

# Mobilidade do mercúrio no Pantanal de Poconé\*

Alexandre Pessoa da Silva<sup>1</sup>  
Nelson Luiz Schleder Ferreira<sup>2</sup>  
Helcias Bernardo de Pádua<sup>3</sup>  
Marcello Mariz da Veiga<sup>4</sup>  
Gercino Domingos da Silva<sup>5</sup>  
Evaldo Ferraz de Oliveira<sup>6</sup>  
Edinaldo de Castro e Silva<sup>6</sup>  
Salete Kiyoka Ozaki<sup>7</sup>

**RESUMO** — Ao longo do córrego Tanque dos Padres, drenagem afetada pelo garimpo de ouro, foram monitoradas variáveis biogeoquímicas em função da sazonalidade. Foram também realizados ensaios simulando situações extremas de exposição, tanto da biota como dos sedimentos ativos de corrente. Os índices pluviométricos determinam na região estudada duas estações bem definidas: a estação das chuvas (de dezembro a maio) e da seca (junho a novembro). No período das chuvas, os valores medidos de Eh e pH aproximam-se dos limites propícios ao estado oxidado do Hg, condição necessária para os processos de metilação. Comprovaram-se os estudos de KRAUSKOPF (1956), relativos à grande adsorptividade dos óxidos de ferro recém-formados em relação aos cátions metálicos, inclusive de Hg. Os ensaios com elementos da biota confirmaram o controle natural do Hg pelos constituintes dos sedimentos da região. **Palavras-chave:** mercúrio (Hg), Hg-biogeoquímica, Hg-extração seletiva, Hg-adsorção, Hg-mobilidade, Hg-ambiente aquático, Hg-ouro, garimpo.

**ABSTRACT** — Along the Tanque dos Padres stream, the drainage is affected by gold prospecting. Biogeochemical variables were monitored as a function of seasonality. We also performed essays simulating extreme pollution situations regarding both biota and active stream sediments. Pluviometric indexes indicate two clear-cut "seasons", rainy (december to may) and dry (june to november). Eh and pH values during the rainy period are close to the limits that favor the oxidized states of mercury and are also conditions required for metylation processes. KRAUSKOPF's (1956) studies, indicating that cations including mercury are strongly adsorbed by iron oxides are confirmed. Biota analyses confirm that regional sediment constituents perform the natural control of mercury.

**Key words:** mercury (Hg), Hg-biogeochemical, Hg-selective extraction, Hg-adsorption, Hg-mobility, Hg-water environment, Hg-gold, gold-miners.

## A presença de depósitos lateríticos de ouro na baixada cuiabana foi descoberta e explorada pelos bandeirantes no início do século XVIII.



Em Poconé, MT, cidade situada a cerca de 90 km a Sudoeste de Cuiabá, MT, vive-se desde 1982 o terceiro ciclo do ouro, bem caracterizado pela presença de milhares de garimpeiros. Esse município possui uma localização estratégica, na borda do Pantanal, sendo inclusive ponto inicial da Rodovia Transpantaneira, salientando interesse de estudos sobre os impactos ambientais causados pela ativi-

1. Eng. Químico, pós-graduando do Inst. de Geociências/USP.
  2. Geólogo, pós-graduando do Inst. de Geociências/USP.
  3. Biólogo, T.C.A. - Emp. Apoio Tecn. Cons. Ambiental e BIOBAC - Biotecnologia Ind. Com. Ltda.
  4. Eng. Metalúrgico, Geoquímico e pós-graduando do Inst. de Geociências/USP.
  5. Geólogo, METAMAT — Companhia Matogrossense de Mineração.
  6. Químico, professor-assistente do Depto. de Química/UFMT.
  7. Química, Depto. de Química/UFMT.
- (\*) Equipe de Biogeoquímica - Projeto Poconé - CETEM/CNPq.

dade garimpeira. Em função da importância dessa reserva ecológica de significado mundial, os recursos necessários para a realização do projeto foram providos por determinação do Congresso Nacional e sua execução a cargo do Centro de Tecnologia Mineral, órgão de pesquisa do CNPq, durante os anos de 1989 e 1990.

O uso do mercúrio no beneficiamento dos minerais auríferos (amalgamação) foi responsável pela importação de 260 toneladas de mercúrio metálico em 1989 (Ferreira & Appel, 1991). Aproximadamente 10% do mercúrio utilizado no processo de amalgamação é emitido para o ambiente, seja durante o apuro do concentrado ou durante os procedimentos de queima do amálgama. Outra importante fonte de emissão de mercúrio é o refino do ouro nas casas compradoras, liberando o residual de mercúrio, da ordem de 1 a 5%, contido no ouro comprado dos garimpeiros. O uso do mercúrio no garimpo é indiscutivelmente uma forma eficiente e barata para a obtenção do ouro fino, quando a amalgamação se processa adequadamente. Por outro lado, os resíduos de amalgamação lançados nas barragens de rejeitos (fonte de emissão de 30% do mercúrio perdido), a emissão de vapores de mercúrio durante os processos de queima do amálgama pelos garimpeiros e do bullion pelas casas compradoras (ambos responsáveis por 70% da emissão do Hg), contribuem enormemente para sua presença no ambiente.

Os estudos se concentraram no córrego Tanque dos Padres que corre sobre sedimentos antropogênicos oriundos dos diversos ciclos do garimpo de ouro na região. Esses sedimentos são compostos em sua fração argilosa, basicamente, por quartzo e óxidos de ferro (OHF), e em sua fração arenosa por caolinita, illita e OHF, originados nos processos de exploração e beneficiamento do minério (moagem e centrifugação). Ao longo dessa drenagem foram selecionados sete ambientes representativos da região de estudo, nos quais foi realizado o monitoramento das variáveis físicas e químicas relevantes. Foram coletados perfis superficiais de solos urbanos (0-30 cm profundidade), com o objetivo de rastrear a contaminação mercurial proveniente das emissões das casas compradoras de ouro. Para estabelecimento de valores de referência, foram coletadas amostras de diversos compartimentos ambientais de áreas não diretamente impactadas pela atividade garimpeira. As análises para os teores totais de Hg seguiram a metodologia proposta por Malm et al. (1989).

#### Caracterização dos ambientes estudados

A drenagem estudada flui a partir da unidade geológica denominada "Grupo Cuiabá" (rochas compreendendo filitos com fácies ferruginosas e carbonáceas) em direção à "Formação Pantanal", caracterizada por sedimentos ricos em minerais de argila e matéria orgânica. A atividade de mineração se concentra nos filitos ferruginosos cortados por veios de quartzo mineralizados. O material explorado é transportado geralmente por caminhões para locais próximos à drenagem, onde se processa o seu beneficiamento.

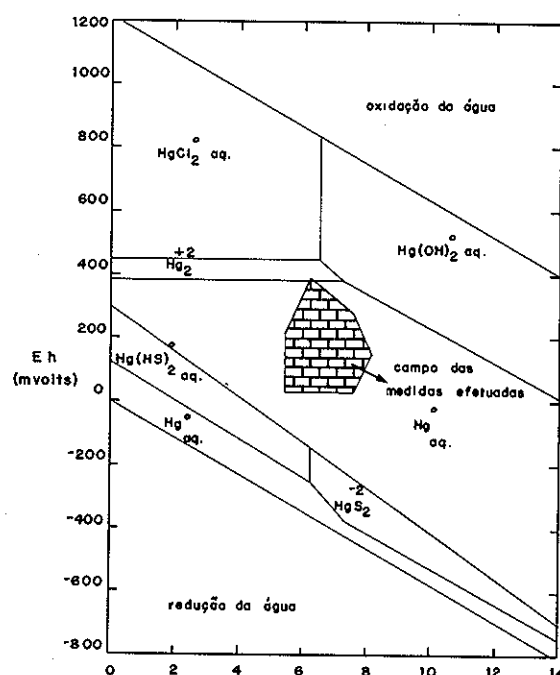
A área de estudo apresenta uma pluviosidade média anual de 1.500 mm, distribuídos em seis meses de estação seca (30 mm/mês) e seis meses de estação chuvosa (230 mm/mês).

Durante oito meses foram monitorados o pH, Eh e condutividade das águas dos ambientes selecionados. As medições indicaram uma pequena variação de pH (5,8 a 7,0). O Eh atingiu, durante o período das chuvas, o máximo

de +390 mV, contrastando com as medições do período de seca quando o valor máximo foi de +245 mV. O valor mínimo de Eh foi registrado durante o período de seca da ordem de +70 mV. Também a condutividade oscilou em função da pluviosidade, variando de 13  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , durante as chuvas, até 160  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na estação seca.

As águas intersticiais, coletadas nos sedimentos a um metro de profundidade, apresentaram valores das variáveis físicas e químicas semelhantes às das águas superficiais, indicando a alta permeabilidade dos sedimentos. Na estação seca, observou-se um sensível decréscimo nos valores de Eh entre as águas superficiais e intersticiais, resultando em condições redutoras desfavoráveis aos processos de oxidação do mercúrio metálico.

**Figura 1** — Pares de medidas pH x Eh dos ambientes aquáticos de Poconé-MT, plotados no diagrama de campos de estabilidade de Hem, 1970.



Os pares de Eh-pH medidos estão situados no diagrama de estabilidade do mercúrio, no campo de domínio do  $\text{Hg}^0$  aquoso (Figura 1), caracterizado por baixa solubilidade em água: 25 ppb a 25°C (Hem, 1970). Os baixos valores de mercúrio encontrados nas águas e biota, apesar dos teores elevados de mercúrio detectados nos sedimentos, levantam questões sobre os possíveis mecanismos de controle natural do mercúrio naqueles ambientes. É questionável, partindo-se simplesmente do diagrama Eh-pH, a afirmação da inexistência de processos oxidativos do mercúrio, já que os fenômenos naturais são de ordem mais complexa (Andren & Harriss, 1975). Além disso, os valores encontrados principalmente na época das chuvas aproximam-se dos limites do campo da espécie oxidada  $\text{Hg}^{2+}$  (Figura 1). Em havendo oxidação, a disponibilidade

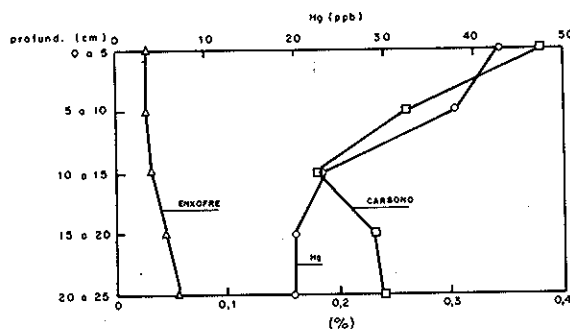
de do mercúrio iônico será controlada pela competição entre os agentes geoquímicos e biológicos.

Os valores de DQO (demanda química de oxigênio) nos sedimentos variaram de 28,2 mg O<sub>2</sub>/g nos ambientes com predomínio do material de rejeito de garimpo (material rico em OHF) a 55,4 mg O<sub>2</sub>/g nos sedimentos da Formação Pantanal (ricos em matéria orgânica). Nos mesmos ambientes, os valores de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) variaram de 5,2 a 19,4 mg O<sub>2</sub>/g, respectivamente.

Todos os ambientes apresentam sedimentos com baixos teores de enxofre (<0,1%).

Independentemente da composição dos sedimentos, os ambientes menos impactados apresentam uma boa correlação entre os teores de carbono total e mercúrio nos perfis de sedimento, como pode ser observado, por exemplo, no ambiente pouco impactado E-VII-2 (Capão do Angico) com solo composto por material siltico-argiloso, mostrado na Figura 2. As áreas mais diretamente impactadas pela atividade garimpeira não apresentaram a mesma correlação.

**Figura 2** — Relação entre o mercúrio e o carbono no ambiente E-VII-2, Capão do Angico, em Poconé-MT.



A principal bacia de rejeitos do córrego Tanque dos Padres, selecionada como uma das estações de monitoramento, possui uma área de 62.400 m<sup>2</sup>, contendo aproximadamente 300.000 m<sup>3</sup> de rejeitos de garimpo, foi exaustivamente amostrada (84 furos de trado, com profundidades variáveis de 0,1 a 9,3 metros). As amostras foram classificadas em peneiras de 200 mesh de malha (0,074 mm) e as respectivas frações granulométricas resultantes analisadas separadamente. A fração + 200 mesh apresentou um teor médio de 45 ppb de mercúrio (40 a 70 ppb Hg), ao passo que a fração -200 mesh apresentou teor médio de 70 ppb de Hg (50 a 140 ppb Hg). Nas bordas do corpo de rejeito foram encontrados três locais com teores anômalos de mercúrio (acima de 25 ppm Hg), correspondendo a antigos pontos de resumo (amalgamação). O mercúrio metálico nesses pontos pode ser facilmente detectado a olho nu, com o simples bateamento do sedimento. Não foram detectados halos de dispersão, indicando a baixa mobilidade do mercúrio metálico naquelas condições.

As amostras de solos urbanos apresentaram teores crescentes de mercúrio em função da proximidade com as casas compradoras de ouro. Além de 800 metros de distância das fontes de emissão, os valores de mercúrio nos solos aproximam-se dos valores de referência, indicando um cur-

to ciclo de permanência do mercúrio no compartimento atmosférico da área de estudos (método de análise de Malm, et al. 1989).

### Adsorção do mercúrio iônico pelos sedimentos de Poconé

Dois sedimentos típicos foram utilizados em ensaios laboratoriais, visando observar a adsorção do mercúrio iônico inorgânico: (a) saprólito do filito ferruginoso (15% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); (b) sedimentos da Formação Pantanal, ricos em caulinita, illita e outros minerais de argila e matéria orgânica.

Os ensaios foram realizados preliminarmente em dois *beakers*. Uma polpa constituída de 30% da amostra (a) foi misturada com uma solução de 10 ppm de cloreto de mercúrio. O mesmo procedimento foi adotado para a amostra (b). Os ensaios foram realizados a um pH = 3, ajustado com HCl. A cada hora tomou-se uma alíquota de 10 ml da polpa sob agitação, sendo o filtrado analisado em espectrofotômetro de absorção atômica (método do vapor a frio). Os ensaios resultaram numa adsorção de 25% do mercúrio total para a amostra (a) e de 43% para a amostra (b), após cinco horas de duração.

Os mesmos ensaios foram repetidos a um pH = 5,5. Após uma hora de agitação, mais de 99% do mercúrio total introduzido havia sido adsorvido, tanto pelo sedimento (a) como pelo sedimento (b). A eficiência da adsorção por estas amostras de sedimentos foi confirmada por análise do teor de mercúrio nos sólidos após lavagem com água destilada. A rápida adsorção do mercúrio pode ser atribuída aos processos de troca de cátions, principalmente na presença de minerais de argila e de OHF (mecanismos de adsorção não-específica).

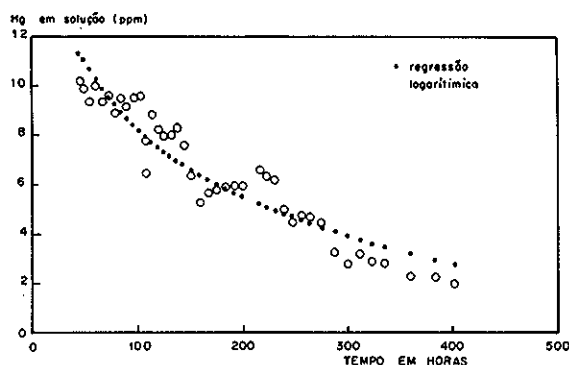
Um outro ensaio de adsorção foi realizado sob condições estáticas, isto é, sem agitação. Cem quilogramas de cada amostra foram colocados, respectivamente, em duas caixas de cimento (previamente revestidas com tinta epóxi), contendo 300 litros de solução a 10 ppm de cloreto de mercúrio. Durante 400 horas, o teor de mercúrio na solução foi periodicamente monitorado, cujos resultados são mostrados nas Figuras 3 e 4.

A co-precipitação de óxidos hidróxidos de ferro recém-formados com mercúrio iônico também foi investigada. O mercúrio co-precipitado com os OHF alcançou 99% do mercúrio total introduzido, confirmando estudos anteriores realizados por Krauskopf (1956), Reimers & Krenkel (1974), Teissier et al. (1979) e Ramamoorthy & Rust (1977).

### Extração seletiva de mercúrio

As poucas informações disponíveis sobre métodos da extração seletiva de mercúrio impuseram-nos a elaboração de uma metodologia própria. A principal dificuldade encontrada para tal procedimento deve-se à possibilidade da extração simultânea das espécies de mercúrio em solução associado a alguma fase mineral. Por exemplo, muitos métodos indicados para a extração de óxidos/hidróxidos de ferro usando o reagente de Tamm (Veiga et al., 1991), hidroxilamina (Tessier et al., 1979) e ditionito (Deb, 1950), não são eficientes para manter o mercúrio em solução quando da redução e solubilização dos óxidos/hidróxidos de ferro. O método aqui proposto evita a utilização de agentes redutores que poderiam resultar na conversão do mercúrio iônico para metálico, durante a solubilização

**Figura 3—** Adsorção do mercúrio iônico pelo saprólito ferruginoso (amostra a).



da fase mineral. O procedimento proposto para a extração seqüencial de um grama de amostra é descrito a seguir, lembrando que, após cada etapa, a amostra é centrifugada (30 min/ 2.000 rpm) e o sobrenadante é analisado quanto ao teor de mercúrio:

1ª Etapa — Mercúrio fracamente adsorvido (trocável): 20 ml de acetato de amônia (1 M); pH = 7,2; 2 horas de agitação à temperatura ambiente;

2ª Etapa — Mercúrio associado à matéria orgânica e mercúrio metálico: 20 ml de  $H_2O_2$  a 30% +  $HNO_3$  (0,02 M) 5:3 v/v; 5 horas de agitação à temperatura ambiente. Adicionalmente, mais 2 horas de aquecimento a 60°C com banho de areia. Após este ataque, acrescenta-se 10 ml de acetato de amônia (3,5 M), mantendo-se por mais uma hora sob agitação à temperatura ambiente;

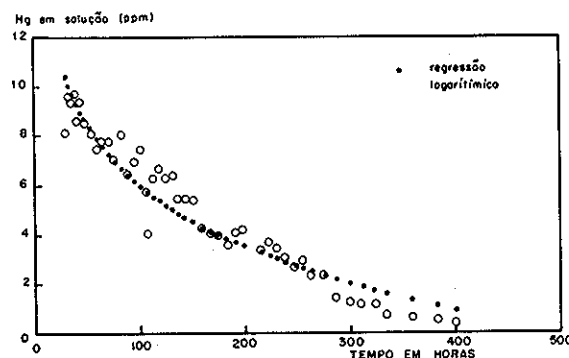
3ª Etapa — Mercúrio associado com OHF: 50 ml de HCl (0,5 M); 8 horas de agitação à temperatura ambiente;

4ª Etapa — Mercúrio residual: HF (50%) +  $HClO_4$  conc. +  $HNO_3$  conc. (5 ml + 2,5 ml + 5,0 ml, respectivamente), leva-se a secar a 60°C por duas vezes. O resíduo é retomado com ácido nítrico concentrado e levado para leitura no espectrofotômetro de absorção atômica.

Não foi possível a diferenciação entre o mercúrio metálico (possivelmente antropogênico) e o mercúrio associado à matéria orgânica, podendo ser resultado dos processos de alteração de minerais mórfeos, liberando traços de mercúrio, suficientes para processos de enriquecimento com ácidos húmicos. Uma debilidade dos trabalhos sobre extração de mercúrio de fases minerais é a sua incapacidade em determinar a origem do mercúrio associado à matéria orgânica. É conhecida a capacidade de agentes orgânicos de dissolver mercúrio metálico.

Uma amostra de um ponto contaminado (local de amalgamação), com teor médio de 2,5 ppm de mercúrio total (saprólito de filito ferruginoso), e uma amostra de um ambiente pouco contaminado (Formação Pantanal), com 20 ppb de mercúrio total, foram peneiradas e centrifugadas de modo a se obter fração menor que 2  $\mu m$ . O enriquecimento de mercúrio para esta fração foi de oito vezes para a amostra rica em OHF e de dez vezes para a amostra rica em matéria orgânica. A extração seqüencial do mercúrio mostrou que 77,5% do mercúrio estava associado aos OHF para os saprólitos de filitos ferruginosos e aproximadamente 64% do mercúrio estavam associados à fase orgânica nos sedimentos ricos em matéria orgânica (Tabela 1).

**Figura 4—** Adsorção do mercúrio iônico pelo sedimento rico em matéria orgânica (amostra b)



**Tabela 1 —** Resultados da extração seqüencial de mercúrio em duas amostras de Poconé, MT. (Fração menor que 2  $\mu m$ ).

Etapa	% Hg extraído	
	Amostra a	Amostra b
1	3,06	13,90
2	2,18	63,6
3	77,50	13,40
4	17,30	9,10

Hg TOTAL (ppm) 0,209

Amostra a = saprólito ferruginoso

Amostra b = sedimento rico em matéria orgânica

#### Estudos com a biota

A biota apresenta um bom indicador da disponibilidade do mercúrio iônico (orgânico ou inorgânico). Os resultados analíticos de mais de vinte diferentes espécies de peixes amostradas na região de Poconé não assinalaram qualquer concentração significativa de mercúrio que possa ser atribuída à contaminação antropogênica. Como era esperado, as espécies carnívoras, em geral, apresentaram teores mais elevados que as espécies herbívoras. O interessante é que o teor máximo de mercúrio foi determinado em um peixe do gênero *Geophagus* sp. (acará), coletado em um ponto de amalgamação com alto teor de mercúrio, detectável até mesmo por procedimentos de bateamento (da ordem de 0,38  $\mu g$  Hg/g), situando-se abaixo do limite proposto pela OMS para consumo humano (0,5  $\mu g$  Hg/g) (Pádua et al., 1992).

Aproximadamente 300 moluscos (*Marisa* sp.) foram coletados em uma área pouco contaminada, apresentando teores da ordem de 0,04  $\mu g$  Hg/g, e confinados numa caixa de madeira contendo sedimentos contaminados (2,0 ppm de Hg, com mercúrio metálico visível), durante 60 dias. Amostras desses moluscos foram analisadas de 15 em 15 dias, apresentando ao final do ensaio uma concentração de mercúrio de 0,07  $\mu g$  Hg/g, assinalando uma incorporação irrelevante de mercúrio por aqueles organismos.

Pádua et al. (op. cit.), analisando alguns moluscos coletados em antigos pontos de amalgamação, encontraram valores de 0,91  $\mu g$  Hg/g, observando que os indivíduos maiores apresentaram os máximos teores (*Pomacea canaliculata*).

As macrófitas aquáticas analisadas (*Potenderia lanceolata*) apresentaram baixos teores de mercúrio (máximos: 0,11

$\mu\text{g Hg/g}$  nas raízes e  $0,14 \mu\text{g Hg/g}$  nas folhas), sugerindo a baixa biodisponibilidade de mercúrio nesses ambientes (Lacerda, 1991).

### Conclusões

Os pares de Eh-pH monitorados nos ambientes aquáticos, durante oito meses, indicaram a predominância de espécie  $\text{Hg}^0$  aquoso, segundo o diagrama de estabilidade de Hem (1970), mostrado na figura 1. Apesar de remota, a possibilidade de oxidação do mercúrio não deve ser totalmente descartada. As condições naturais envolvem fatores diversos e complexos, que também devem ser considerados (atividade química e biológica, presenças orgânicas etc.) nos processos de oxidação do mercúrio. A oxidação é o passo mais importante para a mobilidade e metilação do mercúrio. O transporte do mercúrio é principalmente controlado pelos mecanismos de oxidação/adsorção, já que o mercúrio metálico não apresenta mobilidade suficiente para difundir-se ao longo das drenagens, nem grandes afinidades de adsorção pelo material particulado, como ficou demonstrado pela ausência de halos de dispersão de mercúrio no córrego Tanque dos Padres.

Os ensaios realizados com sedimentos de saprólitos ferruginosos e daqueles ricos em matéria orgânica, mostraram uma rápida adsorção do mercúrio iônico. Nos ensaios estáticos (sem agitação), num período de 17 dias, o sedimento ferruginoso adsorveu 80% do mercúrio iônico adicionado, enquanto o sedimento rico em matéria orgânica, no mesmo período, adsorveu 96% do mercúrio total (Figuras 3 e 4).

Foi observado que, nos ambientes pouco ou não impactados pela atividade garimpeira, existe uma boa correlação entre os teores de mercúrio e carbono total, especialmente nos 15 cm iniciais dos perfis de sedimentos analisados (Figura 2). Estes dados sugerem que o horizonte húmico pode atuar como elemento concentrador do mercúrio, independentemente de sua origem (natural ou antropogênica).

A capacidade de captura da matéria orgânica e dos óxidos hidrôxidos de ferro pode controlar os níveis de mercúrio nas águas e organismos. A metilação pode ser inibida pela baixa disponibilidade de mercúrio iônico nas águas. Os baixos níveis de mercúrio detectados na biota nas áreas contaminadas, sugerem que os processos de captura e fixação promovidos pelos agentes geoquímicos são mais rápidos que os mecanismos de mobilização e bioincorporação.

Os estudos realizados indicam que óxidos hidratados de ferro e matéria orgânica, atuam como eficientes reguladores naturais da concentração do mercúrio disponível nos ambientes aquáticos. Mesmo quando há a probabilidade de ionização de mercúrio (microambientes oxidantes), os componentes ativos dos sedimentos adsorvem o mercúrio iônico, não permitindo que este seja posteriormente metilado. Esta situação não deve ser automaticamente extrapolada para o mercúrio metálico. Entretanto, nos indica a existência de eficientes mecanismos de controle natural que podem evitar que a poluição por mercúrio assumam dimensões catastróficas.

Os estudos futuros em ambientes aquáticos de clima tropical, relativamente pouco conhecidos, deverão aprofundar o conhecimento sobre os mecanismos de oxidação do mercúrio e suas interações com os componentes formadores de sedimentos. Uma outra questão pouco desenvolvida no Brasil, concerne aos estudos de especiação do metal nos diversos compartimentos ambientais.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a especial colaboração dos pesquisadores do Departamento de Química da UFMT — Universidade Federal de Mato Grosso; dos profissionais da METAMAT — Companhia Matogrossense de Mineração; dos Drs. Raphael Hipólito e José Vicente Valarelli, do Instituto de Geociências da USP — Universidade de São Paulo, e dos Profs. Wolfgang Pfeiffer, Olaf Malm e Wanderley Rodrigues Bastos, do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho — Universidade Federal do Rio de Janeiro. Finalmente, salientamos a participação valiosa dos, então, acadêmicos Fátima Aparecida Silva Aiocca (Departamento de Biologia da UFMT) e Lázaro José de Oliveira (Departamento de Química da UFMT).

### Bibliografia

- ANDREN, A. W & HARRISS, R.C. Observations on the association between mercury and organic matter dissolved in natural waters. *Geochim. Cosmoch. Acta.* (39): 1253-1257, 1975.
- DEB, B.C. The estimation of free iron oxides in soils and clays and their removal. *J. Soil Sci.* 1(2): 212-220, 1950.
- FERREIRA, R.C.H. & APPEL, L. E. Fontes e usos de mercúrio no Brasil. *Ser. Estudos e Docum.*, 13. CETEM/CNPq (Ed.), Rio de Janeiro, 33pp., 1991.
- HEM, J. D. Chemical behaviour of mercury in aqueous media. In: Mercury in the environment. U.S.G.S., Washington. *Professional Paper*, 713: 19-28, 1970.
- KRAUSKOPF, K.B. Factors controlling the concentrations of thirteen rare metals in sea water. *Geochim. Cosmoch. Acta*, 9: 1-32B 1956.
- LACERDA, L.D. Dispersão de mercúrio em uma drenagem afetada por rejeitos de atividade garimpeira em Poconé, Mato Grosso. In: Poconé, um campo de estudos do impacto ambiental do garimpo. Org. M.M. Veiga & F.R. Fernandes. CETEM/CNPq (2 ed.), Rio de Janeiro, *Ser. Tecnol. Ambiental*, 1: 45-60, 1991.
- MALM, O.; PFEIFFER, W.C.; BASTOS, W.R. & SOUZA, C.M.M. Utilização do acessório de geração de vapor frio: análise de mercúrio em investigações ambientais por espectrofotometria de absorção atômica. *Ciência e Cultura*, 41: 88-92, 1989.
- PÁDUA, H.B. de; AIOCCA, F.A.S.; FERREIRA, N.L.S.; OZAKI, S.K.; SILVA, A.P.; VEIGA, M.M.; SILVA, G.D.; SILVA, E.C. & OLIVEIRA, E.F. Presença e assimilação do mercúrio em organismos aquáticos da área de drenagem do "Tanque dos Padres", Poconé/MT, 1ª Reunião do Instituto de Pesca, res., Abril/1992.
- RAMAMOORTHY, S. & RUST, B.R. Heavy metal exchange processes in sediment-water systems. *Environm. Acta*, 41: 527-538, 1977.
- REIMERS, R.S. & KRENKEL, P.A. Kinetics of mercury adsorption and desorption in sediments. *J. Water Poll. Control Federation*, 46: 352-365, 1974.
- TESSIER, A.; CAMPBELL, F.G.C.; & BISSON, M. Sequential extraction procedure of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, 51: 844-850, 1979.
- VEIGA, M.M.; SCHORSCHER, H.D. & FYFE, W.S. Relation ship of copper with hidrous ferric oxides: Salobo, Carajás/PA/Brazil. *Ore Geol. Rev.*, 6: 245-255, 1991.