

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE UnB PLANALTINA
MESTRADO EM CIÊNCIA DE MATERIAIS

**CARACTERÍSTICAS E AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS BASAIS DE MERCÚRIO DO
SEDIMENTO NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO APROVEITAMENTO
HIDRELÉTRICO JIRAU – RIO MADEIRA – RONDÔNIA - BRASIL**

ALINE GONÇALVES DE SIQUEIRA

PLANALTINA-DF
2013

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE UnB PLANALTINA
MESTRADO EM CIÊNCIA DE MATERIAIS**

ALINE GONÇALVES DE SIQUEIRA

**CARACTERÍSTICAS E AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS BASAIS DE MERCÚRIO DO
SEDIMENTO NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO APROVEITAMENTO
HIDRELÉTRICO JIRAU – RIO MADEIRA – RONDÔNIA - BRASIL**

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fabrício Zara

Coorientador: José Vicente Elias Bernardi

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Materiais da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência de Materiais.

**PLANALTINA-DF
2013**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE UnB PLANALTINA
MESTRADO EM CIÊNCIA DE MATERIAIS**

Termo de Aprovação

**Características e Avaliação dos Níveis Basais de Mercúrio do
Sedimento na Área de Influência do Aproveitamento Hidrelétrico
Jirau – Rio Madeira – Rondônia – Brasil.**

Aline Gonçalves de Siqueira

Banca Examinadora

Professor Doutor Luiz Fabrício Zara – Presidente da Banca

Universidade de Brasília - UnB

Professor Doutor Julio Cesar Rocha – Membro Efetivo, Externo ao Programa

Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho - UNESP

Professora Doutora Renata Aquino – Membro Efetivo

Universidade de Brasília - UnB

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, força primordial para continuidade deste e de outros trabalhos.

A meu esposo, pela contribuição diária e pelo apoio incondicional.

Aos meus pais, pelo esforço e dedicação na longa jornada da minha educação.

Aos meus irmãos e amigos, pela amizade sincera e compreensão em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me dar força para lutar pelos meus objetivos.

À minha mãe, Sra. Sueli e ao meu pai, Sr. Francisco pelos incentivos, sentimentos amorosos e principalmente pelo apoio diário ao longo da minha carreira educacional.

Ao meu esposo, Diogo, companheiro e grande incentivador ao longo desta jornada.

Aos meus irmãos, Félix, Elane, Fernandes e Eliane, por sempre estarem do meu lado. Obrigada por todo carinho e amor.

Aos meus familiares e amigos por contribuírem com a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, prof. Dr. Luiz Fabrício Zara, pelo o exemplo profissional e crédito neste trabalho através de suas preciosas orientações.

Aos amigos do laboratório UnB – Planaltina, departamento de química UNESP Araraquara e UNESP Botucatu - SP pela ajuda preciosa na continuidade do trabalho.

A empresa Energia Sustentável do Brasil pela disponibilidade dos materiais de pesquisa utilizada no presente trabalho.

Expresso um agradecimento especial a Tania Machado e Wllyane Figueiredo pela ajuda e o apoio oferecido.

RESUMO

O rio Madeira afluente da margem direita do rio Amazonas, possui extensão total de aproximadamente 3240 Km. Caracteriza por extensos gradientes que podem ser de natureza hidrológica, tectônica/geomorfológica, hidráulica e de transporte de sedimentos. Logo, apresenta características predominantes de rios de planalto e de planície. As suas oscilações fluviais influenciam a coloração da água, predominância de águas claras e escuras o que determinam as características químicas no rio. O objetivo do presente estudo foi avaliar os níveis basais do estoque de mercúrio no sedimento associado às propriedades físicas e químicas dos materiais que compõem este compartimento ambiental da área de influência da Usina Hidrelétrica – Jirau na bacia hidrográfica do rio Madeira – RO. As coletas foram em cinco pontos de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira em perfis sedimentológicos (superfície, 10, 20, 40, 60 e 80 cm) nas regiões de águas claras (Abuñã, Caiçara e Madeira) e águas escuras (Castanho e Mutum). Os dados indicam predominância granulométrica de sedimentos finos (silte) e partículas maiores (areia). Os espectros na região do infravermelho mostram bandas de absorção na região de 3700 cm^{-1} e 3621 cm^{-1} associadas às ligações OH existentes em hidróxidos de alumínio (Al-OH), bandas localizadas em 1100 cm^{-1} associadas às vibrações do tipo (O-Al-OH) e banda de absorção de 1033 cm^{-1} associadas à ligação (Si-O) características de argilominerais. Na região do rio Mutum-Paraná, característica de água escura, foi encontrada as maiores porcentagens de matéria orgânica ($10,24 \pm 1,93\%$), carbono orgânico ($3,13 \pm 0,26\%$), razão carbono/nitrogênio (67,21) e concentração de mercúrio ($241,54 \pm 124,53\ \mu\text{g kg}^{-1}$). Em média as maiores concentrações de matéria orgânica, carbono orgânico, nitrogênio, razão carbono/nitrogênio e concentração de mercúrio total foram apresentados no intervalo entre a superfície e 10 cm de profundidade. A concentração de mercúrio nos perfis de sedimentos da bacia rio Madeira foram de 37 a $219\ \mu\text{g kg}^{-1}$. As concentrações de mercúrio ficaram abaixo dos níveis preconizados pela Resolução 344/2004, não evidenciando pontos de contaminação na área de influência do aproveitamento hidrelétrico Jirau. A análise estatística de correlação das características do material ambiental com o estoque de mercúrio total indicou que o carbono orgânico total teve a maior correlação (73 %), seguido da razão carbono/nitrogênio (71%).

Palavras-chave: rio Madeira, mercúrio, sedimento, Usina Hidrelétrica Jirau.

ABSTRACT

The Madeira River, a tributary on the right bank of the Amazon river, presents along its route (3,240 km) extensive gradients, which can be of a hydrological nature, tectonic / geomorphic, hydraulic and of sediment transport. The river has also predominant characteristics of upland rivers and plains. Fluvial oscillations influence the color of the river water, which may be clear and dark, and which determine the chemical characteristics of the river. The aim of this study was to evaluate baseline levels of mercury in the sediment associated with the physical and chemical properties of the materials that make up this environmental compartment under the influence of the HPP (Hydroelectric Power Plant) Jirau, situated in the hydrographic basin of the Madeira river, Rondônia, Brazil. Samples were collected at five points of tributaries and the riverbed sediment profiles in Madeira river profiles (surface, 10, 20, 40, 60 and 80 cm) encompassing regions of clear water (Abuña, Caiçara e Madeira) and dark water (Castanho e Mutum). The parameters analyzed indicate predominance of fine sediments (silt) and larger particles (sand). The spectra in the infrared region showed absorption bands in the region of 3700 cm^{-1} and 3621 cm^{-1} associated with OH bonds in aluminum hydroxides (Al-OH), bands located at 1100 cm^{-1} associated with vibrations of the type (O-Al-OH) and absorption band of 1033 cm^{-1} associated with (Si-O) bonds, characteristic of clay minerals. In the region of the Mutum-Paraná river, characteristic of dark water, higher percentages were observed for organic matter ($10.24 + 1.93\%$), organic carbon ($3.13 + 0.26\%$), carbon / nitrogen ratios (67.21) and mercury concentration ($241.54 + 124.53\text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$). In factor profile, on average the highest concentrations of organic matter, organic carbon, nitrogen, carbon / nitrogen and total mercury concentration were observed in the range between the surface and 10 cm depth. Mercury concentrations were below the levels recommended by Resolution 344/2004, not evidencing contamination points in the area of influence of HPP Jirau. The statistical analysis of correlation of characteristics of environmental material with the stock total mercury indicated that total organic carbon had the highest correlation (73%), followed by the ratio of carbon / nitrogen (71%).

Keywords: Madeira River, mercury, sediment, Hydroelectric Power Plant Jirau.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABU: Abuña.

a.C: Antes de Cristo

AHE: Aproveitamento Hidrelétrico Jirau.

AID: Área de Influência Direta.

AII: Área de Influência Indireta.

CAI: Caiçara

CAS: Castanho

EIA: Estudo do Impacto Ambiental.

Hg: Mercúrio.

Hg⁰: Mercúrio Simples.

Hg⁺: Mercuroso

Hg²⁺: Mercúrico

HgS: Mineral Cinábrio

MAD: Madeira

MUT: Mutum

RIMA: Relatório de Impacto do Meio Ambiente.

UHE: Usina Hidrelétrica.

MIT: Massachusetts Institute of Technology

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Ciclo do mercúrio no ambiente.....	17
Figura 2	Assimetria da Bacia do rio Madeira.....	19
Figura 3	Mapa esquemático da região de estudo.....	20
Figura 4	Localização e dimensão da bacia de drenagem do rio Madeira.....	21
Figura 5	Localização dos principais tributários do rio Madeira	4
Figura 6	Diferenças nos períodos de água alta e água baixa na Bacia Amazônica	25
Figura 7	Descarga relativa e o fluxo de sedimentos do rio Madeira para o sistema Solimões/Amazonas.....	25
Figura 8	Área de amostragem na bacia do rio Madeira	40
Figura 9	Mapa pedológico da bacia do rio Madeira e seus tributários	46
Figura 10	Amostra dos sedimentos evidenciando diferentes colorações	47
Figura 11	Distribuição granulométrica nos sedimentos do rio Madeira em diferentes pontos.....	50
Figura 12	Espectro referente ao ponto 1 – ABU	52
Figura 13	Espectro referente ao ponto 2 – CAS	52
Figura 14	Espectro referente ao ponto 3 – MUT	52
Figura 15	Espectro referente ao ponto 4 – CA I.....	52
Figura 16	Espectro referente ao ponto 5 – MAD	52
Figura 17	Porcentagens (%m/m) de matéria orgânica no fator amostra	54
Figura 18	Concentrações de matéria orgânica distribuídas pelo nível de profundidade do sedimento	56
Figura 19	Porcentagens (% m/m) de carbono orgânico total no fator amostra.....	58

Figura 20	Concentrações de carbono orgânico total distribuídas em função da profundidade do sedimento	59
Figura 21	Porcentagens (%m/m) de nitrogênio total no fator amostra.....	60
Figura 22	Concentrações de nitrogênio total distribuídas em função da profundidade do sedimento.....	61
Figura 23	Porcentagens (%m/m) de carbono/nitrogênio no fator amostra.....	63
Figura 24	Porcentagens (%m/m) do mercúrio total no fator amostra.....	65
Figura 25	Concentrações de mercúrio total distribuídas em função da profundidade do sedimento.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Relação entre a forma química, propriedades características e aplicações do mercúrio.....	16
Tabela 2	Número mínimo de amostras para a caracterização de sedimentos.....	34
Tabela 3	Número mínimo de amostras para a caracterização de sedimentos (Escala granulométrica Wentworth, 1922).....	34
Tabela 4	Níveis de classificação do material dragado.....	35
Tabela 5	Pontos de amostragem com sua descrição e coordenadas geográficas.....	40
Tabela 6	Diâmetro de partículas quanto à escala granulométrica do MIT utilizada no presente estudo.....	42
Tabela 7	Área de amostragem de solo com sua descrição e classificação pedológica....	47
Tabela 8	Resultado da análise granulométrica – Porcentagem areia, silte e argila nas amostras dos sedimentos em cinco pontos diferentes do rio Madeira – RO em função da profundidade	48
Tabela 9	Porcentagem de matéria orgânica, carbono orgânico, nitrogênio total, a razão carbono e nitrogênio e os teores de mercúrio nos perfis de sedimentos.....	53
Tabela 10	Porcentagens médias e desvios padrões de matéria orgânica dispostos por fator amostra e fator perfil do sedimento.....	55
Tabela 11	Análise de Variância Univariada comparando as porcentagens de matéria orgânica no sedimento entre os fatores amostra e perfil.....	56
Tabela 12	Porcentagens médias e desvios padrões do carbono orgânico dispostos por fator amostra e fator perfil do sedimento.....	57
Tabela 13	Análise de Variância Univariada elaborada comparando as porcentagens de carbono orgânico no sedimento entre os fatores amostra e perfil	58
Tabela 14	Porcentagens médias e desvios padrões de nitrogênio dispostos por fator amostra e fator perfil de sedimento.....	60
Tabela 15	Análise de Variância Univariada elaborada comparando as porcentagens de nitrogênio total no sedimento entre os fatores amostra e perfil.....	61
Tabela 16	Razões médias de carbono/nitrogênio e desvios padrões dispostos por fator amostra e fator perfil de sedimento.....	62

Tabela 17	Análise de Variância Univariada elaborada comparando as razões de carbono/nitrogênio no sedimento entre os fatores amostra e perfil.....	63
Tabela 18	Concentrações médias mercúrio total e desvios padrões dispostos por fator amostra e fator perfil de sedimento.....	64
Tabela 19	Análise de Variância Univariada elaborada comparando as concentrações de mercúrio total no sedimento entre os fatores amostra e perfil.....	66
Tabela 20	Análise de Correlação verificando a influência dos parâmetros porcentagem de matéria orgânica, porcentagem de carbono orgânico, porcentagem de nitrogênio total e razão carbono/nitrogênio com as concentrações de mercúrio total.....	67
Tabela 21	Intervalo de concentração de mercúrio total em sedimento na região Amazônica.....	68

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	11
1. INTRODUÇÃO	14
1.1 HISTÓRICO	14
1.2 O CICLO DO MERCÚRIO	15
1.3 A TOXICIDADE DO MERCÚRIO	16
1.4 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MADEIRA	18
1.5 ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA E INDIRETA DO APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO JIRAU – RIO MADEIRA	26
1.6 PALEONTOLOGIA	27
1.6.1 Depósitos Pleistocênicos – Formação rio Madeira	27
1.6.1.1 Perfil no Garimpo de Taquaras, Município de Porto Velho (AID).	28
1.6.1.2 Perfil no Garimpo de Araras, Município de Nova Mamoré	30
1.6.1.3 Perfil de poço escavado na região de Garimpo de Araras, Município de Nova Mamoré.....	31
1.6.1.4 Outros afloramentos Pleistocênicos da formação do rio Madeira	31
1.6.1.5 Depósitos fini-Pleistocênicos a Halocênicos – Formação Jaci-Paraná.....	32
1.7 RESOLUÇÃO Nº 344 - MATERIAL DRAGADO	33
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
2.1 FORMAÇÃO MUTUM-PARANÁ.....	37
2.2 FORMAÇÃO JACI-PARANÁ.....	38
3. OBJETIVOS	39
3.1 OBJETIVO GERAL	39

3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	39
4.	METODOLOGIA.....	40
4.1	ÁREA DE AMOSTRAGEM.....	40
4.2	ÁREA DE COLETA	41
4.3	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	41
4.4	ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO	42
4.5	TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA	43
4.6	CARBONO E NITROGÊNIO TOTAL.....	43
4.7	MERCÚRIO TOTAL	43
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1	UNIDADES GEOLÓGICAS DA MALHA DE AMOSTRAGEM	44
5.2	GRANULOMETRIA.....	48
5.3	ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO	50
5.4	MATÉRIA ORGÂNICA, CARBONO ORGÂNICO e NITROGÊNIO TOTAL	53
5.5	ESTOQUE DE MERCÚRIO TOTAL.....	64
6.	CONCLUSÃO.....	70
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1. INTRODUÇÃO

1.1 HISTÓRICO

A fascinação pelo mercúrio iniciou-se quando os homens pré-históricos descobriram o mineral cinábrio (HgS) e o utilizaram como pigmento (SKOOG *et al.*, 2006). As primeiras pesquisas foram feitas na antiguidade por Aristóteles no séc. IV a.C., que o descreveu como “prata líquida” e têm relatos históricos que as primeiras aplicações práticas foram feitas pelos romanos (MIRANDA, 2007). Atualmente o mercúrio possui ampla utilidade em diversas áreas, sobretudo em indústrias, na mineração, metalurgia, agricultura, medicina e odontologia.

Desde a antiguidade, a produção mundial de mercúrio, proporciona diferentes discussões em relação às suas aplicações práticas e o verdadeiro risco que este elemento apresenta para o ambiente. A emissão natural de mercúrio é devida a gaseificação da crosta terrestre, emissões vulcânicas e evaporação natural de corpos d’água. A mineração de ouro e prata, a extração de mercúrio, a queima de combustíveis fósseis e a fabricação de cimentos são exemplos de fontes antropogênicas de mercúrio (SOUZA *et al.*, 2000). Logo, o grande problema está relacionado ao aumento dessas emissões de forma descontrolada, provocando um sério problema de contaminação (**Figura 1**).

A região Norte do Brasil é a principal área de estudo em relação à contaminação por mercúrio, concentrando-se no território Amazônico devido à intensa exploração do garimpo presente na região. Contudo, o garimpo nos dias atuais é uma prática cada vez menos recorrente devido ao esgotamento das jazidas e o principal problema se concentra em anos de exploração e utilização do mercúrio metálico que forma amálgamas com outros metais. Além do garimpo, os solos na região Amazônica apresentam concentrações de mercúrio de origem natural, relativamente altas, o que contribui para o seu aporte no ambiente (ROULET & LUCOTTE, 1995; LECHLER *et al.*, 2000, BISNOTI *et al.*, 2007, 2004; FADINI *et al.*, 2001); o transporte atmosférico e a deposição de mercúrio de origem antrópica também são outras fontes (HACON *et al.*, 1995, 1997; LACERDA, 1995).

O desmatamento da Amazônia seguido dos diferentes usos do solo que vem ocorrendo desde o início da década de 1970, e agravada a partir do século XXI, também é apontado como uma das causas da remobilização do mercúrio seja de origem natural ou antrópica. A erosão e lixiviação do mercúrio presente nos solos e a sua reemissão para a atmosfera mantêm elevadas as suas concentrações no ecossistema amazônico, mesmo após a diminuição da atividade de garimpo de ouro (ALMEIDA *et al.*, 2005; CORDEIRO *et al.*, 2002; LACERDA,

1995; MICARONI *et al.*, 2000; MIRETZKY *et al.*, 2005). Outro fator que também favorece a mobilização do mercúrio é possivelmente a produção de metilmercúrio na Amazônia pela formação de grande lagos para geração de energia hidroelétrica, a qual via de regra resulta na inundação de extensas áreas florestadas (MALM *et al.*, 1998; KEHRIG *et al.*, 1998; PALERMO *et al.*, 2004 a,b; MIRETZKY *et al.*, 2005; BISNOTI *et al.*, 2004).

De acordo com MAGARELLI, 2006 a relação entre a atividade de mineração de ouro e as concentrações de mercúrio encontradas na biota da Amazônia ainda não é bem compreendida. Há necessidade de estudar áreas distantes das atividades de garimpo para a elucidação das possíveis contribuições naturais e antrópicas de mercúrio na Amazônia.

1.2 O CICLO DO MERCÚRIO

O mercúrio (Hg) é um elemento encontrado no ambiente na forma metálica, orgânica e inorgânica. A **Tabela 1** mostra a relação entre a forma química, as propriedades características e aplicações do mercúrio. Átomos deste elemento ocorrem em três estados de oxidação: Hg^0 que é a substância simples, e outras duas formas oxidadas, o mercurioso, Hg^+ , e o mercúrico, Hg^{+2} (SOUZA *et al.*, 2000). As diferentes formas do mercúrio são facilmente interconvertíveis na natureza. O mercúrio metálico, no estado de oxidação zero existe na forma líquida à temperatura ambiente, mas pode apresentar na forma de vapor de mercúrio que pode ser transportado em escala global, afetando áreas remotas naturais longe de fontes pontuais de contaminação (LACERDA *et al.*, 2008).

O vapor de mercúrio pode permanecer na atmosfera por meses e até anos contribuindo dessa forma para o ciclo do mercúrio. O Hg^0 é a forma mais distribuída no ambiente e esta pode sofrer oxidação, originando os outros estados: Hg^+ e Hg^{+2} (**Figura 1**). Na natureza o mercúrio sofre transformações envolvendo uma série de reações químicas; as diferentes combinações com outros elementos dão origem a compostos inorgânicos (sais mercuriosos e mercúricos) e orgânicos (metilmercúrio, etilmercúrio, fenilmercúrio, dimetilmercúrio).

Tabela 1 – Relação entre a forma química, propriedades características e aplicações do mercúrio (SALOMONS, 1984; BUENO, 1990).

Forma Química	Propriedades características	Aplicações
Metal	<ul style="list-style-type: none"> - líquido à temperatura ambiente, expansão volumétrica uniforme em amplo intervalo de temperatura, alta tensão superficial, não aderência a superfícies vítreas; - baixa resistência elétrica e alta condutividade térmica. - alto potencial de oxidação em relação ao hidrogênio. - facilidade de formação de amálgamas com outros metais. 	<ul style="list-style-type: none"> - aparelhos de medição de pressão e temperatura: termômetros, barômetros e manômetros. - materiais elétricos e eletrônicos, agentes resfriante. - operações eletroquímicas: indústrias de cloro e soda. - metalurgia, odontologia, processos extrativos (garimpo).
Compostos Orgânicos	Poder de assepsia por oxidação de matéria orgânica.	Inseticidas, bactericidas, fungicidas.
Compostos Inorgânicos	Alta estereoespecificidade	Catálise na indústria de polímeros sintéticos.

1.3 A TOXICIDADE DO MERCÚRIO

O mercúrio vem sendo estudado desde os grandes acidentes de contaminação ocorridos no Japão e no Iraque nas décadas de 50 e 60. Existem duas maneiras ao qual o mercúrio chega até o ser humano: a primeira, e a mais conhecida e está ligada ao ambiente de trabalho, como mineração e indústrias, geralmente associadas aos garimpos de ouro ou às fábricas de cloro-soda e de lâmpadas fluorescentes. Trata-se de uma contaminação pelas vias respiratórias. A segunda está relacionada à contaminação ambiental, por sua vez, provocada

pela dieta alimentar, comumente pela ingestão de peixes de água doce ou salgada e afeta diretamente a corrente sanguínea (SOUZA *et al*, 2000).

As populações ribeirinhas da Bacia Amazônica são dependentes do consumo de peixe para o seu sustento (SOUZA *et al*, 2000). O estudo com peixes é importante quando se trata de um ecossistema aquático porque estes organismos apresentam diferentes hábitos alimentares e de vida e ocupam diferentes nichos (KASPER *et al*, 2007). Observa-se que os peixes carnívoros são as principais via de exposição do metilmercúrio a população. O dado é explicado a partir da capacidade que o mercúrio tem de bioacumular e também de se biomagnificar ao longo das cadeias alimentares. Os estudos feitos por SVOBODOVÁ *et al*. (1999) mostram que as diferenças na bioacumulação também podem estar relacionadas às diferentes necessidades nutricionais dos distintos estágios de vida dos organismos, ou seja, a idade, o peso e o comprimento dos peixes influenciam nas concentrações de mercúrio.

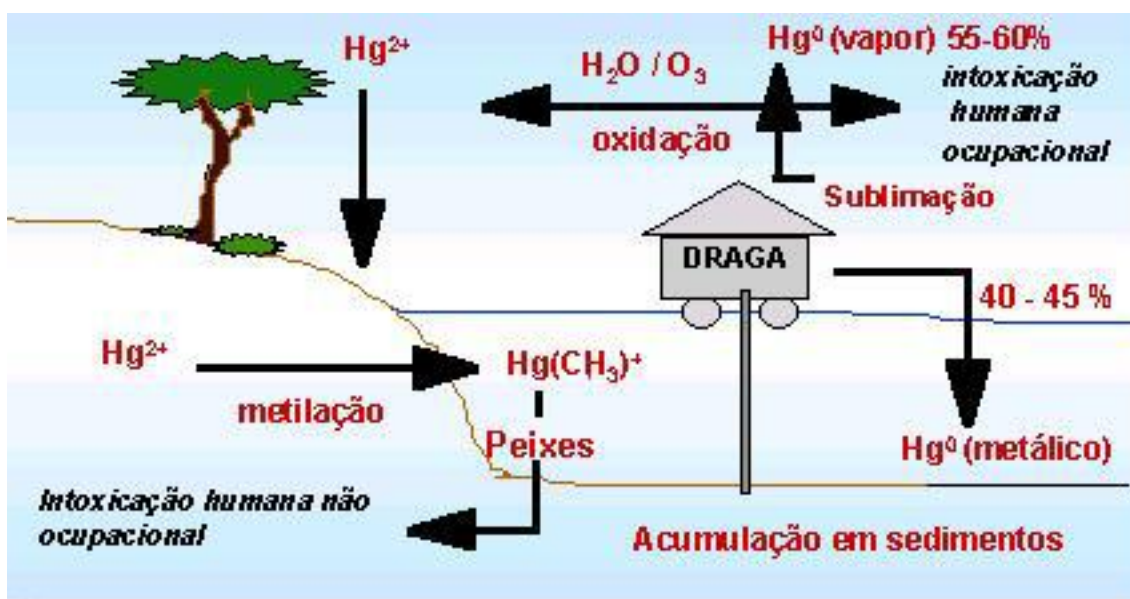


Figura 1 – Ciclo do mercúrio no ambiente. Fonte: Adaptado de Yallouz (1997).

O mercúrio penetra no organismo e se deposita nos tecidos, causando lesões graves, principalmente nos rins, fígado, aparelho digestório e sistema nervoso central (SOUZA *et al*, 2000). Os maiores riscos para a saúde humana surgem dos efeitos neurotóxicos do mercúrio em adultos e sua toxicidade para o feto, se as mulheres são expostas ao metilmercúrio durante a gravidez (FAVANO, 1998).

No corpo, a meia vida do mercúrio é, em média, de 60 dias, enquanto no sistema nervoso central, ultrapassa um ano e não há provas de que seja totalmente eliminado do organismo. É eliminado principalmente através da urina e fezes, além da saliva, suor e ar expirado (OIKAWA *et al*, 2007). Os índices bioquímicos da toxicidade do mercúrio são limitados às medidas de mercúrio em líquido e tecidos corpóreos e à monitoração da sua relação com sinais clínicos (FAVANO, 1998). A Amazônia apresenta um agravante relacionado à identificação dos sintomas da contaminação por metilmercúrio, pois nesta localidade residem populações expostas a outras moléstias comuns nas populações expostas ao mercúrio, como a malária ou o alcoolismo, que apresentam sintomas similares (WASSERMAN *et al*, 2001).

1.4 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MADEIRA

O rio Madeira tem uma extensão total de aproximadamente 3.240 km, dos quais cerca de 1.425 km em território brasileiro. Com relação ao padrão de orientação, a princípio seu eixo hidrográfico está alinhado segundo a direção norte/sul, inflectindo bruscamente para nordeste ao receber as águas do rio Abunã, seguindo essa direção até a sua foz, no rio Amazonas (**Figura 2**). Estas diferentes direções estão condicionadas às orientações tectônicas e foram aproveitadas pelo rio para abrir sua calha. Em seu trecho com direção nordeste, o divisor de água entre a bacia do rio Madeira e outras bacias hidrográficas que compõem a rede de drenagem da área (rio Ituxi) se posiciona muito próximo e paralelo ao Madeira, de modo que este apresenta afluentes expressivos apenas na margem direita, fato que define na sua bacia, a assimetria verificada nas bacias de outros grandes rios amazônicos (**Figura 3**).

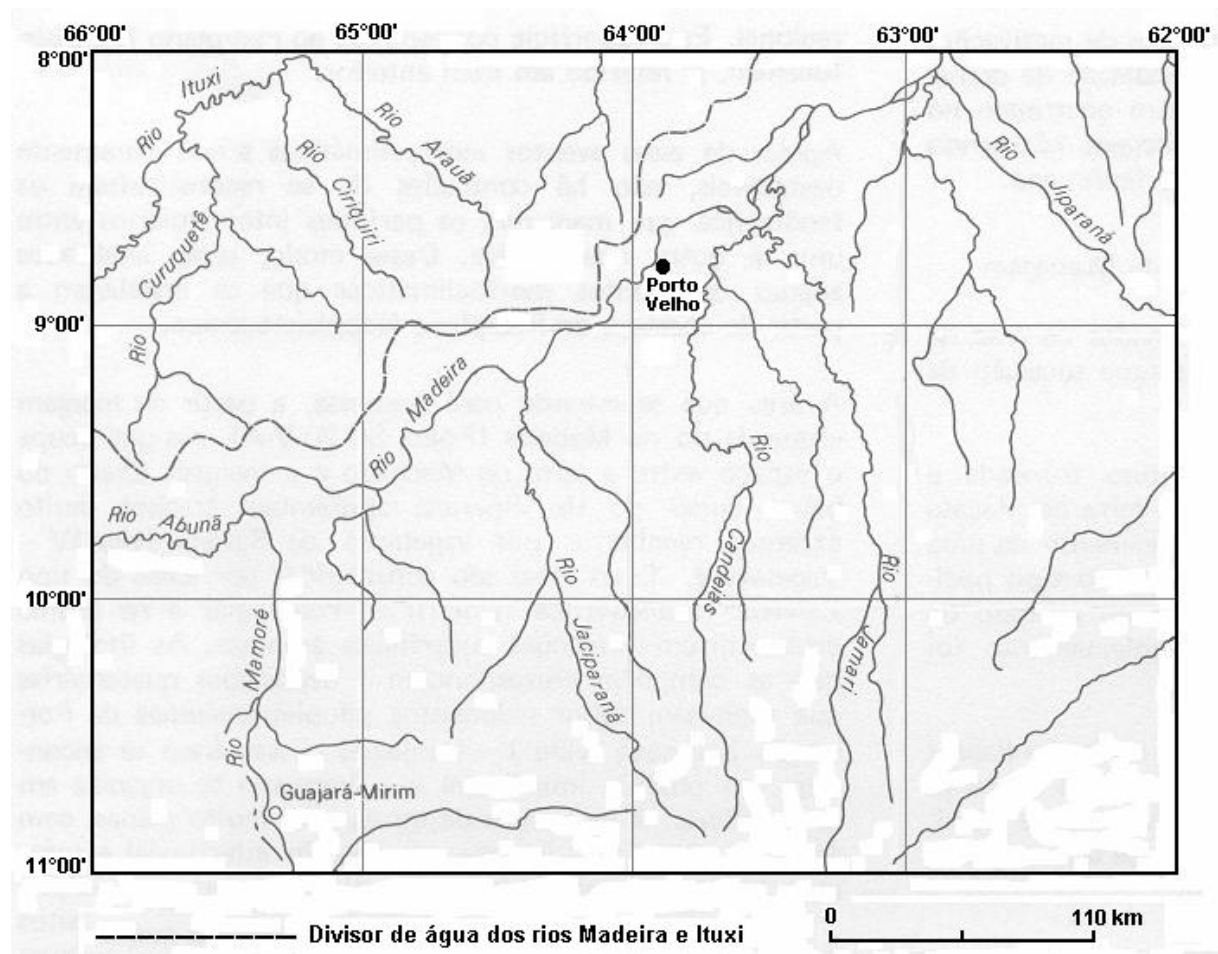


Figura 2 – Assimetria da Bacia do Rio Madeira. Fonte: Adaptado do Estudo de Impacto Ambiental – Aproveitamentos hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – Rio Madeira/Rondônia – Tomo A volume 1 (A) (2005).

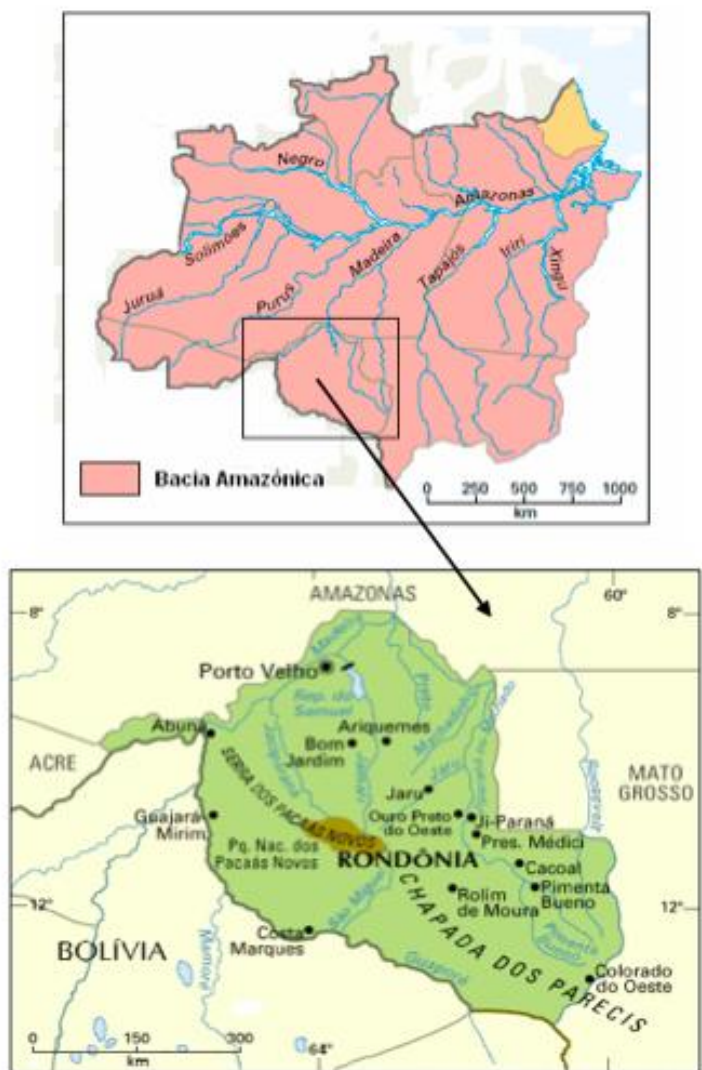


Figura 3 – Mapa esquemático mostrando a região de estudo. Fonte: Adaptado do Estudo de Impacto Ambiental – Aproveitamentos hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – Rio Madeira/Rondônia – Tomo A volume 1 (A) (2005).

Em território rondoniense, os afluentes principais pela margem direita são os rios Ribeirão, Castanho, Mutum-Paraná, Jaci-Paraná, São Francisco, Caracol, Candeias, Jamari e Jiparaná, além dos igarapés das Araras, Mururé e Cirilo. Dentre os afluentes do rio Madeira pela margem esquerda, destaca-se apenas o rio Abunã; os outros são curtos e pouco significativos (rios Ferreiros, São Lourenço e Aponiã, bem como os igarapés São Simão, Maparaná e Cuniã).

A bacia hidrográfica do rio Madeira, ou vale do Madeira, tem uma área total de aproximadamente 1,47 milhões de km², representando cerca de 23% da Bacia Amazônica, sendo aproximadamente o dobro do tamanho de qualquer outra bacia tributária, e abrange parcialmente os territórios da Bolívia (40%), Brasil (50%) e do Peru (10%). Em território

brasileiro, estende-se pelos Estados de Mato Grosso, Rondônia, Acre e Amazonas, sendo delimitado a leste pela bacia do rio Tapajós e a oeste pela bacia do rio Purus, ambos afluentes do rio Amazonas (**Figura 4** e **Figura 5**). A bacia do Madeira é geologicamente e geograficamente complexa, porque além de ser um rio extenso, suas cabeceiras têm origem nos flancos altamente erosivos dos Andes, no Escudo brasileiro desnudado e antigo e nas terras baixas do Terciário cobertas por florestas, ou seja, nos três principais tipos de áreas de drenagem da Bacia Amazônica (**Figura 5** e **Figura 6**). Portanto, a água flui através de zonas de relevo, litologia, clima e vegetação variada, que determinam características hidrológicas e hidroquímicas diversificadas. Contudo, é a primeira das três áreas de drenagem que controla a hidroquímica do rio Madeira (EIA – Estudo de Impacto Ambiental - Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – Rio Madeira-RO, 2005).

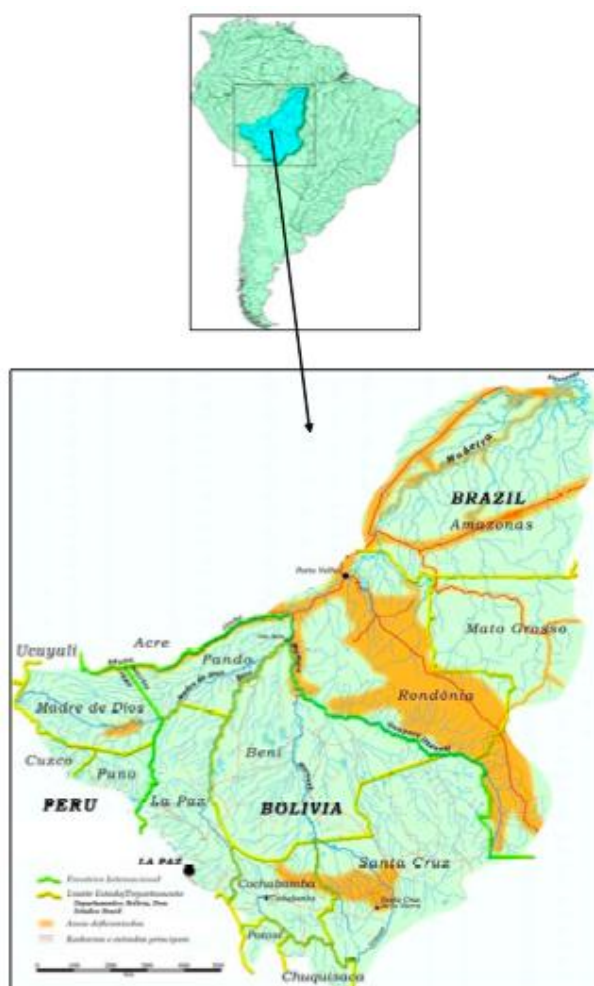


Figura 4 – Mapa esquemático mostrando a localização e dimensão da bacia de drenagem do rio Madeira. Fonte: Adaptado do Estudo de Impacto Ambiental – Aproveitamentos hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – Rio Madeira/Rondônia – Tomo A volume 1 (A) (2005).

A captação de água da bacia do rio Madeira pode ser considerada atípica em relação às demais bacias hidrográficas da Amazônia. Seus afluentes são de pequena importância quanto à descarga hídrica, constituindo apenas 25% do total do volume de água do Madeira. Por essa razão, o regime hídrico é discordante com o sistema Solimões/Amazonas, estando o regime de cheia e vazante relacionado com o clima da região Andina do leste da Bolívia. Seu regime hidrológico é caracterizado por um período de águas baixas, de Julho a Outubro, e um período de águas altas, de Fevereiro a Maio. As vazões mínimas do ano ocorrem com maior frequência em setembro, enquanto que as máximas verificam-se nos meses de Março e Abril. Esse comportamento sazonal da bacia do Madeira é coincidente com o de outras bacias da Região Norte (Figura 6). A flutuação média anual da água do rio varia no intervalo de 10,8 a 12,4 metros. A variação entre o pico de água alta e água baixa é de aproximadamente 15,4 a 21,8 metros (GOULDING *et al.*, 2003).

De acordo com seu perfil longitudinal, o rio Madeira apresenta características predominantes de rios de planalto e de planície. No seu alto curso, que se estende da confluência dos rios Beni e Mamoré até as proximidades da cidade de Porto Velho (cerca de 60 km), o rio corta litologias pré-cambrianas da Encosta Setentrional do Planalto Brasileiro; por essa razão, apresenta uma geomorfologia condizente com rios de planalto, como alta declividade e um relevo rico em corredeiras, lajeados e cachoeiras. No trecho em questão, entre Abunã e Porto Velho, o Madeira percorre cerca de 300 km e apresenta um desnível em torno de 39 metros, que corresponde a um gradiente médio da ordem de 13 cm/km. Para efeito de comparação, o rio Amazonas percorre cerca de 1.500 km de Manaus à sua foz, no oceano Atlântico, com um desnível total de 15 metros e um gradiente médio de aproximadamente 1cm/km.

O Alto Madeira (acima da comunidade de Vila Bella) não apresenta condições de navegabilidade por causa do elevado número de cachoeiras e corredeiras que marca pequenas rupturas de declive ao longo do seu leito em consequência do afloramento de rochas cristalinas. São 18 ao todo, das quais se destacam as cachoeiras de Pederneira, Paredão, Três Irmãos, Jirau, Caldeirão do Inferno, Morrinhos, Teotônio e Santo Antônio.

No trecho restante, a partir da cachoeira de Santo Antônio (7 km a montante de Porto Velho) até sua foz, no rio Amazonas (cerca de 1040 km), que corresponde ao seu curso médio-baixo, o rio Madeira apresenta-se como um típico rio de planície. Nesse trecho, o rio drena áreas de sedimentos terciários da Formação Solimões, apresenta largura média de 1.000 m e gradiente médio da ordem de 1,7 cm/km. Em seu curso planiciário, o Madeira apresenta

boas condições de navegabilidade devido à ausência de cachoeiras e corredeiras. Contudo, por ser considerado um rio novo (sob o ponto de vista geológico), ou seja, em fase de busca do seu leito definitivo, é comum a alteração do canal de navegação a cada ciclo hidrológico (EIA – Estudo de Impacto Ambiental - Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – rio Madeira-RO, 2005).

O volume de água do Madeira é elevado, sua descarga anual média foi estimada em 29.000 m³/s na foz, com valores máximos de 40.000 m³/s na cheia e mínimos de 4.000 m³/s na vazante (MARTINELLI *et al.*, 1988). Dentre os afluentes amazônicos, é o maior tributário em termos da descarga de água, contribuindo com aproximadamente 15% da descarga líquida total do rio Amazonas (MARTINELLI *et al.*, 1988) (**Figura 7**). De fato, por sua extensão e caudal, o rio Madeira constitui o segundo maior sistema de água branca da Amazônia, situando-se atrás do rio Solimões-Amazonas.

O rio Madeira caracteriza por intensos gradientes que podem ser de natureza hidrológica (oscilação do regime fluvial), tectônica/geomorfológica (alteração do canal fluvial), hidráulica (poder energético da massa de água) e de transporte de sedimentos (BERNARDI *et al.*, 2009). As oscilações fluviais influenciam em algumas variações ocorrentes no complexo das bacias hidrográficas do Amazonas. A divisão das águas amazônicas em brancas, pretas e claras (SIOLI, 1950) *apud* MARTINELLI (1986), baseia-se principalmente nas características ópticas, associadas às características químicas dos rios e sua área predominante de ocorrência. As águas brancas têm menor penetração e maior refletância da luz incidente, observando o inverso para as águas pretas e claras (MUNTZ, 1978). A menor penetração de luz nas águas brancas deve-se essencialmente a grande quantidade de sedimentos por elas carreada. Adicionalmente, mecanismos de retro espalhamento (dispersão) da luz incidente pelas partículas em suspensão, induzem a maior refletância, aumentando a atenuação da luz com a profundidade (KIRK, 1980). Nas águas pretas, o principal fator que restringe a visibilidade é a cor devida à grande presença de substâncias húmicas dissolvidas; (OLIVEIRA *et al.*, 2007; BISNOTI *et al.*, 2007) contudo, em consequência dos baixos teores de matéria em suspensão, a refletância é mínima e a atenuação da luz menor. As águas claras são bastante transparentes, devido essencialmente aos baixos teores de material orgânico dissolvido e em suspensão (baixa refletância).



Figura 5 – Mapa esquemático mostrando a localização dos principais tributários do rio Madeira. Fonte: Adaptado do Estudo de Impacto Ambiental – Aproveitamentos hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – Rio Madeira/Rondônia – Tomo A volume 1 (A) (2005).

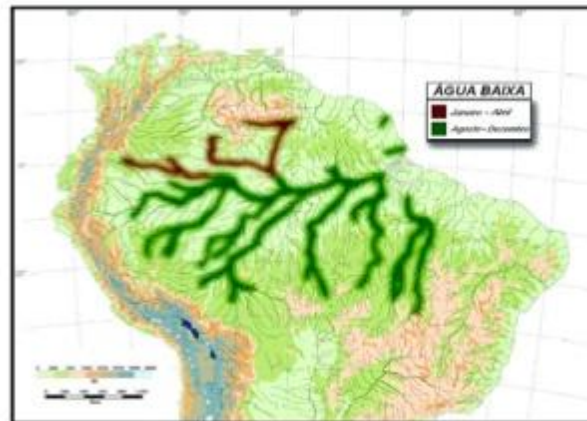


Figura 6 – Mapa esquemático mostrando as diferenças nos períodos de água alta e água baixa na Bacia Amazônica. Fonte: Adaptado do Estudo de Impacto Ambiental – Aproveitamentos hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – Rio Madeira/Rondônia – Tomo A volume 1 (A) (2005).

Figura 7 – Mapa esquemático mostrando a descarga relativa e o fluxo de sedimentos do rio Madeira para o sistema Solimões/Amazonas. Fonte: Adaptado do Estudo de Impacto Ambiental – Aproveitamentos hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – Rio Madeira/Rondônia – Tomo A volume 1 (A) (2005).

O Madeira é um rio extremamente barrento durante a maior parte do ano, sendo sua carga de sedimentos transportados estimada entre 500 e 600 milhões de toneladas/ano na foz (MARTINELLI *et al.*, 1988), constituindo-se no principal contribuinte (>50%) da carga de sedimentos transportada pelo rio Amazonas (**Figura 7**). No âmbito de seus formadores, o rio Beni e seu principal tributário, o rio Madre de Dios, são os principais controladores da geoquímica do rio Madeira, pois entregam as cargas de sedimentos mais pesadas (40.000 a 300.000 toneladas/dia), seguido pelo rio Mamoré (20.000 a 30.000 toneladas/dia). O rio Guaporé, caracterizado como um rio de água clara por drenar a porção sul do Escudo Brasileiro e as terras baixas bolivianas (leste), não apresenta elevada carga de material em suspensão; portanto, perfaz a menor contribuição (53 a 161 toneladas/dia) (DE PAULA, 1990).

O rio Madeira carrega de 50 a 68 mg/L de sais dissolvidos e 15 a 359 mg/L de material sólido em suspensão. Essa carga de material em suspensão é principalmente originária da região Andina da bacia e está entre as mais elevadas dos rios amazônicos (GIBBS, 1967). Quanto à carga dissolvida, representa cerca de 27% da carga total, e sua concentração é sempre maior na época seca, pois, na época chuvosa, há diluição frente ao aumento do volume de água. Quanto à carga em suspensão, é quase sempre maior na época chuvosa. A carga do leito, considerada pelo autor como a transportada até a distância de 50 cm do fundo, representa parcela muito reduzida do total da carga sólida transportada, com porcentagem sempre inferior a 10% (GIBBS, 1967).

1.5 ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA E INDIRETA DO APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO JIRAU – RIO MADEIRA

A área de influência de um empreendimento hidrelétrico corresponde aos limites da área geográfica a ser direta e indiretamente afetada pelos impactos por ele provocados. Para a Área de Influência Direta – AID, no caso dos aproveitamentos hidrelétricos do rio Madeira, para os meios físicos e bióticos, deverá ser considerada a área de inundação do reservatório na sua cota máxima acrescida da área de preservação permanente em projeção horizontal, bem como outras áreas contínuas de relevante importância ecológica.

Quanto à Área de Influência Indireta – AII considera que para os meios físicos e bióticos, deverá ser considerada a bacia hidrográfica do rio Madeira, e para o meio socioeconômico será compreendido o município de Porto Velho e os pólos municipais de

atração à região, bem como aqueles que vivem de atividades pesqueiras e turísticas, ligadas aos recursos hídricos.

1.6 PALEONTOLOGIA

Os estudos de Paleontologia desenvolvidos para os aproveitamentos Jirau e Santo Antônio foram desenvolvidos de forma contínua, considerando todo o conjunto da área abrangida por esses dois empreendimentos e integrando levantamentos feitos na AII e AID, (EIA – Estudo de Impacto Ambiental - Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – rio Madeira-RO, 2005).

1.6.1 Depósitos Pleistocênicos – Formação rio Madeira

Os mais antigos depósitos quaternários, considerados totalmente pleistocênicos, predominam no trecho Ribeirão-Abunã-Jirau e na sub-bacia do Jaci-Paraná. Estes aparecem como continuação dos observados nos garimpos de Araras e Taquaras.

Ao longo do trecho das AID de Santo Antônio e Jirau, observa-se um tipo de depósito sedimentar de referencial ao intervalo Pleistoceno-Holoceno. Este pode ser reconhecido tanto por sua estrutura quanto pela distribuição geográfica dos afloramentos.

Sedimentologicamente caracteriza-se por uma granulometria grossa, de conglomerados (geralmente basais) até areias grossas a médias, frequentemente com estratificação cruzada. A posição estratigráfica desses níveis chega até os 20 m acima do nível do rio no nível de cheia e são interpretados como pertencentes a um antigo terraço (EIA – Estudo de Impacto Ambiental - Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – rio Madeira-RO, 2005).

A semelhança dos afloramentos observados ao longo das margens do rio Madeira com os depósitos portadores de fósseis de vertebrados dos garimpos de Araras e Taquaras sugere que estes depósitos seriam correlacionáveis com os depósitos fossilíferos do alto rio Juruá, no Estado do Acre (LATRUBESSE & RANCY, 1998). ADAMY & ROMANINI (1990) incluíram estes depósitos, na Formação Jaci-Paraná. Recentemente RIZZOTTO & OLIVEIRA (2004) subdividiram esta unidade, reconhecendo a formação rio Madeira para os depósitos aqui descritos, reservando a denominação de “Formação Jaci-Paraná” para

sedimentos mais finos, temporalmente mais recentes e representativos de um paleoambiente diferente, que predominam a jusante da cachoeira do Jirau.

Em termos paleoambientais, este tipo de depósito é interpretado como originado em um ambiente de alta energia, com regime climático similar ao atual monzônico, com uma estação chuvosa curta, muito concentrada no tempo, e com chuvas torrenciais, que lavaram os sedimentos mais finos, deixando apenas aqueles de maior granulometria. O período de estiagem (seca) deve ter sido mais extenso e mais severo, com um déficit hídrico mais marcado.

Pela posição topográfica e pela extensão dos afloramentos (terraços relativamente altos, que se encontram muito afastados da faixa principal do rio e ao longo dos tributários e igarapés), pode inferir-se que o rio que corria por onde hoje o faz o Madeira tinha uma planície de inundação maior, não correria encaixado, como o Madeira no presente e teria um regime hidráulico significativamente diferente do atual (EIA – Estudo de Impacto Ambiental - Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – rio Madeira-RO, 2005).

A fauna extraída desses depósitos é considerada correspondente com a fauna de idade Lujanense, por correlação com a associação das faunas da região central da Argentina que serviram como base para estabelecer a SALMA (South American Land Mammage Age) Lujanense. Esta idade estende-se no Pleistoceno superior e na base do Holoceno. Correlações com as faunas do alto rio Juruá indicam maiores afinidades com estas (NASCIMENTO *et al.*, 2004). As datações disponíveis para aqueles níveis do estado do Acre indicam uma idade de 35.000-30.000 aaP – anos antes do Presente (LATRUBESSE & RANCY, 1998).

1.6.1.1 Perfil no Garimpo de Taquaras, Município de Porto Velho (AID).

A sequência aflorante no garimpo de Taquara, trata-se de sedimentos fluviais de aproximadamente 20 m de espessura, apoiados sobre saprólito desenvolvido sobre rochas do embasamento cristalino. Abaixo se descreve a sequência fluvial da base ao topo.

a) Unidade Basal: corresponde a rochas do embasamento cristalino meteorizadas e convertidas em saprólito;

b) Mucururu: espessura 40 cm.

Este pacote representa o principal nível conglomérático, fossilífero e aurífero da região. Trata-se de areias congloméricas com clastos de quartzo de até 3 cm. Apoiar-se sobre

saprólito em parte lixiviado desenvolvido sobre o embasamento cristalino, que os garimpeiros descrevem como “areias brancas saturadas de água”;

c) UNIDADE A: Espessura aproximada 80 cm.

Trata-se de conjunto de sedimentos arenosos desenvolvido sobre o nível basal. Está formado por areias conglomeráticas endurecidas formadas fundamentalmente por intraclastos argilosos e secundariamente clastos isolados de quartzo, possíveis restos vegetais, galhos e troncos. Em parte trata-se simplesmente de areias, em parte areias conglomeráticas/conglomerados. Essa unidade apresenta pseudo-estruturas de raízes que foram formadas pela substituição de galhos vegetais por óxidos de ferro. Intercalados nos sedimentos mais grosseiros, encontram-se sedimentos finos com presença de material orgânico tais como folhas e lenho. A unidade A tem uma base arenosa de sedimentos finos com lentes siltoargilosos e um topo conglomerado arenoso de aproximadamente 40 cm de espessura. A cor característica da unidade é pardo-laranja e pardo-amarelado, indicando forte oxidação e endurecimento;

d) UNIDADE B: Espessura aproximada 3,45 m.

Sequência arenosa típica de fácies de canal arenoso. A base está um pouco encoberta por material deslizado com espessura de 1,40 m. O pacote sedimentar da unidade B caracteriza-se por estratos de areias com estratificação cruzada planar formada por dunas fluviais de grande porte e pela existência de duas lâminas de 4 a 5 cm de espessura de argila pardo-laranjas que indica área de interdunas.

A sequência continua com argilas arenosas cinza-escuro (cinza-chumbo) com estratos potentes com estratificação cruzada planar e superfícies de ondulações montadas sobre o dorso das dunas, indicando sucessivas superfícies de reativação dando ao pacote uma morfologia de estruturas canaliformes. Lateralmente observam-se grandes camadas de 1,4 m de espessura com estrutura cruzada planar, o que indica grandes dunas arenosas que migravam pelo fundo do canal.

Na Unidade A as dunas têm grande quantidade de matéria orgânica com galhos de plantas e folhas incluídas na estrutura do sedimento, especificamente nas camadas oblíquas da estrutura cruzada planar.

Nesta unidade foram feitas medições de paleocorrentes nas estruturas cruzadas dos conjuntos arenosos. Curiosamente, os sedimentos mostram a tendência de deposição na

orientação aproximada do sudeste e tendência do canal ao leste.

e) UNIDADE C: Espessura 4,1 a 4,9 m

O topo da Unidade B encontra-se aproximadamente a 4,1 m da base do perfil, onde começa uma mudança notável na coloração dos sedimentos que se fazem colorados, com tons ocre-laranjas. O final da Unidade A é marcada por brusco contraste ao iniciar nova sequência formada por e argilas muito plásticas, argilas arenosas e areias muito finas, com laminação muito delicada, de cores variadas e presença de estruturas convolutas. A matéria orgânica está presente, mas oxidada, com moldes de troncos remarcados pela substituição dos mesmos por óxidos de ferro.

f) UNIDADE D: Espessura 5,8 m.

Em sequência contínua sobre a Unidade B, encontra-se a Unidade D, formada por sedimentos de inundação com 5,6 a 5,8 m de espessura. Esta unidade é formada por argilas lacustres laminadas com pequenas intercalações de ondulações de areias siltosas. As cores são pardolaranjas a amareladas, intercaladas com lâminas cinza-esverdeadas. Lateralmente, encontram-se argilas cinzas na base.

Os sedimentos encontram-se bastante sujos e cobertos, mas pode ser inferido que aumenta o mosqueado dos sedimentos na direção do topo, assim como a quantidade de silte, visto que se observam siltes pardo-esbranquiçados a cinza claro.

g) UNIDADE E: Espessura 5,5 m.

Sobre a Unidade D e em contato transicional, continua a Unidade E, formada por sedimentos finos, silte-argilosos, pardo cinzas, maciços com mosqueado vermelho e muita bioturbação, depositados em ambientes típicos de planície de inundação (EIA – Estudo de Impacto Ambiental - Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – rio Madeira-RO, 2005).

1.6.1.2 Perfil no Garimpo de Araras, Município de Nova Mamoré

Do topo a base:

- 0,4 m de seixos formando um conglomerado feruginizado, endurecido, pardo avermelhado pela presença dos óxidos.

- 0,5 m de “Mucururú”, sedimentos fluviais endurecidos com óxidos de ferro, principalmente areias e conglomerados finos.
- 3,7 m de areias pardo amareladas com estruturas cruzadas em SP e bancos de ripples de 0,2 a 0,3 m de espessura.
- 1,7 m de areias finas cinza escuras com matéria orgânica disseminada e presença de restos de folhas e pequenos galhos.
- 2,5 m de areias friáveis pardo amareladas, em bancos de 0,3 a 0,6 m de espessura com estratificação cruzada planar (SP).
- 1,85 m de areias pardo-amareladas com estrutura cruzada planar (SP) em estratos de 0,2 a 0,5 m de espessura.
- 0,4 m de areias médias pardo-avermelhadas, com estrutura cruzada planar (SP).
- 0,3 m de argilas cinzas escuras maciças, plásticas em úmido.
- 0,3 m de areias finas, pardo-laranjas, com ripples e estrutura plano paralela.
- 0,8 m de areias siltosas e siltes arenosos pardo-amarelados, endurecidas, formando um banco com estrutura cruzada planar (SP).
- 3,0 m de argilas maciças endurecidas, cinzas com mosqueado pardo avermelhado (EIA – Estudo de Impacto Ambiental - Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – rio Madeira-RO, 2005).

1.6.1.3 Perfil de poço escavado na região de Garimpo de Araras, Município de Nova Mamoré

O perfil refere-se ao poço perfurado de 2,4 m sobre a margem leste da estrada na localidade de Araras, integrado com um afloramento de 2 m de sedimentos aflorantes, perfazendo um total de 4,4 m.

Da base ao topo o perfil consta de:

Crosta ferruginosa na base (provavelmente desenvolvida no contato do aluvião com rochas do embasamento) e 4,4 m de sedimentos finos e maciços, cinza-esverdeados com mosqueado pardo-avermelhado, depositados em ambiente de planície de inundação (EIA – Estudo de Impacto Ambiental - Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – rio Madeira-RO, 2005).

1.6.1.4 Outros afloramentos Pleistocênicos da formação do rio Madeira

Ao longo do rio Madeira, a jusante do Garimpo de Taquara até Jirau e ainda ao longo do rio Jaci-Paraná, afloram sedimentos. Os perfis correspondentes aos pontos Madeira 1 e 2 e Jaci 1 e 4 pertencem a esse grupo (EIA – Estudo de Impacto Ambiental - Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – rio Madeira-RO, 2005).

1.6.1.5 Depósitos fini-Pleistocênicos a Halocênicos – Formação Jaci-Paraná

Entre os eixos dos AHEs Jirau e Santo Antônio, os afloramentos predominantes correspondem aos sedimentos mais finos, dominados por areias finas, siltes e argilas. A matéria orgânica, nesses depósitos é localmente abundante, mas não frequente.

Pela sua estrutura e composição sedimentar assemelham-se aos depósitos nos níveis superiores dos garimpos de Araras e Taquaras. É semelhante também ao terraço inferior do alto rio Juruá-Acre (LATRUBESSE & RANCY, 1998). Estes afloramentos são incluídos na formação Jaci-Paraná por ADAMY & ROMANINI (1990) e por RIZZOTTO & OLIVEIRA (2004). Em termos sedimentológicos (em particular da granulometria), estes depósitos são similares aos atuais localizados no rio Madeira. Algumas características indicam diferenças entre o regime hídrico do rio que os depositou e o atual.

Particularmente é interessante observar que muitos dos depósitos destes níveis correspondem aos cursos ou lagos marginais ou inclusive com lagos do tipo “ox-bow”, ou meandros abandonados, tipo de comportamento que o rio Madeira não apresenta nesta área, hoje em dia.

Poderia inferir-se assim que, a partir desse momento, o rio teria começado a adquirir a sua estrutura e seu comportamento atual, mas ainda não ocorreria encaixado como no presente.

A correlação destes níveis com os mencionados no rio Juruá, assim como a marcada mudança na granulometria dos depósitos, sugere que a idade destes sedimentos poderia estar entre 15.000 e 8.000 aaP, ou seja, coincidindo com o fim do Último Máximo Glacial (Last Glacial Maximum-LGM), datado entre 20.000 e 15.000 aaP (LATRUBESSE & RANCY, 1998).

Aparentemente, essa mudança na sedimentação é um fenômeno que se repete a nível regional na Amazônia como um todo. Nestes níveis não foram recuperados restos de vertebrados fósseis, mas restos vegetais, particularmente troncos e folhas, os primeiros, inclusive, em posição de vida não são incomuns.

1.7 RESOLUÇÃO Nº 344 - MATERIAL DRAGADO

O artigo 3º da Resolução Nº 344, de 25 de março de 2004, apresenta a classificação do material a ser dragado, são definidos critérios de qualidade, a partir de dois níveis, conforme a coleta de amostras de sedimentos que consiste em caracterizar a seção horizontal e vertical da área de dragagem, a partir de coleta de amostras de sedimentos que representem os materiais a serem dragados. A distribuição espacial das amostras de sedimento deve ser representativa da dimensão da área e do volume a ser dragado. As profundidades das coletas das amostras devem ser representativas do perfil (cota) a ser dragado. A **Tabela 2** fornece o número de estações de coleta a serem estabelecidas. O outro procedimento utilizado são as análises laboratoriais, as quais consistem em um programa de investigação laboratorial (ensaios) do material a ser dragado que deverá ser desenvolvido em três etapas, respectivamente: caracterização física, química e ecotoxicológica.

I - Nível 1: limiar abaixo do qual se prevê baixa probabilidade de efeitos adversos à biota;

II - Nível 2: limiar acima do qual se prevê um provável efeito adverso à biota.

§ 1º Os critérios de qualidade fundamentam-se na comparação dos resultados da caracterização do material a ser dragado, com os valores orientadores previstos na **Tabela 4** do anexo desta Resolução, a fim de orientar o gerenciamento da disposição do material dragado no procedimento de licenciamento ambiental.

§ 2º É dispensado de classificação previa o material oriundo de dragagens realizadas para atendimento a casos de emergência ou calamidade pública, decretadas oficialmente.

§ 3º É dispensado de classificação para disposição em águas marítimas, o material a ser dragado no mar, em estuários e em baías com volume dragado igual ou inferior a 100.000 m³, desde que todas as amostras coletadas apresentem porcentagem de areia igual ou superior a 90%.

§ 4º É dispensado de classificação para disposição em águas jurisdicionais brasileiras, o material a ser dragado em rios ou em lagoas com volume dragado igual ou inferior a 10.000 m³, desde que todas as amostras coletadas apresentem porcentagem de areia igual ou superior a 90%.

Tabela 2 – Número mínimo de amostras para a caracterização de sedimentos*

Volume a ser dragado (m ³)	Número de amostras**
--	----------------------

Até 25.000	3
Entre 25.000 e 100.000	4 a 6
Entre 100.000 e 500.000	7 a 15
Entre 500.000 e 2.000.000	16 a 30
Acima de 2.000.000	10 extras por 1 milhão de m ³

*Referência: The Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic ("OSPAR Convention") was opened for signature at the Ministerial Meeting of the Oslo and Paris Commissions in Paris on 22 September 1992.

** O número de amostras poderá variar em função das características ambientais da área a ser dragada;

As características físicas básicas incluem a quantidade de material a ser dragados, a distribuição granulométrica e o peso específico dos sólidos na **Tabela 3**. A caracterização química deve determinar as concentrações de poluentes no sedimento, na fração total. O detalhamento dar-se-á de acordo com as fontes de poluição preexistentes na área do empreendimento e será determinado pelo órgão ambiental competente, de acordo com os níveis de classificação do material a ser dragado, previstos na **Tabela 4**.

Tabela 3 – Número mínimo de amostras para a caracterização de sedimentos (Escala granulométrica Wentworth, 1922).

Classificação	Phi ()*	(mm)
Areia muito grossa	-1 a 0	2 a 1
Areia grossa	0 a 1	1 a 0,5
Areia média	1 a 2	0,5 a 0,25
Areia fina	2 a 3	0,25 a 0,125
Areia muito fina	3 a 4	0,125 a 0,062
Silte	4 a 8	0,062 a 0,00394
Argila	8 a 12	0,00394 a 0,0002

*Phi () corresponde a unidade de medida do diâmetro da partícula do sedimento, cuja equivalência em milímetro (mm) é apresentada na coluna 3 da **Tabela 3**.

Tabela 4 – Níveis de classificação do material a ser dragado (Adaptado do Anexo da Resolução N° 344, de 25 de março de 2004**).

POLUENTES		NÍVEIS DE CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL A SER DRAGADO (em unidade de material seco)			
		ÁGUA DOCE		ÁGUA SALINA SALOBRA	
		NÍVEL 1	NÍVEL 2	NÍVEL 1	NÍVEL 2
Metais pesados e arsênio (mg/Kg)	Arsênio (As)	5,9 ¹	17 ¹	8,2 ²	70 ²
	Cádmio (Cd)	0,6 ¹	3,5 ¹	1,2 ²	9,6 ²
	Chumbo (Pb)	35 ¹	91,3 ¹	46,7 ²	218 ²
	Cobre (Cu)	35,7 ¹	197 ¹	34 ²	270 ²
	Cromo (Cr)	37,3 ¹	90 ¹	81 ²	370 ²
	Mercúrio (Hg)	0,17 ¹	0,486 ¹	0,15 ²	0,71 ²
	Níquel (Ni)	18 ³	35,9 ³	20,9 ²	51,6 ²
	Zinco (Zn)	123 ¹	315 ¹	150 ²	410 ²

Os valores orientadores, adotados na, tem com **Tabela 4 referência as seguintes publicações oficiais canadenses e norte-americanas:

1 ENVIRONMENTAL CANADA. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canadian Environmental Quality Guidelines - Summary Tables. <<http://www.ec.gc.ca>>, atualizado em 2002.

2 Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L. & Calder F.D. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environmental Management 19 (1): 81-97.

3 FDEP (1994). Approach to the Assessment of Sediment Quality in Florida Coastal Waters. Vol. I. Development and Evaluation of Sediment Quality Assessment Guidelines. Prepared for Florida Department of Environmental Protection - FDEP, Office of Water Policy, Tallahassee, FL, by MacDonald Environmental Sciences Ltd., Ladysmith, British Columbia. 1994.

O artigo 5º da Resolução N° 344, de 25 de março de 2004, cita que para a classificação do material a ser dragado, os dados obtidos na amostragem de sedimentos deverão ser apresentados em forma de tabelas, com os dados brutos e sua interpretação, sendo que as amostras de cada estação deverão ser analisadas individualmente e coletadas em quantidade suficiente para efeito de contraprova, cujas análises serão feitas a critério do órgão ambiental competente.

I - As estações de coleta deverão ser identificadas e georeferenciadas por sistema de coordenadas geográficas, especificando o sistema geodésico de referência.

II - As metodologias empregadas na coleta de amostras de sedimentos deverão ser propostas pelo empreendedor e aprovadas pelo órgão ambiental competente.

III - As análises químicas deverão contemplar rastreabilidade analítica, validação e consistência analítica dos dados, cartas controle, (elaboradas com intervalos de concentração significativamente próximo daquelas esperado nas matrizes sólidas), e ensaios com amostras de sedimento certificadas, a fim de comprovar a exatidão dos resultados por meio de ensaios paralelos.

IV - As amostras certificadas que não contenham os analíticos de interesse (por exemplo, compostos orgânicos), os ensaios deverão ser feitos por adição padrão ou adição de reforço ("spike"), de maneira que fique garantido um grau de recuperação aceitável para determinação desses compostos na matriz. Os limites de detecção praticados deverão ser inferiores ao nível 1, da **Tabela 3**, para o mercúrio.

V - A metodologia analítica para a extração dos metais das amostras consiste ataque com ácido nítrico concentrado e aquecimento por micro-ondas, ou metodologia similar a ser estabelecida pelo órgão ambiental competente.

Eno artigo 7º da resolução 344, o material a ser dragado poderá ser disposto em águas jurisdicionais brasileiras, de acordo com os seguintes critérios a serem observados no processo de licenciamento ambiental:

I - Não necessitará de estudos complementares para sua caracterização:

a) Material composto por areia grossa, cascalho ou seixo em fração igual ou superior a 50%.

b) Material cuja concentração de poluentes for menor ou igual ao nível 1.

c) Material cuja concentração de metais, exceto mercúrio, cádmio, chumbo ou arsênio, estiver entre os níveis 1 e 2.

d) Material cuja concentração de Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos- PAHs do Grupo B estiver entre os níveis 1 e 2 e a somatória das concentrações de todos os PAHs estiver abaixo do valor correspondente a soma de PAHs.

II - O material cuja concentração de qualquer dos poluentes exceda o nível 2 somente poderá ser disposto mediante prévia comprovação técnico-científica e monitoramento do processo e da área de disposição, de modo que a biota desta área não sofra efeitos adversos

superiores aqueles esperados para o nível 1, não sendo aceitas técnicas que considerem, como princípio de disposição, a diluição ou a difusão dos sedimentos do material dragado.

III - O material cuja concentração de mercúrio, cádmio, chumbo ou arsênio, ou de PAHs do Grupo A estiver entre os níveis 1 e 2, ou se a somatória das concentrações de todos os PAHs estiver acima do valor correspondente a soma de PAHs, deverá ser submetido a ensaios ecotoxicológicos, entre outros testes que venham a ser exigidos pelo órgão ambiental competente ou propostos pelo empreendedor, de modo a enquadrá-lo nos critérios previstos nos incisos I e II deste artigo.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 FORMAÇÃO MUTUM-PARANÁ

A região de Mutum Paraná constitui-se de uma unidade metavulcano-sedimentar representada por quartzo-metarenitos, metassiltitos (unidade superior), filitos, ardósias, metargilitos, metarenitos arcossianos, quartzitos, metacherts e metatufos a cinza (unidade inferior indivisa). A ocorrência dos litotipos da unidade é restrita à região de São Lourenço, Limeira e Abunã, parte norte da Área de Influência do AHE Jirau, margem esquerda do rio Madeira. Formam serras alongadas de direção noroeste a sudeste, constituindo as principais elevações topográficas da região.

As relações de contato entre esta unidade e o seu embasamento estão marcadas por discordâncias erosivas e por zonas de cisalhamento dúcteis e dúcteis-rúpteis. As zonas de contato com os granitos da Suíte Intrusiva Rondônia são marcadas pela ocorrência de rochas cornubianíticas. Os arenitos da Formação Palmeiral estão sobrepostos por discordância erosiva e angular.

As condições metamórficas são da fácies xisto-verde inferior, não constituindo metamorfismo generalizado, estando associado às principais estruturas de cisalhamento dúcteis de direções 50° norte a 70° oeste e de leste para oeste. Essas estruturas promoveram a quase verticalização dos estratos, enquanto em outras porções da sequência, os estratos encontram-se subhorizontalizados, com transformações metamórficas de grau muito baixo.

As estruturas sedimentares são caracterizadas pelas estratificações cruzadas de baixo a médio ângulo, marcas onduladas simétricas, bidirecionalidade dos estratos em planos distintos e laminação truncada por marcas ondulada. Essas estruturas, aliadas aos litotipos da unidade,

sugerem ambiente de sedimentação marinho raso, epicontinental, com episódios de deposição continental restrito somente a partes da sequência.

Os quartzo-metarenitos da Formação Mutum-Paraná alojam mineralizações de ametista na forma de veios centimétricos a métricos e em bolsões achatados. Por vezes, chegam a constituir geodos e drusas, que estão dispostos ao longo de uma zona de fraturamentos e falhamentos orientada nas direções noroeste a sudeste e nordeste a sudoeste, muito embora ocorram bolsões isolados de distribuição aparentemente aleatória e em cruzamento de fraturas secundárias pólos (EIA – Estudo de Impacto Ambiental - Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – Rio Madeira-RO, 2005).

2.2 FORMAÇÃO JACI-PARANÁ

Os sedimentos arenosos, siltico-argilosos e argilosos que recobrem rochas magmáticas, metamórficas e sedimentares proterozóicas eram até então associados à Formação Solimões. ADAMY *et al.* (1990) denominaram de Formação Jaci-Paraná os depósitos arenosos, siltosos e argilosos eminentemente de origem fluvial, cuja área-tipo é o baixo curso do rio Jaci-Paraná. Esses depósitos ocorrem, preferencialmente, na porção norte da região do AHE Santo Antônio e na porção norte-nordeste da área do AHE Jirau, além de pequenas “ilhas” a sudoeste da referida área. Encontram-se depositados, discordantemente sobre rochas do Complexo Jamari, granitos São Lourenço-Caripunas e dos arenitos Palmeiral.

Na grande maioria dos afloramentos, os sedimentos desta unidade repousam discordantemente por sobre rochas da Suíte Santo Antônio, Teotônio e dos granitos da Suíte Rondônia.

Os depósitos sedimentares (terraços arenosos) são predominantemente não consolidados. As areias são normalmente imaturas, por vezes, conglomeráticas, quartzosas, mal selecionadas, possuindo grãos angulosos a subarredondados. Também ocorrem areias feldspáticas de matriz argilosa e friáveis. As estruturas sedimentares são bastante variáveis ocorrendo estratificação cruzada de pequeno porte, plano-paralela horizontal, cruzada acanalada e pacotes maciços. Camadas pouco espessas (10 a 60 cm) de silte-argiloso e argila, de cor cinza-amarelada, ocorrem intercaladas às areias, exibindo granodecrescência ascendente na granulometria. Além disso, em alguns locais (pediplanos), observam-se areias finas em pequenas camadas intercaladas com sedimentos siltico-argilosos.

Fazendo parte desta formação ocorrem lateritos imaturos em pacotes espessos capeando as mais variadas rochas da região. Constituem horizontes bem definidos distribuídos na seguinte forma: horizonte concrecionário, horizonte mosqueado, horizonte pálido e rocha-mãe na parte basal. O horizonte concrecionário ou ferruginoso não chega a formar crosta, e as estruturas primárias são raras. Na sua parte superior, ocorre uma zona esferulítica constituída por concreções e nódulos de óxi-hidróxidos de ferro e zona colunar na parte inferior constituída por estruturas alongadas colunares.

O horizonte mosqueado (plintito) que está posicionado abaixo do horizonte concrecionário em contato gradacional, constituem-se de argila variegada com pequenos nódulos esbranquiçados a rosados de gibbsita. O horizonte pálido é de espessura variável e ocorre entre o mosqueado e rocha-mãe. Apresenta estruturas primárias preservadas, coloração branca-amarelada caracterizada pela quase ausência de óxi-hidróxidos de ferro pólos (EIA – Estudo de Impacto Ambiental - Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – Rio Madeira - RO, 2005).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar os níveis basais do estoque de mercúrio total no sedimento associado às propriedades físicas e químicas dos materiais que compõem este compartimento ambiental na área de influencia da AHE – Jirau na bacia hidrográfica do rio Madeira – RO

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as propriedades físicas (granulometria) do sedimento nos tributários e calha do rio Madeira na área de influência da AHE Jirau;
- Caracterizar as propriedades químicas (espectroscopia na região do infravermelho, matéria orgânica, carbono orgânico e nitrogênio total) do sedimento nos tributários e calha do rio Madeira na área de influência da AHE Jirau;
- Avaliar os níveis basais do estoque de mercúrio total nos perfis de sedimentos nos tributários e calha do rio Madeira na área de influência da AHE Jirau.

4. METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE AMOSTRAGEM

O desenho amostral dos perfis de sedimento nos tributários e calha do rio Madeira na área de influência da AHE Jirau está apresentado na **Tabela 5** e na **Figura 8**.

Tabela 5 - Pontos de amostragem com sua descrição e coordenadas geográficas.

Pontos	Descrição	Coordenadas geográficas (UTM – 20 L)	
		Longitude	Latitude
P1 -ABU	Afluente da margem esquerda do rio Madeira	232136	8929302
P2 - CAS	Afluente da margem direita do rio Madeira	266274	8937755
P3 - MUT	Afluente da margem direita do rio Madeira	287058	8936335
P4 - CAI	Afluente da margem direita do rio Madeira	299438	8960269
P5 - MAD	Rio Madeira à montante do canteiro de obras da AHE Jirau	309788	8966289

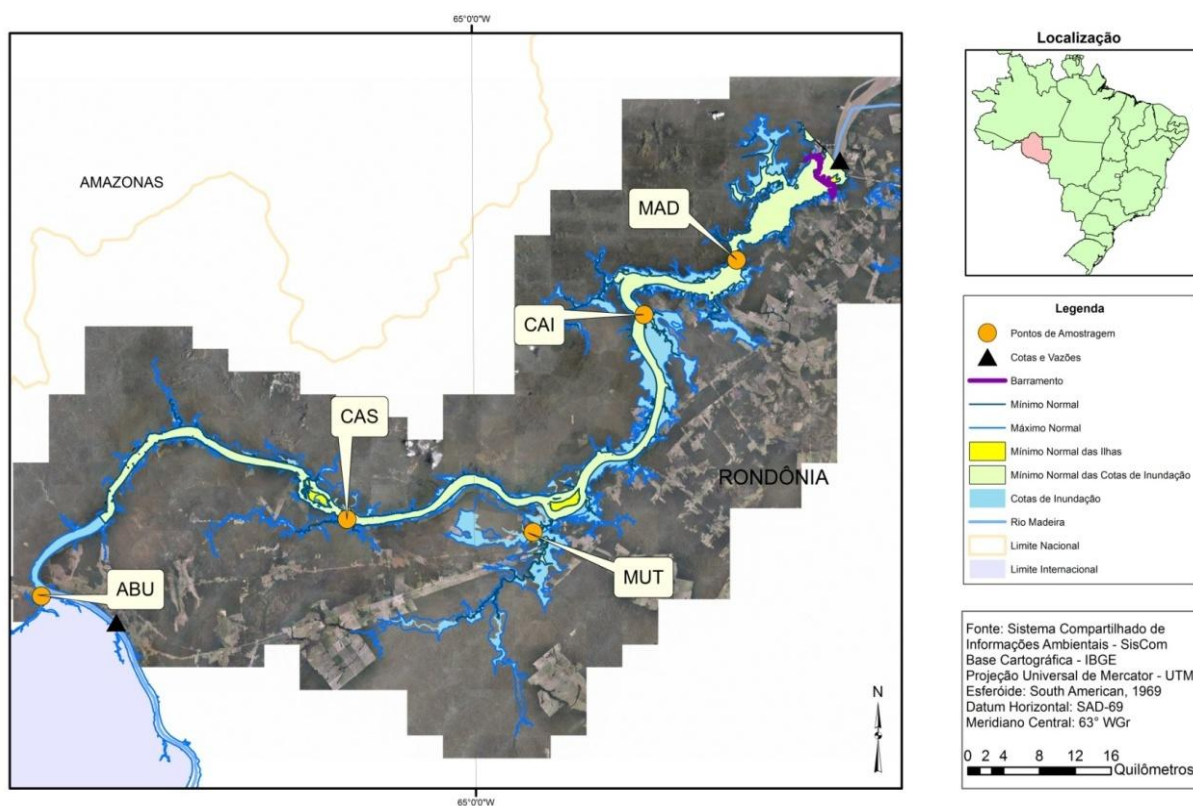


Figura 8 – Área de amostragem do rio Madeira.

4.2 ÁREA DE COLETA

Os perfis verticais de sedimento foram coletados com tubo de acrílico de dimensões 100 cm comprimento x 7,5 cm de diâmetro nas áreas de remanso dos pontos mencionados na **Tabela 05**. As amostras de sedimentos foram coletadas em cinco pontos estratégicos do Rio Madeira – RO em Novembro de 2011, delimitadas pela região e coloração da água, sendo divididas em duas áreas: Água clara e Água escura. Na região de água branca foram coletadas amostras em três pontos sendo no rio Abunã (P1-ABU), igarapé Caiçara (P4 - CAI) e rio Madeira (P5 - MAD), e na região de água escura foram coletadas em dois pontos sendo no igarapé Castanho (P2 - CAS) e rio Mutum Paraná (P3 - MUT). Em cada ponto coletado as amostras foram seccionadas em seis diferentes fatias (superfície e profundidade 10, 20, 40, 60 e 80 cm). Com o fatiamento dos sedimentos obtem-se um perfil sedimentológico que favorece a análise do estudo. Após coleta as amostras foram acondicionadas em sacos de polietileno e mantidas resfriadas até a preparação para análise.

Nos procedimentos laboratoriais as amostras de sedimentos foram inicialmente homogeneizadas a úmido nos próprios sacos de polietileno, sendo posteriormente separadas em pratos descartáveis identificados e então, submetidas à secagem em temperatura ambiente durante quinze dias. Após a secagem foram armazenadas em sacos plásticos lacrados, sendo separada em pequenas quantidades conforme a utilização das amostras para as análises.

4.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

No laboratório de Química Analítica Ambiental do Instituto de Química de Araraquara da Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho – IQ Ar/UNESP, fez-se a análise granulométrica utilizando o método de pipetagem, o qual está baseado na lei de Stokes conforme proposto por SUGUIO (1973). Após secagem, quarteamento e desagregação em béquer de 250 mL contendo 50,0 g de amostra, adicionaram-se 30,0 mL de água destilada e 1,0 mL de solução de hidróxido de amônio (16 mol L^{-1}) para desfloculação.

Transferiu-se o sobrenadante para proveta de 1 L e o sólido decantado, para almofariz. Após desagregação física utilizando pistilo de borracha, esse material foi também transferido quantitativamente para a proveta, completando-se o volume a 1 L com água desionizada.

Na proveta, agitou-se a mistura por cerca de 30 s e iniciou-se a série de pipetagens conforme tabela proposta por Suguio, transferindo-se as respectivas alíquotas para formas de alumínio, previamente taradas para posterior secagem em estufa a 60 °C.

Ao final da série de pipetagem, para lavagem da areia (descarte da argila), transferiu-se todo o material restante na proveta para funil (25 cm) adaptado com fluxo de água contínuo entrando pela haste. Após lavagem completa (escoamento de água límpida), a areia foi transferida para placa de Petri, seca em estufa a 60 °C, passada por 10 min em coluna de 8 peneiras com aberturas de 1,0 mm, 0,707 mm, 0,500 mm, 0,354 mm, 0,250 mm, 0,177 mm, 0,125 mm, 0,088 mm e 0,062 mm, pesando-se o material retido em cada peneira

As frações granulométricas, classificadas obedecendo à escala de MIT e a metodologia da ABNT-NBR 7181, compreendem o conjunto de partículas, cujas dimensões estão classificadas na **Tabela 6**, onde houve agregação das frações areia grossa, areia média e areia fina, formando a classificação areia, silte e argila.

Tabela 6 – Diâmetro de partículas quanto à escala granulométrica do Massachusetts Institute of Technology (MIT) utilizada no presente estudo.

Classificação	Diâmetro (mm)
Pedregulho	> 2,0
Areia grossa	2,0 – 0,6
Areia média	0,6 – 0,2
Areia fina	0,2 – 0,06
Silte	0,06 – 0,002
Argila	< 0,002

4.4 ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO

No Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho – IB Botucatu/UNESP, os espectros na região do infravermelho das amostras superficiais de sedimento foram obtidos de pastilhas preparadas com mistura de iodeto de cézio seco a 120 °C. As pastilhas foram obtidas submetendo-se essa mistura a uma pressão de 10 t cm⁻² em pastilhador de 14 mm de diâmetro. As medidas foram feitas utilizando-se espectrômetro Nicolet, modelo Impact 400 (região de 400 a 4000 cm⁻¹).

4.5 TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA

Na Faculdade UnB Planaltina da Universidade de Brasília – FUP/UnB, o teor de matéria orgânica foi determinado gravimetricamente em triplicata, calcinando 10,0 g de amostra em mufla a 750 °C por 4 h, considerando-se como matéria inorgânica o resíduo final da calcinação (SANTOS *et al.*, 2002).

4.6 CARBONO E NITROGÊNIO TOTAL

Na Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho – IQ Ar/UNESP foram determinados os teores de carbono e nitrogênio nos perfis de sedimento pela técnica Dynamic Flash Combustion, em analisador elementar CHNS-O, marca CE Instruments, modelo EA 1110.

4.7 MERCÚRIO TOTAL

No laboratório de Química Analítica Ambiental do Instituto de Química de Araraquara da Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho – IQ Ar/UNESP foram feitas as determinações de mercúrio total nos perfis de sedimento utilizando a técnica de espectroscopia atômica acoplado a sistema de geração de vapor a frio de mercúrio. As amostras foram preparadas em placas de petri (aproximadamente 10 cm de diâmetro) e levadas à estufa para secagem a 50° C. As amostras foram transferidas para um almofariz e maceradas com um auxílio de um pistilo de porcelana e armazenadas em frascos de plásticos. Após o preparo das amostras é iniciado o preparo da curva de calibração, onde, são adicionados aproximadamente 200 mg de terra diatomácea em “barquinhas” de níquel; prepara-se uma curva de calibração para o intervalo baixo (10 a 30 ng Hg⁺²) e outra para o intervalo alto (100 a 300 ng Hg⁺²), adicionando-se as quantidades de padrões na terra diatomácea. A partir dos resultados dos padrões de checagem da curva de calibração, nessas amostras são feitas as determinações de mercúrio total conforme procedimento operacional padrão para o equipamento SMS 100, da Perkin Elmer. O software do SMS 100 (Envoy) plota a curva de calibração de μ Absorbância em função de concentração de mercúrio em ng, e interpolam os valores μ Absorbância obtidos para a amostra na curva, e já expressa a concentração de mercúrio total em massa específica (ng) ou em ng g⁻¹.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 UNIDADES GEOLÓGICAS DA MALHA DE AMOSTRAGEM

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. Os solos da bacia do rio Madeira apresentam um elevado nível de complexidade, característico da região Amazônica, entretanto suas características físicas e químicas médias são relativamente satisfatórias. No geral, boa parte do território do estado de Rondônia está coberta por solos de relevo plano, drenados e derivados de materiais relativamente ricos em minerais. Todavia, não são desconsideradas possíveis zonas com solos quimicamente muito pobres, mal drenados, relevo abrupto e arenoso, 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 feita durante as atividades de campo foi traçado um mapa com os principais grupos de solo que ocorrem na área de amostragem (**Figura 9**).

Destes, os mais representativos e importantes são:

Areias Quartzosas ou Neossolos Quatzarênicos: 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 se desenvolveu 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 ôxido e/ou kândico, sendo geralmente bastante intemperizados apresentando como principais minerais derivados da argila, caolinita, gipisita, minerais amorfos e sesquióxidos de ferro e alumínio. Em razão da forte lixiviação

sua capacidade de troca catiônica é baixa, assim como a quantidade de cálcio, magnésio, potássio e sódio adsorvidos. Em geral, solos ricos em sesquióxidos de ferro e alumínio tendem a desenvolver níveis importantes de troca aniônica, refletindo o processo químico natural de reversão da degradação desses solos através da lixiviação. Aproximadamente 46% dos solos do estado de Rondônia são caracterizados de latossolos.

No Brasil existem seis grupos de latossolos conforme o sistema brasileiro, sendo que na área de influência direta e indireta do aproveitamento hidrelétrico de Jirau (**Figura 9**) são reconhecidos os 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 que aquela a qual 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 como 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 como Gleissolos Distróficos. Os principais grupos de solo que ocorrem na área amostragem estão apresentados na **Tabela 7**. A **Figura 10** mostra os perfis de sedimento evidenciando as diferentes colorações do material.

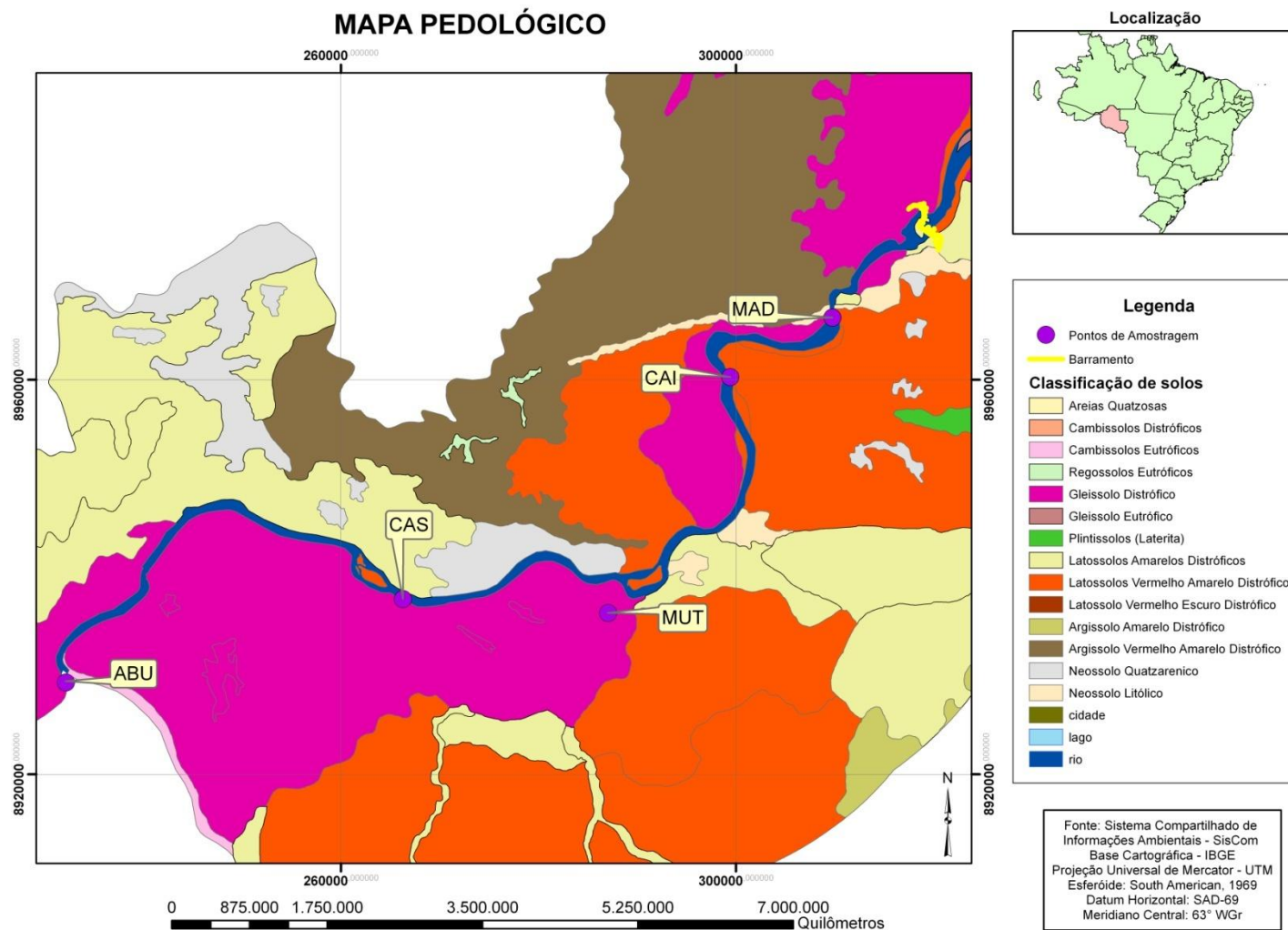


Figura 9 - Mapa pedológico da bacia do rio Madeira e seus tributários.

Tabela 7. Área de amostragem de solo com sua descrição e classificação pedológica.

Ponto	Descrição	Pedologia
P1 - ABU	Afluente da margem esquerda do rio Madeira	Gleissolo Distrófico
P2 - CAS	Afluente da margem direita do rio Madeira	Gleissolo Distrófico
P3 - MUT	Afluente da margem direita do rio Madeira	Gleissolo Distrófico
P4 - CAI	Afluente da margem direita do rio Madeira	Latossolos Vermelho Amarelo Distrófico
P5 - MAD	Rio Madeira à montante do canteiro de obras da AHE Jirau	Neossolo Litólico

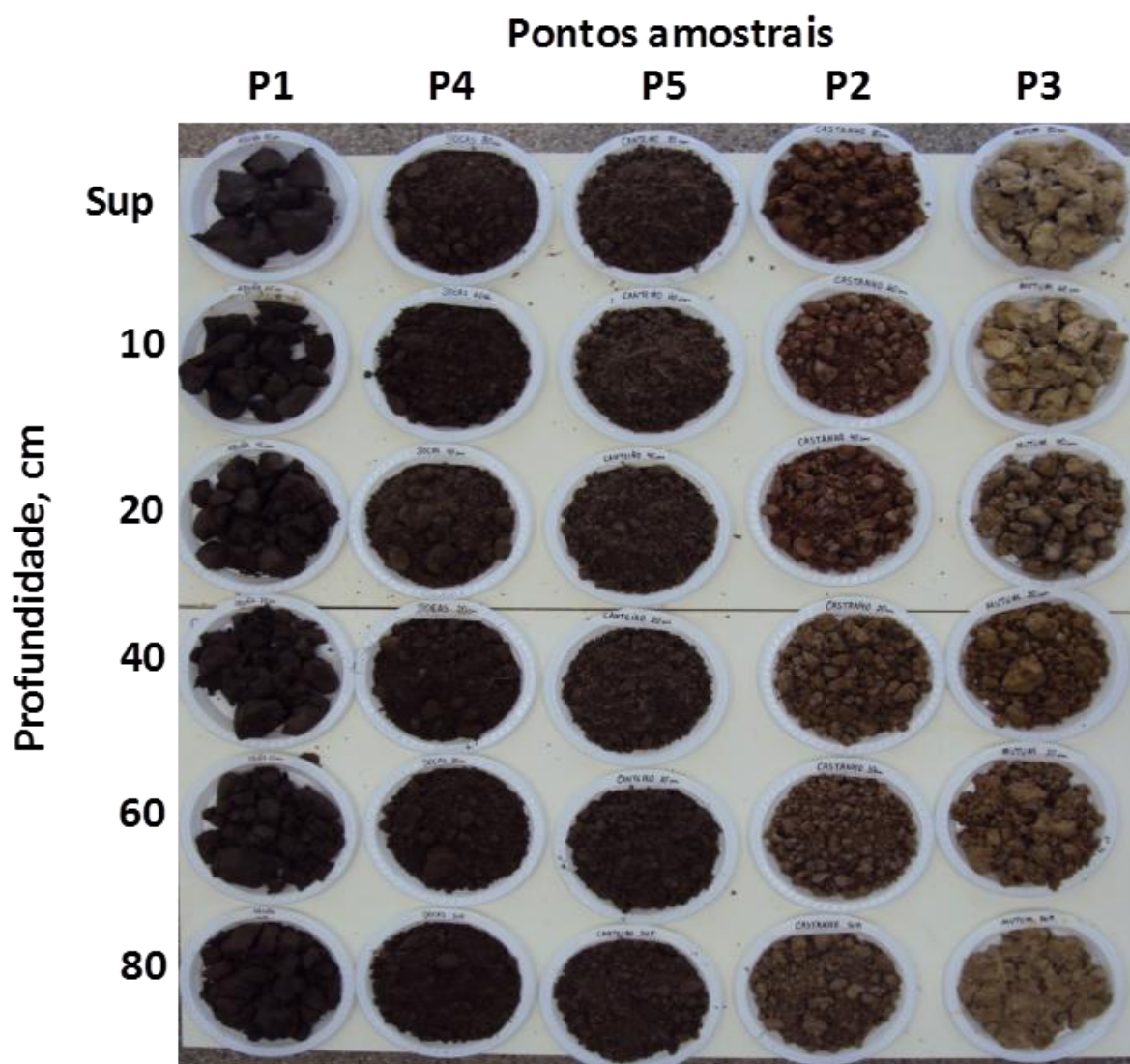


Figura 10 – Amostras de sedimentos evidenciando diferentes colorações.

5.2 GRANULOMETRIA

Na **Tabela 8** são apresentados os valores médios de areia, silte e argila (%) em diferentes amostras e profundidades do rio Madeira. Os resultados da análise granulométrica dos sedimentos do rio Madeira mostram uma predominância de sedimentos finos (silte) e partículas maiores (areia).

Tabela 8 – Resultado da análise granulométrica – Porcentagem de areia, silte e argila nas amostras dos sedimentos em cinco pontos diferentes do rio Madeira – RO em função da profundidade.

Amostra	Profundidade (cm)	% Areia	% Silte	% Argila
P1 – ABU	Sup	15	36,3	21,3
P1 – ABU	10	13,6	35,1	20,7
P1 – ABU	20	56,6	18,4	10,8
P1 – ABU	40	17,6	30,5	18
P1 – ABU	60	60,7	16,3	9,57
P1 – ABU	80	10,2	47	27,6
P2 – CAS	Sup	24,8	27,5	16,2
P2 – CAS	10	20,6	30,7	18,1
P2 – CAS	20	20,8	32	18,8
P2 – CAS	40	20,5	30	17,5
P2 – CAS	60	18,5	32,6	19,2
P2 – CAS	80	25	27,1	15,9
P3 – MUT	Sup	36,8	28,9	17
P3 – MUT	10	38,6	27,6	16,2
P3 – MUT	20	43,3	27,6	16,2
P3 – MUT	40	34,6	29,1	17,1
P3 – MUT	60	30,9	34,2	20,1
P3 – MUT	80	27,2	36	21,2

Tabela 8 – Resultado da análise granulométrica – Porcentagem de areia, silte e argila nas amostras dos sedimentos em cinco pontos diferentes do rio Madeira – RO em função da profundidade – Continuação

Amostra	Profundidade (cm)	% Areia	% Silte	% Argila
P4 – CAI	Sup	20,2	34,1	20
P4 – CAI	10	14,5	35,8	21,1
P4 – CAI	20	23,9	32,3	19
P4 – CAI	40	20,5	33,1	19,4
P4 – CAI	60	15,3	32,8	19,3
P4 – CAI	80	21,1	27,6	16,2
P5 MAD	Sup	54,6	15,1	8,91
P5 MAD	10	55,3	15,1	8,9
P5 MAD	20	53,3	15,1	8,87
P5 MAD	40	48,2	15,6	9,2
P5 MAD	60	46,4	15,6	9,18
P5 MAD	80	52,1	15,2	8,96

Os valores médios nos perfis de sedimento para os teores de areia (somatória de areia grossa, areia média e areia fina) indicam a sequência decrescente na ordem P5 >> P3 > P4, P2 > P1, e os valores de mediana para os teores de silte e argila indicam a mesma sequência decrescente na ordem P1, P2, P3, P4 >> P5. Os resultados evidenciam expressiva diferença de composição do sedimento da calha do rio Madeira quando comparado aos seus afluentes, possivelmente devido aos aportes de terra firme ocasionado pela elevada hidrodinâmica do rio Madeira, proporcionando o maior índice de areia. (**Figura 11**).

O rio Madeira caracteriza-se por intensos gradientes que podem ser de natureza hidrológica (oscilação do regime fluvial), tectônica/geomorfológica (alteração do canal fluvial), hidráulica (poder energético da massa de água) e de transporte de sedimentos (BERNARDI *et al*, 2009).

As amostras de sedimento coletadas nos tributários do rio Madeira apresentaram predominância das frações de silte e areia, estando possivelmente associada ao grau de floculação Silte/Argila predominante nos solos de perfil Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico e Gleissolo Distrófico, conforme indicado na **Figura 9**.

Os teores de argila são relativamente baixos em todas as amostras, variando entre 10 e 27%, pois as áreas coletadas são locais caracterizados por baixos teores de materiais em suspensão.

A padrão de distribuição granulométrica encontrado neste estudo (**Figura 11**) ratifica o modelo clássico de transporte de partículas fluviais citado em MUDROCK & AZCUE, (1995) e verificado nos estudos de AMORIM *et al*, (2009), onde o estudo granulométrico mostra igualmente relação entre a proximidade das florestas de terra firme e o aumento do teor de areia. Os menores teores de argila são encontrados em regiões caracterizados por baixos teores de material em suspensão (AMORIM, 2006). A presença de sedimentos finos, como silte, verificar-se em locais mais próximos ao rio do que nos demais locais no interior da várzea.

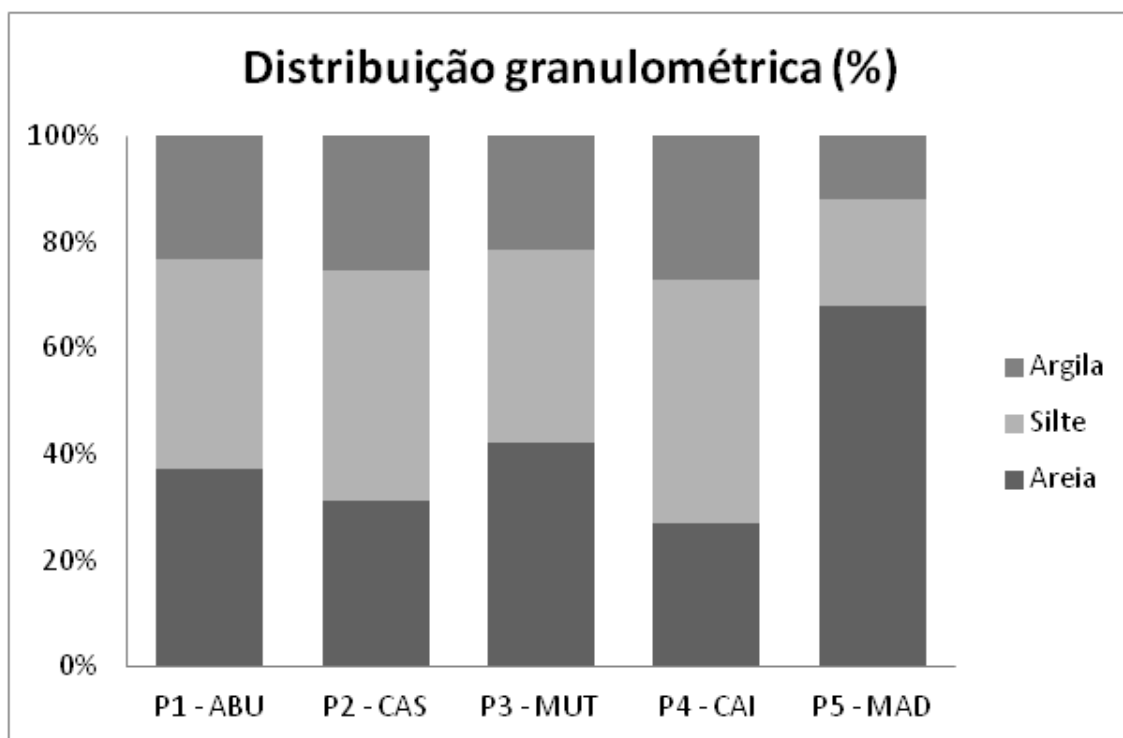


Figura 11 – Distribuição granulométrica nos sedimentos do rio Madeira em diferentes pontos. Gráfico Normalizado.

5.3 ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO

A espectroscopia na região do infravermelho é uma técnica importante para a análise orgânica qualitativa, sendo amplamente utilizada nas áreas de química de produtos naturais, síntese e transformações orgânicas. O infravermelho e demais métodos espectroscópicos modernos constituem hoje os principais recursos para auxiliar na identificação e elucidação

estrutural de substâncias orgânicas. São, também, relevantes na determinação da pureza e quantificação de substâncias orgânicas, bem como no controle e acompanhamento de reações e processos de separação (LOPES, *et al* 2004).

O espectro da amostra do rio Abuña (**Figura 12**) é semelhante aos espectros das amostras do igarapé Castanho (**Figura 13**), entretanto devido à ausência ou presença muito atenuada de algumas bandas não é possível fazer conclusões concretas acerca do mineral caulinita.

A **Figura 13**, o espectro da amostra do igarapé Castanho, mostra as bandas de 3700 cm^{-1} e 3621 cm^{-1} relacionadas com estiramentos vibracionais da ligação OH existente em hidróxidos de alumínio (Al-OH). A banda existente em 1100 cm^{-1} (associada a vibrações do tipo O-Al-OH) e a banda na região de 916 cm^{-1} confirma a presença do mineral caulinita. A banda de absorção na região de 1033 cm^{-1} está associada a estiramento vibracionais da ligação Si-O de mineral quartzo. A banda de absorção na região de 1621 cm^{-1} está associada a estiramentos vibracionais de moléculas de água (geralmente estrutural). Nesta mesma região, quando há matéria orgânica na amostra, também pode ser verificado a banda do ânion carboxilato (COO^-). Bandas que, de fato, indicariam a presença de matéria orgânica ocorrem na região de 2900 cm^{-1} e são referentes a estiramentos vibracionais do grupo metileno ($-\text{CH}_2$) de cadeias alifáticas (STEVENSON, 1974 *apud* LIMA, 2004) que são característicos de material húmico e, portanto, dizem respeito à matéria orgânica presente no sedimento. As bandas nas regiões abaixo de 916 são atribuídas à presença de argilominerais associados ao intemperismo das suas fontes (solo, rochas).

O espectro da amostra do rio Mutum-Paraná (**Figura 14**) apresentam picos iguais e mais intensos do que aqueles verificado no espectro da amostra do igarapé Castanho (**Figura 13**), exceto as bandas localizadas em 2356 cm^{-1} , referente à absorção da molécula de CO_2 , e 1446 cm^{-1} , a qual pode estar ligada à presença de grupos carboxila e carbonila. A presença do grupo metileno ($-\text{CH}_2$) e a presença de grupos carboxila e carbonila na amostra levam à conclusão de tratar-se de uma substância húmica, que são constituintes mais abundantes em sedimentos. Essas substâncias húmicas podem ser originadas por organismos que vivem na coluna de água, quanto também da matéria orgânica que entra no sistema através dos rios e do intemperismo dos solos adjacentes (LIMA *et al*, 2004).

Os espectros das amostras do igarapé Caiçara (**Figura 15**) e do rio Madeira (**Figura 16**) são semelhantes aos espectros das amostras igarapé Castanho (**Figura 13**) e rio Mutum-Paraná (**Figura 14**), entretanto devido a ausência ou presença muito atenuada de algumas

bandas não é possível fazer conclusões concretas acerca do mineral caulinita. Portanto os espectros de infravermelho inferem a distribuição das amostras em dois grupos sendo o primeiro formado pelas amostras do igarapé Castanho e rio Mutum-Paraná, enquanto o segundo grupo é formado pelas amostras do rio Abuña, igarapé Caiçara e rio Madeira.

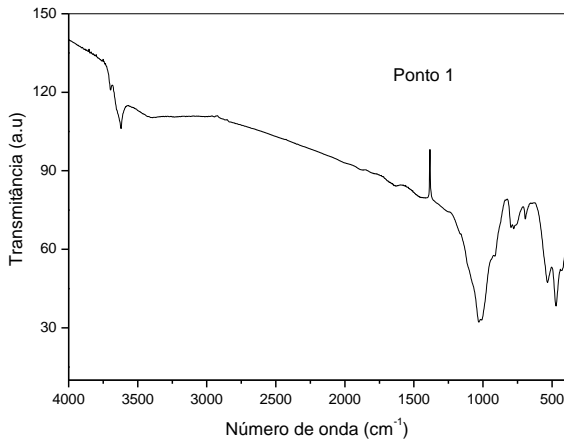


Figura 12 – Espectro referente ao ponto P1 –
ABU

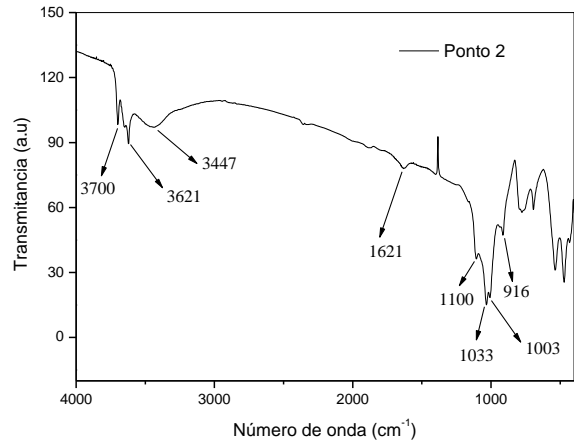


Figura 13 – Espectro referente ao ponto P2 –
CAS

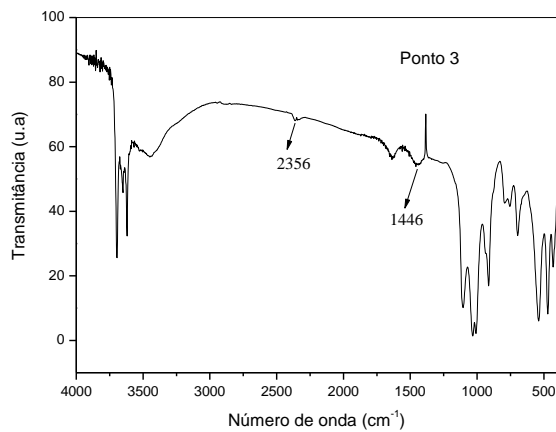


Figura 14 – Espectro referente ao ponto P3 –
MUT

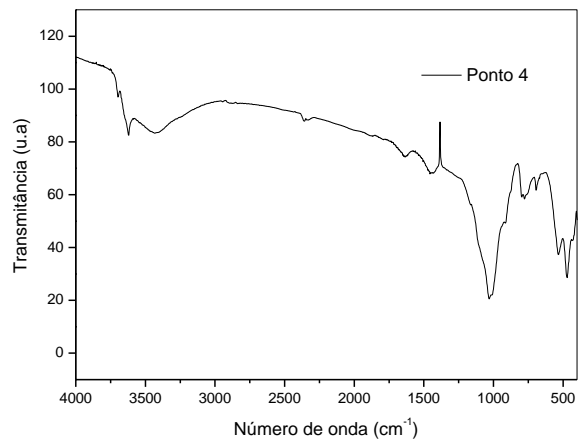


Figura 15 – Espectro referente ao ponto P4 –
CAI

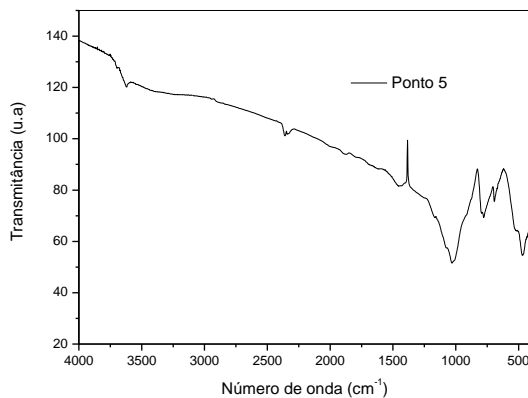


Figura 16 – Espectro referente ao ponto P5 - MAD

5.4 MATÉRIA ORGÂNICA, CARBONO ORGÂNICO e NITROGÊNIO TOTAL

A porcentagem de matéria orgânica, carbono orgânico, nitrogênio, a razão carbono/nitrogênio e os teores de mercúrio nas amostras de sedimento coletados na bacia do rio Madeira estão apresentados na **Tabela 9**.

Tabela 9. Porcentagem de matéria orgânica (% m/m), carbono orgânico (% m/m), nitrogênio (% m/m), razão carbono/nitrogênio (C/N) e concentração de mercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) nos perfis de sedimento (cm) da bacia do rio Madeira.

Amostra	Perfil	Matéria orgânica	Carbono Orgânico	Nitrogênio	C/N	Hg
P1 - ABU	5	5,28	0,31	0,047	6,596	61,83
P1 - ABU	10	5,94	0,35	0,057	6,14	149,41
P1 - ABU	20	6,28	0,39	0,062	6,29	256,16
P1 - ABU	40	4,5	0,31	0,048	6,458	70,77
P1 - ABU	60	5,14	0,28	0,043	6,512	49,3
P1 - ABU	80	6,49	0,29	0,041	7,073	39,79
P2 - CAS	5	4,54	1,44	0,067	21,493	65,09
P2 - CAS	10	6,85	1,39	0,062	22,419	87,64
P2 - CAS	20	4,82	1,49	0,077	19,351	87,51
P2 - CAS	40	5,08	1,31	0,049	26,735	82,29
P2 - CAS	60	5,7	1,37	0,051	26,863	80,14
P2 - CAS	80	5,52	1,41	0,061	23,115	81,05
P3 - MUT	5	8,8	3,38	0,051	66,275	473,57
P3 - MUT	10	9,73	3,09	0,043	71,86	261,03
P3 - MUT	20	8,13	2,79	0,041	68,049	155,3
P3 - MUT	40	9,61	3,18	0,048	66,25	200,33
P3 - MUT	60	12,14	3,44	0,053	64,906	236,45
P3 - MUT	80	13,05	2,9	0,044	65,909	122,53
P4 - CAI	5	6,75	0,39	0,062	6,29	49,75
P4 - CAI	10	5,63	0,3	0,046	6,522	40,76
P4 - CAI	20	7,05	0,32	0,044	7,273	40,08
P4 - CAI	40	6,1	0,32	0,049	6,531	74,22
P4 - CAI	60	5,67	0,33	0,053	6,226	47,24
P4 - CAI	80	4,52	0,27	0,043	6,226	53,54
P5 - MAD	5	2,13	0,19	0,028	6,786	24,55
P5 - MAD	10	4,36	0,17	0,024	7,083	31,07
P5 - MAD	20	1,97	0,12	0,016	7,5	45,5
P5 - MAD	40	1,84	0,12	0,018	6,667	69,41
P5 - MAD	60	1,82	0,14	0,021	6,667	28,58
P5 - MAD	80	2,68	0,18	0,028	6,429	41,83

Hg – mercúrio total

O carbono ocorre em ecossistemas aquáticos costeiros como carbono orgânico vivo (integrante da biomassa) ou detrítico, carbonatos (geralmente bioclásticos e na forma de carbono dissolvido). Esta última forma assume grande importância especialmente em ambientes marinhos (PEREIRA *et al*, 2006). A decomposição de matéria orgânica provoca modificações nas características físico-químicas do ambiente, especialmente no sedimento, influenciado pelo ciclo biogeoquímico de vários elementos, e determinando a forma na qual eles estão presentes (BERNER, E.; BERNER, R., 1996).

A estatística descritiva das porcentagens de matéria orgânica do sedimento (**Tabela 10**) está distribuída por fator perfil (superfície, 10, 20, 40, 60 e 80 cm) e fator amostra (P1 – ABU, P2 – CAS, P3 – MUT, P4 – CAI e P5 – MAD). A porcentagem média de matéria orgânica de todos os pontos e profundidades foi de $5,94 \pm 2,75$ % (m/m).

No fator amostra no ponto de amostragem no rio Mutum-Paraná (P3 – MUT), região característica de água escura, apresentou os maiores teores de matéria orgânica ($10,24 \pm 1,93$ % m/m), enquanto que no ponto de amostragem na calha do rio Madeira (P5 – MAD), região característica de água clara, apresentou as menores porcentagens de matéria orgânica ($2,47 \pm 0,98$ % m/m), **Figura 17**.

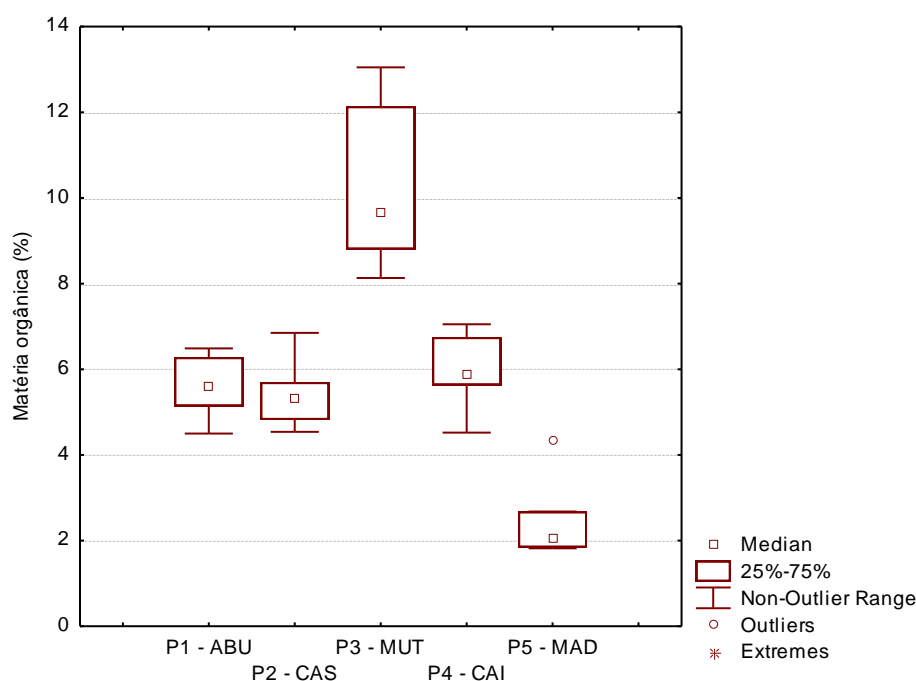


Figura 17 – Boxplot das porcentagens (% m/m) de matéria orgânica no fator amostra.

A divisão das águas amazônicas em brancas, pretas e claras, baseia-se principalmente nas características ópticas, associadas às características químicas dos rios e sua área predominante de ocorrência. A menor penetração de luz nas águas brancas deve-se essencialmente a grande quantidade de sedimentos por elas carregada. Nas águas pretas, o principal fator que restringe a visibilidade é a cor devida à grande presença de substâncias húmicas dissolvidas; contudo, em consequência dos baixos teores de matéria em suspensão, a refletância é mínima e a atenuação da luz menor. As águas claras são bastante transparentes, devido essencialmente aos baixos teores de material orgânico dissolvido e em suspensão (SIOLI, 1950) *apud* MARTINELLI (1986).

No fator perfil comparado interprofundidade, os valores mais elevados de matéria orgânica foram encontrados próximos à superfície até 10 cm ($6,50 \pm 2,01$ % m/m), enquanto que ao nível de 40 cm apresentou os menores valores de matéria orgânica ($5,43 \pm 2,82$ % m/m), conforme descrito na **Tabela 10**.

Tabela 10 – Porcentagens médias (% m/m) e desvios padrões de matéria orgânica (MO) disposta por fator amostra e fator perfil do sedimento da bacia do Rio Madeira.

	Nível	N	Média	DP
Total		30	5,94	2,75
Amostra	P1 – ABU	5	5,60	0,76
Amostra	P2 – CAS	5	5,42	0,82
Amostra	P3 – MUT	5	10,24	1,93
Amostra	P4 – CAI	5	5,95	0,91
Amostra	P5 – MAD	5	2,47	0,98
Perfil	Superfície	6	5,50	2,49
Perfil	10	6	6,50	2,01
Perfil	20	6	5,65	2,38
Perfil	40	6	5,43	2,82
Perfil	60	6	6,09	3,74
Perfil	80	6	6,45	3,95

A análise de variância univariada (**Tabela 11**), adotando o valor de alfa para o nível de significância de 0,05 para o teste de Wilks, foi feita para averiguar as diferenças nas porcentagens de matéria orgânica, entre os fatores amostra e níveis do perfil de sedimento ou

profundidades e checar a existência das diferenças entre os fatores. Este teste mostrou haver diferenças significativas apenas entre o fator amostra, enquanto que o fator perfil não foi encontrado diferenças significativas nas porcentagens de matéria orgânica. Este fato evidencia a forte correlação entre o sedimento dos tributários e as características dos solos de cada região, sendo continuamente carregada pelos pulsos de inundação da bacia do rio Madeira.

Tabela 11 – Análise de Variância Univariada comparando as porcentagens de matéria orgânica (% m/m) no sedimento entre os fatores amostra e perfil da bacia do rio Madeira.

	SS	Grau	MS	F	P
Intercept	1057,518	1	1057,518	751,4790	0,000000
Amostra	185,806	4	46,451	33,0086	0,000000
Perfil	5,714	5	1,143	0,8121	0,554844
Error	28,145	20	1,407		

A variabilidade das porcentagens de matéria orgânica no perfil do sedimento pode ser averiguada pelo boxplot (**Figura 18**), que indica uma tendência de maiores valores no nível do perfil de 10 cm, sendo este nível não significativamente diferente de todos os outros níveis.

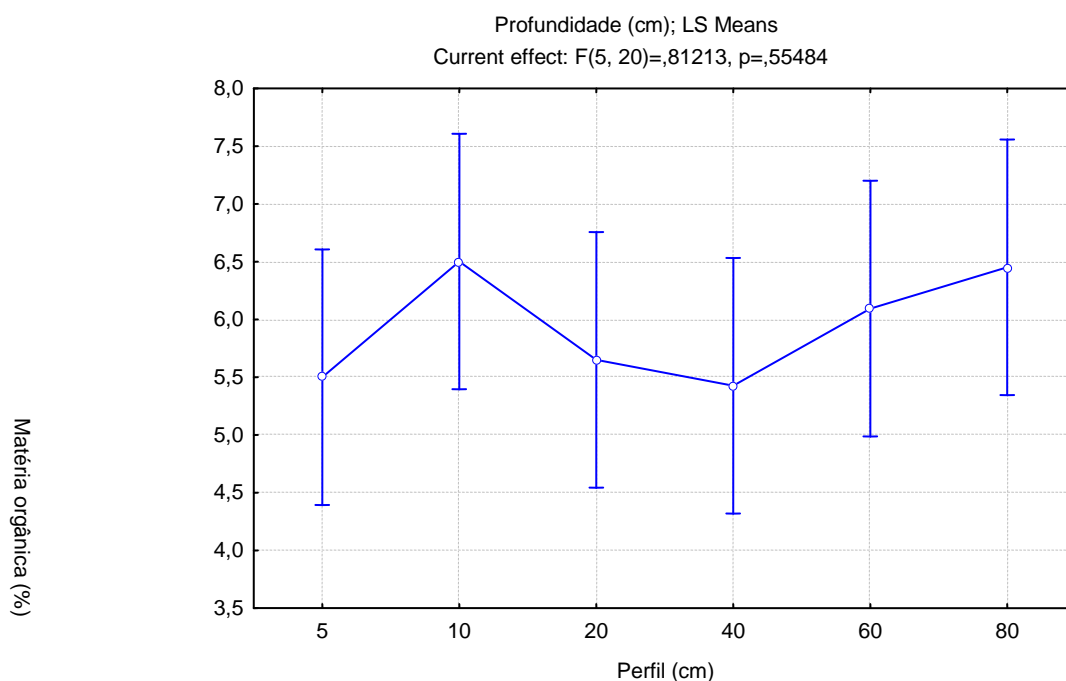


Figura 18 – Boxplot das concentrações de matéria orgânica distribuídas pelo nível de profundidade do sedimento da bacia do rio Madeira.

A estatística descritiva das porcentagens de carbono orgânico total do sedimento está distribuída por fator perfil (superfície, 10, 20, 40, 60 e 80 cm) e fator amostra (P1 – ABU, P2 – CAS, P3 – MUT, P4 – CAI e P5 – MAD), descrita na **Tabela 12**. A porcentagem média de

carbono orgânico considerando todos os pontos de amostragem e profundidades foram de $1,07 \pm 1,15$ % (m/m).

Tabela 12 – Porcentagens médias (% m/m) e desvios padrões de carbono orgânico disposto por fator amostra e fator perfil do sedimento da bacia do rio Madeira.

	Nível	N	Média	DP
Total		30	1,07	1,15
Amostra	P1 – ABU	5	0,32	0,04
Amostra	P2 – CAS	5	1,40	0,06
Amostra	P3 – MUT	5	3,13	0,26
Amostra	P4 – CAI	5	0,32	0,04
Amostra	P5 – MAD	5	0,15	0,03
Perfil	Superfície	6	1,14	1,35
Perfil	10	6	1,06	1,24
Perfil	20	6	1,02	1,12
Perfil	40	6	1,05	1,28
Perfil	60	6	1,11	1,39
Perfil	80	6	1,01	1,17

No fator amostra os pontos de amostragem no rio Mutum Paraná (P3 – MUT) e igarapé Castanho (P2 – CAS), característicos de regiões de água escura apresentaram as maiores porcentagens médias de carbono orgânico, enquanto o ponto de amostragem na calha do Madeira (P5 – MAD) característico de água clara apresentou a menor porcentagem média de carbono orgânico, conforme mostra a **Figura 19**.

No fator perfil comparado interprofundidade por meio de suas porcentagens de carbono orgânico, os valores mais elevados de carbono orgânico foram encontrados ao nível de superfície, enquanto que as menores porcentagens foram encontradas ao nível de 80 cm, conforme descrito na **Tabela 12**.

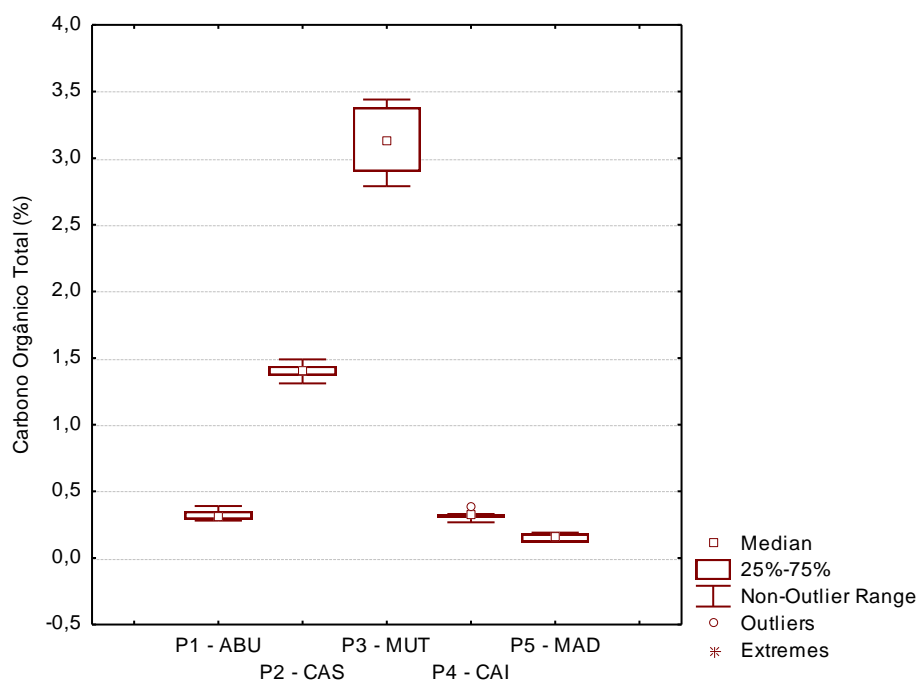


Figura 19 – Boxplot das porcentagens (% m/m) de carbono orgânico total no fator amostra da bacia do rio Madeira.

A análise de variância univariada (**Tabela 13**), adotando o valor de alfa para o nível de significância de 0,05 para o teste de Wilks, foi feita para averiguar as diferenças nas porcentagens de carbono orgânico total, entre os fatores amostra e níveis do perfil de sedimento ou profundidades e checar a existência das diferenças entre os fatores. Este teste mostrou haver diferenças significativas apenas entre o fator amostra. O fator perfil não foi encontrado diferenças significativas nas concentrações de carbono orgânico total.

Tabela 13 – Análise de Variância Univariada comparando as porcentagens de carbono orgânico total (% m/m) no sedimento entre os fatores amostra e perfil da bacia do rio Madeira.

	SS	Grau	MS	F	P
Intercept	34,06446	1	34,06446	2237,023	0,000000
Amostra	37,88618	4	9,47154	621,999	0,000000
Perfil	0,06687	5	0,01337	0,878	0,513332
Error	0,30455	20	0,01523		

A variabilidade da porcentagem de carbono orgânico total no perfil do sedimento pode ser averiguada pelo boxplot (**Figura 20**), que indica uma tendência do nível do perfil

superfície ter as maiores concentrações de carbono orgânico total, seguindo uma tendência de diminuição com a profundidade.

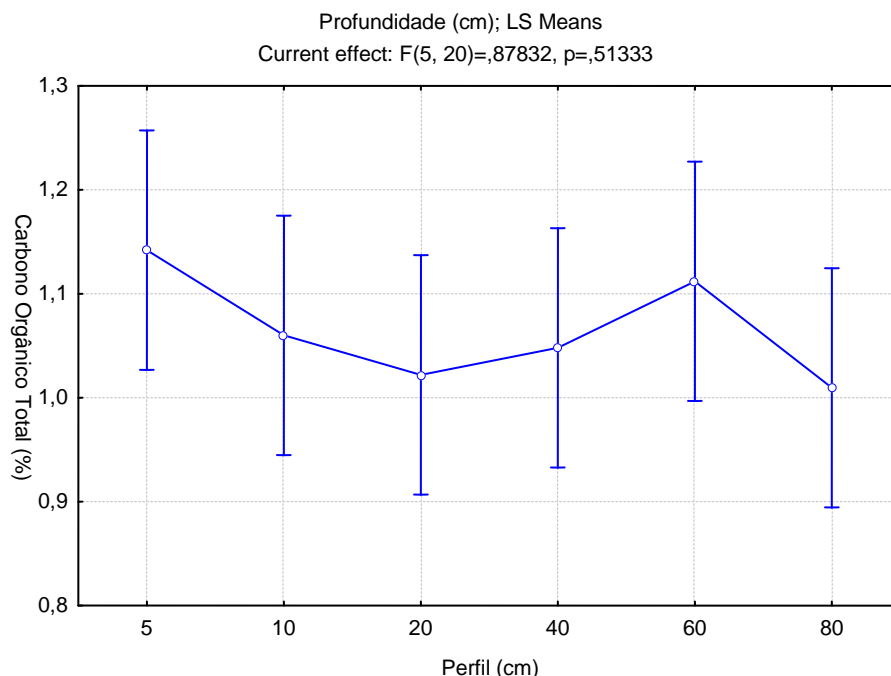


Figura 20 – Boxplot das concentrações de carbono orgânico total distribuídas pelo nível de profundidade do sedimento da bacia do rio Madeira.

A estatística descritiva das porcentagens de nitrogênio total do sedimento está distribuída por fator perfil (profundidades de superfície, 10, 20, 40, 60 e 80 cm) e fator amostra (P1 – ABU, P2 – CAS, P3 – MUT, P4 – CAI e P5 – MAD) está descrita na **Tabela 14**. A porcentagem média de nitrogênio total considerando todos os pontos de amostragem e profundidades foram de $0,0459 \pm 0,0146$ % (m/m).

No fator amostra, a porcentagem média de nitrogênio no ponto de amostragem na calha do rio Madeira (P5 – MAD) é aproximadamente 3 vezes menor quando comparado as porcentagens observadas nas amostras de sedimento dos tributários do rio Madeira, conforme mostra a **Figura 21**.

No fator perfil comparado interprofundidade por meio de suas porcentagens de nitrogênio, os valores mais elevados de nitrogênio total foram encontrados ao nível de superfície ($0,0510 \pm 0,0152$), enquanto ao nível de 40 cm apresentou as menores concentrações ($0,0424 \pm 0,0136$), **Tabela 14**.

Tabela 14 – Porcentagens médias e desvios padrões de nitrogênio dispostos por fator amostra e fator perfil de sedimento da bacia do rio Madeira.

	Nível	N	Média	DP
Total		30	0,0459	0,0146
Amostra	P1 – ABU	5	0,0497	0,0082
Amostra	P2 – CAS	5	0,0612	0,0104
Amostra	P3 – MUT	5	0,0467	0,0048
Amostra	P4 – CAI	5	0,0495	0,0071
Amostra	P5 – MAD	5	0,0225	0,0050
Perfil	Superfície	6	0,0510	0,0152
Perfil	10	6	0,0464	0,0147
Perfil	20	6	0,0480	0,0231
Perfil	40	6	0,0424	0,0136
Perfil	60	6	0,0442	0,0136
Perfil	80	6	0,0434	0,0118

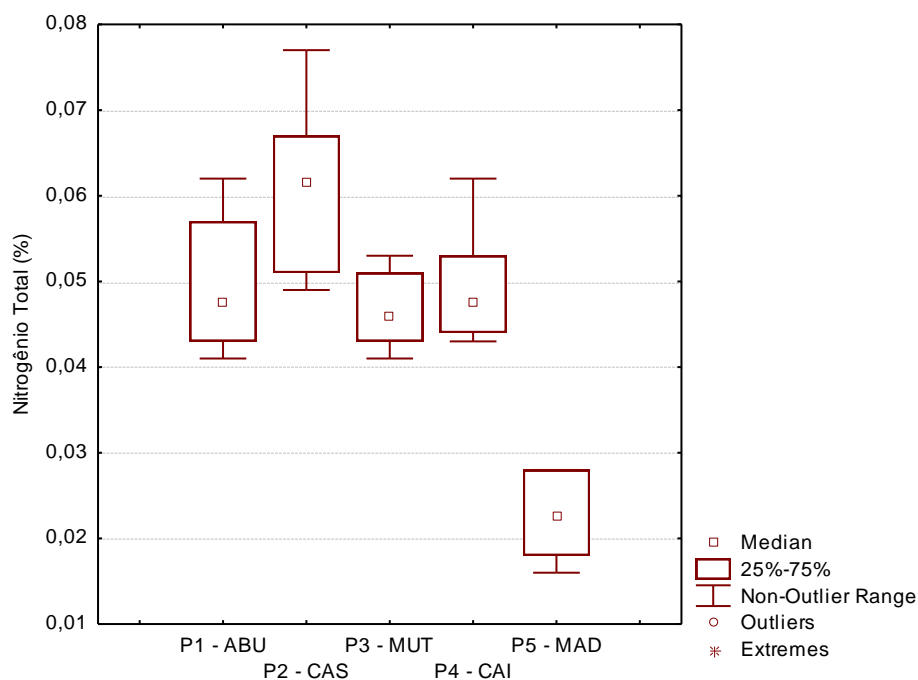


Figura 21 – Boxplot das porcentagens (%m/m) de nitrogênio total no fator amostra da bacia do rio Madeira.

A análise de variância univariada (**Tabela 15**), adotando o valor de alfa para o nível de significância de 0,05 para o teste de Wilks, foi feita para averiguar as diferenças nas porcentagens de nitrogênio total, entre os fatores amostra e níveis do perfil de sedimento ou profundidades e checar a existência das diferenças entre os fatores. Este teste mostrou haver diferenças significativas apenas entre o fator amostra. O fator perfil não foram encontradas diferenças significativas nas concentrações de nitrogênio total.

Tabela 15 – Análise de Variância Univariada comparando as porcentagens de nitrogênio total (% m/m) no sedimento entre os fatores amostra e perfil da bacia do rio Madeira.

	SS	Grau	MS	F	P
Intercept	0,063204	1	0,063204	1142,728	0,000000
Amostra	0,004850	4	0,001213	21,923	0,000000
Perfil	0,000260	5	0,000052	0,941	0,475981
Error	0,001106	20	0,000055		

A variabilidade da porcentagem de nitrogênio total no perfil do sedimento pode ser averiguada pelo boxplot (**Figura 22**), que indica uma tendência do nível do perfil de superfície ter as maiores concentrações de nitrogênio total, seguindo uma diminuição em função da profundidade.

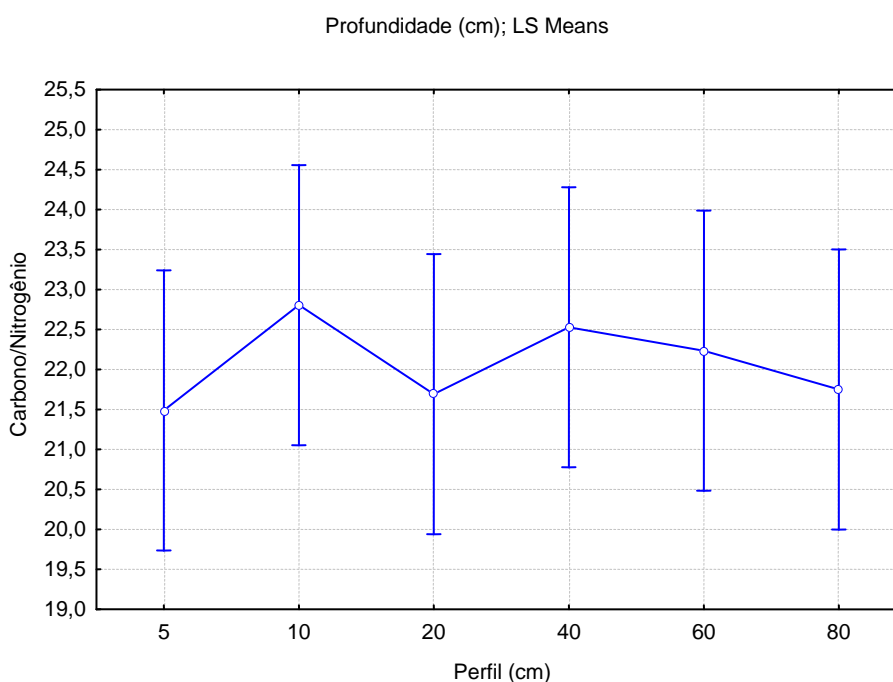


Figura 22 – Boxplot das concentrações de nitrogênio total distribuídos pelo nível de profundidade do sedimento da bacia do rio Madeira.

A estatística descritiva da relação carbono/nitrogênio (C/N) do sedimento está distribuída por fator perfil (superficial, 5, 10, 20, 40, 60 e 80 cm) e fator amostra (P1 – ABU, P2 – CAS, P3 – MUT, P4 – CAI e P5 – MAD) está descrita na **Tabela 16**. A porcentagem média da relação carbono/nitrogênio considerando todos os pontos de amostragem e profundidades foram de $22,08 \pm 23,93$ % (m/m).

Tabela 16 – Razões médias de carbono/nitrogênio e desvios padrões dispostos por fator amostra e fator perfil do sedimento da bacia do rio Madeira.

	Nível	N	Média	DP
Total		30	22,08	23,93
Amostra	P1 – ABU	5	6,51	0,32
Amostra	P2 – CAS	5	23,33	2,97
Amostra	P3 – MUT	5	67,21	2,50
Amostra	P4 – CAI	5	6,51	0,40
Amostra	P5 – MAD	5	6,86	0,38
Perfil	Superfície	6	21,49	25,86
Perfil	10	6	22,81	28,27
Perfil	20	6	21,69	26,46
Perfil	40	6	22,53	25,96
Perfil	60	6	22,23	25,44
Perfil	80	6	21,75	25,71

No fator amostra, a maior razão média de carbono/nitrogênio foi observada no ponto de amostragem no rio Mutum Paraná (P3 – MUT) seguido pelo ponto de amostragem no igarapé Castanho (P2 – CAS), ambos característicos de regiões de água escura, conforme mostra a **Figura 23**. A razão C/N do ponto P3 – MUT é aproximadamente 10 vezes maior quando comparado às razões C/N observadas nas regiões de água clara nos tributários (P1 – ABU, P4 – CAI) e calha de rio Madeira (P5 – MAD).

O estudo da razão C/N constitui uma ferramenta para obterem-se informações sobre a origem e a decomposição da matéria orgânica (ALONGI, 1996). Os resultados que apresentam valores homogêneos e baixos entre essa razão indicam uma matéria orgânica enriquecidas em nitrogênio. Portanto as amostras das áreas de água clara (P1, P4 e P5), são

enriquecida com outras fontes de matéria orgânica ou origem de produtos da decomposição de celulose de áreas inundáveis.

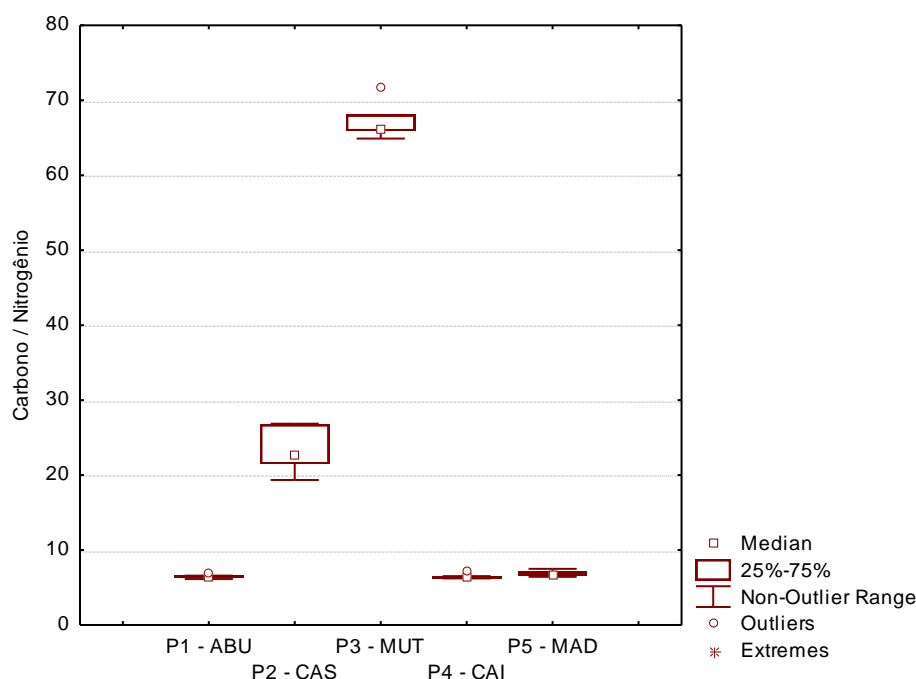


Figura 23 – Boxplot das razões de carbono/nitrogênio no fator amostra da bacia do rio Madeira.

A análise de variância univariada (**Tabela 17**), foi feita para averiguar possíveis diferenças nas razões C/N, entre os fatores amostra e níveis do perfil de sedimento ou profundidades e checar a existência das diferenças entre os fatores. Este teste mostrou haver diferenças significativas apenas entre o fator amostra. O fator perfil não foi encontrado diferenças significativas nas razões C/N.

Tabela 17 – Análise de Variância Univariada comparando as razões de carbono/nitrogênio no sedimento entre os fatores amostra e perfil da bacia do rio Madeira.

	SS	Grau	MS	F	P
Intercept	14629,82	1	14629,82	4149,203	0,000000
Amostra	16527,97	4	4131,99	1171,886	0,000000
Perfil	6,80	5	1,36	0,386	0,852680
Error	70,52	20	3,53		

5.5 ESTOQUE DE MERCÚRIO TOTAL.

A estatística descritiva das concentrações do mercúrio total do sedimento está distribuída por fator perfil (superfície, 10, 20, 40, 60 e 80 cm) e fator amostra (P1 – ABU, P2 – CAS, P3 – MUT, P4 – CAI e P5 – MAD) conforme descrita na **Tabela 18**.

Tabela 18 – Concentrações médias de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) e desvios padrões disposto por fator amostra e fator perfil do sedimento da bacia do rio Madeira.

	Nível	N	Média	DP
Total		30	103,56	97,09
Amostra	P1 – ABU	5	104,54	83,92
Amostra	P2 – CAS	5	80,62	8,26
Amostra	P3 – MUT	5	241,54	124,53
Amostra	P4 – CAI	5	50,93	12,53
Amostra	P5 – MAD	5	40,16	16,42
Perfil	Superfície	6	134,96	189,96
Perfil	10	6	113,98	94,62
Perfil	20	6	116,91	90,46
Perfil	40	6	99,41	56,64
Perfil	60	6	88,34	84,84
Perfil	80	6	67,75	34,76

No fator amostra, a maior concentração de mercúrio total foi observada no ponto de amostragem no rio Mutum Paraná (P3 – MUT), característico de região de água escura, conforme mostra a **Figura 24**.

A razão C/N do ponto P3 – MUT foi maior fator quando comparado às razões C/N observadas nas regiões de água clara nos tributários (P1 – ABU, P4 – CAI) e calha de rio Madeira (P5 – MAD). De acordo com WERSHAW (1993), em solos e sedimentos, o húmus consiste de agregados constituídos por matéria orgânica na forma de membranas em bicamadas revestindo os grãos minerais. Esses agregados se formam durante a humificação e, de acordo com STERVENSON (1994), o grau de humificação pode ser indicado pelo valor da

razão atômica C/N (maior C/N, maior grau de humificação), portanto a elevada humificação da matéria orgânica do sedimento influencia diretamente no estoque total de mercúrio.

As maiores concentrações de mercúrio total no ponto de amostragem no rio Abuña (P1-ABU), característico de região de água clara, pode estar associado ao elevado teor de silte conforme indicado na **Tabela 08**. OLIVEIRA, *et. al* (2007) nos estudos de distribuição de mercúrio total em diferentes solos da bacia do médio rio Negro, mostra que quatro variáveis contribuem de forma significativa: matéria orgânica, mercúrio e silte de modo positivo e areia negativamente, indicando que a capacidade do solo para reter mercúrio está diretamente relacionada com o teor de matéria orgânica e silte.

No fator perfil comparado interprofundidade por meio de suas concentrações de mercúrio total, os valores mais elevados de mercúrio total foram encontrados ao nível de superfície, enquanto que ao nível de 80 cm apresentou as menores concentrações, conforme descrito na **Tabela 18**.

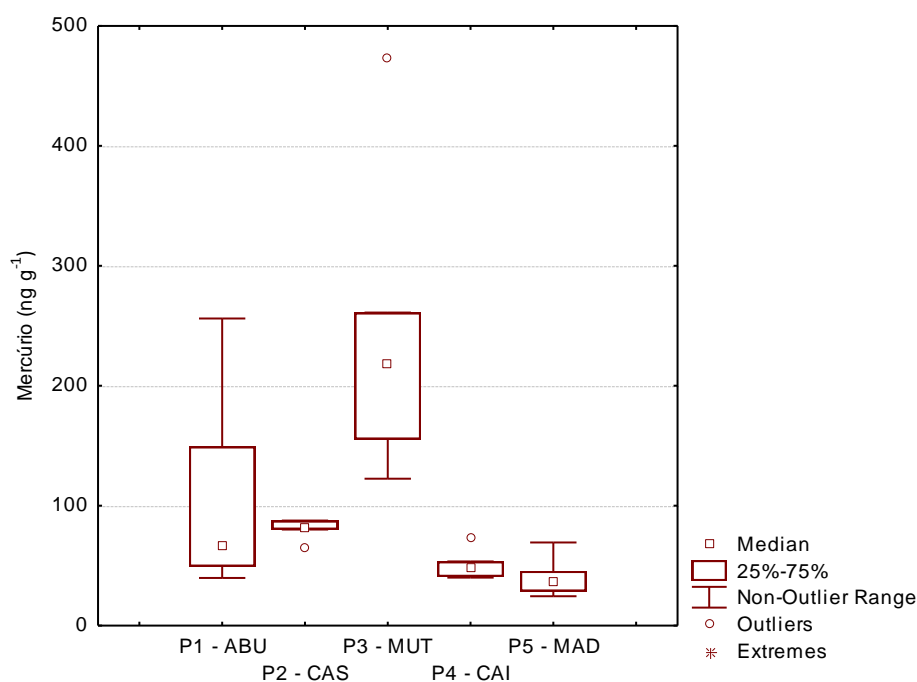


Figura 24 – Boxplot das porcentagens (%m/m) do mercúrio total no fator amostra da bacia do rio Madeira.

Análise de variância univariada (**Tabela 19**), adotando o valor de alfa para o nível de significância de 0,05 para o teste de Wilks, foi feita para averiguar as diferenças nas concentrações do mercúrio total, entre os fatores amostra e níveis do perfil de sedimento ou

profundidades e checar a existência das diferenças entre os fatores. Este teste mostrou haver diferenças significativas apenas entre o fator amostra. O fator perfil não foram encontradas diferenças significativas nas concentrações do mercúrio total.

Tabela 19 – Análise de Variância Univariada comparando as concentrações do mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) no sedimento entre os fatores amostra e perfil da bacia do rio Madeira.

	SS	Grau	MS	F	P
Intercept	321727,8	1	321727,8	63,57840	0,000000
Amostra	158129,7	4	39532,4	7,81222	0,000582
Perfil	14020,2	5	2804,0	0,55412	0,733553
Error	101206,6	20	5060,3		

A variabilidade da concentração de mercúrio total no perfil do sedimento pode ser averiguada pelo boxplot (**Figura 25**), que indica o nível do perfil de superfície com as maiores concentrações do mercúrio total e tendência de diminuição com a profundidade.

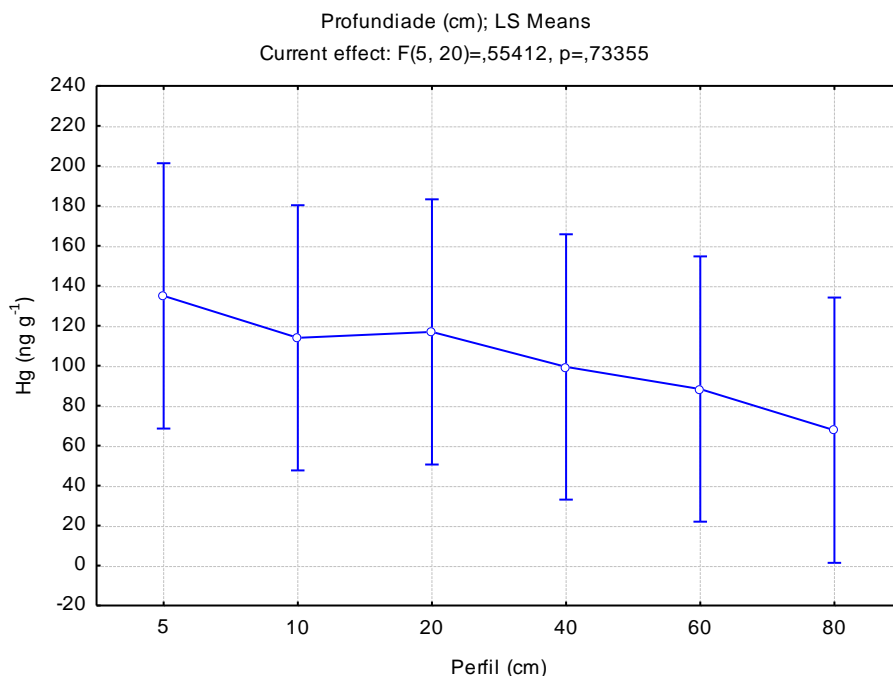


Figura 25 – Boxplot das concentrações do mercúrio total distribuídas em função da profundidade do sedimento da bacia do rio Madeira.

No intuito de averiguar qual dos parâmetros analisados (tamanho de fração, matéria orgânica, carbono orgânico, nitrogênio, razão C/N possui maior influência nos teores de mercúrio nas amostras, foi feita uma análise de correlação, para qual foi obtido o resultado apresentado na **Tabela 20**.

Tabela 20 - Análise de Correlação elaborada para verificar a influência dos parâmetros porcentagem de matéria orgânica, porcentagem de carbono orgânico, porcentagem de nitrogênio total e razão carbono/nitrogênio com as concentrações de mercúrio total ($\mu\text{g kg}^{-1}$) da bacia do rio Madeira.

	% Matéria orgânica	Carbono orgânico total %	Nitrogênio total (% m/m)	Carbono/nitrogênio
Hg	0,5925	0,7315	0,2688	0,7082
	p = 0,001	p = 0,000	p = 0,151	p = 0,000

A partir deste resultado é possível inferir que a porcentagem de carbono orgânico total teve a maior correlação (73%) com as concentrações de mercúrio, seguido da razão carbono/nitrogênio indicando o grau de humificação que apresentou correlação de 71%, sendo o $p < 0,001$ para os dois casos.

Segundo SCHUSTER (1991), elevadas concentrações de mercúrio determinado em horizontes orgânicos de regiões temperadas são geralmente explicadas pela forte afinidade de mercúrio por matéria orgânica. Significantes relações entre mercúrio e carbono orgânico foram encontradas em solos brunissolos florestados, luvisolos e podzóis de regiões temperadas com maiores concentrações nos horizontes de acumulação de matéria orgânica (BRINGMARCH, 1997).

SARGENTINI, *et al.* 2001, mostraram que o complexo metal-matéria orgânica tende a se estabilizar em função do tempo, ocorrendo rearranjos inter e/ou intramoleculares, com transferência da espécie metálica para os sítios de complexação mais internos das macromoléculas húmicas. Assim, o mercúrio aportado no solo alagável, via precipitação atmosférica (OLIVEIRA, *et al.* 2001 e MIRETZKY, *et al.* 2005) e retido pela matéria orgânica, fica menos disponível para ser drenado via reações na interface solo/água (cheias) e para ser transportado para o compartimento atmosfera via processos de redução na interface solo/atmosfera (vazantes).

De acordo com ROCHA, *et al.* 2000 e 2003, substâncias húmicas extraídas de

amostras de água do Rio Negro-AM reduzem mercúrio (II) e o processo de redução seria uma das etapas do ciclo desse metal na região amazônica. Considerando que na Amazônia o período de cheias é relativamente maior, os solos das regiões alagáveis, ricos em materiais húmicos, estão menos disponíveis para participar de processos de redução na interface solo/atmosfera. Logo, eles têm contribuição mais significativa que os solos de regiões não alagáveis no importante processo de acúmulo de mercúrio aportado via atmosfera durante o período de vazantes.

As concentrações de mercúrio total nos perfis de sedimento (**Tabela 18**) coletados nos tributários e calha do rio Madeira são compatíveis com os níveis relatados pela literatura para a região Amazônica (**Tabela 21**).

Tabela 21. Intervalos de concentração de mercúrio total em sedimentos 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> , 1998
Rio Madeira – Rondônia	20-530	Sousa <i>et al.</i> , 2000
Rio Madeira – Rondônia	30-120	Bastos <i>et al.</i> , 2006

A Resolução CONAMA 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 01 de $170 \mu\text{g kg}^{-1}$ e para material nível 02 de $486 \mu\text{g kg}^{-1}$. Nesta resolução o nível 01 indica o limiar abaixo do qual se prevê baixa probabilidade de efeitos adversos à biota enquanto que o nível 02 indica o limiar acima do qual se prevê um provável efeito adverso à biota.

As concentrações de mercúrio total no sedimento no ponto de amostragem do rio Mutum Paraná (P3 – MUT) estão entre os níveis 01 e 02 preconizados pela Resolução 344/2004, enquanto que nos pontos de amostragem nos tributários (P1 – ABU, P2 – CAS e P4 – CAI) e calha do rio Madeira (P5 – MAD) estão abaixo do nível 01 preconizado pela Resolução 344/2004. Portanto, não foi evidente pontos de contaminação difusa na malha amostral, estudada na área de influência do aproveitamento hidrelétrico Jirau (AHE Jirau).

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 mercuriais

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, 2003).

No início da década de 90 estudos de 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 à 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).

A variabilidade do estoque de mercúrio total no sedimento dos tributários e calha do rio Madeira é fortemente influenciada pelo 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).

Portanto, a distribuição do mercúrio total nos diferentes compartimentos ambientais pode ter várias fontes ou origens, sendo a dinâmica do mercúrio na bacia do rio Madeira um processo que necessita estudos mais detalhados.

6. CONCLUSÃO

A dominância de silte nas regiões do rio Abuña (P1 – ABU), igarapé Castanho (P2 – CAS) e igarapé Caiçara (P4 – CAI) são influenciados diretamente pela pedologia do local, enquanto na localização das regiões do rio Mutum Paraná (P3 – MUT) e calha do rio Madeira (P5 – MAD) proporciona a predominância da fração de areia proveniente diretamente dos aportes de terra firme.

Os espectros infravermelhos permitiram identificar a presença de argilominerais de origem caulinita e quartzo em praticamente todos os pontos de amostra. Em algumas bandas foi possível identificar a presença de grupos metileno de cadeias alifáticas que são característicos em substâncias húmicas, embora com baixos conteúdos de matéria orgânica nas amostras.

No fator amostra, a região do rio Mutum Paraná (P3 – MUT) apresentou maiores concentrações de matéria orgânica e carbono orgânico no sedimento, sendo características de área de alagamento que possui um menor fluxo contínuo da água provocando um acúmulo de compostos orgânicos que sofrem o processo de decomposição, aumentando a concentração de matéria orgânica e carbono orgânico. Nesta região, também apresenta água escura que possibilita a preservação da matéria orgânica, devido a maior acidez na água escura.

De maneira geral, os perfis dos sedimentos apresentam maiores concentrações de matéria orgânica, carbono orgânico, nitrogênio, carbono/nitrogênio e estoque de mercúrio nos perfis superficiais, concentrado principalmente, nas profundidades de 10 cm mostrando uma tendência de essas cargas serem transportadas pela hidrodinâmica dos tributários e calha do rio Madeira.

O mercúrio é evidenciado em maiores concentrações na região do Mutum Paraná (P3 – MUT), essa distribuição está relacionada por essa região ser uma área alagada facilitando a associação do mercúrio com os outros substratos existentes nessa área, tendo forte influência a porcentagem de carbono orgânico total e a razão carbono/nitrogênio, o qual é indicativo do grau de humificação do material.

Entretanto, para melhor entendimento da dinâmica do mercúrio na bacia do rio Madeira (Área de Influência da Usina Hidrelétrica – Jirau) estudos mais aprofundados são necessários.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMY A., ROMANINI S.J. 1990. Geologia da Região Porto Velho - Abunã. Relatório final. DNPM/CPRM, Porto Velho, 273.

ALMEIDA, M. D., LACERDA, L. D., BASTOS, W. R. & HERRMANN, J. C. 2005. Mercury loss from soils following conversion from forest to pasture in Rondonia, Western Amazon, Brazil. *Environ Pollut*, 137, 179-86.

ALONGI, D. M. 1996. The dynamics of benthic nutrient pools and fluxes in tropical mangrove forests. *Journal of Marine Research*, 54, 123-148.

AMORIM, M. A., MOREIRA-TURCQ, P. F., TURCQ, B. J., CORDEIRO, R. C. 2006. Estudo de sedimentação recente na Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil. Dissertação do mestrado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 144.

AMORIM, M. A., MOREIRA-TURCQ, P. F., TURCQ, B. J., CORDEIRO, R. C. 2009. Origem e Dinâmica da Deposição dos Sedimentos Superficiais na Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil. *Acta Amazona*, 39, 165-172.

BASTOS, W. R., GOMES, J. P., OLIVEIRA, R. C., ALMEIDA, R., NASCIMENTO, E. L., BERNARDI, J. V., DE LACERDA, L. D., DA SILVEIRA, E. G. & PFEIFFER, W. C. 2006. Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. *Sci Total Environ*, 368, 344-51.

BERNARDI, J. V. E., LACERDA, L. D., DÓREA, J. G., LANDIM, P. M. B., GOMES, J. P. O., ALMEIDA, R., MANZATTO, A. G., BASTOS, W. R. 2009. Aplicação da Análise das Componentes Principais na Ordenação dos Parâmetros Físico-Químicos no Alto Rio Madeira e Afluentes, Amazônia Ocidental. *Geochimica Brasiliensis*, 23, 79-90.

BERNER, E. K., BERNER, R. A. 1996. *Global Environment: water, air and geochemical cycles*. Prentice Hall.

BISINOTI, M. C., FADINI, P. S., JARDIM, W. F. 2004. The importance of the dissolved organic carbon in the mercury cycle in the Negro river Basin – Amazon, Brazil. *RMZ Materials and Geoenvironment*, Ljubljana, 51, 821-824.

- BISINOTI, M. C., JARDIM, W. F. 2003. Production of organic mercury from Hg-0: Experiments using microcosms. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 14, 244-248.
- BISINOTI, M. C., JARDIM, W. F. 2007. O comportamento do metilmercúrio (metil.Hg) no ambiente. *Química Nova*, 27, 593-600.
- BISINOTI, M. C., JUNIOR, E. S., JARDIM, W. F. 2007. Seasonal behavior of mercury species in waters and sediments from the Negro river Basin, Amazon, Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 18, 544-553.
- BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 344, de 25 de Março de 2004. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências, Publicada no DOU nº 087, de 07/05/2004, 56-57.
- BRINGMARCK, L. E., Sigel, A., Sigel, H. 1997. Em *Metal ions in biological systems*, New York, 161-184.
- BUENO, M. I. M. S. 1990. Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas.
- CORDEIRO, R. C., TURCQ, B., RIBEIRO, M. G., LACERDA, L. D., CAPITANEO, J., DA SILVA, A. O., SIFEDDINE, A. & TURCQ, P. M. 2002. Forest fire indicators and mercury deposition in an intense land use change region in the Brazilian Amazon (Alta Floresta, MT). *Sci Total Environ*, 293, 247-56.
- EIA - Estudo de Impacto Ambiental - Aproveitamento Hidrelétrico Santo Antônio e Jirau Rio Madeira-RO, maio de 2005.
- Elementos traço na nutrição e saúde humanas / Organização Mundial de Saúde. 1998 [tradução Andréa Favano]. São Paulo.
- ENVIRONMENTAL CANADA. 2002. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canadian Environmental Quality Guidelines - Summary Tables.
- LONG, E. R., MACDONALD, D. D., SMITH, S. L. & CALDER, F. D. 1995. Incidence of Adverse Biological Effects within Ranges of Chemical Concentrations in Marine and Estuarine Sediments. *Environmental Management*, 19, 81-97.

FDEP (1994). Approach to the Assessment of Sediment Quality in Florida Coastal Waters. Vol. I. Development and Evaluation of Sediment Quality Assessment Guidelines. Prepared for Florida Department of Environmental Protection - FDEP, Office of Water Policy, Tallahassee, FL, by MacDonald Environmental Sciences Ltd., Ladysmith, British Columbia.

FADINI, P. S., JARDIM, W. F. 2001. Is the Negro river Basin (Amazon) impacted by naturally occurring Mercury? *The Science of the total Environment*, 275, 71-82.

FARELLA, N., LUCOTTE, M., LOUCHOUARN, P. & ROULET, M. 2001. Deforestation modifying terrestrial organic transport in the Rio Tapajos, Brazilian Amazon. *Organic Geochemistry*, 32, 1443-1458.

FARELLA, N. 2005. Les fermes familiales de la région frontière du Tapajós em Amazonie brésilienne: relations entre les origines, les pratiques agricoles, les impacts sur les sols et le déboisement. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Université du Québec à Montréal. Montréal, Canadá, 209.

FOSTIER, AH., GUIMARÃES, JRD., FORTI, MC.1999. Mercury accumulation in natural forested amazonian soils. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Mercury as a Global Pollutant. Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 23-28.

GIBBS, R. J. 1967. The geochemistry if the Amazon river system. Part I - the factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. *Geol. Soc. America Bulletin*, 78, 1203-1232.

GOULDING, M., R. BARTHEM & E. FERREIRA. 2003. The Smithsonian atlas of the Amazon. Princeton Editorial Associate, Inc. Hong Kong. 253p.

GUYOT, J. L., JOUANNEAU, J. M., SOARES, L., BOAVENTURA, G. R., MAILLET, N. & LAGANE, C. 2007. Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. *Catena*, 71, 340-356.

HACON, S., ARTAXO, P., GERAB, F., YAMASOE, M. A., CAMPOS, R. C., CONTI, L. F. & DELACERDA, L. D. 1995. Atmospheric Mercury and Trace-Elements in the Region of Alta Floresta in the Amazon Basin. *Water Air and Soil Pollution*, 80, 273-283.

HACON, S., ROCHEDO, E. R., CAMPOS, R., ROSALES, G. & LACERDA, L. D. 1997. Risk assessment of mercury in Alta Floresta. Amazon Basin Brazil. *Water Air and Soil Pollution*, 97, 91-105.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis. 2004. Termo de Referência do IBAMA, setembro.

KASPER, D., BOTARO, D., PALERMO, E. F. A., MALM, O. 2007. Mercúrio em peixes - fontes e contaminação. Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca, Instituto de Biofísica Carlos Chagas, Universidade Federal do Rio de Janeiro. *Oecologia Australis*, 11.

KEHRIG, H. D., MALM, O., AKAGI, H., GUIMARAES, J. R. D. & TORRES, J. P. M. 1998. Methylmercury in fish and hair samples from the Balbina reservoir, Brazilian Amazon. *Environmental Research*, 77, 84-90.

KHONKE, H. 1969 Soil physics. New York, 224.

KIEHL, E. J. 1979. Manual de Edafologia. Ed. Agronômica Ceres. São Paulo.

KIRK, J. T. O. 1980. Spectral Absorption Properties of Natural-Waters - Contribution of the Soluble and Particulate Fractions to Light-Absorption in Some Inland Waters of Southeastern Australia. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 31, 287-296.

LACERDA, L. D. 1995. Amazon Mercury Emissions. *Nature*, 374, 20-21.

LACERDA, L. D., MALM, O. 2008. Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas. Estudos Avançados. São Paulo, 22, 63.

LACERDA, L. D., SALOMONS, W. 1991. Mercury in the Amazon: A chemical time-bomb? Dutch Ministry of Housing, Planning and Environment.

LATRUBESSE, E. M., RANCY, A. 1998. The Late Quaternary of the upper Juruá River, southwestern Amazonia, Brazil: geology and vertebrate paleontology. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 11, 27-46.

LECHLER, P. J., MILLER, J. R., LACERDA, L. D., VINSON, D., BONZONGO, J. C., LYONS, W. B. & WARWICK, J. J. 2000. Elevated mercury concentrations in soils,

sediments, water, and fish of the Madeira River basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichments? *Science of the Total Environment*, 260, 87-96.

LIMA, E. A. R., SIQUEIRA, G. W., LIMA, W. N., MENDES, A. S. 2004. Aplicação da Técnica Infravermelha na Identificação e Caracterização da Matéria Orgânica nos Sedimentos de Fundo da Plataforma Continental do Amazonas. *Geochim. Brasil*, 18, 46-53.

LOPES, W. A., FASCIO M. 2004. Esquema para Interpretação de Espectros de Substâncias Orgânicas na região do Infravermelho. *Química Nova*, 27, 670-673.

LYONS, W. B., BIRD, D. A. 1995. Geochemistry of the Madeira River, Brazil - Comparison of Seasonal Weathering Reactions Using a Mass-Balance Approach. *Journal of South American Earth Sciences*, 8, 97-101.

MAGARELLI, G. 2006. Fluxos de mercúrio gasoso na interface solo/atmosfera na bacia do Rio Negro utilizando câmaras dinâmicas de fluxo. Departamento de Química Analítica - Universidade Estadual de Campinas.

MALM, O. 1998. Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon. *Environmental Research*, 77, 73-78.

MALM, O., PFEIFFER, W. C., SOUZA, C. M. M. & REUTHER, R. 1990. Mercury Pollution Due to Gold Mining in the Madeira River Basin, Brazil. *Ambio*, 19, 11-15.

MARTINELLI, L. A. 1986. Composição química e isotópica (¹³C) de sedimentos de várzea e suas interações com alguns rios da bacia Amazônica. Dissertação de Mestrado Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 214.

MARTINELLI, L. A., FERREIRA, J. R., FORSBERG, B. R. & VICTORIA, R. L. 1988. Mercury Contamination in the Amazon - a Gold Rush Consequence. *Ambio*, 17, 252-254.

MARTINELLI, L., BRAGAGNA, P., POLETTI, V. & SCIENZA, A. 1993. Somatic Embryogenesis from Leaf-Derived and Petiole-Derived Callus of *Vitis-Rupestris*. *Plant Cell Reports*, 12, 207-210.

MICARONI, R. C. C. M., BUENO, I. M. S., JARDIM, W. F. 2000. Compostos de mercúrio. Revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte. *Química Nova*, 4, 23.

- MIRANDA, M. R. 2007. Mercúrio em Sistemas Aquáticos: Fatores Ambientais que Afetam a Metilação. Laboratório de Traçadores Wolfgang Christian Pfeiffer, Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho. Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 24, 0-251.
- MIRETZKY, P., BISINOTI, M. C., JARDIM, W. F. 2005. Sorption of mercury (II) in Amazon soils from column studies. *Chemosphere*. Oxford, 60, 1583-1589.
- MIRETZKY, P., BISINOTI, M., JARDIM, W. F., ROCHA, J. C. 2005. Factors affecting Hg (II) adsorption in soils from rio Negro Basin – Amazon. *Química Nova*, 28, 438-445.
- MUDROK, A. & AZCUE, J. M. 1995. *Manual of Aquatic Sediment Sampling*. Lewis Publishers - CRC Press. Inc. Chapter 2: Procedures in preparation of sediment sampling program, 5-42.
- MUNTZ, W. R. A. 1978. A penetração de luz nas águas de rios Amazônicos. *Acta Amazônica*, 8, 613-619.
- NASCIMENTO, E. R., GOIS, F., PORTO, A.S., HOLANDA, E.C., COZZUOL, M. A. 2004. *Paleoecologia dos mamíferos do Pleistoceno da Amazônia Sul-Occidental, Brasil*.
- OIKAWA, T., PINHEIRO, M. C., VAZ, L. B. F., TODA, K. S. 2007. Avaliação dos teores de mercúrio na urina dos graduandos de odontologia. *Belém*, 1, 3.
- OLIVEIRA, L. C., SERUDO, R. L., BOTERO, W. G., MENDONÇA, A. G. R., SANTOS, A. ROCHA, J. C., CARVALHO NETO, F. S. 2007. Distribuição de mercúrio em diferentes solos da Bacia do médio Rio Negro-AM: influência da matéria orgânica no ciclo biogeoquímico do mercúrio. *Química Nova*, 30, 2.
- OLIVEIRA, S. B., MELFI, A. J., FOSTIER, A. H., FORTI, M. C., FAVARO, D. I. T., BOULET, R. 2001. *Water, Air, Soil Pollut*, 26, 321.
- PALERMO, E. F. A. 2004. Inorganic and methyl mercury in food chain from a Brazilian reservoir. *RMZ. Materials and Geoenvironment*, 51, 1103-6.
- PALERMO, E. F. A. 2004. Mercury and methylmercury in suspended particulated matter and sediments of a slightly impacted reservoir of Brazil. *RMZ. Materials and Geoenvironment*, 51, 1289-91.

DE PAULA, 1990. EIA-Tomo B 1/8, p. II-16).
www.abce.locaweb.com.br/downloads/Rio%20Madeira_parecer_tecnico_IBAMA.pdf.

Acessado em 17/12/2007.

PFEIFFER, W. C., MALM, O., SOUZA, C. M. M., LACERDA, L. D., SILVEIRA, E. G., BASTOS, W. R. 1991. Mercury in the Madeira River ecosystem, Rondônia, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 38,239-245.

PFEIFFER, W.C. 1993. Environmental fate of mercury from gold mining in the Brazilian Amazon. *Environ. Ver*, 12, 1-26.

PEREIRA, S. B., LIMA, W.N., EL-ROBRINI, M. 2006. Caracterização química e aspectos geoquímicos relevantes da matéria orgânica de sedimentos em suspensão na foz do rio Amazonas. Centro de Ciências Naturais, Belém.

RIBEIRO, J. E. L. S., HOPKINS, M. J. G., VICENTINI, A., SOTHERS, C. A., COSTA, M. A. S., BRITO, J. M., SOUZA, M. A. D., MARTINS, L. H. P., LOHMANN, L. G., ASSUNÇÃO, P. A. C. L., PEREIRA, E. C., SILVA, C. F., MESQUITA, M. R., PROCÓPIO, L. C. 1999. Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra firme na Amazônia Central. Manaus, INPA. 816.

RIZZOTTO, G. J., QUADROS, M. L. E. S., OLIVEIRA, J. G. F, CASTRO, J. M. R. 2004. Geologia e Recursos Minerais do Entorno de Jirau.

ROCHA, J. C., SARGENTINI J. R , ZARA, L. F., ROSA, A. H., SANTOS, A., BURBA, P. 2003. *TALANTA*, 61, 699.

ROCHA, J. C., SARGENTINI, E., ZARA, L. F., ROSA, A. H., SANTOS, A., BURBA, P. 2000. *TALANTA*, 53, 551.

ROULET, M. & LUCOTTE, M. 1995. Geochemistry of Mercury in Pristine and Flooded Ferralitic Soils of a Tropical Rain-Forest in French-Guiana, South-America. *Water Air and Soil Pollution*, 80, 1079-1088.

ROULET, M. 1998. Effect of recent human colonisation on the presence of mercury Ecosystems. *Water, Air, Soil Pollut.*, 112, 297-313.

ROULET, M., LUCOTTE, M., SAINT-AUBIN, A., TRAN, S., RHEAULT, I., FARELLA, N., DE JESUS DA SILVA, E., DEZENCOURT, J., SOUSA PASSOS, C. J., SANTOS SOARES, G., GUIMARAES, J. R., MERGLER, D. & AMORIM, M. 1998b. The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chao formation of the lower Tapajos River Valley, Para state, Brazil. *Sci Total Environ*, 223, 1-24.

RUIZ, H. A. 2005. Incremento da exatidão da análise Granulométrica do solo por meio da Coleta da suspensão (silte + argila). Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Minas Gerais.

SALOMONS, W., FORSTNER, U. 1984. *Metals in the Hydrocycle*, Springer Verlag, Germany, 181.

SANTOS, A., REZENDE, M. O. O., ROSA, A. H., ZARA, L. F., ROCHA, J. C. 2002. Distribuição de Cr, Ni, Cu, Cd e Pb em Frações Húmicas de Diferentes Tamanhos Moleculares Extraídas de Amostras de Água e de Sedimentos do Reservatório de Captação de Água Superficial Anhumas- Araraquara-SP. *Eclética Química*. São Paulo, 27.

SARGENTINI J. R., E., ROCHA, J. C., ROSA, A. H., ZARA, L. F., SANTOS, A. 2002. Substâncias Húmicas Aquáticas: Fracionamento Molecular e Caracterização de Rearranjos Internos após Complexação com Íons Metálicos. *Química Nova*, 24, 339.

SCHUSTER, E. 1991. *Water, Air, Soil Pollut*, 56, 667.

SKOOG, D. A., WEST, D. M., HOLLER, F. J., CROUCH, S. R. 2006. *Fundamentos de Química Analítica*, CENGAGE learning, 821-823.

SOUZA, J. R., BARBOSA, A. C. 2000. Contaminação por mercúrio e o caso da Amazônia *Química Nova Escola*, 12, 3.

SOUZA, J. R., BARBOSA, A. C. 2000. Contaminação por mercúrio e o Caso da Amazônia. *Química e Sociedade*, 12.

STEVENSON, F. J. 1994. *Humus Chemistry*, New York, 1994.

SUGUIO, K. 1973. *Introdução à sedimentologia*, São Paulo.

SVOBODOVA, Z., DUSEK, L., HEJTMANEK, M., VYKUSOVA, B. & SMID, R. 1999. Bioaccumulation of mercury in various fish species from Orlik and Kamyk water reservoirs in the Czech Republic. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 43, 231-240.

The Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic ("OSPAR Convention") was opened for signature at the Ministerial Meeting of the Oslo and Paris Commissions in Paris on 22 September 1992.

VEIGA, M., BASSIL, L., ROSSO, A. 1994. Degradação do solo e da água: Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água. Florianópolis, Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 384.

WASSERMAN, J. C., HACON, S. S., WASSERMAN, M. A. 2001. O ciclo do Mercúrio no Ambiente Amazônico, 2.

WENTWORTH, C. K. 1922. A Scale of grade and class term for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392.

WERSHAW, R. L. 1993. *Environ. Sci. Technol*, 27, 814.

YALLOUZ, A. V. 1997. Estudo de Parâmetros Experimentais Visando a Construção de um Sistema Simples para Determinação Semiquantitativa de Mercúrio em Peixes. Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica, PUC-Rio.

ZEIDEMANN, V. K., FORSBERG, B. R., ROULET, M., LUCOTTE, M., JARDIM, W.F. 1999. The geochemistry of mercury in soils of the Negro River Basin Brazilian Amazon and its role in the regional mercury cycle. In: Book of Abstract of the 5th International Conference-Mercury As A Global Pollutant. Rio de Janeiro, 561.