



INFLUÊNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA NA ADSORÇÃO DE Hg E OUTROS ELEMENTOS EM SEDIMENTOS DE LAGOS DA BACIA DO RIO MADEIRA (RO)

M. Vergotti^{1*}; D.M. Bonotto^{2**}; E.G. Silveira^{3***}; W.R. Bastos^{4****}

¹ Universidade Federal de Rondônia – UNIR,

Rodovia BR 364, km 9,5, CEP: 78.900-500, Porto Velho, RO, Brasil

² IGCE-UNESP – Caixa Postal 178, CEP: 13.506-900, Rio Claro, SP, Brasil

³ Universidade Federal de Rondônia – UNIR, CEP: 78.900-500, Porto Velho, RO, Brasil

⁴ Universidade Federal de Rondônia – UNIR, CEP: 78.900-500, Porto Velho, RO, Brasil

E-mail: *marcelovergotti@hotmail.com; **danielbonotto@yahoo.com.br;
ene_gloria@yahoo.com.br; *bastos@unir.br

Recebido em 09/07, aceito para publicação em 06/08

ABSTRACT

Gold has been exploited intensively in the Brazilian Amazon during the past twenty years, where Hg used in amalgamating the gold has caused abnormal Hg concentrations in waterways. Particular attention to the Madeira River has been given since 1986 because it is the largest tributary of the Amazon River and the gold mining was officially allowed on a 350-km sector of the river. In this paper, samples of sediments from nine lakes located in the Madeira River basin, Rondônia State, Brazil, were analyzed for Hg, organic matter, and major oxides. The average Hg content ranged between 33 and 157 ng.g⁻¹, which are about 8-40 times higher than the average value corresponding to 4.4 ng.g⁻¹ for rocks occurring in the area (regional background). Significant correlation was found between the Hg content and organic matter in the sediments, indicating its importance on the retention of this heavy metal. Other significant correlations involving the major oxides were also found and are discussed in this paper.

RESUMO

A exploração do ouro tem ocorrido de maneira intensa na Amazônia brasileira nos últimos vinte anos, onde o Hg usado como amálgama tem resultado em concentrações anormais deste metal nos cursos d'água. Especial atenção tem sido direcionada ao Rio Madeira desde 1986, pelo fato de ser o maior tributário do Rio Amazonas e da exploração de ouro ter sido oficialmente permitida ao longo de 350 km do rio. Neste trabalho, amostras de sedimentos de nove lagos situados na bacia do Rio Madeira, estado de Rondônia, Brasil, foram analisadas para mercúrio, matéria orgânica, e principais óxidos. A concentração média de Hg variou entre 33 e 157 ng.g⁻¹, a qual é cerca de 8-40 vezes superior ao valor médio de 4,4 ng.g⁻¹ para rochas ocorrendo na área ("background" regional). Correlação significativa foi encontrada entre o teor

de Hg e matéria orgânica nos sedimentos, indicando sua importância na retenção deste metal. Outras correlações significativas envolvendo os principais óxidos foram também encontradas e são discutidas neste trabalho.

INTRODUÇÃO

A mineração de ouro aluvionar na região Amazônica, especificamente no Estado de Rondônia, tornou-se uma atividade com dimensões significativas, chegando a envolver nos anos 80 cerca de 50 mil pessoas ligadas direta ou indiretamente a atividade. O Hg é um elemento que tem sido usado como amalgamador durante o processo de extração do ouro, sendo considerável sua perda em virtude da amalgamação. As perdas para os rios variam de 40 a 45% do total de Hg utilizado, enquanto que o vapor chegando à atmosfera devido à queima e perda pode chegar a 55-60% do Hg inicialmente utilizado (Pfeiffer *et al.*, 1989). Assim, a utilização intensa do Hg no processo de amalgamação pode representar diversos problemas ao ambiente, uma vez que favorece a contaminação de rios, lagos, sedimentos, plantas e animais, com conseqüências para a saúde humana.

Análises sistemáticas de Hg em amostras de solos, sedimentos de fundo e material particulado em suspensão dos rios do estado de Rondônia tem sido realizadas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e Fundação Universidade Federal de Rondônia, dentre outras. Uma revisão dos principais estudos realizados na Bacia do Rio Madeira foi efetuada por Bastos & Lacerda (2004).

Devido suas características, os lagos são grandes receptores da precipitação pluviométrica, sendo os sedimentos excelentes acumuladores de metais pesados, como o Hg. Geralmente, o tamanho das partículas está inversamente ligado ao teor do metal, de maneira que perfis de sedimentos extraídos de lagos são ideais para uma avaliação histórica da contaminação por Hg na região Amazônica. Atualmente as populações que vivem às margens do Rio Madeira estão diretamente expostas aos perigos da contaminação por Hg, isto porque a sua dieta tem como principal alimento o peixe, freqüentemente pescado em lagos da região. Assim, este trabalho apresenta resultados de análises geoquímicas conduzidas para amostras de sedimentos de lagos da região, com o propósito de identificar parâmetros responsáveis pela acumulação de Hg nestes ambientes.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está situada na região de Porto Velho (Figura 1), na porção sudoeste do cráton Amazônico, dentro dos limites da sub-província Madeira (Amaral, 1984). Uma das primeiras referências à geologia da região do Rio Madeira foi realizada em 1906 por Evans (Payolla, 1994), que descreveu as rochas expostas nas corredeiras e cachoeiras dos rios Madeira, Mamoré e Beni, isto é, rochas sieníticas cortadas por granitos grossos e por veios de aegerina-augita-olivina basalto na cachoeira de Teotônio, e hornblenda-biotita granitos grossos na cachoeira de Santo Antônio. Os trabalhos realizados por Lobato *et al.* (1966) caracterizaram a região nos aspectos tectono-estruturais, estratigráficos, litológicos e das principais ocorrências minerais, com destaque para as jazidas de cassiterita.

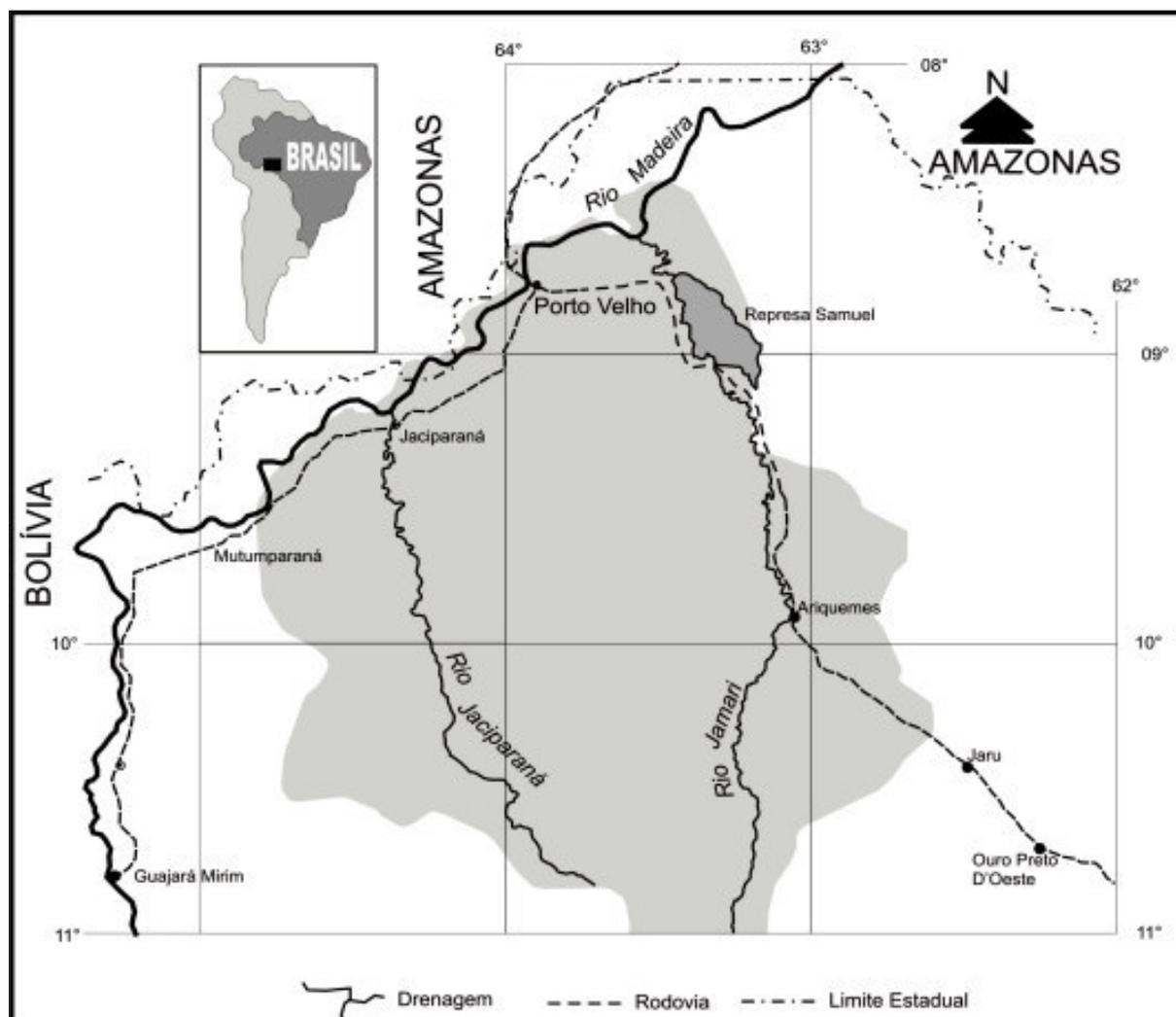


Figura 1: Mapa simplificado de localização da área de estudo.

A hidrografia do estado de Rondônia é controlada pelo Rio Madeira, que, segundo Ribeiro & Santos (1983), é classificado predominantemente como de águas claras e barrentas, quando ocorre a elevação da carga de sólidos em suspensão no período de chuvas (transparência de Secchi de 0,41 a 2,32 m). Possui área de drenagem com total aproximado de $1,3 \times 10^6$ km² e descarga anual de $1,4 \times 10^{12}$ m³/ano (Goulding, 1979). Na área de estudo, o Rio Madeira, quando em rochas pré-cambrianas, apresenta-se encaixado, com desníveis altimétricos de 3 a 9 m em seu leito, formando 21 cachoeiras.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é definido como tropical de monção tipo Am, ou de caráter de transição para o clima tropical. A região tem duas estações climáticas bem distintas, sendo a primeira um período chuvoso (outubro a abril) com precipitação média mensal acima de 300 mm e a segunda, um período seco (junho a agosto), caracterizado por baixo índice pluviométrico (média mensal inferior a 200 mm). Sob o ponto de vista do regime térmico, o clima é quente (temperatura média anual= 25,5°C). A média anual da umidade relativa do ar é de 88,3% e a média da precipitação anual corresponde a 1.625 mm (IBGE, 1993).

A amostragem foi realizada no período seco (outubro de 1999) e chuvoso (fevereiro de 2000) em nove lagos de profundidade variando de 5 a 10 m, correnteza/deposição lenta, com pouca influência das águas do Rio Madeira, de maneira a evitar

o transporte do Hg pelos particulados em suspensão (Figura 2). O acesso aos lagos somente foi possível com o uso de barco pelo Rio Madeira e depois com embarcações menores entrando na mata pelos igarapés. Os lagos amostrados foram:

1- Lago da Brasileira: situa-se a 5 km a montante da foz do Rio Jamari, onde se localiza o distrito de São Carlos. Tem dimensões aproximadas de 2.000 m por 500 m, suas águas são claras e é alimentado por um canal de 10 m de largura que o liga diretamente ao Rio Jamari. As amostras são compostas predominantemente de argila clara, sem a presença de areia, ocorrendo também muitas folhas e outros materiais orgânicos.

2- Lago Tucunaré: situa-se a 10 km da foz do Rio Jamari à margem direita do Rio Madeira, mais precisamente no vilarejo de Terra Caída que fica na margem oposta (esquerda). Seu acesso é obtido a partir do igarapé Tucunaré. Realizou-se a coleta no ápice da estação seca, quando as águas estavam totalmente represadas (dimensão aproximada de 800 por 300 m). Possui águas claras e sedimentos argilosos.

3- Lago Araçá: situado à margem esquerda do Rio Jamari, a pouco mais de 500 m da confluência com o Rio Madeira. Tem águas claras e sedimentos argilosos escuros. Possui dimensões aproximadas de 500 por 2.000 m e um canal com cerca de 5 m de largura, por onde despeja no Rio Jamari. No período de vazante, o lago fica isolado.

4- Lago do Paca: situa-se à margem oposta (direita) do canal que alimenta o lago da Brasileira, na mesma altura do Rio Jamari. Recebe influência direta do rio, sendo na realidade uma área de remanso. Suas águas são claras e o tamanho é um pouco menor que o do Lago Tucunaré (600 por 600 m).

5- Lago Nazaré: situa-se na vila Nazaré (margem esquerda do Rio Madeira), sendo o acesso pelo igarapé de mesmo nome. Suas águas são pretas, seus sedimentos apresentam a mesma coloração e grande quantidade de folhas. Apresenta uma grande área de floresta inundada e possui correnteza fraca. As áreas de floresta inundada não se distanciam mais de 100 m uma da outra, o que na estação seca deve corresponder às suas margens.

6- Lago Santa Catarina: situa-se à margem esquerda do Rio Madeira. Seu acesso é obtido subindo o igarapé Conceição que desemboca no Rio Madeira, no vilarejo Conceição. Suas águas e sedimentos têm cor preta, e, quanto ao tamanho, é o maior dentre os lagos estudados (7.000 por 1.000 m).

7- Lago da Conceição: tem acesso também pelo igarapé Conceição e as características são semelhantes às do Lago Santa Catarina quanto à coloração das águas e sedimentos. Seu tamanho aproximado é de 1.200 por 5.000 m.

8- Lago Demarcação: o vilarejo Demarcação situa-se à margem direita do Rio Machado, localizando-se a mais de 10 km da foz, no distrito de Calama. O lago onde foi coletado o testemunho não tinha nome e por isso foi designado de Demarcação. Localizado a montante da vila Demarcação, na margem direita do Rio Machado, tem acesso pelo primeiro igarapé, também sem nome. Suas águas caracterizam-se como pretas e com correnteza muito fraca. Os sedimentos coletados no perfil apresentam cor preta e grande presença de materiais detríticos. As margens do Lago Demarcação também estavam inundadas durante a coleta e ele se expandia muito para o interior da

floresta. A clareira onde está o lago tem um raio aproximado de 200 m e suas dimensões são de cerca de 600 por 600 m.

9- Lago da Usina Hidroelétrica de Samuel: a usina hidroelétrica está em atividade desde 1989 e seu reservatório tem aproximadamente 450 km². É considerado um dos grandes reservatórios da Amazônia, está localizado na calha do Rio Jamari e o acesso pode ser feito pela BR-364 no sentido Porto Velho-Cuiabá. Suas águas são claras e os sedimentos coletados de coloração amarela e um pouco arenosos.

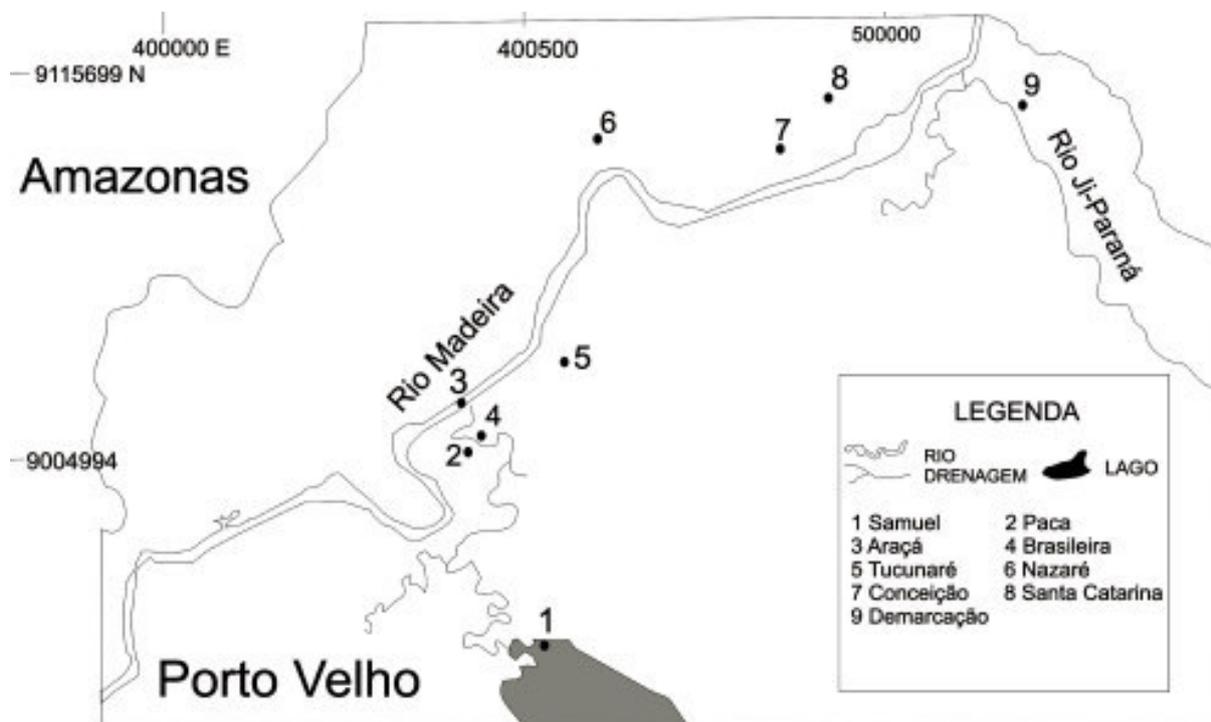


Figura 2: Mapa simplificado de localização dos lagos na bacia do Rio Madeira (RO) para amostragem dos testemunhos em sedimentos.

A profundidade dos perfis de sedimentos variou de 20 a 80 cm. Para a sua retirada, utilizou-se um tubo de acrílico de 1 m de comprimento adaptado a um perfilador de ferro para que um êmbolo pudesse vedar uma extremidade do tubo. Depois de retirado o perfil, preferencialmente do meio do lago, ele foi seccionado em alíquotas de 5 cm, cada uma acondicionada em saco plástico devidamente identificado, resfriado (4°C) e mantido em caixa térmica para transporte até o laboratório. No laboratório, cada alíquota foi seca em estufa a 60°C e a umidade determinada; então, cada uma foi macerada em gral de porcelana e peneirada à fração de 0,075 mm (200 mesh). A determinação do teor de matéria orgânica volátil em cada alíquota foi realizada no Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro; utilizou-se o método gravimétrico, onde se calcinam massas conhecidas das amostras. Na digestão das amostras, utilizou-se a metodologia desenvolvida por Bastos *et al.* (1998) e a detecção de Hg foi conduzida em espectrofotômetro de absorção atômica (FIMS-400/*Flow Injection Mercury System*) da Perkin-Elmer. Cada amostra foi analisada em triplicata, utilizando-se de padrões de referência certificados para o controle analítico de qualidade (IAEA-365) e uma amostra de controle interno do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal de Rondônia, onde foram feitas as análises. Nas colunas de sedimentos foi ainda determinada a perda ao fogo (LOI) e os teores dos principais óxidos por fluorescência de raios X Philips, modelo PW2510, equipamento instalado no LABOGEO-

Laboratório de Geoquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP-Campus de Rio Claro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 constam os resultados obtidos na análise dos sedimentos, bem como as bases totais ($MgO+CaO+Na_2O+K_2O$) e os óxidos resistentes ao intemperismo, isto é, $Al_2O_3+Fe_2O_3+TiO_2$ (R_2O_3), segundo Colman (1982). Os sedimentos analisados são predominantemente constituídos por SiO_2 , conforme também confirmado quando se efetua a inserção dos dados químicos obtidos no diagrama triangular $SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3$ proposto por Schellmann (1979) para avaliar o grau de intemperismo. Além disso, se os dados obtidos são também inseridos no diagrama proposto por Balasubramaniam *et al.* (1983) para os mesmos constituintes ($SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3$), verifica-se que a ocorrência de processos de caolinização é sugerida para a área estudada. Isto também é confirmado pela identificação de caolinita por difração de raios X, segundo referido por Bonotto & Silveira (2003) para amostras de sedimentos de fundo do Rio Madeira entre as cachoeiras de Teotônio e Santo Antônio.

Tabela 1: Concentrações médias de Hg ($ng.g^{-1}$), matéria orgânica, umidade, bases e óxidos (%) em amostras de sedimentos dos testemunhos em sedimentos dos lagos da bacia do Rio Madeira, estado de Rondônia, Brasil.

Parâmetro	Brasileira	Paca	Araçá	Tucunaré	Nazaré	Santa Catarina	Conceição	Demarcação	Samuel
Hg	115	131	43	41	33	75	59	107	157
SiO_2	52,8	53,8	58,7	62,4	60,4	59,6	56,6	53,2	44,3
TiO_2	1,36	1,21	0,89	0,89	0,93	1,00	1,11	1,22	2,06
Al_2O_3	27,7	23,9	20,4	18,5	20,1	21,0	22,3	22,6	30,0
Fe_2O_3	3,94	4,37	6,63	6,44	5,93	5,21	4,07	7,29	8,14
MnO	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,09	0,02
MgO	0,35	0,64	1,40	1,33	1,41	1,44	1,13	1,16	0,03
CaO	0,07	0,18	0,23	0,27	0,22	0,20	0,11	0,14	0,04
Na_2O	0,22	0,37	0,73	0,82	0,74	0,70	0,45	0,23	0,08
K_2O	1,99	2,23	3,23	2,99	3,24	3,36	2,81	2,13	0,03
P_2O_5	0,15	0,16	0,17	0,16	0,14	0,11	0,10	0,20	0,19
MO ¹	4,98	9,37	5,70	3,60	3,48	6,10	7,74	7,58	18,07
LOI ²	11,40	13,20	7,65	6,28	6,87	7,40	11,38	11,76	15,14
Umidade	39,4	-	44,1	44,5	39,4	45,8	55,6	44,9	28,5
Bases ³	1,87	2,49	4,89	4,86	4,95	4,96	3,53	3,07	0,17
R_2O_3 ⁴	16,8	14,1	14,5	13,6	14,3	14,4	13,6	15,0	19,0

¹MO= matéria orgânica; ²LOI= perda ao fogo; ³Bases= $MgO+CaO+Na_2O+K_2O$; ⁴ $R_2O_3 = Al_2O_3+Fe_2O_3+TiO_2$

O valor médio encontrado para o Hg nos sedimentos dos lagos varia entre 33 e 157 $ng.g^{-1}$, que são valores que excedem significativamente aqueles relativos aos das rochas das cachoeiras de Teotônio e Santo Antônio (Bonotto & Silveira, 2003), consideradas representativas do *background* regional ($\sim 4,5 ng.g^{-1}$). Por outro lado, os valores praticamente coincidem com a variação de 36 a 136 $ng.g^{-1}$ encontrada para os sedimentos de fundo do Rio Madeira entre as cachoeiras de Teotônio e Santo Antônio (Bonotto & Silveira, 2003). Os lagos Samuel, Brasileira e Paca, todos influenciados diretamente pelas águas do Rio Jamari, apresentam teores de Hg de 157, 115 e 131 $ng.g^{-1}$, respectivamente. O Lago Araçá, mesmo estando às margens do Rio Jamari, não é influenciado diretamente por suas águas, podendo ser esse o motivo de exibir teor de Hg de 43 $ng.g^{-1}$, três vezes inferior ao dos outros lagos. O Lago Demarcação também apresenta teor de Hg acima de 100 $ng.g^{-1}$, da mesma ordem de grandeza dos lagos vizinhos ao Rio Jamari, apesar de ser o lago mais distante do foco de garimpo.

Os lagos situados próximos às margens do Rio Madeira exibem os menores teores de Hg, isto é, entre 33 ng.g^{-1} (Lago Nazaré) e 75 ng.g^{-1} (Santa Catarina). Dessa forma, o teor médio de Hg para lagos vizinhos ao Rio Madeira corresponde a 50 ng.g^{-1} , enquanto que para os dois tributários do Rio Madeira a média é de 128 ng.g^{-1} , ou seja, cerca de 2,5 vezes superior.

Correlação significativa ($r = 0,78$; $n = 9$; $p < 0,05$) foi verificada ocorrer entre a concentração média de Hg e a matéria orgânica nos sedimentos dos lagos estudados (Figura 3). Uma vez que a perda ao fogo (LOI) expressa a matéria orgânica + água adsorvida + água nos retículos cristalinos e inclusões fluidas + CO_2 de carbonatos + SO_2 de sulfetos, verifica-se que é um parâmetro relacionado com a matéria orgânica, justificando, por isso, a correlação significativa entre o teor de Hg e LOI ($r = 0,90$; $n = 9$; $p < 0,05$), conforme também representado na Figura 3.

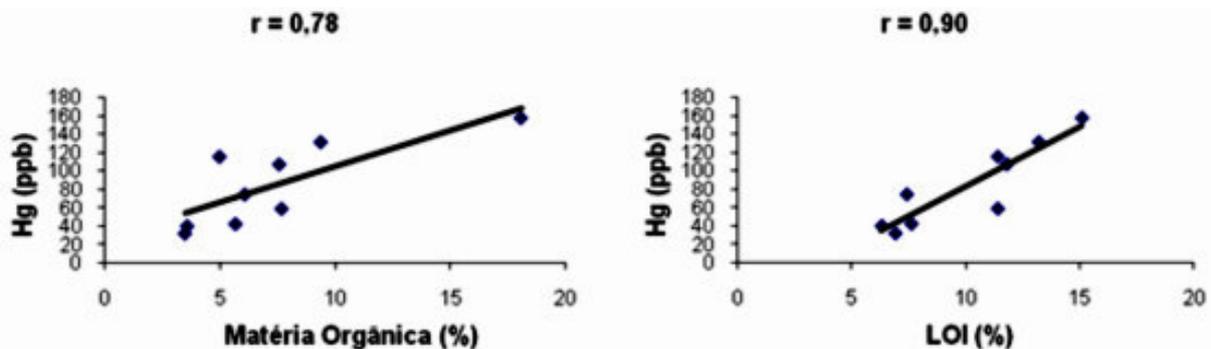


Figura 3: Relação entre Matéria Orgânica, LOI e Hg nos sedimentos dos lagos da Bacia do Rio Madeira (RO).

Além de alterar a densidade real e porosidade dos solos e sedimentos, a matéria orgânica influencia na superfície específica (área por unidade de massa, geralmente expressa em $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$) dos materiais, de maneira que cada 1% de matéria orgânica no solo ocasiona um aumento de cerca de 7 m^2 de sua superfície específica (Kiehl, 1977). Em decorrência disto, outros parâmetros são afetados significativamente, por exemplo, a capacidade de troca catiônica, de adsorção de cátions e a porcentagem de retenção de água dos solos e sedimentos, os quais também aumentam de acordo com o acréscimo da superfície específica.

Em todos os testemunhos analisados, a sílica é o principal constituinte, variando de 44 a 62% (Tabela 1) e se relacionando inversamente com a matéria orgânica (Figura 4). Além disso, intensos processos de intemperismo ocorrem na área, sendo gerados produtos de alteração de granitóides, isto é, feldspatos formando caolinita, de maneira que as bases encontram-se associadas com sílica. Isto é justificado pelas correlações significativas verificadas entre sílica e bases ($r = 0,96$; $n = 9$; $p < 0,05$, Figura 4) e, conseqüentemente, entre bases e matéria orgânica ($r = -0,81$; $n = 9$; $p < 0,05$, Figura 4).

Assim, com a diminuição de sílica ocorre um aumento da matéria orgânica e elevação da superfície específica dos sedimentos, aumentando, conseqüentemente, a capacidade de troca/adsorção dos principais óxidos resistentes ao intemperismo, os quais, assim como o mercúrio, exibem significativa correlação direta ($r = 0,72$; $n = 9$; $p < 0,05$) com a matéria orgânica (Figura 5). Dessa forma, torna-se evidente que o Hg na área de estudo, devido à influência da matéria orgânica, também está associado com os metais pesados Al, Fe e Ti, conforme evidencia a correlação significativa ($r = 0,74$; $n = 9$; $p < 0,05$) entre R_2O_3 e Hg (Figura 5). A incompatibilidade do Hg com a

sílica e as bases é expressa a partir de correlações inversas entre esses parâmetros, respectivamente $r = -0,91$ e $r = -0,92$ ($n = 9$; $p < 0,05$, Figura 5).

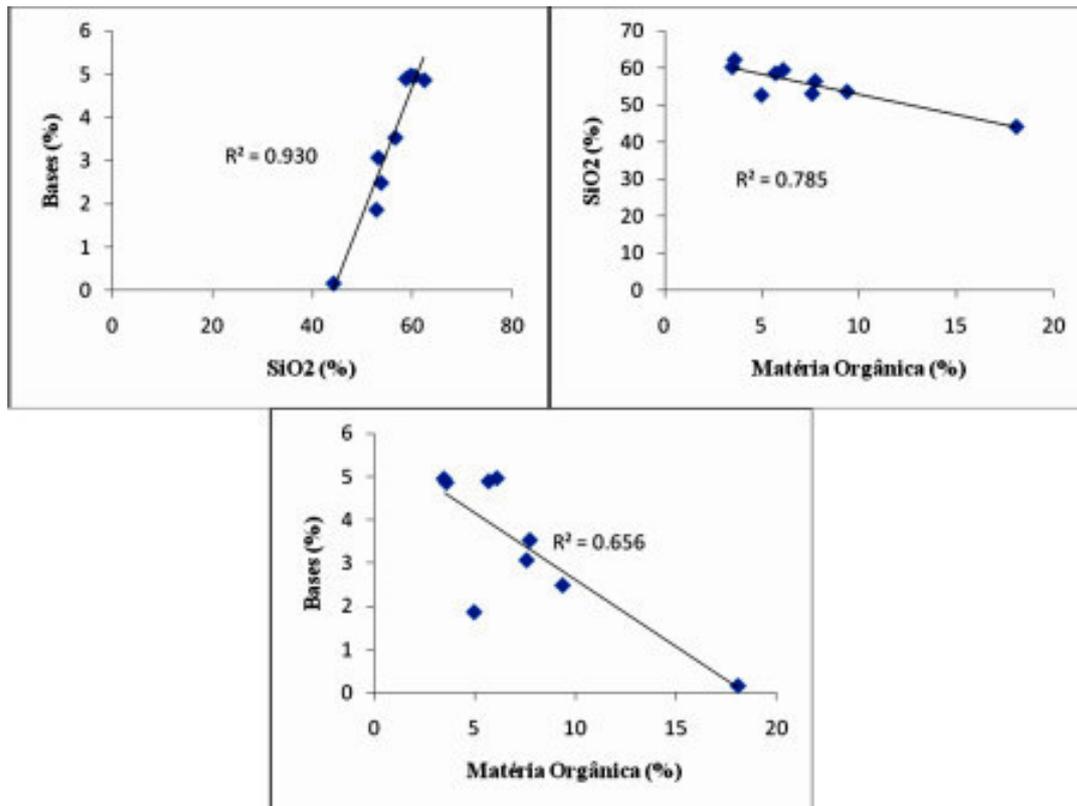


Figura 4: Relação entre SiO₂, Matéria Orgânica e Bases nos sedimentos dos lagos da Bacia do Rio Madeira (RO).

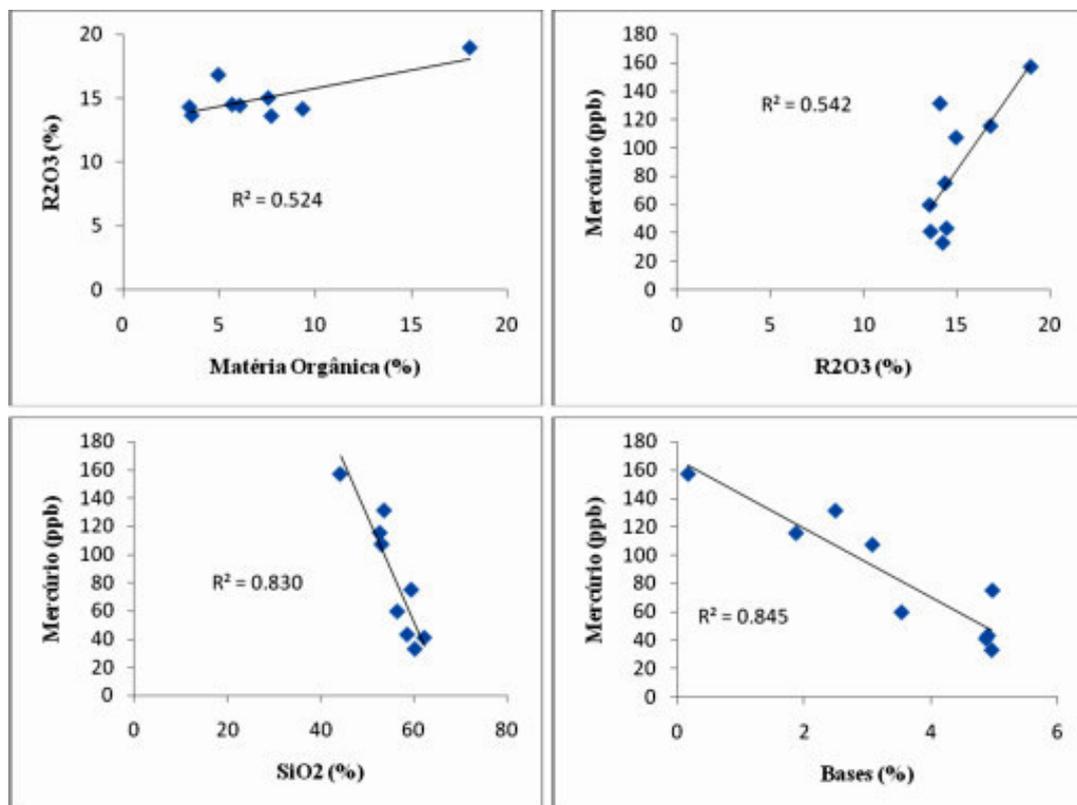


Figura 5: Relação entre Matéria Orgânica, R₂O₃, Bases e Hg nos sedimentos dos lagos da Bacia do Rio Madeira (RO).

Do ponto de vista de variação do teor de Hg relativamente à profundidade dos testemunhos, diferenças existem quanto ao padrão representado a partir dos valores médios obtidos (Tabela 1). Apenas no perfil coletado no Lago da Brasileira foi possível encontrar correlação significativa entre o teor de Hg e a profundidade ($r = 0,77$; $n = 11$; $p < 0,05$) (Figura 6). Neste perfil, verificam-se também correlações significativas entre Hg e LOI ($r = 0,70$; $n = 11$; $p < 0,05$), Hg e R_2O_3 ($r = 0,81$; $n = 11$; $p < 0,05$), Hg e SiO_2 ($r = -0,76$; $n = 11$; $p < 0,05$) e Hg e bases ($r = -0,89$; $n = 11$; $p < 0,05$) (Figura 6). Os resultados obtidos neste estudo servirão de subsídio para investigações adicionais sobre a deposição de Hg a partir do método geocronológico do ^{210}Pb .

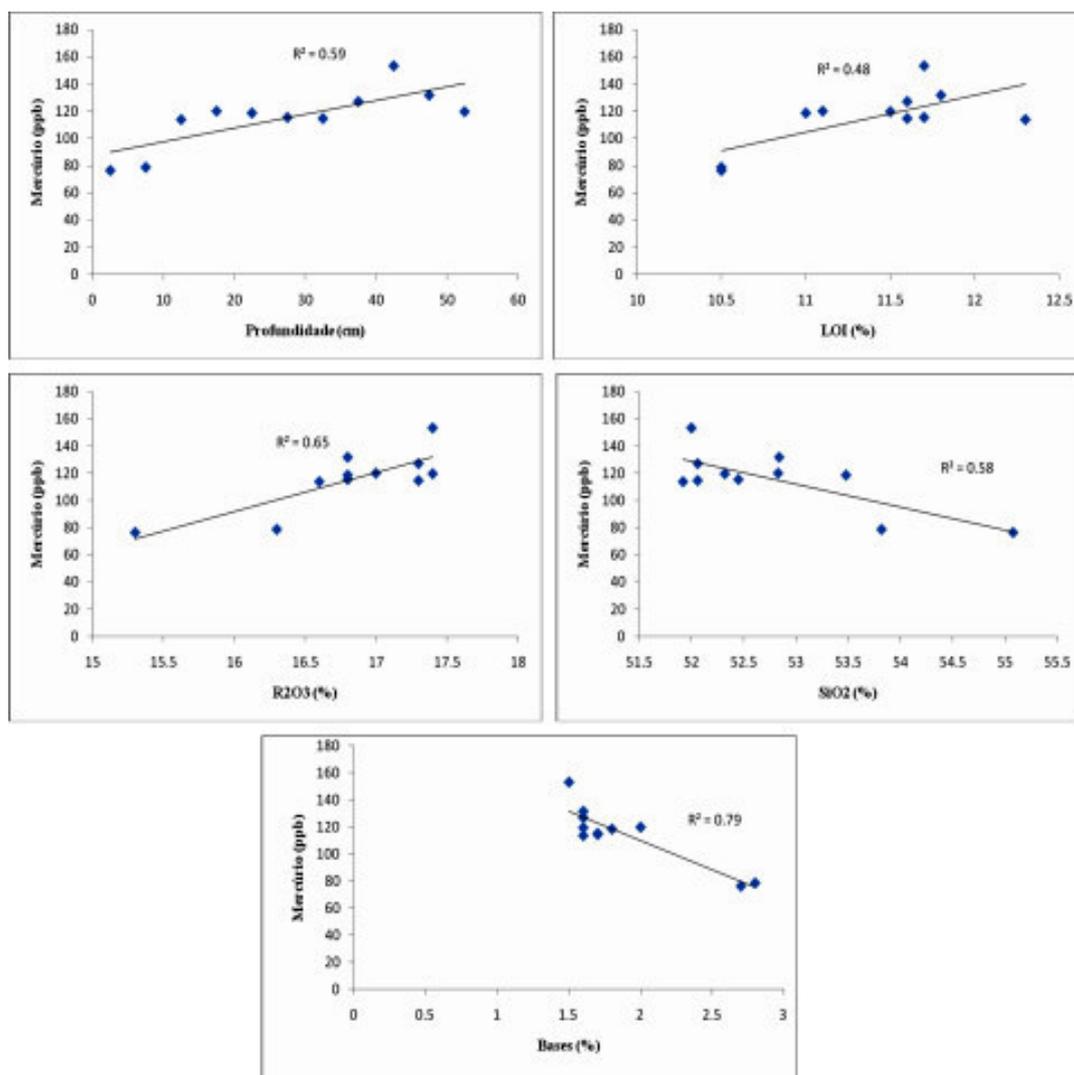


Figura 6: Relação entre Profundidade, LOI, R_2O_3 , SiO_2 , Bases e Hg nos sedimentos do Lago Brasileira na Bacia do Rio Madeira (RO).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises geoquímicas conduzidas nos sedimentos de lagos da bacia do Rio Madeira no estado de Rondônia indicaram significativa influência da matéria orgânica na adsorção do Hg, em concordância com o que tem sido amplamente referido na literatura. A matéria orgânica também exerce influência na adsorção dos metais pesados Al, Fe e Ti, o que afeta os testes estatísticos realizados, uma vez que se verifica a obtenção de correlação significativa entre Hg e os óxidos resistentes ao intemperismo,

isto é, $Al_2O_3+Fe_2O_3+TiO_2$ (R_2O_3). Os valores encontrados para Hg nos sedimentos superam aqueles correspondentes aos de rochas da área estudada, que podem ser considerados como o *background* regional. O acúmulo de Hg nos sedimentos é preocupante, uma vez que pode ser incorporado por determinadas espécies de peixes da região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro ao desenvolvimento dessa investigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, G. (1984) Províncias Tapajós e Rio Branco. In: O Pré-cambriano do Brasil, ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. (eds.), Edgard Blücher, São Paulo, p: 6-35.
- BALASUBRAMANIAM, K.S.; MOORTHY, V.K.; VYAS, B.R. (1983) Significance of engineering properties in understanding the proper utilization of laterites from western India. In: 2nd Int. Seminar on Laterisation Processes, Proceedings, p: 577-590.
- 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.; 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.
- BONOTTO, D.M. & SILVEIRA, E. G. (2003) Preference ratios for mercury and other chemical elements in the Madeira River, Brazil. *Journal of South America Earth Sciences*, **15**: 911-923.
- COLMAN, S.M. (1982) Chemical weathering of basalts and andesites: evidence from weathering rings. U.S. Geological Survey Professional Papers, **1246**: 1-51.
- GOULDING, M. (1979) Ecologia da pesca do Rio Madeira. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/INPA. Manaus, Amazonas. 172 p.
- IBGE (1993) Mapa da vegetação do Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, MEFP, Brasília.
- KIEHL, E.J. (1977) Interpretação das propriedades dos solos. Texto didático. ESALQ/USP, Piracicaba.
- LOBATO, F.P.N.; APPEL, L.E.; GODOY, M.C.F.T.; RITTER, J.E. (1966) Pesquisa de cassiterita no Território Federal de Rondônia. Boletim da Divisão de Fomento a Produção Mineral, **125**: 1-209.
- LORING, D.H. (1975) Mercury in the sediments of the Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **12**: 1219 -1237.
- PAYOLLA, B.L. (1994) As rochas graníticas e sieníticas das cachoeiras Teotônio e Santo Antônio, Rio Madeira, Porto Velho, Rondônia: geologia, petrologia e geoquímica. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília.
- PFEIFFER, W.C.; LACERDA, L.D.; MALM, O.; SOUZA, C.M.M.; SILVEIRA, E.G.; BASTOS, W.R. (1989) Mercury concentrations in inland waters of gold-mining areas in Rondônia, Brazil. *The Science of the Total Environment*, **87**: 233-240.
- RIBEIRO, J.S. & SANTOS, U. (1983) Estudos hidroquímicos e limnológicos do Lago de Samuel. *Acta Amazônica*, **1**: 84-93.
- SCHELLMANN, W. (1979) Considerations on the definition and classification of laterites. In: 1st Int. Seminar on Laterisation Processes, Proceedings, p: 1-10.