



## **MERCÚRIO EM DIFERENTES TIPOS DE SOLOS MARGINAIS DO BAIXO RIO MADEIRA – AMAZÔNIA OCIDENTAL**

D.P. Linhares<sup>1\*</sup>; J.M. da Silva<sup>1</sup>; T.R. de Lima<sup>2\*\*</sup>; J.P.O. Gomes<sup>1,3\*\*\*</sup>;  
R. Almeida<sup>1</sup>; W.R. Bastos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Biogeoquímica Ambiental, Núcleo de Ciência e Tecnologia, Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Rodovia BR 364, km 9,5 Sentido Acre, CEP: 78.900-500, Porto Velho, RO, Brasil

<sup>2</sup> Laboratório de Geografia e Planejamento Ambiental, Núcleo de Ciência e Tecnologia, Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Rodovia BR 364, km 9,5 Sentido Acre, CEP: 78.900-500, Porto Velho, RO, Brasil

<sup>3</sup> Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, Av. Jorge Teixeira, 3559, Porto Velho, RO, Brasil

E-mail: \*deborah@unir.br; \*\*tatiane@gmail.com; \*\*\*joaopaulo@unir.br

Recebido em 09/07, aceito para publicação em 04/08

### **ABSTRACT**

*Distribution of Hg along soil profiles from the Madeira River Basin between Porto Velho-RO and the mouth at the Amazon River, showed the highest concentrations varying with soil horizons depending on texture and organic matter content of a given layer. Highest Hg concentrations were found in clay soils, being influenced by soil type.*

### **RESUMO**

A distribuição de Hg em perfis de solos marginais ao longo do Rio Madeira entre Porto Velho-RO e a foz no Rio Amazonas, mostrou que as concentrações do metal variam de um horizonte para outro conforme a classe textural e os percentuais de matéria orgânica presente na camada. As maiores concentrações de Hg em solos marginais da bacia do Rio Madeira ocorre em solos de textura argilosa para muito argilosa, o que varia ainda, conforme a classe pedológica, a exemplo dos perfis de latossolo, argissolo e cambissolo analisados.

### **INTRODUÇÃO**

Os estudos para conhecimento do ciclo do mercúrio (Hg) e suas implicações sobre a saúde e o meio ambiente tiveram início a partir dos registros da contaminação de populações humanas. Estudar o comportamento deste metal em compartimentos ambientais na Amazônia é fundamental para o entendimento de seu ciclo global, pois este foi amplamente utilizado na região Amazônica, em particular no Rio Madeira,

para a recuperação de ouro de aluvião. No entanto, outra fonte de Hg na região pode ser natural, proveniente de atividade vulcânica, intemperismo de rochas e de corpos aquáticos (Silva, 2003; Fadini, 1999; Bastos *et al.*, 1998). No sistema hídrico o mercúrio pode ser disperso para outros ambientes, se transformar quimicamente e ser absorvido e acumulado por espécies aquáticas e chegar até o homem via cadeia alimentar. Sua forma mais tóxica é o metil-mercúrio, que pode causar sérios danos ao sistema nervoso central e que entre outras características apresenta alta solubilidade em gorduras (Malm *et al.*, 1997). Vários estudos revelam que a transformação química do Hg inorgânico ( $Hg^0$  e  $Hg^{++}$ ) em orgânico ( $CH_3Hg^+$ ) tem contribuição da matéria orgânica. Conforme registrado por Jardim *et al.* (1988), há forte correlação entre o Hg e a matéria orgânica presente nos sedimentos. Outra característica do Hg é a capacidade que este tem de acumular-se no organismo, e através da cadeia trófica pelo fenômeno da biomagnificação atingir concentrações elevadas em organismos do topo da cadeia alimentar. Este comportamento se agrava com a baixa eliminação deste metal devido sua eficiente lipossolubilidade (Malm *et al.*, 1997; Lacerda & Salomons, 1998; 1995; Kitamura, 1994). Estas características fazem dos peixes carnívoros a principal via de exposição ao do metil-mercúrio pela população.

### ***Atividade garimpeira no Rio Madeira***

O Brasil tem um velho e longo histórico de atividade mineral de ouro que remonta ao período da colonização. Em Rondônia, a atividade de mineração de ouro teve início no século XVIII, precisamente em 1739, após a descoberta de ouro no Rio Corumbiara (afluente do Rio Guaporé) por um grupo de garimpeiros (Teixeira & Fonseca, 1998). No ano de 1978 iniciou-se o processo de extração de ouro por meio do método manual (mineração artesanal), ou seja, utilizando-se Hg no processo de recuperação de ouro por amalgamação. No ano seguinte, surgiram as primeiras balsas (Figura 1) e no princípio da década de 1980 foram registradas as primeiras dragas, período no qual se intensificou a exploração aurífera em todo trecho que compreende o Alto Rio Madeira, em destaque os garimpos dos Periquitos, Santo Antonio e Belmonte (Adamy & Pereira, 1991). Neste período houve um aumento no quantitativo populacional regional, decorrente da notícia da existência de aluviões mineralizados de ouro, fato que intensificou o fluxo de garimpeiros no Rio Madeira.



**Figura 1:** Balsas e dragas no Rio Madeira na década de 1980.

O ouro encontrado nos aluviões do Rio Madeira é de granulação finíssima, ou seja, ouro em pó, característica que dificulta a separação desse minério das demais partículas extraídas no processo de garimpagem. A partir desta característica a

exploração é realizada com o uso do Hg na fase líquida, devido à propriedade deste fazer amálgama com ouro. Nesta atividade o Hg é misturado ao sedimento (gravimetricamente concentrado) para a captação do ouro e, posteriormente é transferido para outro recipiente onde é realizada a separação ouro/mercúrio, através de aquecimento com uma chama de butano. Entre os anos 70 e 90 este procedimento era realizado em sistema aberto, perdendo assim, grande parte do Hg para os corpos d'água e atmosfera (Pfeiffer & Lacerda, 1988). Atualmente, este procedimento é realizado em destiladores (retortas) que além de recuperar o Hg que volatilizaria para a atmosfera viabiliza sua reutilização no processo inicial reduz a exposição ocupacional e a contaminação do meio ambiente (Bastos & Lacerda, 2004). No referido período, esta atividade foi regularizada como "Reserva garimpeira de ouro do Rio Madeira" (Portarias Ministeriais nºs. 1345/79 e 1034/80), delimitando a área de exploração em 192 km<sup>2</sup>, no trecho compreendido entre as Cachoeiras do Paredão e Teotônio (Veiga *et al.*, 2002). No entanto, a Legislação brasileira através do Decreto Lei nº. 97.507, de 13 de fevereiro de 1989, proíbe o uso de mercúrio metálico na extração de ouro, salvo em atividade licenciada pelo órgão ambiental competente (Cabral, 1996). Apesar de se reconhecer a grande produção de ouro na região entre os anos de 1970 e 1990 os valores oficiais diferem bastante em relação à produção estimada (Figura 2).



**Figura 2:** Produção de ouro em Rondônia entre 1979 e 1995 (Carvalho Neto, 1998).

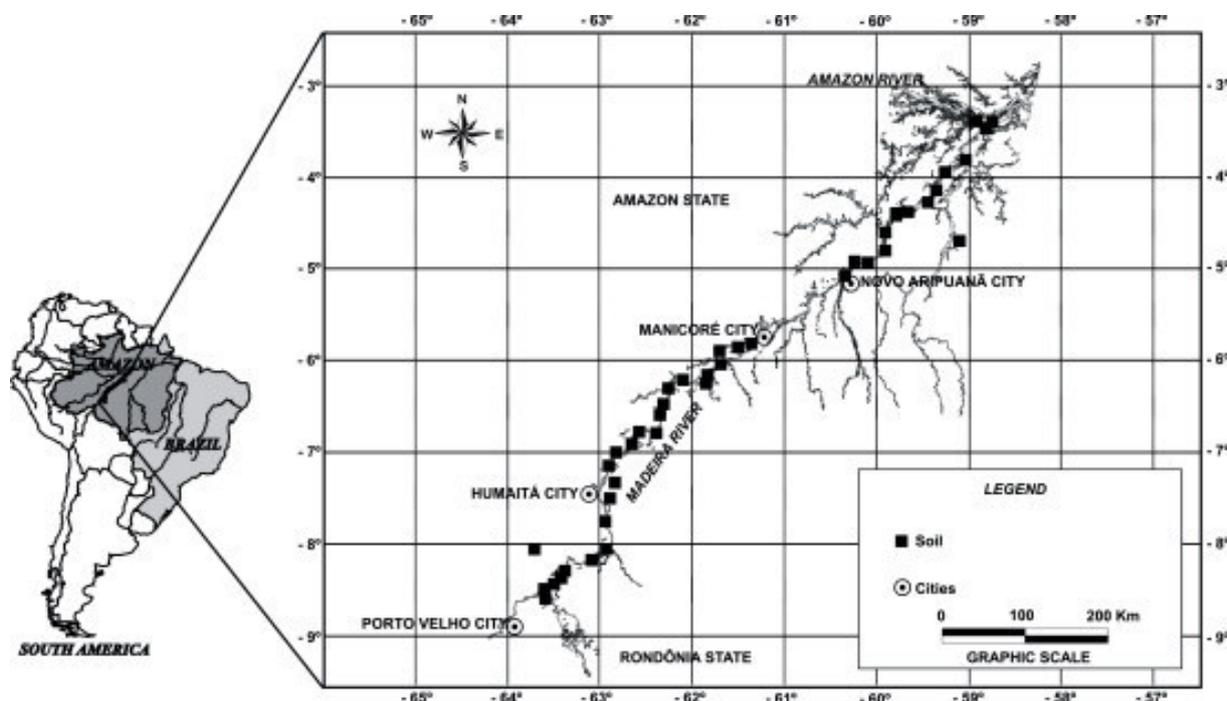
A disparidade na produção oficial e estimada pode estar associada à evasão e clandestinidade que nos impedem de conhecer a produção real de ouro e a partir disto a quantidade de Hg liberado para o ambiente, seja atmosfera, rios ou solos. No entanto, Kitamura (1994) e Lacerda & Salomons (1995) estimaram entre 130 e 300 t/ano a carga de Hg para o meio ambiente amazônico no referido período.

Após a diminuição significativa do garimpo de ouro no Rio Madeira, a lixiviação do Hg presente em solos marginais, desponta como uma das principais fontes do metal para sistemas aquáticos e conseqüentemente para peixes. A geologia e composição dos solos e seus diferentes usos influenciam a concentração e mobilidade do Hg presente nos solos (Silva, 1995; Almeida *et al.*, 2005). Assim, este estudo tem como ponto central determinar as concentrações de Hg em solos, sua variação com a granulometria, tipo de solo e a relação com a matéria orgânica ao longo do Rio Madeira entre a cidade de Porto Velho (RO) até sua foz no Rio Amazonas.

## ÁREA DE ESTUDO

A área em estudo compreende a calha do Rio Madeira da cidade de Porto Velho (RO) até a sua Foz no Rio Amazonas (AM) com cerca de 1.100 km de extensão (Figura 3). Esta área caracteriza-se como um ambiente de sedimentação continental fluvial, onde são encontradas em maior expressão rochas do tipo sedimentares.

Na área de estudo destacam-se duas unidades estratigráficas ao longo da área de estudo sob influência do Rio Madeira: Formação Solimões e Aluviões. As rochas pertencentes à Formação Solimões são compostas por arenitos, argilitos e siltitos de idade plio-pleistocênica (Brasil, 1978). De acordo com Brasil (2001), nos domínios da Formação Solimões, os sedimentos dos vales de drenagem são recobertos pelos depósitos sub-recentes chamados terraços fluviais e depósitos modernos, denominados de planícies aluvionares.



**Figura 3:** Área de estudo evidenciando as principais cidades e os pontos de amostragem de solo.

A sedimentação característica da Formação Solimões é flúvio-lacustre, com rochas compostas por arenitos semifriáveis a friáveis, submetidas a um alto grau de intemperismo. Sobre a Formação Solimões ocorrem solos sob processo de latolização (latossolos) e podzolização (argissolos), e depósitos aluvionares sub-recentes e recentes. Nesta unidade, há dois tipos de depósitos, ambos correspondentes a chamada planície de inundação. Os depósitos aluvionares apresentam estratificações em colmatagem horizontal e são originados por materiais transportados pelo rio, de acordo com a sazonalidade climática e o regime hidrológico (Brasil, 1978; Brasil, 2001).

O Rio Madeira apresenta-se de forma preponderantemente retilínea, ocorrendo eventuais meandros ao longo do leito fluvial. A maior parte do trecho em análise apresenta-se inserido nos domínios da planície Amazônica, onde se formou uma faixa de aluvião sobre os terrenos sedimentares do plio-pleistoceno. São extensas áreas de acumulação de sedimentos quaternários, depositados ao longo das margens dos rios Amazonas, Solimões e seus afluentes. O Rio Madeira é classificado como rio de águas

brancas por apresentar alta carga de sedimentos transportados em seu leito (Sioli, 1991). A planície fluvial do Rio Madeira tem seu início a partir de aproximadamente 40 km à jusante da cidade de Porto Velho com largura média de 15 km e área total de 1.648 km<sup>2</sup> até a foz no Rio Amazonas (Brasil, 1996). Na área de estudo destaca-se a abrangência da planície de inundação, onde há acumulação de sedimentos, compondo as várzeas que são os terrenos geologicamente mais jovens da Amazônia (Brasil, 1978).

Na planície fluvial de inundação desenvolvem-se solos do tipo: neossolos flúvicos, cambissolos, gleissolos e plintossolos. Nas áreas mais conservadas, onde predominam os aspectos de intemperismo, bio-climáticos é encontrada a formação de latossolos e argissolos (Brasil, 1978). Os neossolos são caracterizados por seu desenvolvimento incipiente e são encontrados nas margens de cursos d'água, formados pela deposição de partículas transportadas pelo curso fluvial. Ocorrem em áreas de relevo plano com origem nos sedimentos recentes do Quaternário (Brasil, 1978). Os neossolos são caracterizados pelo seu baixo desenvolvimento com camadas minerais e orgânicas pouco espessas sem ocorrência de horizonte B diagnóstico. Sua formação denota resistência ao intemperismo seja por suas propriedades físico-químicas ou, no caso dos neossolos encontrados na planície fluvial do Madeira, pela influência do relevo – planícies periodicamente inundadas – que limitam e atrasam a decomposição e evolução dos materiais sedimentares depositados periodicamente, além da constante renovação e remoção de camadas dentríticas recentes (Brasil, 1999). Os cambissolos são essencialmente minerais; sua fertilidade é diversa e está atrelada ao material que lhe deu origem, além do tipo e intensidade dos processos de transporte e sedimentação.

Apesar da pouca evolução, seu desenvolvimento já possibilita a caracterização de cor e estrutura. Os gleissolos são também solos pouco desenvolvidos por se formarem em ambientes com lençol freático próximo à superfície ou com regime de inundação durante parte do ano. Essa periodicidade na alternância de umidade possibilita quando o solo está saturado em umidade a gleização dos horizontes causada pela redução do ferro livre em ausência de oxigênio. Já no período de menor umidade pode ocorrer a formação de mosqueados de coloração avermelhada por efeito da oxidação (Silva, 1995). Os gleissolos são constituídos por minerais pouco desenvolvidos e, devido a sua formação pedogenética, apresentam-se normalmente mal drenados compostos por argilas de baixa ou alta atividade. Estão presentes nas planícies aluviais recentes em associação com os neossolos e têm sua origem em sedimentos argilo-siltosos correspondentes ao Quaternário recente (Brasil, 1999). Outra classe comumente encontrada na área de estudo corresponde aos plintossolos que são caracterizados por um maior nível de desgaste. São fortemente ácidos com drenagem imperfeita em decorrência da conformação dos horizontes subsuperficiais sob influência da textura herdada do material de origem. Caracteristicamente forma mosqueado a partir do horizonte B<sub>1</sub> e no horizonte B<sub>2</sub> verifica-se a ocorrência de material argiloso, altamente intemperizado, rico em sesquióxidos e pobre em húmus ou, se submetido a fases de umedecimento e secagem, são formadas concreções denominadas plintitas (Vieira, 1975). São originados por sedimentos areno-argilosos e apresentam em geral baixa fertilidade natural (Brasil, 1999).

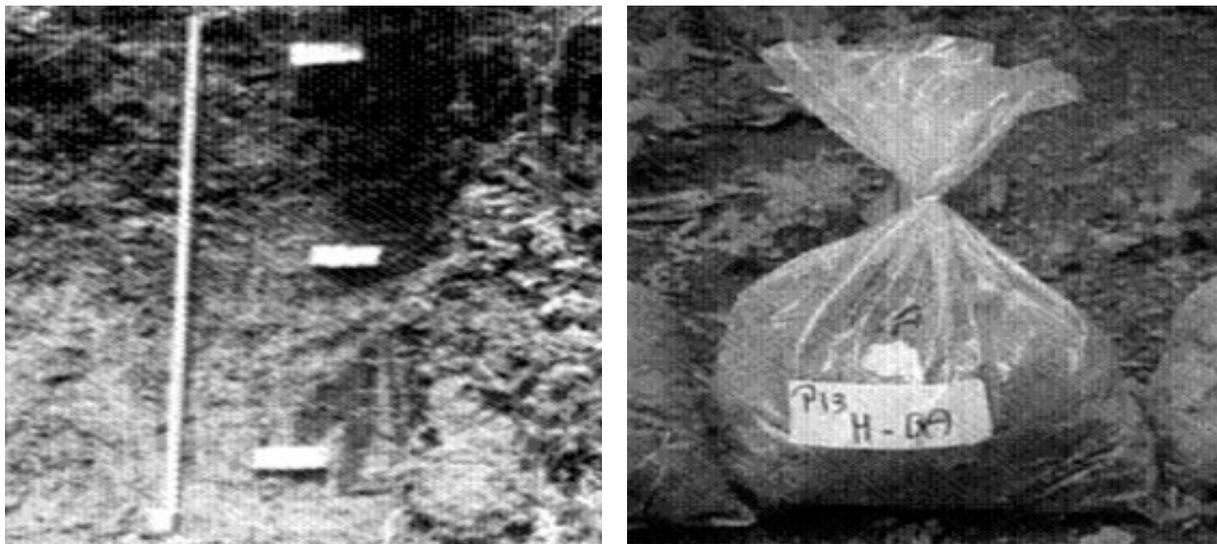
Os argissolos amarelos são identificados por apresentarem, entre outros aspectos, o chamado horizonte B textural onde se concentra maior nível de minerais secundários decompostos, como argilas em horizonte subsuperficial B, apresentando-se em avançado nível de desenvolvimento. Os latossolos amarelos apresentam-se muito lixiviados, profundos com horizonte B latossólico, com textura variando entre

média a muito argilosa e pouca diferenciação entre os horizontes, com origem em sedimentos argilo-arenosos do Terciário. No horizonte B latossólico há predominância de sesquióxidos e argila do tipo 1:1, com alto grau de floculação o que dificulta a iluviação da argila e a diferenciação de subhorizontes (Rodrigues, 1996).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### *Procedimentos de campo*

Para a atividade de campo, devido a extensão da área em estudo (cerca de 1.100 km até a foz), a coleta das amostras foi dividida em três expedições com uma equipe multidisciplinar ao longo do baixo Rio Madeira entre os anos de 2001 e 2002. As amostras de solos foram coletadas em perfis pedológicos (mini-trincheira, barranco e tradagem) com profundidade variando de 0 a 130 cm. Em campo foram registradas as características morfológicas dos perfis e os pontos foram georeferenciados com uso de GPS. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e mantidas sob resfriamento até o laboratório (Figura 4 e Tabela 1).



**Figura 4:** Perfil pedológico e amostra de solo coletada ao longo do Rio Madeira.

**Tabela 1:** Local de coleta, número de perfis coletados e número de horizontes amostrados em solos ao longo do Rio Madeira.

<b>Tipo de Coleta</b>	<b>Nº de Perfil</b>	<b>Nº de horizontes</b>
Barranco	29	121
Mini-Trincheira	12	51
Total	41	172

### *Procedimentos de laboratório*

#### *Granulometria*

A granulometria foi determinada conforme o método de pipeta (dispersão total) onde as amostras passaram por hidroxidação (hidróxido de sódio) e a solução foi agitada durante 15 min. para os solos pré-classificados em campo como argilosos e 5 min. para os de textura média e arenosa.

As amostras ficaram no dessecador até atingir a temperatura ambiente e foram pesadas (0,0001g) para argilas. A fração areia (grossa + fina) foi separada por peneiramento (0,2 mm; nº. 70). A fração silte foi determinada para cada amostra por cálculo de diferença (Brasil, 1997).

#### *Matéria orgânica*

A determinação de matéria orgânica (MO) foi realizada por titulação química, conforme o método descrito em Brasil (1999).

#### *Mercúrio total*

A determinação de Hg total em solo (fração < 200 mesh; < 0,075 mm) foi baseada no método de Bastos *et al.* (1998). Foi feita extração ácida com HCl:HNO<sub>3</sub> (3:1) e oxidação com KMnO<sub>4</sub> a 5%. As concentrações foram medidas por espectrofotometria de absorção atômica com geração de vapor frio (*Flow Injection Mercury System – FIMS 400*, Perkin-Elmer).

Todo este processo foi realizado fazendo usos de amostras “branco controle” e amostras de referência certificadas e em duplicata para garantir a confiabilidade dos resultados analíticos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Dentre as classes de solos identificadas na região os latossolos apresentaram as mais elevadas concentrações de Hg, 641,4 µg.kg<sup>-1</sup>, próximo ao garimpo do Belmont no município de Porto Velho-RO e 401,9 µg.kg<sup>-1</sup> na comunidade de Caiçara, nas adjacências da cidade de Borba-AM, fora da área de reserva garimpeira.

Considerando a média máxima por perfil de solo, as menores concentrações foram detectadas no neossolo flúvico (25,3 µg.kg<sup>-1</sup>) 20 km à jusante da cidade de Humaitá-AM e no gleissolo localizado na comunidade de Curicaca (25,5 µg.kg<sup>-1</sup>) (Tabela 2).

**Tabela 2:** Concentração de Hg nas diferentes classes de solo identificadas ao longo do Rio Madeira.

Tipo de solo	Perfis	Horizontes	Mercúrio (µg.kg <sup>-1</sup> )		
	n= 41	n= 171	Máximo	Mínimo	Mediana
Neossolos Flúvicos - NF	10	48	147,4	25,6	48,7
Cambissolos - C	03	09	54,9	35,2	46,3
Gleissolos - G	03	12	97,6	25,5	68,2
Plintossolos - P	11	44	314,1	27,9	53,6
Argissolos - A	05	20	390,1	27,7	216,1
Latossolos - L	08	38	641,4	29,4	79,3

#### *Latossolos*

A partir das características levantadas em campo e dos resultados granulométrico e químico foram identificados oito perfis de latossolo:

a) Latossolo Amarelo Plíntico – LAp, localizado na comunidade de Cujubim Grande-RO (perfil- 1);

b) Latossolo Amarelo – LA, localizado no vilarejo de Itacoã (perfil-2), Matamatá-AM (Perfil-28), Vila Isabel (perfil-30), Caiçara – AM (perfil-34), Nova Olinda-AM (perfil-36) e o perfil 32, localizado à 80 km da cidade de Nova Aripuanã-AM;

c) Latossolo Vermelho Amarelo – LVA, próximo da comunidade de Vista Nova (perfil-29).

Dentre os perfis acima se destaca o perfil 1 (Figura 4), que conforme a granulometria, possui textura argilosa, predominando nos horizontes superficiais A e AB (profundidade entre 0 a 19 cm) maiores percentuais de areia ( $412 \text{ g.kg}^{-1}$ ), concentração de Hg entre  $641,4$  e  $147,4 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ ,  $20 \text{ g.kg}^{-1}$  de matéria orgânica e menores valores de silte ( $300 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e argila ( $288 \text{ g.kg}^{-1}$ ). Verificou-se ainda neste perfil, um nítido decréscimo no percentual de areia ( $146 \text{ g.kg}^{-1}$ ) nos horizontes sub-superficiais BA, B<sup>1</sup> e B<sup>2</sup> (profundidade variando de 19 a 80 cm) com um aumento da fração argila para  $621 \text{ g.kg}^{-1}$ . Ainda, constatou-se que os teores de Hg ( $140,5 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ ) acompanham esta inversão na textura.

As altas concentrações medidas nos perfis 1 e 2, sobretudo no horizonte A, possivelmente estão relacionadas a atividade de exploração aurífera ainda presente na região, mesmo que em menor escala, se comparado ao período compreendido entre a década de 1980 e início dos anos 1990.

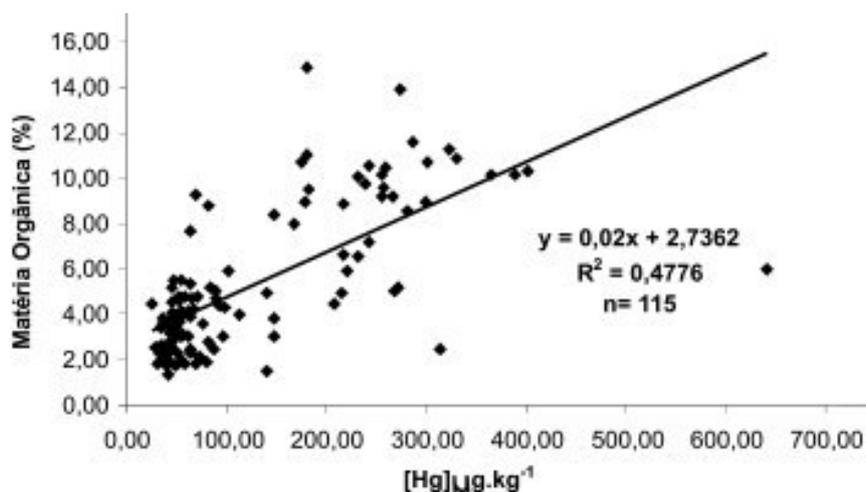
O perfil da comunidade de Caiçara, também um Latossolo Amarelo – LA, que de acordo com a granulometria apresenta textura argilosa, no horizonte superficial A (profundidade 0 a 17 cm) foram encontrados os maiores teores de argila ( $767 \text{ g.kg}^{-1}$ ), Hg ( $401,9 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ ) e MO ( $20,6 \text{ g.kg}^{-1}$ ). No horizonte sub-superficial (profundidade entre 17 e + 39 cm) houve um incremento na taxa de argila, cuja fração atingiu os  $851 \text{ g.kg}^{-1}$ . No entanto, os percentuais de MO caíram acentuadamente para  $6,5 \text{ g.kg}^{-1}$  e o menor teor de Hg ( $365,4 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ ) ocorreu nos horizontes BA e B ( $330,9 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ ). Merece destaque ressaltar que este ponto está localizado na região da foz do Rio Madeira, onde não há registros de atividade garimpeira para extração de ouro. A origem deste Hg pode ser diversa, desde deposição atmosférica ou consequência do atual padrão de uso do solo na região. O uso do solo é um fator importante para avaliar a remobilização de Hg de uma matriz para outra ou ainda, principalmente, para outros ambientes, a exemplo da atmosfera e cursos de águas. Destaca-se o comportamento do aluvião, que quando depositado pode impedir a dispersão de metais por um tempo, mas liberá-lo em outro momento quando da inundação dos igapós. O que é caracterizado na área de estudo pelo regime pluviométrico, marcado por um período seco e outro de intensas chuvas (Bastos *et al.*, 2007). A relação do Hg com MO é fundamental, pois estudos pretéritos comprovam que a matéria orgânica subsidia a metilação. Nos solos analisados estas duas variáveis apresentaram correlação altamente significativa ( $r^2= 0,4776$ ) (Figura 5).

### *Argissolos*

Ao longo de toda área de estudo foram classificados cinco perfis de Argissolo Amarelo – AA, os quais estão situados na comunidade de Santo Antonio-AM (perfil-16), Vila Canaã-AM (perfil-35), Vila de Urucurituba-AM (perfil-39), próximo ao núcleo urbano de Manicoré-AM (perfil-23) e a montante cerca de 60 km desta comunidade (perfil-26). Dentre estes o perfil-35 reflete nitidamente a importância da determinação da fração granulométrica e da MO para o entendimento da dinâmica do Hg no solo.

Neste perfil foram detectados os maiores teores desse metal, com intervalo entre  $257,7 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$  a  $390,1 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$  no horizonte sub-superficial B (profundidade entre 53 cm a 73 cm), os maiores valores para MO ( $10,75 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e argila ( $751 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e baixíssimos valores de areia ( $183 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e silte ( $66 \text{ g.kg}^{-1}$ ).

É importante salientar que as maiores concentrações de Hg nesta classe de solo foram registradas em horizontes sub-superficiais, geralmente a uma profundidade superior a 40 cm, tendência marcada pelos elevados valores da fração argila e matéria orgânica (Tabela 3).



**Figura 5:** Relação da média de Hg e matéria orgânica em solos marginais do Rio Madeira.

**Tabela 3:** Granulometria, teor de matéria orgânica e concentração de Hg em amostras de solo coletados nas comunidades de Canaã-AM e Urucurituba-AM.

Perfil	Areia g.kg <sup>-1</sup>	Silte g.kg <sup>-1</sup>	Argila g.kg <sup>-1</sup>	MO (%)	Hg (µg.kg <sup>-1</sup> )	Min.	Máx.	Média
35	333	200	467	8,9	216,7 ± 55,0	216,7	390,8	265,4
	299	200	501	6,6	232,1 ± 32,0			
	266	100	634	5,9	222,0 ± 37,6			
	199	67	734	9,6	257,7 ± 5,1			
	183	66	751	10,2	390,1 ± 50,0			
39	666	67	267	8,4	147,9 ± 16,5	147,9	301,7	227,1
	599	67	334	4,9	215,5 ± 10,2			
	466	67	467	10,6	243,4 ± 2,1			
	416	67	517	10,8	301,7 ± 0,3			

### *Cambissolos*

Na área de estudo foram encontrados três manchas de Cambissolo Haplico. Localizado a 160 km da cidade de Humaitá-AM (perfil-18), comunidade de Santa Rosa-AM (perfil-11) e em frente a cidade de Borba-AM (perfil-33). Dentre os solos de ambiente de terra firme os Cambissolos foram os que apresentaram os menores teores de Hg, oscilando em média de 43,2 µg.kg<sup>-1</sup> a 52,0 µg.kg<sup>-1</sup> entre todos os perfis. No perfil 33 foram detectados as maiores concentrações de Hg (54,9 µg.kg<sup>-1</sup>), valores equivalentes para areia (366 g.kg<sup>-1</sup>) e silte (353 g.kg<sup>-1</sup>) e baixos valores para a fração argila (253 g.kg<sup>-1</sup>) e matéria orgânica (2,03 g.kg<sup>-1</sup>).

### *Plintossolos, Neossolos fluvicos e Gleissolos*

De forma ampla e generalizada as manchas de Plintossolos, Neossolos fluvicos e Gleissolos identificados na área de estudo direta ou indiretamente sofrem alteração pedogenética por excesso de água, o que imprime a esses solos peculiaridades. Estes se originam por retrabalhamento de partículas (transportadas e depositadas) de solos que por ação da água podem apresentar inchamento permanente ou periódico. Estes podem influenciar na disposição das camadas ou horizontes de acordo com o regime fluvial e pluvial regional e local ao qual está submetida. O excesso hídrico confere aos solos pertencentes a estas classes a origem por hidromorfismo. Predomina uma

deficiente decomposição da matéria orgânica e um ambiente de baixo potencial de oxidação-redução. Esta característica pode transformar partículas de Fe e Mn e outros metais em formas solúveis, facilitando sua migração para outros ambientes (Resende *et al.*, 1999; Linhares *et al.*, 2005). Convém, ainda, ressaltar, que além das características acima mencionadas, os plintossolos (Inceptisols) apresentam-se com horizonte plíntico dentro dos 40 cm superficiais ou a maior profundidade, quando subjacentes ao horizonte "E" ou subsequente aos horizontes com mosqueados resultantes de oxidação-redução. A camada plíntica apresenta espessura igual ou maior que 15 cm com coloração variada e 15% ou mais de plintita por volume de material analisado. Quanto à fração granulométrica esta indica o predomínio da fração silte no horizonte A e de argila no horizonte B (Vieira, 1975).

### Plintossolos

Foram identificadas 11 manchas de plintossolo ao longo do baixo Rio Madeira: Plintossolo - na comunidade de Cavalvante-RO (perfil-6);

Plintossolo háplico - localidade de Providência-AM (perfil-12), Fazendinha (perfil-40), perfil 15 localizado a 130 km do núcleo urbano do município de Novo Aripuanã-AM e perfil 31, situado 100 km à jusante destes município;

Plintossolo argiluvico - situado nos vilarejos de Santa Rosa do Aripuanã-AM (perfil-20), Mandego-AM (perfil-21), Altazes-AM (perfil-38), Pacqué (perfil-37), perfil 25 localizado à jusante da cidade de Manicoré-AM e por ultimo o perfil 13, distante aproximadamente 60 km à montante da cidade de Humaitá-AM.

Embora na área de estudo esta classe pedológica tenha sido identificada em diversos perfis desde a comunidade de Primavera-RO, próxima à cidade de Porto Velho-RO, até confluência do Rio Madeira com o Rio Amazonas, os maiores teores Hg foram detectadas nas amostras de solos coletados nos perfis 37 e 38 (plintossolos argiluvicos), ambos localizados na região da foz do Rio Madeira.

O perfil 37 apresentou 218  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  de Hg, 467  $\text{g.kg}^{-1}$  de argila, 167  $\text{g.kg}^{-1}$  de silte, 366  $\text{g.kg}^{-1}$  de areia e 28,6  $\text{g.kg}^{-1}$  de matéria orgânica no horizonte superficial "A" (profundidade entre 0 e 22 cm). Estes teores foram significativamente elevados no Horizonte "B", sub-superficial (profundidade entre 22 e 41 cm), cuja concentração de Hg foi de 314,1  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ , fração argila 817  $\text{g.kg}^{-1}$  e redução acentuada da MO (2,5  $\text{g.kg}^{-1}$ ), areia (133  $\text{g.kg}^{-1}$ ) e silte (50  $\text{g.kg}^{-1}$ ).

Foi observado um comportamento inverso para o perfil 38, com concentrações médias de Hg variado entre 240,0  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  a 208,1  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  e MO de 37,7  $\text{g.kg}^{-1}$  a 10,5  $\text{g.kg}^{-1}$  no horizonte superficial "A" (entre 0 e 21cm de profundidade). Estes teores decresceram em profundidade, exceto para a fração argila, silte e areia (Tabela 4).

**Tabela 4:** Granulometria, teor de matéria orgânica e concentração de Hg em amostras de solo coletados nas comunidades de Pacqué e Altazes, no Estado do Amazonas.

Perfil	Areia $\text{g.kg}^{-1}$	Silte $\text{g.kg}^{-1}$	Argila $\text{g.kg}^{-1}$	MO (%)	Hg ( $\mu\text{g.kg}^{-1}$ )	Mín.	Máx.	Média
37	366	167	467	28,6	218,0 $\pm$ 3,0	218,0	314,8	255,1
	199	100	701	7,5	232,6 $\pm$ 3,0			
	133	50	817	2,5	314,8 $\pm$ 7,0			
	299	234	467	37,7	240,0 $\pm$ 30,7			
38	299	200	501	15,6	168,8 $\pm$ 2,6	168,8	240,0	195,7
	199	167	634	10,5	208,1 $\pm$ 3,6			
	133	100	767	5	182,0 $\pm$ 2,7			
	66	100	834	1,5	179,5 $\pm$ 2,0			

### *Gleissolos*

Na área de estudo foram identificados gleissolos nas comunidades de São Carlos (perfil-4), Curicaca (perfil-5) e Calama (perfil-8). No perfil 5 de glei húmico, foram encontrados elevados valores de MO com intervalo entre 22,2 a 7,1 g.kg<sup>-1</sup> e das frações granulométricas argila (338 g.kg<sup>-1</sup>), silte (566 a 416 g.kg<sup>-1</sup>) e baixos teores de areia (46 a 247 g.kg<sup>-1</sup>) nos horizontes “A” e “AB” superficiais (profundidade de 0 a 29 cm). Estes parâmetros indicam uma maior retenção de Hg cujas concentrações variam entre 25,5 µg.kg<sup>-1</sup> e 98,0 µg.kg<sup>-1</sup>, fenômeno que manteve-se para o glei pouco húmico (Tabela 5).

**Tabela 5:** Granulometria, teor de matéria orgânica e concentração de Hg em amostras de solo coletados nas comunidades de São Carlos-RO e Curicaca.

Perfil	Profundidade cm	Areia g.kg <sup>-1</sup>	Silte g.kg <sup>-1</sup>	Argila g.kg <sup>-1</sup>	MO (%)	Hg (µg.kg <sup>-1</sup> )	Hg [Média]
4	0 a 13	212	367	421	43,9	70,0 ± 0,1	75,1
	13 a 29	212	350	438	19,2	90,4 ± 14,9	
	29 a 43	279	233	488	3	73,0 ± 22,1	
	43 a 80	212	267	521	2	67,0 ± 3,2	
5	0 a 11	46	566	388	22,2	25,5 ± 3,0	58,8
	11 a 23	246	416	338	7,1	96,0 ± 5,8	
	23 a 80	79	567	354	11,1	52,8 ± 3,4	

### *Neossolos*

As coletas de solo foram realizadas essencialmente na planície de inundação na bacia sedimentar Madeira-Amazonas, ambiente onde é comum a ocorrência de solos da classe dos Neossolos fluvicos ou aluviais. Esta classe é constituída por um solo pouco desenvolvido com horizonte ou camadas estratificadas de textura argilosa, siltosa ou arenosa oriundo de processos de remoção e deposição de particulados (sedimentos em suspensão e dissolvidos). Estes apresentam drenagem internas variando de bem a imperfeitamente drenados com horizonte superficial de coloração escura ou acinzentados. Os teores médios de matéria orgânica podem ser identificados nos primeiros 30 cm de espessura, pois este é isento de qualquer tipo de horizonte B diagnóstico, possuindo apenas camadas estratificadas.

Ao longo do Rio Madeira foram encontrados 10 perfis de Neossolos: nas comunidades de Primavera (perfil-3), Papagaios (perfil-7), Ponta Pelada (perfil-9), Humaitá-AM (perfil-10), Barranco-AM (perfil-14, perfil-17), Baiano/Humaitá (perfil-19), Ilha das Onças (perfil-24), Novo Aripuanã (perfil-27) e na foz do Rio Madeira (perfil-41).

Nesta classe pedológica destacam-se o perfil 3 e o perfil 14 com as maiores concentrações de Hg (128,1 µg.kg<sup>-1</sup> a 147 µg.kg<sup>-1</sup>), com valores de MO variando de 0,9 g.kg<sup>-1</sup> a 13,6 g.kg<sup>-1</sup> e, principalmente em camadas sub-superficiais (profundidade de 30 a 130 cm). Quanto a classificação granulométrica do perfil 3, a fração de argila variou entre 254 a 654 g.kg<sup>-1</sup>, silte entre 184 a 467 g.kg<sup>-1</sup> e valores relativamente elevados de areia (162 a 412 g.kg<sup>-1</sup>).

No entanto, o perfil 14 tem predomínio da fração de areia (646 a 879 g.kg<sup>-1</sup>) seguido de silte (33 a 233 g.kg<sup>-1</sup>) e argila (88 a 188 g.kg<sup>-1</sup>), conferindo a este uma textura médio-arenosa. Neste aspecto, na classe dos Neossolos se observa que não há uma fração granulométrica ou classe textural definida que possa influenciar as concentrações de Hg, como foi constatado em outros solos onde as concentrações são diretamente proporcionais aos valores de argila e MO (Tabela 6). Esta discordância

pode estar associada às periódicas e sazonais influências hidrológicas que ocorrem na planície de inundação da Bacia do Rio Madeira.

**Tabela 6:** Granulometria, teor de matéria orgânica e concentração de Hg em amostras de solo coletados nas comunidades de Primavera e Barranco-AM.

Perfil	Profundidade cm	Areia g.kg <sup>-1</sup>	Silte g.kg <sup>-1</sup>	Argila g.kg <sup>-1</sup>	MO (%)	Hg (µg.kg <sup>-1</sup> )	[Hg] Média
3	01 - 30	412	334	254	5,6	81,7 ± 13,9	123,5
	30 - 90	212	467	321	13,6	147,3 ± 5,7	
	90 - 130	162	184	654	11,1	141,4 ± 2,9	
	0 - 10	662	167	171	6,4	31,3 ± 1,3	
14	10 - 20	879	33	88	6,4	58,6 ± 21,8	48,7
	20 - 32	579	233	188	4,6	36,0 ± 1,4	
	32 - 49	679	150	171	3,7	32,6 ± 8,3	
	49 - 53	712	134	154	3,7	25,7 ± 1,4	
	53 - 72	646	183	171	0,9	128,1 ± 134,6	
	72 - 94	579	233	188	4,1	29,0 ± 1,9	

## CONCLUSÕES

O estudo da dinâmica do Hg em solos na região Amazônica ainda é incipiente, assim como o entendimento da relação do Hg com as variáveis ambientais. Nesta pesquisa, a partir dos resultados ficou comprovada a necessidade de um monitoramento de Hg considerando a granulometria, teor de matéria orgânica, características da classe pedológica (a exemplo da acidez, grau de compactação, retenção de água) e, principalmente o tipo de uso do solo.

Quanto à mobilidade do Hg nos solos analisados foi observado que os teores desse metal variam de um horizonte para outro conforme a classe textural e os percentuais de matéria orgânica presente na camada. Portanto, pode-se concluir que a dinâmica do Hg em solos marginais da bacia do Rio Madeira, seja hidromórfica ou não, certamente ocorre em solos de textura argilosa para muito argilosa, o que varia ainda, conforme a classe pedológica, a exemplo dos perfis de latossolo, argissolo e cambissolo analisados.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do SEBRAE-RO e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através dos projetos CNPq/CT-Amazônia (Proc. N°. 553269/2004-1) e CNPq/PPG-7-Fase II (Proc. N°. 556934/2005-9).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMY, A. & PERREIRA, L.A.C. (1991) Projeto Ouro Gemas Frente Rondônia. CPRM/DNPM, Porto Velho.
- 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. *Environmental Pollution*, **137**: 179-186.
- BASTOS, W.R.; MALM, O.; PFEIFFER, W.C.; CLEARY, D. (1998) Establishment and

- analytical quality control of laboratories for Hg determination in biological and geological samples in the Amazon-Brazil. *Ciência & Cultura*, **50**: 255-260.
- BASTOS, W.R. & LACERDA, L.D. (2004) A contaminação por mercúrio na Bacia do Rio Madeira: uma breve revisão. *Geochimica Brasiliensis*, **18**: 99-114.
- BASTOS, W.R.; ALMEIDA, R.; DOREA, J.G.; BARBOSA, A.C. (2007) Annual flooding and fish-mercury bioaccumulation in the environmentally impacted Rio Madeira (Amazon). *Ecotoxicology*, **16**: 341-346.
- BRASIL (1978) Projeto RADAM BRASIL. Folha SC. 20 Porto Velho; Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro.
- BRASIL (1996) Plano de Controle Ambiental da Hidrovia do Madeira. Companhia Docas do Maranhão/Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental, Porto Velho: CODOMAR / AHIMOC.
- BRASIL (1997) Manual de Métodos de Análise de Solo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA, Rio de Janeiro.
- BRASIL (1999) Sistema Brasileiro de Classificação de Solo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, p. 123-283.
- BRASIL (2000) Metodologia de Desenvolvimento para Subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos.
- BRASIL (2001) Projeto de Gestão Integrada do Amazonas: Zoneamento Ecológico-Econômico do Vale do Rio Madeira, Área Sudeste-Sul. Ministério de Minas e Energia, CPRM, Rio de Janeiro.
- CABRAL, B. (1996) O Papel das Hidrovias no Desenvolvimento Sustentável da Região Amazônica Brasileira. Senado Federal, Brasília, DF.
- CARVALHO NETO, D. (1998) Extração de Cassiterita e Ouro em Rondônia. CPRM (Relatório 487), Porto Velho.
- FADINI, P.S. (1999) Comportamento Biogeoquímico do Mercúrio na Bacia do Rio Negro (AM). Tese, Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP.
- JARDIM, W.F. (1988) Contaminação por Mercúrio: Fatos e Fantasias. Rio de Janeiro. *Ciência Hoje*, **7** (41): 60-67.
- KITAMURA, P.C. (1994) A Amazônia e o Desenvolvimento Sustentável. EMBRAPA, Brasília, DF.
- LACERDA, L.D. & SALOMONS, W. (1998) Mercury from gold and silver mining: a chemical time bomb? Springer Verlag, Berlin, 146 p.
- LINHARES, D.P.; SILVA, J.M.; LIMA, T.R.; OLIVEIRA, R.C.; GOMES, J.P.O.; BASTOS, W.R.; SILVEIRA, E.G. (2005) Mercury concentration in margin soil of the Madeira River. *Sociedade & Natureza*, **ne. 2005**: 369-379.
- MALM, O.; GUIMARÃES, J.R.D.; CASTRO, M.B.; BASTOS, W.R.; BRANCHES, F.J. (1997) Mercúrio na Amazônia: evolução da contaminação ambiental e humana. *Ciência Hoje*, **22** (128): 71-76.
- NIMER, E. (1989). Climatologia do Brasil. IBGE, Rio de Janeiro.
- PFEIFFER, W.C. & LACERDA, L.D. (1988) Mercury inputs to the Amazon region, Brazil. *Environmental Technology Letters*, **9**: 325-350.
- RESENDE, M.; CURI, M.; REZENDE, S. B.; CORREA, G.F. (1999). Pedologia: Base para Distinção de Ambientes. 3 ed. NEPUT, Viçosa, p. 125-146.
- RODRIGUES, T.E. (1996) Solos da Amazônia. In: O Solo nos Grandes Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado. FONTES, V.A.V.H.; FONTES, L.E.F. (eds.), MPF Ed., Viçosa.
- SILVA, G.S.; SILVEIRA, E.G.; BASTOS, W.R. (2003) Avaliação da contaminação

- atmosférica e humana por Mercúrio no Município de Porto Velho-RO. In: XXI Seminário de Iniciação Científica. Porto Velho: UNIR/PIBIC/CNPq.
- SILVA, L.F. (1995) Solos Tropicais: Aspectos Pedológicos, Ecológicos e de Manejo. Ed. Terra Brasilis, São Paulo.
- SIOLI, H. (1991). Amazônia: Fundamentos da Ecologia da Maior Região de Florestas Tropicais. 3 ed., Ed. Vozes, Rio de Janeiro.
- TEIXEIRA, M.A.D. & FONSECA, D.R. (1998) Histórico Regional – Rondônia. Ed. AGB Porto Velho.
- VEIGA, M.M.; SILVA, A.R.B.; HINTON, J.J. (2002). O garimpo de ouro na Amazônia: aspectos tecnológicos, ambientais e sociais. In: TRINDADE, R.B.E. (org.). Extração de Ouro: Princípios, Tecnologia e Meio Ambiente. CETEM/MCT, Rio de Janeiro.
- VIEIRA, L.S. (1975) Manual da Ciência do Solo. Agronomia Ceres, São Paulo.