palestras em Abunã.



Foto 7. Dia de campo com alunos da Escola Municipal Nossa Senhora de Nazaré - Mutum Paraná.



Foto 8. Pesquisador mostra uma das formas de coleta.



Foto 9. Prof. Dr. Wilson Jardim explana sobre o mercúrio no rio Madeira, na 1ª Jornada de Biologia.



Foto 10. Prof. Dr. Luiz Fabrício Zara apresenta o Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico da UHE Jirau aos acadêmicos na 2ª Jornada de Biologia e Gestão Ambiental da Faculdade Uniron.

O tema de monitoramento do mercúrio no rio madeira foi apresentado no 1º Centro de Informação Itinerante do AHE Jirau. Esta ação é realizada nas escolas da AID e AISE, onde são repassadas de forma lúdica, informações sobre a construção do empreendimento assim como os programas socioambientais. Nesta atividade, a equipe de comunicação apresentou o Programa, por meio de banner. Em abril de 2011, o assunto foi abordado de forma ampla na 3ª reunião do Grupo de Trabalho das Atividades Minerárias.



Foto 11. Prof. Dr. Luiz Fabrício Zara apresenta os estudos do mercúrio no rio Madeira aos participantes do GT das Atividades Minerárias área de influência do AHE Jirau.

Nas ações de comunicação foram distribuídos materiais socioeducativos voltados ao desenvolvimento sustentável e a divulgação das atividades e resultados do programa de monitoramento hidrobiogeoquímico conforme exemplificado no folder – “O mercúrio e o rio Madeira” (**Figuras de 01 a 02**), na cartilha – “O mercúrio no rio Madeira” (**Figuras de 03 a 13**) e na cartilha de bolso – “O que você precisa saber sobre o mercúrio” (**Figuras de 14 a 19**). Para as próximas cartilhas, será dada ênfase para os hábitos alimentares associados a possíveis rotas de exposição ao mercúrio e sobre manejo e uso do solo, visto que este é um importante fator de liberação de mercúrio para o ambiente, ocasionando maior mobilidade deste metal para os demais compartimentos ambientais.

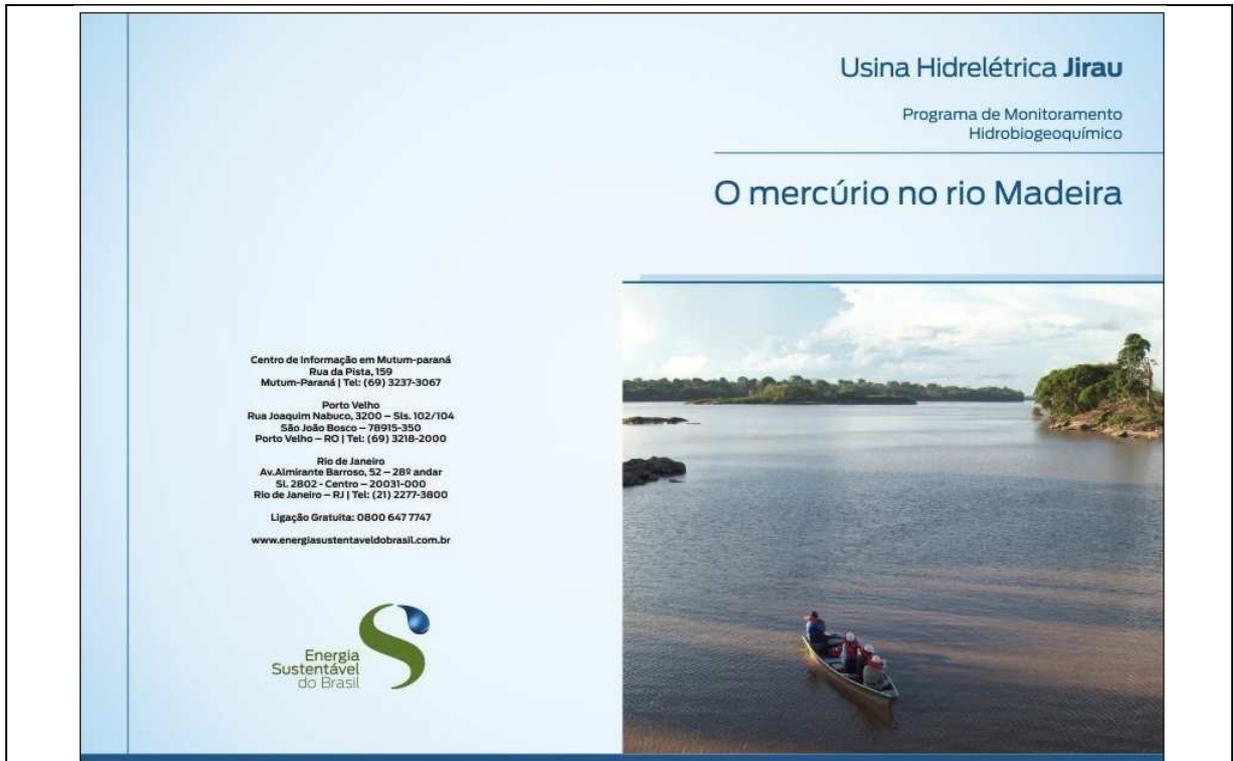


Figura 01 – Folder – O mercúrio e o rio Madeira – Parte I

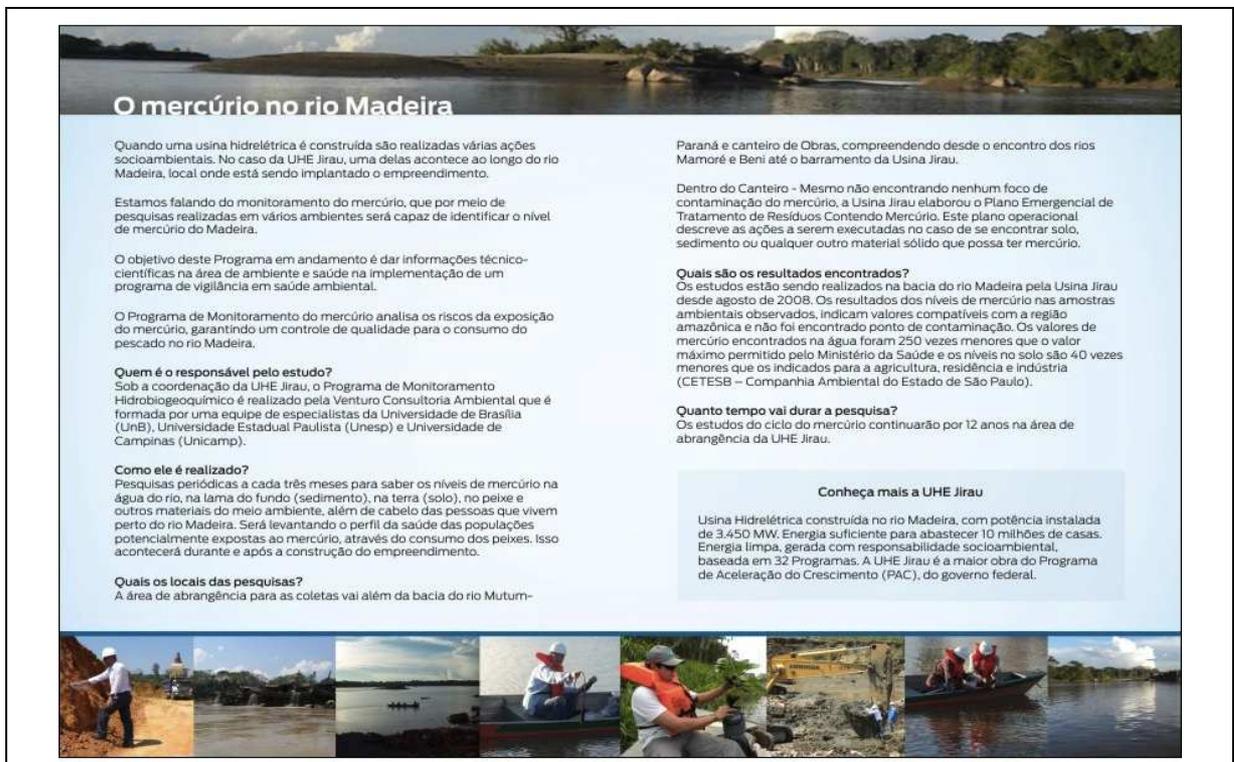


Figura 02 – Folder – O mercúrio e o rio Madeira – Parte II



Figura 03 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte I



Figura 04 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte II

S

O mercúrio no rio Madeira

Quando uma usina hidrelétrica é construída, várias ações socioambientais são realizadas simultaneamente para garantir o equilíbrio do ecossistema. Na Usina Hidrelétrica Jirau essas ações são desenvolvidas ao longo do rio Madeira, local onde está sendo implantado o empreendimento.



Uma dessas ações é o monitoramento do mercúrio, uma atividade que por meio de pesquisas científicas aplicadas em vários ambientes, identifica o nível de mercúrio encontrado no rio Madeira, materiais orgânicos e em seres vivos que utilizam da água desse rio.




Figura 05 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte III

S

Porque monitorar o mercúrio no Madeira

O objetivo do programa de monitoramento hidrobiogeoquímico é dar informações técnicas e científicas acerca do nível de mercúrio existente na bacia do Madeira. Essas informações servem de suporte para as áreas de Meio Ambiente e Saúde, além de embasamento para futuras pesquisas científicas e o mais importante: informa toda a comunidade sobre a incidência real deste metal na água, solo, sedimento e em organismos vivos que habitam na caudalosa água do rio Madeira.



O Programa analisa os riscos da exposição do mercúrio, garantindo um controle de qualidade para o consumo do pescado no rio Madeira.




Figura 06 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte IV

Responsabilidade Técnica

O Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico é realizado pela Venturo Consultoria Ambiental sob coordenação da Usina Hidrelétrica Jirau. A equipe de cientistas é formada por especialistas da Universidade de Brasília (UnB), Universidade Estadual Paulista (UNESP) e Universidade de Campinas (Unicamp).

Os estudos de mercúrio são realizados a cada três meses nas fases hidrológicas de seca, enchente, cheia e vazante do rio Madeira e são analisados os níveis de mercúrio na água, no sedimento (lama do fundo do rio), solo, peixes e outros materiais encontrados no meio ambiente.



USINA JIRAU

Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico 5

Figura 07 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte V

Pesquisa

Os cientistas desenvolvem as pesquisas nas áreas de influência direta e indireta do empreendimento desde as confluências dos rios Mamoré e Beni até a barragem da Usina Hidrelétrica Jirau. O mapa mostra os locais das coletas periódicas de amostras ambientais.



USINA JIRAU

Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico 6

Figura 08 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte VI

Resultados Encontrados

O metilmercúrio é a espécie mais tóxica do mercúrio e o interesse em seu estudo deve-se principalmente à capacidade dele ser bioacumulado no organismo através da ingestão de alimentos, principalmente de peixes, porém o resultado alcançado pela pesquisa até o momento constata que os teores de metilmercúrio nas amostras de água superficial e no sedimento coletado tanto na calha do rio Madeira quanto nos afluentes foram compatíveis com a região Amazônica e não foi encontrado nenhum ponto de contaminação.



O monitoramento de mercúrio feito em peixes de relevante consumo pela população tradicional da bacia do rio Madeira também apresentou valores dentro dos níveis normais para a região Amazônica. Para a análise foram selecionadas amostras de peixe diretamente dos pescadores da região, com espécies que compõem aproximadamente de 60% do consumo de peixes dos ribeirinhos do rio Madeira*.

*Adaptado de BASTOS et al, Science of the Total Environment 368 (2006)

Figura 09 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte VII

Estudo nas Pessoas

O monitoramento também contempla um estudo de saúde humana, que vai levantar o perfil da saúde das populações potencialmente expostas ao mercúrio, para isso serão coletadas amostras de cabelo das pessoas voluntárias que quiserem participar. Além disto, também serão aplicados questionários que abrangem os módulos sócio-demográficos, história ocupacional, morbidade referida, fatores de risco de adoecimento, hábitos sociais, culturais, alimentares, entre outros.

O cabelo foi escolhido pelos pesquisadores porque funciona como um dosímetro, ou seja, à medida que o fio de cabelo cresce, guarda informações dos níveis de metais que estão armazenados no corpo humano, além de ser fácil de ser coletado, não dói e não oferece risco aos voluntários que participam dos estudos. Para as análises, uma pequena mecha de cabelo é cortada rente ao couro cabeludo, na região da nuca, para não alterar o visual dos voluntários.



os estudos feitos em amostras de cabelo de voluntários servem para conhecer a concentração de mercúrio principalmente na população ribeirinha, que consome peixe predominantemente.

Figura 10 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte VIII

Como será a Pesquisa

A pesquisa será feita durante e após a construção do empreendimento, sendo prevista a participação de mil voluntários divididos em quatro grupos de 250 pessoas. Eles serão acompanhados por profissionais da saúde e a cada dois anos será reavaliado o nível de mercúrio no corpo.

Todas as informações geradas serão reunidas num banco de dados, padronizado, para facilitar as análises estatísticas e estudos de correlações espacial e temporal das espécies de mercúrio, bem como a investigação dos mecanismos de organificação, bioacumulação e biomagnificação pela bacia do rio Madeira.



O objetivo é monitorar o metal na regiões. A base de dados que será formada vai ajudar a definir futuras políticas de gestão ambiental.



Figura 11 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte IX

Conclusão

Os estudos promovidos pela UHE Jirau sobre os níveis de mercúrio no rio Madeira durante o ciclo hidrológico 2008 e 2009 mostram que os índices do metal tem se mantido dentro dos níveis naturais dos rios amazônicos e até mesmo em níveis inferiores aos do rio Negro.

A possível especulação sobre a Amazônia se transformar numa área contaminada de mercúrio com impactos socioambientais imprevisíveis – hipótese difundida nos anos 80 – foi aos poucos mostrando-se, e graças a muita pesquisa e discussão científica, sendo substituída por maior conhecimento da biogeoquímica deste metal em regiões tropicais, como no estado de Rondônia.



Atualmente são conhecidas as transformações que o mercúrio metálico sofre em ambientes aquáticos na região amazônica, o que permite estimar o risco de exposição humana às concentrações e espécies encontradas nestes ambientes. Muito embora o tom alarmista da contaminação por mercúrio na Amazônia tenha perdido a força, ainda se tem muito o que aprender sobre o ciclo deste metal no meio ambiente.



Figura 12 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte X



Usina Jirau

A Energia Sustentável do Brasil é responsável pela construção da Usina Hidrelétrica Jirau, que vai gerar 3450 MW (megawatts) de energia elétrica para abastecer casas, indústrias e fábricas. Energia suficiente para iluminar, por exemplo, toda a região Norte do país.

A energia limpa e mais econômica da Usina Jirau será integrada ao Sistema Interligado Nacional, e tanto poderá ser consumida em Rondônia como em qualquer estado brasileiro.

A construção da hidrelétrica Jirau prevê investimentos de mais de 10 bilhões de reais, durante 60 meses de trabalho e 40 mil empregos diretos e indiretos.

O empreendimento tem um papel relevante no desenvolvimento econômico do Brasil. A Usina Jirau é uma importante obra do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), do Governo Federal.

USINA JIRAU

Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

11

Figura 13 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte XI

Monitoramento feito por especialistas

O Programa é desenvolvido pela empresa Venturo Consultoria Ambiental e conta com uma equipe formada por especialistas da Universidade de Brasília (UnB), da Universidade Estadual Paulista (UNESP) e da Universidade de Campinas (Unicamp).

O que você precisa saber sobre o mercúrio

■ O que é? Onde está? Como trabalhar com segurança?

Escritório Nova Mutum Paraná
Rua Getúlio Vargas - Casa 6
Nova Mutum Paraná | Tel: (69) 3533-4045 / 3533-4046

Escritório Porto Velho
Rua Joaquim Nabuco, 3200 – salas 102/104 e 106
Bairro São João Bosco – 76804-066
Porto Velho – RO | Tel: (69) 3215 – 2000

Ligação Gratuita: **0800 647 7747**
www.energiasustentaveldobrasil.com.br

Figura 14 – Cartilha de bolso – O que você precisa saber sobre o mercúrio – Parte I



Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

O mercúrio no dia a dia

O mercúrio é um velho conhecido e está presente no nosso dia a dia. Dentro de casa, por exemplo, encontramos em termômetros, lâmpadas fluorescentes e alguns equipamentos eletrônicos. O metal líquido prateado é bastante usado também para separar o ouro em garimpos.



Crédito: Venturo

A exposição ao vapor



Crédito: Venturo

O trabalhador que lida com o mercúrio (azougue) é o mais exposto aos vapores invisíveis liberados do metal. Eles são aspirados sem que a pessoa perceba e entra no organismo através da respiração e é transportado pelo sangue, instalando-se nos órgãos.

2

O que você precisa saber sobre o mercúrio 3

Figura 15 – Cartilha de bolso – O que você precisa saber sobre o mercúrio – Parte II

Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

O processo do ouro

O garimpo artesanal de ouro é feito primeiro, lançando o mercúrio sobre a lama. O ouro se junta ao mercúrio e eles ficam separados da lama. Em seguida, o azougue é queimado, e o mercúrio evapora, restando apenas o ouro.



Crédito: Venturo

O uso do Cadinho



Crédito: Venturo

A queima do amalgama (azougue + ouro) expõe o garimpeiro e polui o meio ambiente se não for feita corretamente. A queima tem que ser feita usando sempre a retorta (Cadinho).

4

O que você precisa saber sobre o mercúrio 5

Figura 16 – Cartilha de bolso – O que você precisa saber sobre o mercúrio – Parte III



Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

Trabalhar com segurança

Para não ter contato com o mercúrio mesmo fazendo a queima com a retorta lembre-se de:

- Trabalhar sempre em lugares abertos e ventilados;
- Mantenha qualquer comida e bebida longe do local da queima;
- Em qualquer queima do ouro não respire próximo do fogo;
- Nunca jogue as sobras de mercúrio no rio.



Crédito: Venturo

Importante saber:



- Verifique sempre se o Cadinho está funcionando corretamente, evitando que o vapor escape para o ambiente;
- Nunca deixe o mercúrio entrar em contato com a pele;
- Guarde o mercúrio sempre em frasco de plástico, bem fechado e longe dos alimentos.

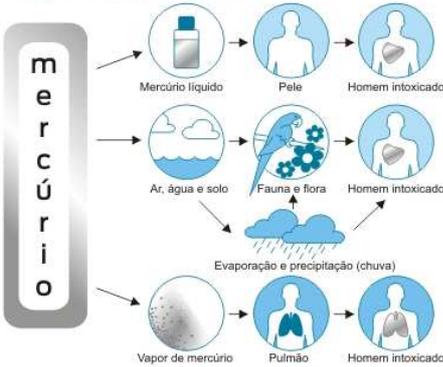
6

O que você precisa saber sobre o mercúrio 7

Figura 17 – Cartilha de bolso – O que você precisa saber sobre o mercúrio – Parte IV

Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

O que pode ocorrer com quem fica exposto ao mercúrio?



Tremores, sonolência, delírios, fraqueza muscular, náuseas, dor de cabeça, reflexos lentos, memória falha, mau funcionamento dos rins, fígado, pulmão e sistema nervoso.

O estudo nas áreas da UHE Jirau

A Usina Hidrelétrica Jirau monitora, desde 2008, ao longo do rio Madeira, por meio do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico o nível de mercúrio no rio, nos peixes e analisando os riscos da exposição ao metal nas populações ribeirinhas. O monitoramento no Madeira acontece antes, durante e após a construção da UHE Jirau. As análises com a comunidade são repetidas a cada dois anos durante as etapas do empreendimento.



8

O que você precisa saber sobre o mercúrio 9

Figura 18 – Cartilha de bolso – O que você precisa saber sobre o mercúrio – Parte V

Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

O mercúrio na comunidade



Nos mais de 400 testes aplicados nas comunidades ribeirinhas da área envolvida pela Usina Jirau, apenas 3% dos voluntários apresentaram níveis de mercúrio que poderiam eventualmente prejudicar no futuro a saúde; porém, essas pessoas não apresentaram problemas neurológicos e neuropsicológicos por causa do mercúrio.

Os testes para identificação

Durante a realização dos testes pela UHE Jirau são aplicados questionários para entender questões socioculturais, hábitos alimentares e estilo de vida das pessoas. Em seguida, são feitas as avaliações clínicas médicas e neurológica. Também é aplicada uma bateria de testes neuropsicológicos e coletados fios de cabelos dos voluntários para exame de dosimetria do mercúrio (análise do mercúrio no corpo). Após três meses, a



equipe multidisciplinar retorna à comunidade para a entrega das avaliações e para fazer esclarecimentos sobre os resultados.



10

O que você precisa saber sobre o mercúrio 11

Figura 19 – Cartilha de bolso – O que você precisa saber sobre o mercúrio – Parte VI

