

**TECNOLOGIA
AMBIENTAL**

METAIS PESADOS NAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DE POCONÉ E ALTA FLORESTA

10

Saulo Rodrigues Pereira Filho

STA 10

CE
EX. 2

MCT

CNPq

CETEM

PRESIDENTE DA REPÚBLICA: Fernando Henrique Cardoso
MINISTRO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA: José Israel Vargas

PRESIDENTE DO CNPq: José Galizia Tundisi
DIRETOR DE DESENV. CIENT. E TECNOLÓGICO: Marisa B. Cassim
DIRETOR DE PROGRAMAS: Eduardo Moreira da Costa
DIRETOR DE UNIDADES DE PESQUISA: José Ubyrajara Alves
DIRETOR DE ADMINISTRAÇÃO: Derblay Galvão

CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

CONSELHO TÉCNICO-CIENTÍFICO (CTC)

Presidente: Roberto C. Villas Bôas

Vice-presidente: Juliano Peres Barbosa

Membros Internos: Fernando Freitas Lins; Luiz Gonzaga S. Sobral; Vicente Paulo de Souza e João Alves Sampaio (suplente)

Membros Externos: Antonio Dias Leite Junior; Arthur Pinto Chaves; Octávio Elísio Alves de Brito; Saul Barisnik Suslick e Luiz Alberto C. Teixeira (suplente)

DIRETOR: Roberto C. Villas Bôas

DIRETOR ADJUNTO: Juliano Peres Barbosa

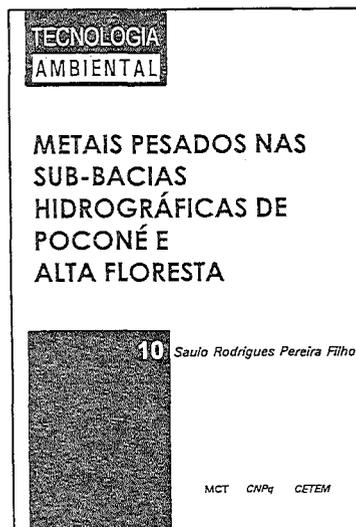
DEPTº DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS (DTM): Fernando Freitas Lins

DEPTº DE METALURGIA EXTRATIVA (DME): Ronaldo Luiz C. dos Santos

DEPTº DE QUÍMICA INSTRUMENTAL (DQI): Luiz Gonzaga S. Sobral

DEPTº DE ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO (DES): Carlos César Peiter

DEPTº DE ADMINISTRAÇÃO (DAD): Antônio Gonçalves Dias



ISSN - 0103-7374

Saulo Rodrigues Pereira Filho

Geólogo pela UERJ, M.Sc. em Geoquímica Ambiental pela UFF, doutorando pela Universidade de Heidelberg-Alemanha. Como pesquisador adjunto do CETEM, vem atuando nos últimos quatro anos na área de geoquímica ambiental.

Saulo: 206308

ET. 006518-2

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia



CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

1995

STA 10
CE
E.T.O

**CETEM
BIBLIOTECA**

CONSELHO EDITORIAL

Editor

Roberto C. Villas Bôas

Conselheiros Internos

Antonio Carlos Augusto da Costa, Marisa B. de

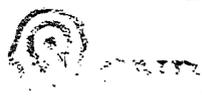
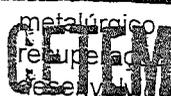
Mello Monte, Peter Rudolph Seidl

Conselheiros Externos

Armando Corrêa de Araújo (MUR), Artur Cezar Bastos Neto (IPAT),
James Jackson Griffin (Univ. Federal de Viçosa), Luis Enrique Sánchez
(EPUSP), Luiz Drude de Lacerda (UFF), Luiz Lourenço Fregadolli (RPM),
Maria Therezinha Martins (SBM).

Reg. N.º 2944 Data 13/03/96

A Série Tecnologia Ambiental divulga trabalhos relacionados ao setor minero-metalúrgico nas áreas de tratamento e recuperação ambiental, que tenham sido apresentados, ao menos em parte, no

	
CETEM	
F. TRIMÔNIO	
17-B - 6704	
COL. DE	VOL VOL Nº
DATA	Dayse Lúcia M. Lima COORDENAÇÃO EDITORIAL E REVISÃO
REG. Nº	Vera Lúcia Ribeiro EDITORAÇÃO ELETRÔNICA
BMB Jacinto Fregaglia ILUSTRAÇÃO	

Pereira Filho, Saulo Rodrigues

Metais pesados nas sub-bacias hidrográficas de Poconé e Alta Floresta. Saulo Rodrigues Pereira Filho - Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1995.

90p.- (Série Tecnologia Ambiental, 10)

1. Metais pesados. 2. Poconé, Bacia de. 3. Alta Floresta, Bacia de. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Título. III. Série.

ISBN 85-7227-068-X

ISSN 0103-7374

CDD 546.22

APRESENTAÇÃO

O trabalho, ora trazido ao público, constituiu-se no projeto de pesquisa do geólogo Saulo Rodrigues Filho, no CETEM, ao mesmo tempo em que se prestou como sua tese de mestrado em geoquímica da Universidade Federal Fluminense, Niterói, em 1994.

A orientação técnica deste trabalho deve-se ao Prof. Dr. John Edmundo Lewis Maddock, que muito contribuiu para o bom êxito do projeto.

Uma versão reduzida desse trabalho já foi apresentanda nesta mesma Série. Entretanto, solicitações variadas de informações adicionais levaram a que o trabalho fosse publicado, agora, na sua íntegra.

Rio de Janeiro, Outubro, 1995.

Roberto C. Villas Bôas
Diretor

SUMÁRIO

RESUMO	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVOS	12
3. ÁREAS DE ESTUDO	13
3.1 Aspectos Fisiográficos	15
4. MATERIAIS E MÉTODOS	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1 Caracterização Físico-química das Drenagens de Poconé	28
5.2 Caracterização Físico-química das Drenagens de Alta Floresta	34
5.3 Caracterização Mineralógica de Rochas da Região de Poconé	38
5.4 Caracterização Mineralógica de Rochas da Região de Alta Floresta	39
5.5 Distribuição de Metais Pesados em Sub-bacias Hidrográficas da Região de Poconé	40
5.6 Distribuição de Mercúrio em Compartimentos Ambientais: Diagnósticos da Região de Alta Floresta - MT	62
6. CONCLUSÕES	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

RESUMO

As regiões de Poconé - MT e Alta Floresta - MT vêm sendo alvo, desde o início da década de 80, de intensa exploração de ocorrências auríferas sob a forma de garimpos. O presente estudo estabelece os níveis de background de metais pesados a partir de amostras de sedimentos e solos, isentas de interferências causadas pela atividade garimpeira. Na região de Poconé o estudo abrange os metais Hg, Cu, Pb, Zn, Fe e Mn, enquanto que na região de Alta Floresta o mercúrio foi o único metal estudado. Adicionalmente, o estudo avalia a intensidade dos impactos geoquímicos causados pela emissão/liberação desses metais pesados no meio ambiente, através das concentrações encontradas em sedimentos, solos e águas pertencentes a sub-bacias de drenagem diretamente afetadas pela garimpagem. Foram ainda monitoradas as variáveis físico-químicas das drenagens estudadas em diferentes períodos do ano, para que se pudesse conhecer seus intervalos de variação e, assim, interpretar o equilíbrio termodinâmico dos metais em meio hídrico.

Palavras-chave: poluição de solos e águas, hidrogeoquímica, metais pesados, mercúrio.

ABSTRACT

Gold has been exploited in the Poconé region, located at the State of Mato Grosso in Brazil, during the past 13 years by "garimpo" activity. In the present research background levels of metals were determined through the analysis of sediments and soils unaffected by mining activities, located upstream of the anthropogenic inputs. The study in Poconé focuses on Hg, Cu, Pb, Zn, Fe and Mn. In addition, the study evaluates the level of contamination in sediments, soils and water taking into account drainage waters directly affected by gold mining. Since the physical-chemical parameters of the waters are subjected to seasonal variations, they were monitored throughout the year for interpreting the behaviour of the metals in the studied environments.

Keywords: water and soil pollution, hydrogeochemistry, heavy metals, mercury.

1. INTRODUÇÃO

A atividade de mineração implica, inevitavelmente, no rompimento do equilíbrio existente entre os diversos compartimentos ambientais inseridos na sua área de influência. Esse impacto ambiental pode, contudo, ser minimizado com a aplicação de técnicas de lavra e beneficiamento mineral ambientalmente compatíveis, e com o desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento de minérios, de efluentes e de rejeitos sólidos contaminados.

A mineração informal, sob a forma de garimpos, via de regra utiliza técnicas rudimentares de lavra e beneficiamento, que resultam no precário controle ambiental exercido pelos garimpeiros.

A região garimpeira de Poconé-MT, alvo deste estudo juntamente com a região de Alta Floresta-MT, teve sua fundação originada do descobrimento de ocorrências auríferas, em 1777, por parte dos bandeirantes. Tendo sido exauridas as principais ocorrências, os fundadores da vila passaram a se dedicar à pecuária, atividade expressiva na região até os dias de hoje. (CETEM/CNPq, 1991)

Com a elevação da cotação do ouro no mercado internacional, no início da década de 80, surgiu na região um segundo ciclo do ouro, quando tornou-se promissor o aproveitamento de jazimentos minerais até então antieconômicos. Os vestígios deixados pelos bandeirantes, como os horizontes de fragmentos rochosos retrabalhados, serviram, em muitos casos, como referência na prospecção de áreas mineralizadas.

O beneficiamento do minério de ouro no garimpo, representado por moagem (em alguns casos), concentração gravítica e amalgamação, muitas vezes não segue os

procedimentos recomendáveis de contenção de rejeitos em áreas isoladas do sistema hídrico. Com isso, ocorre que o mercúrio usado na amalgamação, e outros metais pesados contidos em minerais de alta densidade presentes no concentrado gravítico, podem atingir o sistema hídrico causando concentrações anômalas. Do ponto de vista dos impactos físicos, o beneficiamento de minério pode causar o assoreamento de drenagens.

O presente estudo foi desenvolvido no âmbito do Programa "Desenvolvimento de Tecnologia Ambiental - DTA", instituído no CETEM/CNPq - Centro de Tecnologia Mineral - em 1989, com o objetivo de desenvolver pesquisas voltadas para a compatibilização da atividade mineral com a proteção ao meio ambiente.

A pesquisa na área de geoquímica ambiental pressupõe o estabelecimento de um nível de referência que exprima a concentração natural de um dado elemento no ambiente, comumente denominado nível de *background*. Para se estabelecer esse padrão regional, são necessárias determinações analíticas ao nível de traços, em amostras que estejam isentas de interferências antropogênicas.

Na medida em que as concentrações de metais-traços em sistemas hídricos são extremamente variáveis, tanto em escala global como em escala local, além de determinações analíticas, faz-se necessário o reconhecimento da geologia da bacia de captação, com especial atenção para a mineralogia, para que se possa estimar a disponibilidade de cada elemento em relação à ação do intemperismo. (Salomons & Förstner, 1984)

Muitas possibilidades têm sido discutidas para o estabelecimento de valores de *background* para metais-traços em sedimentos. Förstner & Wittman (1979) definem as seguintes alternativas:

- a) concentração média em folhelhos como um valor padrão em nível global;
- b) concentração média em rochas sedimentares, particularizando-se o ambiente de deposição e levando-se em consideração fatores e mecanismos naturais autóctones e alóctones;
- c) concentração média em sedimentos recentes não poluídos, e
- d) concentração e datação em testemunhos de sedimentos, possibilitando a identificação do registro histórico dos eventos naturais que ocorreram numa determinada drenagem.

A necessidade de se determinar os níveis de *background* de metais pesados em áreas de estudo específicas deve-se à grande variabilidade das concentrações em rochas, solos e sedimentos.

No caso do mercúrio, a ocorrência na natureza de anomalias litogênicas está geralmente associada aos depósitos epitermais de sulfetos de metais base, especialmente Cu-Pb-Zn, assim como aos depósitos de metais nobres. (Mitra, 1986)

A coletânea de resultados apresentada por Jonasson & Boyle (1979) demonstra a grande variação das concentrações de mercúrio em diferentes matrizes. (Tabela 1)

Tabela 1 - Concentrações naturais médias de mercúrio em diferentes matrizes.

	Faixas de Variação (ppb)	Média (ppb)
Rochas		
Granito	7-200	62
Gnaisse	25-100	50
Xistos	10-1000	100
Quartzito	10-100	53
Calcáreo	40-220	40
Nef. Sienito	40-1400	450
Solos		
Solo Húmico	60-200	161
Horizonte B	30-140	89
Horizonte C	25-150	96
Sedimentos		
Fluviais	10-700	73
Lacustres	10-700	73
Marinhos	<10-2000	100
Água (rios)	0.01-0.1	0.03

Algumas rochas filíticas representativas de metamorfismo no fácies xisto-verde podem apresentar concentrações de mercúrio elevadas, variando de 1.5 a 1.9 ppm. (Mitra, 1986)

A faixa de variação das concentrações de mercúrio torna-se ainda maior para os valores encontrados em diferentes tipos de minerais, conforme demonstrado na Tabela 2, segundo dados apresentados por Jonasson & Boyle. (1979)

Tabela 2 - Concentrações de mercúrio em alguns minerais

Mineral	Composição	Faixa de Variação (ppm)
Quartzo	SiO ₂	0.01-2.0
Sílica Amorfa	SiO ₂ nH ₂ O	0.01-10
Calcita	CaCO ₃	0.01-20
Pirita	FeS ₂	0.1-100
Pirolusita	MnO ₂	1.0-1000
Hidróxido de Ferro	Fe ₂ O ₃ nH ₂ O	0.1-500
Esfalerita	ZnS	0.1-200
Galena	PbS	0.04-70
Barita	BaSO ₄	0.2-200

Conforme apresentadas nas Tabelas 1 e 2, as concentrações anômalas encontradas no ambiente nem sempre são de natureza antropogênica, ainda que, com a crescente industrialização de nossa civilização, seja essa a principal via causadora de poluição por metais pesados. Altas concentrações de metais de natureza litogênica também podem provocar poluição ambiental, sendo contudo menos freqüentes. Thornton & Abrahams (1984) citam alguns exemplos de poluição de origem geológica em solos da Inglaterra, descrevendo a faixa de *background* típica de cada elemento, bem como os possíveis efeitos tóxicos provocados por cada metal. (Tabela 3)

Tabela 3 - Exemplos de poluição por metais de origem geológica em solos da Inglaterra

Metal	Faixa de <i>Background</i> (ppm)	Anomalias (ppm)	Origem	Possíveis Efeitos
Cu	2 - 60	> 2000	Mineraliz.	Toxicidade/Cereais
Pb	10 - 150	>1%	Mineraliz.	Toxicidade/Biota
Zn	25 - 200	>1%	Mineraliz.	Toxicidade/Cereais

Em sistemas aquáticos, a estabilidade das diversas formas de ocorrência dos metais-traços depende de um grande número de possíveis interações entre as componentes particulada e dissolvida. Como situações causadoras da precipitação de metais dissolvidos, Rose et al. (1979) incluem as interações da

água com partículas sólidas, a mistura de águas com características distintas e a perda ou adição de gases na água. Contudo, os metais-traços assumem comportamentos distintos entre si, podendo ser classificados em grupos de acordo com suas peculiaridades geoquímicas. Os autores descrevem a seguinte classificação:

- a) **Tipo oxidantes** - óxidos de ferro e manganês e enxôfre nativo. Precipitam-se pela oxidação de soluções redutoras;
- b) **Tipo redutores** - U, V, Cu, Se e Ag. Precipitam-se como metais ou óxidos de valência baixa, pela redução de soluções oxidantes;
- c) **Tipo redutores sulfetados** - Fe, Cu, Ag, Zn, Pb, Hg, Ni, Co, As e Mo. Precipitam-se como sulfetos pela redução de águas oxidantes sulfatadas, usualmente pela ação de bactérias sulfato-redutoras;
- d) **Tipo sulfato-carbonato** - Ba, Sr e Ca. Precipitam-se pelo aumento da concentração de sulfato ou carbonato, como resultado da mistura de águas;
- e) **Tipos alcalinos** - Ca, Mg, Sr, Mn, Fe, Cu, Zn, Pb, Cd e outros. Precipitam-se pelo aumento do pH, e
- f) **Tipo adsorvitivo** - Cátions de metais de transição e cátions de valência alta. Adsorção ou co-precipitação de íons em óxidos de Fe-Mn, argilas e matéria orgânica.

No que diz respeito ao ciclo biogeoquímico global, os metais-traços podem ainda ser classificados de acordo com a mobilidade, toxicidade e vias críticas de acesso ao homem. Andreae et al. (1984) compilaram informações referentes ao comportamento de diversos metais, formulando a seguinte classificação (reproduzidos somente os metais de interesse deste estudo):

Tabela 4 - Algumas características do comportamento de metais no ciclo biogeoquímico

Classificação	Escala de Perturbação	Compartimentos Diagnósticos	Mobilidade Eh>200, pH 5-8	Toxicidade	Via de Acesso
Hg	Regional local	ar, sed., peixe, solo	volátil móvel*	tóxico	alimentação Ar
Cu	reg. local	ar, sed. água, solo	volátil solúvel	essencial#	alimentação
Pb	glob. reg. local	ar, sed., gelo, água, solo, homem	volátil móvel*	tóxico	alimentação e ar
Zn	reg. local	ar, sed., água, solo	volátil solúvel	essencial#	alimentação
Fe	local	ar, sed. água	insolúvel	essencial#	alimentação, ar, água
Mn	local	ar, sed. água	leve/solúvel	essencial#	ar

* móvel como composto organo-metálico

tóxico se em excesso

O comportamento do mercúrio que é emitido para a atmosfera, durante a queima de amálgama nos garimpos, é ainda pouco conhecido devido à complexidade envolvida nos estudos de metais-traços dispersos em meio atmosférico.

De acordo com Jenne (1970), o mercúrio elementar emitido para a atmosfera retorna para o ambiente terrestre principalmente em condições de chuva, podendo ocorrer, no entanto, a precipitação seca quando o metal está associado a partículas em suspensão na atmosfera.

Segundo Sidgwick (1950), o mercúrio elementar vaporizado pode ser oxidado através da radiação ultravioleta, formando os íons Hg^{+2} e Hg_2^{+2} . O íon Hg_2^{+2} sob condições aquosas teria uma forte tendência à dissociação segundo a reação $Hg_2^{+2} \rightarrow Hg^0 + Hg^{+2}$. Presumivelmente, segundo o autor, haveria então a formação de cloreto mercúrico ($HgCl_2$), composto altamente solúvel em água, 69 g/l a 25°C.

O mercúrio iônico proveniente da atmosfera pode tornar-se altamente disponível aos processos de metilação. Jernelov &

Lann (1973), baseando-se em dados coletados em ambientes lacustres e estuarinos da Suécia, revelaram que de 90 a 99% do mercúrio detectado em organismos aquáticos encontra-se sob a forma metilada.

Bisogni & Laurence (1975) estabeleceram um modelo com as variáveis condicionantes da dinâmica de metilação do mercúrio, demonstrando que:

- a metilação microbiana do mercúrio pode ocorrer em condições aeróbicas e anaeróbicas;
- as condições de metilação são dependentes da taxa de crescimento ou atividade metabólica das bactérias e fungos, e das concentrações de íon mercúrico (Hg^{+2});
- o produto predominante da metilação microbiana em pH neutro é o monometilmercúrio,
- taxas de metilação mais elevadas ocorrem sob condições aeróbicas para uma determinada concentração de íon mercúrico e para uma referida taxa de atividade metabólica. (Förstner & Wittmann, 1979)

Para se compreender a dinâmica dos metais pesados em meio hídrico é essencial o monitoramento dos parâmetros físico-químicos da água, isto é, pH, Eh, condutividade elétrica e temperatura. Esses parâmetros fornecem importantes subsídios para a interpretação do equilíbrio termodinâmico dos metais nos ambientes estudados.

O pH, quando assume valores baixos (condições ácidas), tende a tornar a maioria dos metais-traços bastante solúveis, no caso, Zn, Cd, Hg, Cu, Ag, Co, Ni, U, V e As. Por outro lado, assumindo valores elevados ou moderados (condições alcalinas ou neutras), o pH favorece a precipitação ou a adsorção dos metais. (Rose et al., 1979)

Outro importante parâmetro que controla a mobilidade dos metais, o potencial de oxirredução, indica a disponibilidade de elétrons num determinado ambiente. Assim, dependendo dos valores de Eh medidos no ambiente, os metais nele contidos podem assumir diferentes estados de oxidação, com propriedades distintas. O potencial de oxirredução pode influenciar a solubilidade de metais de duas maneiras:

- oxidação/redução de íons daqueles metais que exibem mais de um estado de oxidação na água. Por exemplo o ferro, mais solúvel como Fe^{2+} que como Fe^{3+} , pois este último hidroliza-se, precipitando-se como $Fe(OH)_3$, e
- oxidação/redução de ligantes, como por exemplo o enxofre, que forma íons SO_2^{2+} em condições oxidantes e S^{2-} sob condições redutoras. (Rose et al., 1979)

A condutividade elétrica é uma forma aproximada de se expressar a salinidade da água (concentração de sólidos dissolvidos), Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . Dessa forma, variações na condutividade (expressa em $\mu S/cm$) representam uma maior ou menor disponibilidade dos ânions capazes de formar, com os metais-traços, complexos iônicos solúveis, ou, ainda, minerais insolúveis. (Drever, 1982)

2. OBJETIVOS

O presente estudo objetiva determinar a distribuição das concentrações naturais de base (*background*) de mercúrio (Hg total) e outros metais pesados (Cu, Pb, Zn, Fe e Mn), encontrados em solos, sedimentos e água da região garimpeira de Poconé - MT, adotando-se essa distribuição como referência para avaliar o grau de contaminação por metais pesados do sistema hídrico. O estudo abrange ainda a região garimpeira de Alta Floresta - MT, sendo o mercúrio, neste caso, o único metal estudado.

Para se reconhecer os níveis de *background* foram selecionadas drenagens que não sofreram influência direta da atividade extrativa de ouro, de modo a se evitar a ocorrência de anomalias decorrentes do beneficiamento mineral (concentração de minerais ricos em metais pesados, adição de mercúrio etc.).

Adicionalmente, o estudo busca avaliar o grau de contaminação em solos, sedimentos e água, tomando-se como referência drenagens nitidamente impactadas pela atividade de garimpo.

3. ÁREAS DE ESTUDO

Foram alvos deste estudo, em Poconé, as sub-bacias hidrográficas dos córregos Guanandi (impactado), Piraputanga (impactado) e Formiga (não-impactado), bem como a sub-bacia do rio Bento Gomes (impactado). Tais drenagens percorrem diferentes terrenos, tanto no que se refere à vegetação (cerrado ao norte da área estudada e chaqueana - Pantanal - ao sul), quanto aos solos, sedimentos e rochas.

A região de Alta Floresta está representada, por sua vez, pela sub-bacia do córrego Cristalino (não-impactado) e pela sub-bacia do rio Teles Pires (impactado), caracterizadas respectivamente como drenagens amazônicas de águas pretas e de águas claras.

As regiões de Poconé e Alta Floresta vêm sendo alvos, ao longo dos últimos 12 anos, de intensa exploração de potenciais ocorrências auríferas sob a forma de garimpos. Há que se diferenciar, entretanto, a natureza dos depósitos auríferos presentes nesses locais, assim como método de exploração empregado.

Em Poconé, os garimpeiros extraem o ouro desde coberturas lateríticas até os veios de quartzo ricos em ouro (filões), que, por serem de origem hidrotermal, concentram o ouro encontrado nas rochas encaixantes do grupo Cuiabá. Trata-se, portanto, de um depósito de ouro primário com enriquecimento supergênico.

A exploração se dá, geralmente, através da ação conjunta dos donos de maquinário pesado (pá carregadeira, *drag-line*, moinho de martelo, centrífuga etc.) com os trabalhadores braçais. Aqueles ficam responsáveis pela exploração das camadas superficiais de alteração das rochas ("rebaixo") e pelo beneficiamento do minério, enquanto estes se encarregam da

abertura de trincheiras ao longo dos veios mineralizados ("filões"). Esse trabalho conjunto pode atingir, em alguns casos, até 50 metros de profundidade, e se caracteriza predominantemente pelos seguintes aspectos:

- exploração de áreas "secas", dissociadas das drenagens;
- utilização de moagem no processo de beneficiamento;
- deposição de rejeitos em barragens de contenção;
- amalgamação em circuito fechado (utilizando caixas d'água), e
- não utilização de retortas nas frentes de beneficiamento.

Em Alta Floresta, a garimpagem foi mais intensa em meados da década de 80, quando era predominante a atividade relacionada a depósitos aluvionares formados por pequenas drenagens, ou localizados em antigos canais de drenagens de maior porte. Nesses casos, a técnica de lavra utilizada era a de desmonte hidráulico e dragagem (garimpos de "baixão"), permanecendo assim até os dias de hoje.

A partir de 1986/87 ocorreu a introdução de equipamentos capazes de atingir os depósitos de aluvião ativo em rios caudalosos (rios Teles Pires e Peixoto de Azevedo). Instaladas em balsas, as dragas com mergulhadores e as dragas escariantes abriram uma nova frente de atuação. (CETEM/CNPq, 1992)

As principais características da atividade garimpeira em Alta Floresta podem ser descritas como:

- exploração associada às drenagens (depósitos de aluvião);

- não utilização de moagem no processo de beneficiamento;
- deposição de rejeitos no leito dos rios;
- amalgamação em circuito aberto (utilização de represamentos), e
- não utilização de retortas nas frentes de beneficiamento

Considerando-se as particularidades dessas duas áreas, é possível identificar, previamente, as causas para a incidência, por exemplo, de um grau de assoreamento mais elevado em Alta Floresta (rio Teles Pires e tributários), haja vista que os rejeitos do processo de concentração gravítica são lançados no leito dos rios. Da mesma forma, é legítimo esperar-se que as concentrações de mercúrio metálico nos sedimentos sejam maiores em Alta Floresta, onde a amalgamação é geralmente efetuada em circuito aberto - utilizando represamentos naturais, ou com o uso de mercúrio na calha de concentração.

3.1. Aspectos Fisiográficos

3.1.1 Localização das Áreas

3.1.1.1 Poconé

O Município de Poconé-MT situa-se na região do alto rio Paraguai, borda setentrional do Pantanal mato-grossense, distante 100 km a sudoeste da capital Cuiabá.

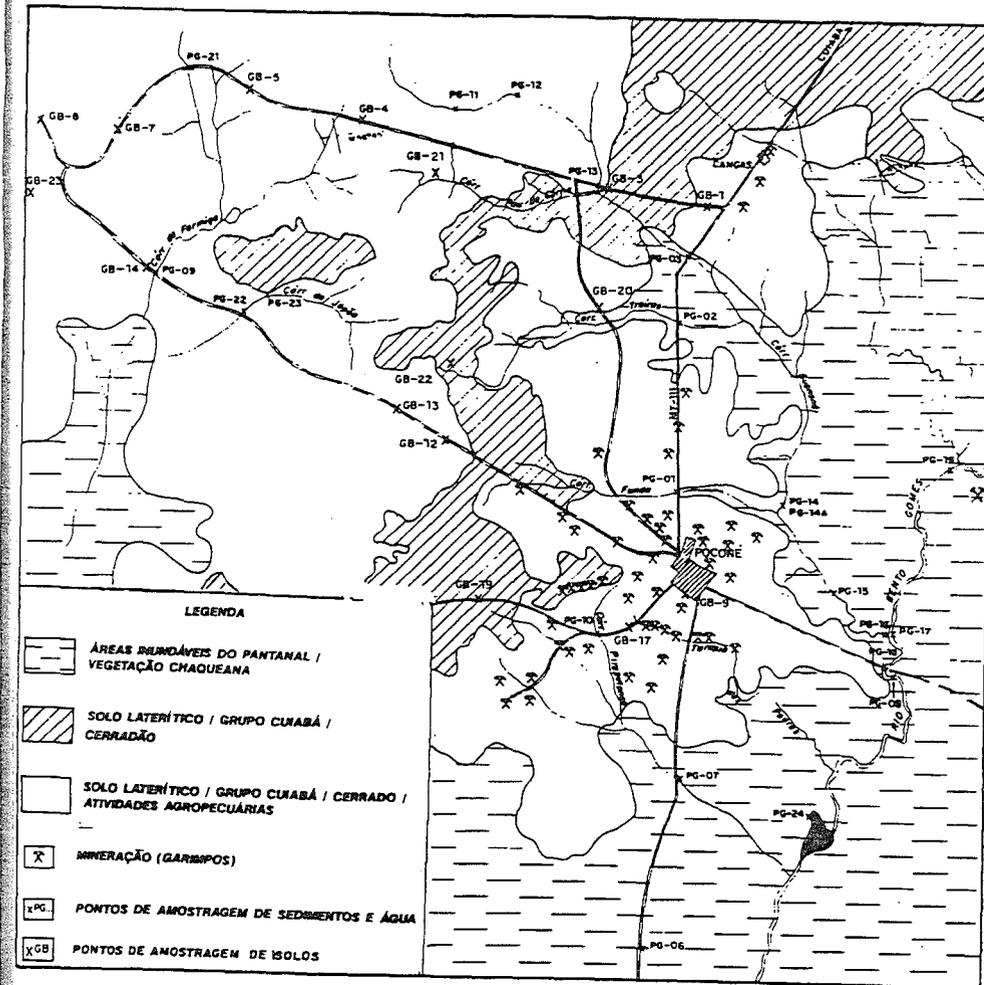
Adotou-se como objeto de estudo a sub-bacia do rio Bento Gomes, tendo como principais afluentes os córregos Guanandi, Formiga e Piraputanga, compreendida por uma área de aproximadamente 1700 km² da Folha de Poconé (SE.21-X-A-

1/DSG), com latitudes entre 16°00' e 16°30'S e longitudes entre 56°30' e 57°00'W. (ver Mapa 1)

A partir de informações obtidas da interpretação de imagem do satélite LANDSAT-INPE/TM 5, bandas 2,3 e 4, escala de 1:100.000, aliadas às observações de campo, torna-se possível identificar uma série de aspectos ambientais, que vão desde o tipo de cobertura vegetal (cerrado, vegetação chaqueana ou pastagem/plantações), até o grau de saturação nas drenagens e pela localização das frentes de garimpo.

Assim, as unidades cromáticas presentes na imagem de satélite foram utilizadas na confecção do mapa que se segue, correlacionado-as com as observações feitas no campo:

- vermelha: representa, na porção norte da imagem, áreas onde ocorrem solos subsaturados e vegetação de cerrado;
- vermelha mosqueada: representa, na porção sul da imagem, áreas onde ocorrem solos saturados recobertos por arbustos e pequenas árvores (vegetação chaqueana);
- cinza-esverdeada: representa, na porção sul/sudeste da imagem, áreas periodicamente inundáveis, de solos supersaturados recobertos por gramíneas e plantas aquáticas (vegetação chaqueana);
- azul e rosa claros: representam, na porção centro/norte da imagem, áreas onde existem solos subsaturados recobertos por pastagem e plantações, e
- azul: são áreas de contorno irregular que representam, na porção centro/norte da imagem, áreas onde existem solos secos retrabalhados pela atividade de garimpo e, portanto, sem cobertura vegetal



Escala Aproximada
1:250.000

Mapa 1 - Mapa de localização da área de estudo em Poconé, com pontos de amostragem e aspectos fisiográficos.

3.1.1.2 Alta Floresta

O município de Alta Floresta situa-se no extremo norte do estado de Mato Grosso, distante cerca de 60 km da margem esquerda do rio Teles Pires, ao longo da rodovia MT-208.

A área de estudo encontra-se compreendida pelas latitudes $9^{\circ}30'$ e $10^{\circ}10'S$ e longitudes $55^{\circ}30'$ e $56^{\circ}00'W$, e se caracteriza por um trecho de 80 km do rio Teles Pires, limitado a montante pela confluência do rio Peixoto de Azevedo, e a jusante pela Ilha do Ariosto. (Mapa 2)

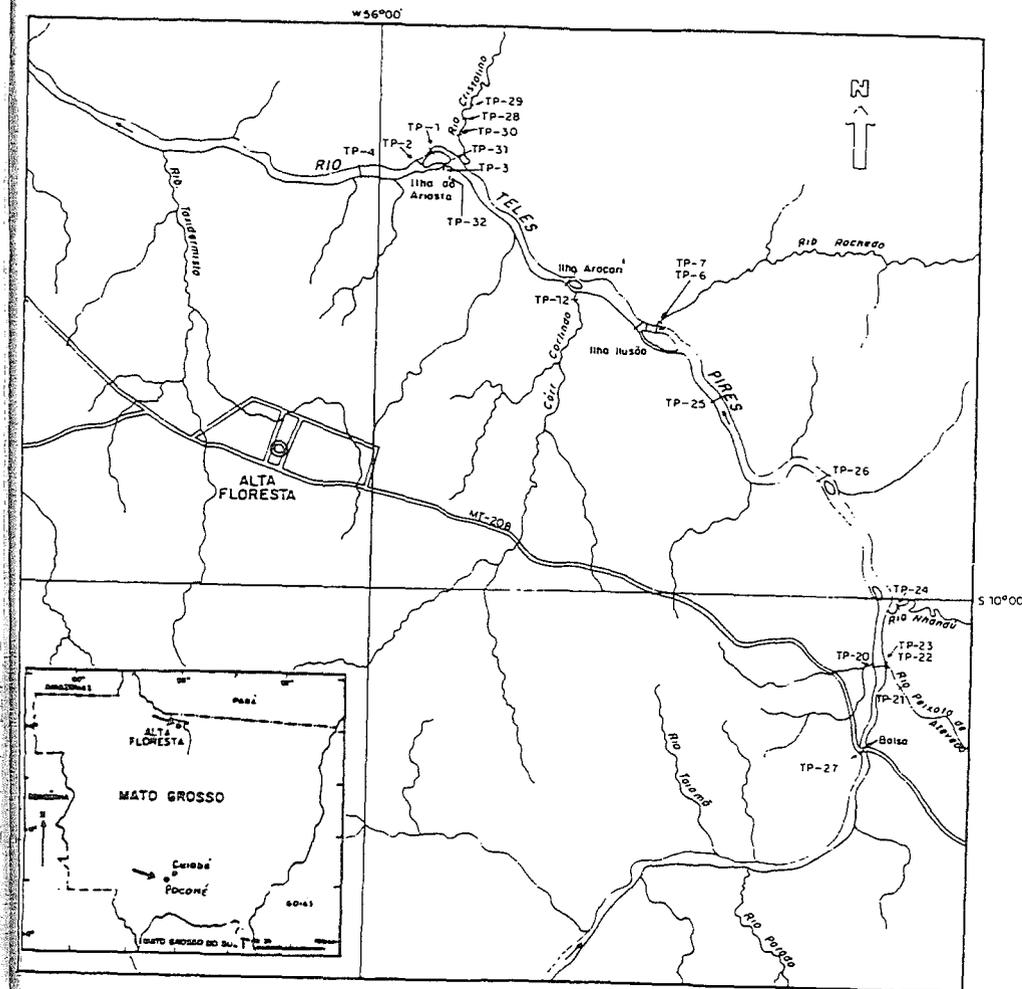
O rio Teles Pires, cujo leito percorre um relevo fortemente trabalhado e dissecado, possui um baixo potencial de fornecimento de sólidos em suspensão, e por isso apresenta-se como um rio de "águas claras", de cor verde-oliva conforme definição de Sioli (1974). Os rios de águas claras se caracterizam pela baixa concentração de sólidos em suspensão, possuindo, entretanto, depósitos de sedimentos argilosos, principalmente a jusante de cachoeiras e corredeiras. A areia constitui o material predominante na sua sedimentação, e por isso são abundantes as praias e bancos de areia.

3.1.2 Geologia

a) Poconé

A região de Poconé encontra-se representada pela seqüência metassedimentar detrítica do grupo Cuiabá, de idade proterozóica superior (800 a 600m.a.), composta por filitos sericíticos, grafitosos e piritosos, quartzitos micáceos e ferruginosos e metaconglomerados exibindo seixos achatados e suborientados paralelamente à xistosidade, imposta por metamorfismo no fácies xisto-verde. Essa unidade pertence à faixa de dobramentos Paraguai-Araguaia que encontra-se sobreposta ao Cráton Amazônico, representado na região

Centro-Oeste pelo Escudo Brasil-Central, também conhecido como Complexo Xingú. (Almeida, 1964)



Mapa 2 - Mapa de localização da área de estudo em Alta Floresta com os pontos de amostragem

Raras estruturas sedimentares primárias acham-se presentes, constituídas de fina estratificação com alternância cíclica de níveis argilosos e arenosos. Os filitos estruturados segundo intercalações centimétricas do acamamento sedimentar recebem um padrão generalizado de dobramentos isoclinais, com direção preferencial de eixo de N20E e vergência para SW. Uma segunda fase de deformação imposta aos flancos das dobras isoclinais, bem como clivagem de crenulação, são freqüentemente observadas.

A partir da interpretação da imagem de satélite LANDSAT/INPE/TM5, bandas 2, 3 e 4, escala de 1:100.000, é possível distinguir uma grande faixa de cisalhamento, onde os fraturamentos gerados pela tectônica rígida estão orientados preferencialmente segundo a direção da faixa de cisalhamento, N15-30E, correspondente à xistosidade, e secundariamente segundo a direção N25-60W. Os veios de quartzo que preenchem as zonas de fratura podem atingir desde poucos centímetros até decímetros de espessura. Somente os veios pertencentes ao sistema N25-60W apresentam-se mineralizados a ouro. (Santo, 1984)

Os processos de concentração aurífera no sistema de fraturamento N25-60W provavelmente foram decorrentes da ação de fluidos hidrotermais que provocaram a remobilização do ouro contido nas rochas encaixantes, representadas por filitos grafitosos e/ou sericíticos, principalmente nos estágios finais do último evento tectônico que afetou as unidades geológicas da região. Almeida (1965) considera este evento como parte do ciclo brasileiro (900-600 m.a.).

Recobrimo o pacote ocorre a unidade detrítico-laterítica, produto da evolução do relevo durante o Terciário e o Quaternário. Inserem-se nessa unidade as crostas lateríticas ferruginosas que assumem importante papel na concentração supérgena do ouro.

Sobrepondo-se às áreas de baixa, encontra-se a formação Pantanal, de idade quaternária, correspondendo a terraços constituídos por sedimentos argilo-arenosos com níveis aluvionares dispersos.

b) Alta Floresta

A região de Alta Floresta encontra-se assentada em terrenos proterozóicos representados pelo Complexo Xingu (Grupo Uatumã), representadas por rochas vulcânicas ácido-intermediárias (riolitos e andesito). Na parte central encontram-se as rochas alcalinas Canamã (Grupo Caiabís) e rochas sedimentares do Grupo Beneficente (arenitos, arcóseos e folhelhos). Ao sul predominam as rochas do complexo Xingu, migmatitos, gnaisses e anfíbolito, que não apresentam no campo litotipos que possibilitem suas separação em subunidades. (RADAMBRASIL, 1980)

Os corpos graníticos denominados Teles Pires (Grupo Uatumã) encontram-se dispersos, sob forma de *stocks* na porção centro-norte. O pacote encontra-se recoberto por aluviões recentes e coberturas elúvio-coluvionares, constituídos por sedimentos inconsolidados.

3.1.3 Geomorfologia e Vegetação

a) Poconé

A região de Poconé apresenta basicamente duas subunidades geomorfológicas, que encontram-se representadas pela Elevação Semi-Aplainada do Grupo Cuiabá, também conhecida como Baixada Cuiabana, borda do Pantanal matogrossense, e pela Depressão Quaternária da Planície Pantaneira. (RADAMBRASIL, 1982)

Na porção norte da folha, onde ocorrem solos lateríticos recobrendo as rochas do Grupo Cuiabá, desenvolve-se vegetação típica de cerrado denso, constituído de árvores relativamente baixas (até cerca de 10 metros de altura) e menos numerosas que os arbustos. Também conhecida como Cerradão, essa subunidade é uma gradação supostamente intermediária entre o Cerrado e a Mata. A Mata e o Cerradão tendem a ceder espaços ao Cerrado nas áreas limítrofes, em que o equilíbrio se tenha rompido pela ação humana.

Na porção sul da folha, marcada pela presença de depósitos fluviais e lacustres em áreas periodicamente inundáveis e de relevo plano, desenvolve-se vegetação de Savana Estépica, também conhecida como vegetação chaqueana, onde predominam gramíneas entremeadas de raros arbustos, sendo as depressões permanentemente alagadas revestidas por espécies de plantas aquáticas.

b) Alta Floresta

Em Alta Floresta as feições geomorfológicas mais representativas correspondem ao Planalto dos Apiacás e à Depressão Interplanáltica da Amazônia Meridional. O Planalto dos Apiacás consiste em um extenso e peculiar conjunto de relevo alongado, disposto segundo direção ESE-WNW, conforme alinhamentos estruturais, funcionando como divisor de águas entre as bacias dos rios Teles Pires e Juruena. (RADAMBRASIL, 1980)

A vegetação é composta de Floresta Aberta e tipo Savana/Floresta nos contatos com as depressões.

A Depressão Interplanáltica da Amazônia Meridional é a mais extensa unidade geomorfológica da área, e compreende o piso regional do relevo, posicionando-se entre 200 e 300 metros de altitude. O traço marcante dessa depressão é a intensa dissecação do relevo, em forma predominantemente convexa, que

nivelou estruturas distintas através de sucessivas fases erosivas.

3.1.4 Clima

a) Poconé

Na região de Poconé ocorre o domínio de clima tropical quente semi-úmido, sendo que a freqüência de temperaturas elevadas constitui a característica dominante, com temperaturas superiores a 38°C no verão. No inverno, 4 a 5 meses secos (maio a setembro) correspondem ao período onde as temperaturas médias diárias oscilam em torno de 20°C. A precipitação média anual acusa valores em torno de 1700 mm.

b) Alta Floresta

A região de Alta Floresta apresenta clima tropical quente úmido, com temperaturas médias elevadas (23 a 26°C) durante o ano, com máximas diárias de 34 a 37°C. Não raramente, registram-se temperaturas próximas de 40°C. Os índices de pluviosidade anual acusam valores de 1700 a 1800 mm. Existem duas estações climáticas bem definidas, inverno seco com período de três meses - maio a julho - e verão chuvoso.

Há ocorrência freqüente de névoa seca, principalmente entre os meses de agosto e outubro, provocada pela queima deliberada de florestas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A campanha de amostragem em Poconé foi planejada de acordo com os locais onde incidiam diferentes variáveis capazes de influenciar a concentração de metais pesados em sedimentos, solos e água, ou seja, diferenciações quanto ao substrato rochoso, característica da drenagem, vegetação, horizonte pedológico (solos) e proximidade em relação aos garimpos. Assim, os pontos de amostragem de sedimentos e água (notação PG) e de solos (notação GB) foram selecionados a partir da identificação dos locais com características distintas em relação a esses fatores, perfazendo um total de 21 amostras de sedimentos de corrente, 13 amostras de água e 27 amostras de solos. (Mapa 1)

Em Alta Floresta, a campanha de amostragem de sedimentos e água ao longo do rio Teles Pires e seus tributários foi realizada num trecho contínuo pertencente ao seu médio curso. Procurou-se amostrar os sedimentos de corrente e em suspensão, em locais selecionados através de interpretação de imagens de satélite e de informações colhidas junto à população local, tais como histórico da atividade garimpeira e localização dos antigos pontos de concentração de balsas ("fofocas"). As amostras de sedimentos de corrente foram coletadas utilizando-se busca-fundo tipo "Petersen" de 0.5 litro, segundo secções transversais ao rio, compostas idealmente por três pontos de coleta - margem direita, margem esquerda e centro. A amostragem de sedimentos abrangeu um universo de 50 amostras, em 20 estações de coleta. (Mapa 2)

Quanto à amostragem de solos, foram coletadas 130 amostras a partir de uma malha regular, abrangendo uma área de cerca de 3.4 km², inserida no perímetro urbano de Alta Floresta. As amostras foram coletadas em superfície (profundidade de 10 cm), e compostas por 4 subamostras cada.

A amostragem foi realizada em etapas, de modo a cobrir as variações decorrentes da sazonalidade nas duas áreas de estudo. Em Poconé, numa primeira etapa foram encontradas condições de seca, entre julho e setembro de 1990, enquanto que a segunda etapa foi representada por condições de cheia, em janeiro de 1992. Em Alta Floresta, a primeira campanha realizou-se entre maio e junho de 1991, período final da cheia, e a segunda campanha em setembro de 1991, período de extrema seca.

As amostras de sedimentos de corrente foram coletadas de forma composta, ou seja, numa mesma estação de coleta foram retiradas e reunidas em média 5 alíquotas de amostras, num raio de aproximadamente 10 metros.

As amostras de solos e sedimentos foram submetidas a resfriamento (0°C) após a coleta, e acondicionadas em sacos plásticos, enquanto que as amostras de água filtrada foram acidificadas com NHO_3 concentrado, na proporção 2 ml de ácido para cada litro de água, e armazenadas em frascos de polietileno.

Adotou-se como objeto de estudo a fração granulométrica <74 μm de sedimentos (silte e argila), por tratar-se de uma fração mais representativa dos processos de interação sólido-líquido (Salomons & Förstner, 1984). Além disso, essa fração tem sido usada por outros autores em estudos de avaliação da contaminação por metais pesados em meio hídrico, representando, desse modo, um bom parâmetro de correlação. (Lacerda et al., 1991; Malm et al., 1989; Ackermann, 1980)

Em todos os pontos de amostragem (notação PG) foram efetuadas determinações *in situ* de temperatura, pH, Eh e condutividade da drenagem. As determinações dos parâmetros físico-químicos foram efetuadas utilizando-se medidores específicos de pH, potencial redox e condutividade, marca DIGIMED, modelos DMPH-PV e CD-2P.

A quantificação das taxas médias de vazão das drenagens de Alta Floresta foi efetuada utilizando-se correntômetro tipo molinete, marca GENERAL OCEANICS, trena e imagem de satélite. Esta última foi usada para dimensionar a largura das drenagens de maior porte.

Os pontos de amostragem de sedimentos em suspensão, em Alta Floresta, estiveram localizados preferencialmente nos mesmos pontos de coleta de sedimentos de corrente, sendo a filtração da água realizada *in situ* através de *kit* de filtração SARTORIUS, com filtros de celulose MILLIPORE 47 mm/0.45 µm de poro, e bomba de vácuo manual.

O volume de água filtrado em cada ponto, de 0.5 litro em média, foi utilizado para análise de metais na fase dissolvida.

As metodologias analíticas empregadas neste estudo dividiram-se conforme o elemento químico em questão e o tipo de amostras a serem analisadas, sendo que todas as determinações analíticas foram efetuadas em duplicata.

As análises de mercúrio total em solos e sedimentos foram executadas por espectrofotometria de absorção atômica com geração de vapor frio, em um espectrofotômetro CG 7000 MAX 8 do laboratório de química analítica do CETEM/CNPq. A metodologia empregada seguiu aquela otimizada por Malm et al. (1890), onde as amostras são secas em estufa (50°C) até peso constante e digeridas em água-régia por 5 minutos a 60°C. Após resfriamento, as amostras são oxidadas com permanganato de potássio a 5% por 30 minutos a 60°C e neutralizadas com cloridrato de hidroxilamina a 12%. (EPA, 1983)

Adicionalmente, foi executada calibração interlaboratorial entre o CETEM e o Instituto de Sedimentologia da Universidade de Heidelberg, onde as análises de mercúrio são efetuadas por espectrofotômetro de absorção atômica dedicado exclusivamente para análise de mercúrio, "Mercury Analyser Hg-254 A"

Seefeldter Messtechnik. Esse método analítico foi desenvolvido inicialmente por Poluektov e Vitkun, 1963 (in Welz, 1985) e baseia-se na geração de vapor de mercúrio por meio de um nebulizador inserido em meio aquoso, a partir da redução do mercúrio iônico por uma solução de cloreto estanoso. O vapor de mercúrio é então carregado para a célula de absorção através do fluxo de ar gerado por uma bomba peristáltica.

O procedimento de digestão de amostras de sedimentos, adotado pelo Instituto de Sedimentologia, caracteriza-se pelo uso de água-régia por 3 horas a 150°C, sendo que cada tubo de reação dispõe de um condensador para evitar perdas durante a digestão.

As amostras de água foram analisadas para mercúrio, utilizando-se o analisador de mercúrio Hg-254 A, e ainda para Pb, Cu e Ni, utilizando-se espectrofotômetro de absorção atômica Perkin-Elmer 3030 B com forno de grafite HGA-600.

A metodologia empregada para análise de mercúrio em água baseia-se na oxidação do metal com a adição de permanganato de potássio, ácido nítrico, ácido sulfúrico e persulfato de potássio, deixando-se em banho-maria por 2 horas a 95°C. Segue-se com a neutralização por cloridrato de hidroxilamina e a redução por cloreto estanoso, para então se proceder à leitura (metodologia proposta pelo fabricante).

No forno de grafite, a análise de metais em água dispensa qualquer pré-tratamento, pois a amostra é submetida a uma seqüência de elevações de temperatura, antes da atomização, que a torna livre de substâncias interferentes.

A metodologia adotada para análise de Cu, Pb, Zn, Fe e Mn, em sedimentos, solos e rochas, utiliza a técnica de espectrofotometria de absorção atômica, sendo a digestão das amostras efetuada com solução triácida de NH_3 , HCl e HF (2:2:1) a 120°C em cadinhos de teflon e retomada com HCl. (Welcher, 1975)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização Físico-química das Drenagens de Poconé

Estando sujeitas a variações sazonais, as variáveis físico-químicas foram determinadas em diferentes períodos do ano, para que se pudesse conhecer seus intervalos de variação. No presente estudo as etapas de campo abrangeram, tanto em Poconé como em Alta Floresta, períodos de seca, de setembro a novembro, e períodos de cheia, de janeiro a maio.

Os valores de pH registrados em Poconé apresentaram, durante o período de seca (setembro de 1992), condições de neutralidade levemente alcalina, variando de 6.9 a 8.0. Os maiores valores de pH (7.8 e 8.0) foram registrados em drenagens que cortam as áreas de Cerrado, particularmente no córrego Formiga e no ponto PG-04 do rio Bento Gomes. (Mapa 1 e Tabela 5)

Durante o período de cheia (janeiro de 1992), os valores de pH apresentaram condições levemente ácidas, variando de 6.1 a 6.9, sendo que os maiores decréscimos de pH foram observados nas drenagens do Cerrado, cujas dimensões são bastante inferiores às drenagens pertencentes à planície pantaneira. Por isso, é legítimo esperar-se que essas drenagens estejam mais sujeitas à influência das águas de chuva, contendo CO_2 dissolvido, e das substâncias húmicas lixiviadas.

Os valores de Eh revelaram um potencial mais oxidante no período de seca, tanto em drenagens do Cerrado como do Pantanal, variando de 193 a 260 mV. Durante o período de cheia, foram encontradas condições um pouco menos oxidantes, com valores de Eh variando de 163 a 210 mV.

Os dados obtidos com relação à condutividade elétrica mostraram-se, via de regra, com valores baixos, oscilando entre 48 e 124 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Exceção feita a alguns pontos de amostragem inseridos em ambiente de cerrado: PG-04 no rio Bento Gomes, córrego Formiga e córrego Japão. Nesses locais as concentrações de sais dissolvidos estiveram consideravelmente mais altas, com valores de condutividade de até 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Em setembro de 1990 as águas do córrego Formiga apresentavam 770 e 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A queda desses em ambiente de cerrado: PG-04 no rio Bento Gomes, córrego Formiga e córrego Japão. Nesses locais as concentrações de sais dissolvidos estiveram consideravelmente mais altas, com valores de condutividade de até 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Em setembro de 1990 as águas do córrego Formiga apresentavam 770 e 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A queda desses valores na estação cheia (400 e 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$) demonstram uma forte dependência da sazonalidade, que nesse caso está representada pelo efeito de diluição provocado pelas chuvas.

O erro experimental envolvido nas medições de condutividade elétrica pode atingir variações de até 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em torno de cada determinação.

O diagrama de estabilidade Eh-pH do mercúrio, segundo Hem, 1970, revela a estabilidade do mercúrio metálico Hg^0 aquoso, para as condições encontradas nas drenagens de Poconé, o que confere uma baixa solubilidade (<25 ppb) ao metal que é despejado diretamente nos canais fluviais, como efluente líquido do processo de amalgamação do concentrado de ouro. Mesmo com as pequenas variações de Eh e pH decorrentes da sazonalidade, toda as medições estiveram inseridas no campo de estabilidade do Hg^0 . Contudo, é possível notar-se uma tendência das medições efetuadas na estação seca em se aproximarem da região de alta solubilidade, onde as formas estáveis do metal são Hg_2^{2+} e $\text{Hg}(\text{OH})_2$. (Figura 1)

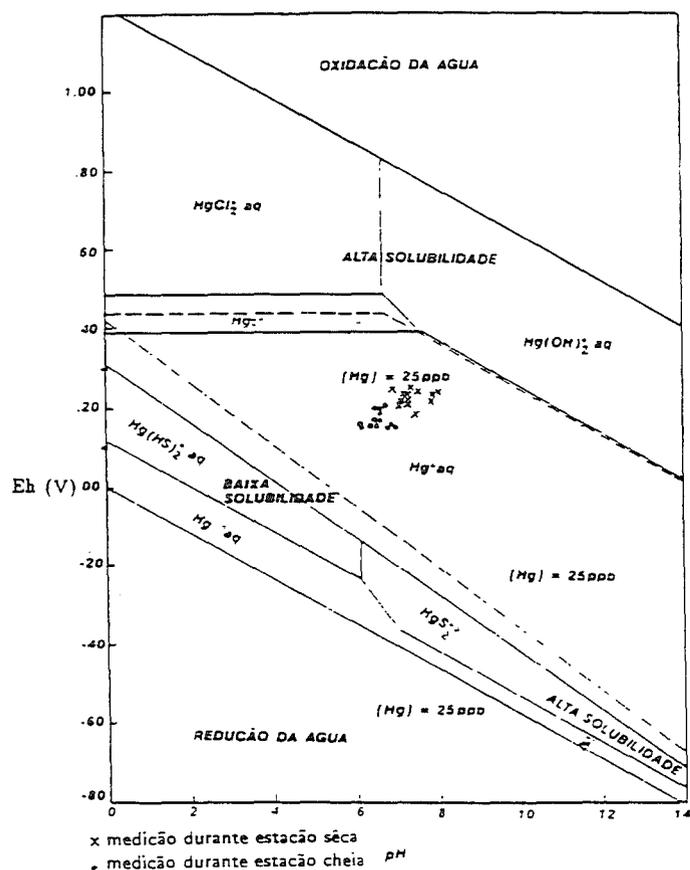


Figura 1 - Diagrama de estabilidade de espécies de mercúrio a 25°C e 1 atm (Hem, 1970). Inclui 36 ppm de Cl, 96 ppm de S. Medições efetuadas as drenagens de Poconé.

Muito pouco ainda se conhece sobre a oxidação do Hg^0 para Hg^{2+} e a subsequente metilação para CH_3Hg^+ e $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$. Sabe-se que a atividade microbiana está relacionada com as duas reações, mas a bactéria que é capaz de oxidar o Hg^0 , em geral, não é a mesma que promove a metilação do Hg^{2+} (Silver, 1984). Portanto, o diagrama de estabilidade do mercúrio deve ser analisado como um instrumento de interpretação parcial, uma vez que este não considera a componente biótica (microbiana) que pode intermediar a reação de oxidação do metal.

Segundo Salomons & Förstner (1984), o fenômeno da monometilação de mercúrio é alterado sob condições ligeiramente ácidas e de baixa condutividade elétrica, enquanto que, sob condições alcalinas e de alta condutividade, o produto principal da metilação é o dimetilmercúrio, que é altamente volátil e bem menos estável que a forma monometilada.

Além do mercúrio, foram também considerados os metais chumbo e cobre para a interpretação do equilíbrio termodinâmico desses elementos, sob as condições físico-químicas encontradas nas drenagens da região de Poconé.

No diagrama de estabilidade do chumbo, segundo Rose et al., 1979, observamos que os valores obtidos na estação seca estão inseridos no campo de estabilidade da cerussita (PbCO_3), de baixa solubilidade ($<10^{-6}\text{M}$). Durante a estação cheia, entretanto, os valores obtidos favorecem a estabilidade do íon Pb^{2+} , conferindo ao metal uma maior mobilidade. Porém, na presença do íon Cl^- ocorreria a formação de PbCl_2 que apresenta baixa solubilidade. (Figura 2)

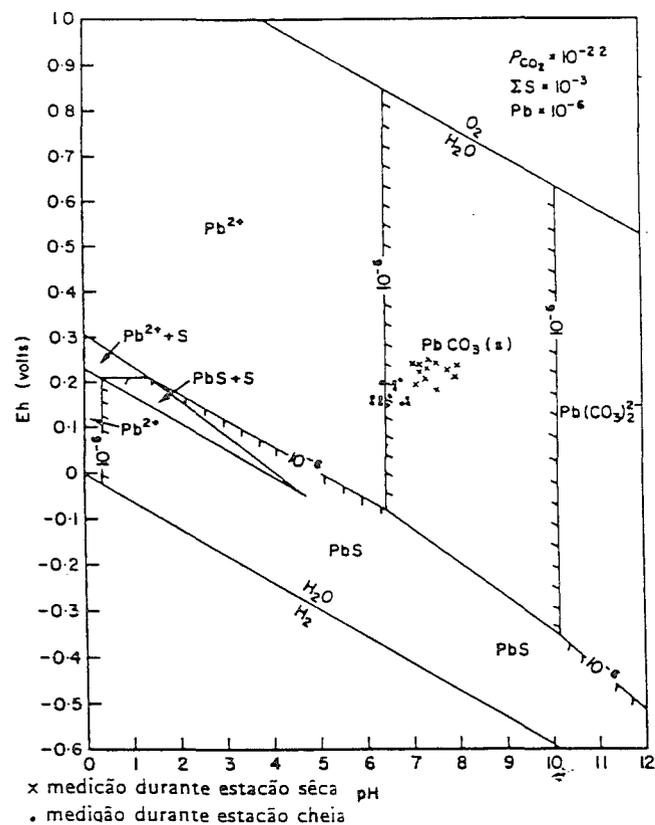


Figura 2 - Diagrama de estabilidade para o sistema Pb-O-H-S-C a 25°C e 1 atm (Rose et al., 1979). Medições efetuadas nas drenagens de Poconé

No diagrama de estabilidade Eh-pH do cobre observamos um comportamento semelhante ao do chumbo. Durante a estação seca há uma predominância de medições inseridas nos campos de estabilidade da tenorita (CuO) e cuprita (Cu₂O),

onde a molaridade do cobre dissolvido é menor que 10⁻⁷. Durante a estação cheia notamos um deslocamento para o campo de estabilidade do íon Cu⁺, onde a molaridade do cobre dissolvido aumenta. (Figura 3)

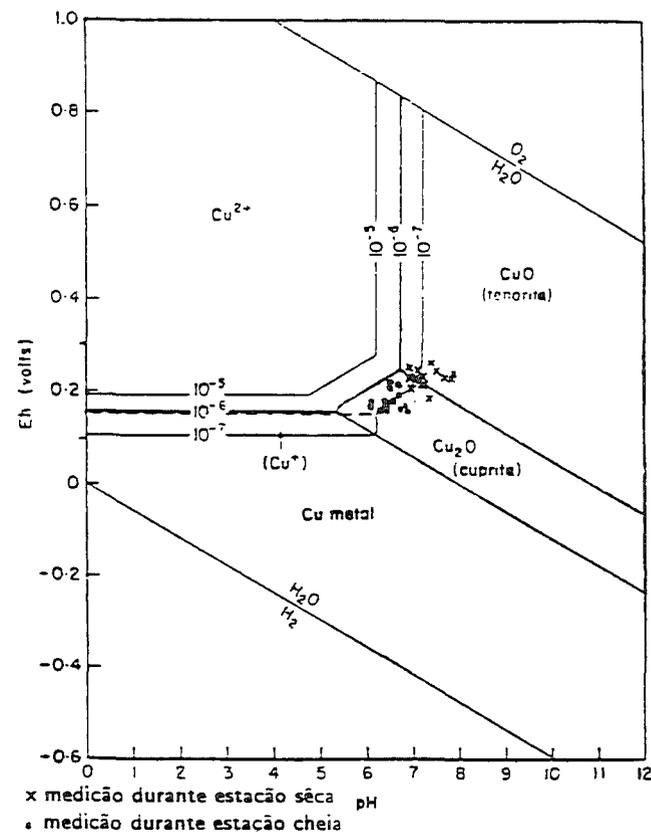


Figura 3 - Diagrama de estabilidade para o sistema Cu-O-H a 25°C e 1 atm (Rose et al., 1979). Medições efetuadas nas drenagens de Poconé.

Tabela 5 - Variáveis físico-químicas das drenagens de Poconé

Estações	pH		Eh (mV)		Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)		Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	
	set/90	jan/92	set/90	jan/92	set/90	jan/92	set/90	jan/92
Córrego Guanandi								
PG-03	7.2	6.1	235	172	73	96	21	30
PG-11	7.2	6.5	205	181	48	78	20	29
PG-12	7.3	6.3	260	170	60	88	21	30
PG-14	7.0	6.5	205	175	72	102	24	31
PG-15	7.2	6.5	228	180	70	90	27	31
PG-16	6.9	6.6	245	175	74	87	24	28
Rio Bento Gomes								
PG-04	7.8	6.4	211	205	198	390	16	28
PG-06	7.1	6.7	224	190	105	85	19	28
PG-08	7.0	7.0	240	210	110	97	20	26
PG-17	7.4	6.8	254	210	151	121	20	27
PG-18	7.2	6.5	240	205	106	94	20	26
PG-24	7.3	6.9	193	163	128	104	20	29
Córrego Formiga								
PG-09	8.0	6.8	230	165	770	400	15	28
PG-21	7.8	6.9	226	171	1000	250	17	29
Córrego Japão								
PG-22	7.1	6.7	218	182	220	172	21	29
PG-23	7.2	6.5	216	182	188	197	15	28
Córrego Piraputanga								
PG-07	7.3	7.0	182	170	111	76	22	30
PG-10	7.4	7.4	198	181	124	105	22	29

5.2 Caracterização Físico-química das Drenagens de Alta Floresta

Foram identificados em Alta Floresta diferentes comportamentos das variáveis físico-químicas em função da presença, ou não, dos impactos causados pela atividade garimpeira. Observou-se que nos locais impactados pela atividade garimpeira, ao longo do rio Teles Pires, houve uma sensível acidificação das águas durante a estação seca; o pH

que era de 6.7 passou para 5.0. O mesmo fenômeno não ocorreu nas estações TP-27 (rio Teles Pires) e TP-28 (rio Cristalino), onde não há influência da garimpagem, permanecendo os valores de pH em torno de 6.6. (Mapa 2 e Tabela 6)

Tabela 6 - Variáveis físico-químicas das drenagens de Alta Floresta

Estações	pH		Eh (mV)		Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)		Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	
	set/91	mai/91	set/91	maio/91	set/91	mai/91	set/91	mai/91
Rio Teles Pires								
TP-03	5.0	6.6	140	173	43	19	25	28
TP-27	6.6	6.4	210	177	35	22	27	29
TP-31	5.0	6.7	140	165	39	17	27	28
Rio Cristalino								
TP-28	6.7	6.5	154	137	20	22	26	25

Sabe-se que a atividade garimpeira é mais intensa na estação seca, quando as frentes de lavra estão mais acessíveis devido ao nível baixo das águas. Nesse período ocorre retrabalhamento dos horizontes superficiais do solo, ricos em substâncias húmicas que acabam atingindo as drenagens principais, provocando uma maior acidez na água.

No que diz respeito ao potencial redox (Eh) observou-se que durante a estação seca, nas áreas impactadas, a água apresentava um potencial um pouco menos oxidante (140 mV) em relação aos dados obtidos durante a estação cheia (165 e 173 mV). Nas áreas não-impactadas ocorreu o inverso, com os valores mais oxidantes presentes durante a estação seca, a exemplo das condições encontradas em Poconé.

Os valores de condutividade apresentaram um comportamento similar em todos os pontos de amostragem, variando de 17 a 43 $\mu\text{S/cm}$.

O diagrama de estabilidade Eh-pH do mercúrio revela um comportamento inverso ao observado na região de Poconé. Em Alta Floresta, observa-se uma tendência das medições efetuadas na estação seca em aproximarem-se da região de baixa solubilidade, onde a forma estável do metal é $\text{Hg}(\text{HS})_2$ (Hem, 1970). Ainda assim, o diagrama indica a estabilidade do mercúrio metálico (Hg^0) em todas as condições encontradas. (Figura 4)

De modo geral, as drenagens de Poconé e Alta Floresta possuem condições de Eh e pH bastante semelhantes durante a estação cheia; todavia, o mesmo não ocorre durante a estação seca, quando as drenagens de Poconé apresentam pH ligeiramente alcalino (7.0 a 8.0) e condições oxidantes (200 a 260mV), enquanto que em Alta Floresta o pH é ligeiramente ácido (5.0 a 6.7) e o potencial de oxidação é menor (140 a 210 mV).

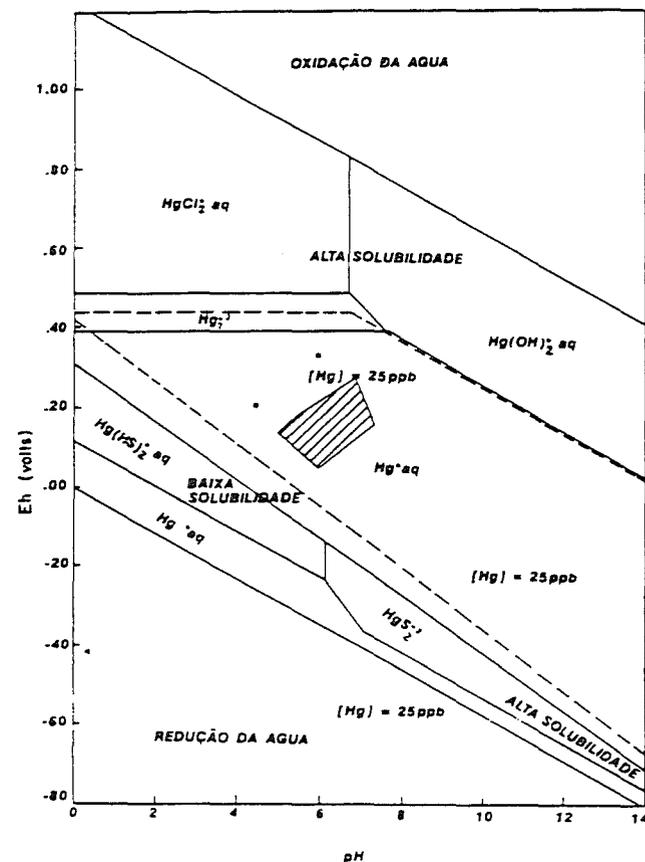


Figura 4 - Diagrama de estabilidade de espécies de mercúrio a 25°C e 1 atm (Hem, 1970). Inclui 36 ppm de Cl e 96 ppm de S. Medições efetuadas em Alta Floresta.

5.3 Caracterização Mineralógica de Rochas da Região de Poconé

Amostras das rochas metassedimentares que compõem o substrato rochoso da região de Poconé (Grupo Cuiabá) foram estudadas ao microscópio ótico de luz transmitida e refletida, através de lâminas delgadas e seções polidas, respectivamente. (CETEM/CNPq, 1989)

No reconhecimento geológico efetuado na área de estudo foram identificadas 4 subunidades geológicas, inseridas na seqüência metassedimentar detrítica do Grupo Cuiabá. Essas subunidades encontram-se orientadas segundo xistosidade nas direções N20°-30°E, e representam alternâncias métricas do acamamento sedimentar.

Subunidade A: Filito sericítico com intercalações quartzíticas. Rocha de cor acinzentada formada por intercalações centimétricas de níveis sericíticos e quartzíticos. Constituída por quartzo, sericita, clorita e biotita. Como minerais acessórios, foram identificados cristais de zirconita, turmalina, hematita, ilmenita, pirita e magnetita.

Subunidade B: Filito sericítico com intercalações ferruginosas. Rocha de cor amarelo-avermelhada formada por intercalações centimétricas de níveis sericíticos e ferruginosos. Constituída por sericita, biotita, quartzo, clorita, hematita, ilmenita e limonita. Como minerais acessórios, foram identificados cristais de zirconita, turmalina e pirita.

Subunidade C: Filito sericítico com disseminação de pirita. Rocha de cor acinzentada com aspecto mosqueado causado pela disseminação de cristais de pirita limonitizada. Constituída por sericita, quartzo, biotita, pirita e limonita. Como minerais acessórios, foram identificados cristais de zirconita, turmalina, ilmenita e magnetita.

Subunidade D: Filito grafitoso. Rocha de cor preto-acinzentada e granulação muito fina. Constituída por sericita, quartzo e clorita. A matriz quartzo-sericítica mostrou-se impregnada por material carbonoso (grafita).

5.4 Caracterização Mineralógica de Rochas da Região de Alta Floresta

As principais unidades litoestratigráficas que compõem o substrato rochoso da área de estudo em Alta Floresta foram estudadas ao microscópio ótico, quanto à constituição mineralógica, através de lâminas delgadas e seções polidas.

Na porção sul da área foram observados afloramentos de gnaisses e anfibolitos, cujo posicionamento litoestratigráfico é atribuído ao Complexo Xingu (RADAMBRASIL, 1980). Na porção norte da área foram identificados afloramentos de granitos (Granito Teles Pires) e riolitos (Formação Iriri) pertencentes ao Grupo Uamatã.

Complexo Xingu: anfibolito. Rocha de granulação média e coloração cinza-esverdeada. Constituída essencialmente por hornblenda, plagioclásio e quartzo. Como minerais acessórios foram identificados cristais de apatita, piroxênio e magnetita.

Complexo Xingu: gnaisses. Rocha de granulação média e coloração cinza-claro com bandas escuras. Constituída por quartzo, microlina, plagioclásio, biotita e muscovita. Como minerais acessórios foram identificados cristais de magnetita, zirconita, apatita, titanita e sericita.

Granito Teles Pires: granito. Rocha de granulação média a fina e coloração cinza-claro. Constituída por quartzo, microclina, biotita, muscovita e plagioclásio. Como acessórios foram identificados cristais de zirconita, apatita, carbonato e sericita.

Formação Iriri: riolito. Rocha de granulação variando de fina a grosseira e coloração cinza-escuro. Constituída por quartzo, feldspato e sericita. Como acessórios foram identificados cristais de magnetita.

5.5 Distribuição de Metais Pesados em Sub-bacias Hidrográficas da Região de Poconé

Os compartimentos ambientais solo, água e sedimentos de corrente foram investigados nas sub-bacias dos córregos Formiga, Guanandi, Piraputanga e do rio Bento Gomes.

Procurou-se selecionar os locais isentos de interferências antropogênicas, como referência dos níveis de metais pesados existentes anteriormente ao início da extração de ouro na região (*background*).

Parte das sub-bacias dos córregos Guanandi, Piraputanga e do rio Bento Gomes, que apresentam-se impactadas pela garimpagem de ouro, foram alvo de avaliação da presumível poluição por metais pesados provocada por essa atividade.

5.5.1 Sub-bacia do Córrego Formiga

As concentrações de metais pesados encontradas em amostras de sedimento de corrente - fração <74 µm - dos córregos Formiga e Japão revelaram padrões compatíveis com os níveis de *background* conhecidos em nível mundial, à exceção do mercúrio, que apresentou valores consideravelmente altos, com média de 0.91 ppm. (Tabela 7)

Determinações da concentração de metais pesados, efetuadas por Förstner & Müller, 1974, em sedimentos sub-recentes do rio Reno, Alemanha, isentos de interferências antropogênicas, mostraram níveis compatíveis com os valores encontrados no córrego Formiga, para Cu, Pb, Zn, Fe e Mn. A

concentração média de mercúrio, entretanto, é quase cinco vezes superior nos sedimentos do córrego Formiga.

Neste estudo serão comparados os "Índices de Geoacumulação" (Igeo) de metais em sedimentos, como metodologia de avaliação quantitativa da poluição por metais pesados em meio hídrico (Müller, 1979). O "Igeo" é definido pela seguinte expressão:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 \times B_n} \text{ onde,}$$

C_n é a concentração medida do elemento da fração <2 µm (argila) e B_n é o valor de *background* do elemento encontrado em sedimentos argilosos sub-recentes e folhelos. Dessa forma, o "Igeo" na classe 0 indica a ausência de contaminação, e o "Igeo" na classe 6 representa o limite superior, de contaminação máxima.

A fração granulométrica <74 µm (silte e argila), utilizada neste estudo, pode também ser aplicada ao "Igeo", segundo Salomons & Förstner, 1984, desde que haja uma definição dos valores de *background*, existentes nessa fração granulométrica.

Em vista das anomalias de mercúrio encontradas nos sedimentos da sub-bacia do córrego Formiga, procurou-se definir as concentrações de *background* características dessa região a partir da identificação dos níveis de base existentes no rio Bento Gomes, a montante das áreas atingidas pela garimpagem, e no córrego Traíras, também a montante do trecho impactado.

Os valores obtidos para mercúrio em sedimentos de corrente do córrego Formiga demonstraram a existência de anomalias bastante elevadas, com um "Igeo" médio na classe 3, ao contrário do que indicavam as características de intocabilidade da drenagem. Tais anomalias parecem ser decorrentes do aporte litogênico do mercúrio contido nas rochas

metassedimentares sulfetadas do grupo Cuiabá, que afloram nas cabeceiras da drenagem.

Os filitos sericíticos que compõem as cabeceiras do córrego Formiga apresentam ampla disseminação de sulfetos de ferro (pirita), que podem conter altas concentrações de mercúrio, conforme apresentado na Tabela 2, dependendo da disponibilidade desse metal existente no meio em que se formaram esses minerais. De fato, a análise química de uma amostra coletada nesse local, composta por cristais de pirita fortemente intemperizados, revelou uma concentração de 0.13 ppm de mercúrio.

As concentrações médias de Cu, Pb, Zn, Fe e Mn nesses sedimentos revelaram classes de "Igeo" entre 0 e 1, denotando a presença de anomalias pouco significativas. (Tabela 7)

Ressalta-se que, para todas as determinações analíticas apresentadas neste estudo, admite-se um erro experimental de 10%, estimado a partir das diferenças entre determinações em duplicatas.

Tabela 7 - Concentrações naturais de base *background* de metais pesados em sedimentos não-contaminados da Europa, em comparação com as concentrações obtidas na sub-bacia do córrego Formiga - Poconé. (concentrações em ppm)

Sedimentos	Hg		Cu		Pb		Zn		Fe		Mn	
	Cc	Ig	Cc	Ig	Cc	Ig	Cc	Ig	Cc	Ig	Cc	Ig
Córrego Formiga												
PG-09	1.40	4	20	1	28	0	80	1	2.5	0	570	1
PG-21	1.50	4	12	0	28	0	50	0	4.5	1	900	2
PG-22	0.30	1	36	2	28	0	80	1	4.9	1	1100	2
PG-23	0.45	2	26	1	28	0	2	1	3.1	0	510	1
Média	0.91	3	23	1	28	0	75	1	3.7	0	770	1
<i>Background Local</i>	0.10		10		32		43		2.6		260	
Argilas (1)	0.20		45		20		95		4.7		600	
Rio Reno (2)	0.20		51		30		115		3.2		960	

(1) Turekian & Wedepohl (1961) (2) Förstner & Müller (1974)

Outro fator que reforça a hipótese do mercúrio ter sua origem ligada às peculiaridades geológicas da área é a concentração de mercúrio dissolvido nas águas do córrego Formiga. A ação do intemperismo sobre as rochas, bem como a lixiviação natural dos solos, podem estar provocando a solubilização do mercúrio contido nessas matrizes, enquanto que, na hipótese do mercúrio ser antropogênico, ele estaria imobilizado nos sedimentos de fundo, sob condições físico-químicas que favorecessem a sua estabilidade.

Na estação PG-21 uma amostra de água superficial, coletada no período da cheia (jan/92), apresentou uma concentração elevada de mercúrio, equivalente a 2.8 ppb. (Tabela 8)

Tabela 8 - Concentrações de metais pesados em águas fluviais de diferentes áreas em comparação com as concentrações obtidas no córrego Formiga - Poconé (concentrações em ppb)

Águas Fluviais	Hg	Cu	Pb	Autor
Córrego Formiga				
PG-09	<0.1	<0.1	<0.1	Este estudo
PG-21	2.8	<0.1	<0.1	-
Rios não-contaminados no nível mundial	0.01 0.07	1.0 7.0	0.2 1.0	Salomons & Förstner (1984) Drever (1982)
Rios não-contaminados da Amazônia	<0.04	-	-	Pfeiffer et al. (1989)
Rio Mutum Paraná (RO)	0.2-8.6	-	-	Pfeiffer et al. (1989)

As elevadas concentrações de mercúrio, encontradas em sedimentos e água do córrego Formiga, poderiam ser também explicadas pela deposição do metal que é emitido para a atmosfera nos garimpos e casas compradoras de ouro de Poconé. No entanto, a distância das fontes de emissão, em torno de 20 km, e o fato de nas drenagens próximas a essas fontes não terem sido observadas anomalias significativas, indicam ser essa hipótese pouco provável. (Mapa 1)

Em solos superficiais não foram identificadas anomalias de mercúrio comparáveis com aquelas encontradas em sedimentos e água, à exceção da amostra GB-22B com 0.32 ppm. Isto provavelmente se deve à lixiviação de metais-traços contidos no horizonte A, que, segundo Rose et al. (1979), normalmente acontece pela remoção de íons ou moléculas em solução, ou, ainda, pela remobilização de partículas coloidais dispersas. O principal agente responsável por esse processo são as substâncias húmicas que provocam a acidificação do solo em superfície.

As maiores concentrações de mercúrio, 0.09 e 0.32 ppm, e cobre, 92 e 136 ppm, foram encontradas em solos arenosos (horizonte B) onde não havia o desenvolvimento de cobertura vegetal, indicando que as substâncias húmicas exercem importante função na remobilização desses metais a partir dos solos superficiais. (Tabela 9)

Rose et al. (1979) descreveram um comportamento idêntico do cobre em solos lateríticos de Zâmbia, África, onde uma amostra típica revelou concentrações de cerca de 30 ppm no horizonte A e 80 ppm no horizonte B.

Tabela 9 - Concentrações de metais pesados em solos da sub-bacia do córrego Formiga - Poconé em comparação com as concentrações de solos não-contaminados da Europa (concentrações em ppm).

Solos	Tipo de Solo	Hg	Cu	Pb	Zn
Córrego Formiga					
GB-4A	Orgânico (A)	nd	35	54	61
GB-4B	Laterítico (B)	nd	40	58	43
GB-5B	Orgânico (A)	0.06	35	37	22
GB-7C	Orgânico (A)	nd	27	20	25
GB-8B	Orgânico (A)	0.05	25	24	35
GB-13B	Orgânico (A)	nd	31	21	27
GB-14B	Orgânico (A)	0.04	20	5.5	20
GB-22B	Arenoso (B)	0.32	136	5.2	84
GB-23B	Arenoso (B)	0.09	92	7.3	44
Média		0.08	49	24	38
Desvio Padrão		0.08	37	17	21
Solos não-contaminados da Europa (1)		0.10	26	29	60

nd < 0.04ppm

(1) Ure & Berrow, 1982 (Salomons & Förstner, 1984)

Os níveis de base (*background*) de metais em solos foram estabelecidos a partir das concentrações médias encontradas na sub-bacia do córrego Formiga, pois a mesma situa-se numa área mais afastada dos garimpos em atividade, estando conseqüentemente menos sujeita à contaminação eventualmente causada pelo mercúrio emitido para a atmosfera. (Tabela 10)

Tabela 10 - Concentrações de *background* de metais pesados em solos estabelecidas a partir da sub-bacia do córrego Formiga - Poconé (concentrações em ppm).

Solos	Hg	Cu	Pb	Zn
Horizonte A	0.05	28	34	29
Horizonte B	0.15	89	21	55

5.5.2 Sub-bacia do Córrego Guanandi

O córrego Guanandi, que deságua no rio Bento Gomes, é a drenagem mais diretamente atingida pelas perturbações físicas e químicas decorrentes da atividade garimpeira em Poconé. Desde áreas próximas à nascente, e, principalmente, nos últimos 10 km do seu curso, a jusante da rodovia MT-111, encontram-se espalhadas as principais frentes de lavra e beneficiamento dos garimpos.

É interessante notar as concentrações de mercúrio nas estações PG-01 e PG-03. Nesses locais, as amostras eram formadas essencialmente por sedimentos arenosos e fragmentos rochosos (rejeitos), devido à proximidade das frentes de beneficiamento dos garimpos. As calhas de concentração ("cobra-fumando"), predominantes particularmente nessas áreas, além de concentrarem o minério, causam a remobilização de partículas finas que acabam sendo depositadas em trechos mais a jusante dos garimpos. Verificou-se que as concentrações de mercúrio nessas amostras estiveram tão baixas quanto o limite de detecção, 0.04 ppm, enquanto que as amostras provenientes de áreas mais distantes das frentes de beneficiamento, e ricas em fração silto-argilosa, apresentaram concentrações de mercúrio correspondentes aos "Igeo" nas classes 1 e 2. (Tabela 11)

O fato das concentrações de mercúrio serem tão baixas, em áreas próximas às fontes de emissão de mercúrio dos garimpos, parece estar relacionado à granulometria grosseira

desses sedimentos, que, por não participarem significativamente dos processos de interação sólido-líquido, do tipo adsorção física e/ou química, conferem ao mercúrio emitido a partir do processo de amalgamação, uma distribuição heterogênea acentuada. Tais evidências reforçam aquelas apresentadas por outros autores, que apontam para o transporte de mercúrio em meio hídrico como sendo controlado pelos sedimentos em suspensão. (Lacerda et al., 1991; Mudroch & Clair, 1986 e Silva et al., 1991)

Tabela 11 - Concentrações de metais pesados em sedimentos de corrente - <74 µm - da sub-bacia do córrego Guanandi - Poconé (concentrações em ppm)

Sedimentos	Hg		Cu		Pb		Zn		Fe		Mn	
	Cc	Ig	Cc	Ig	Cc	Ig	Cc	Ig	Cc	Ig	Cc	Ig
Córrego Guanandi												
PG-01	<0.04	0	324	5	45	0	35	0	4.7	1	790	2
PG-02	0.08	0	8.0	0	28	0	46	0	3.2	0	130	0
PG-03	0.04	0	32	2	52	1	76	1	2.6	0	820	2
PG-11	0.50	2	41	2	28	0	60	0	2.9	0	110	2
PG-12	0.60	2	40	2	36	0	120	1	4.3	1	178	3
PG-14	0.20	1	12	0	32	0	106	1	1.7	0	420	1
PG-15	0.15	1	15	0	20	0	95	1	2.4	0	330	0
PG-16	0.04	0	24	1	36	0	70	1	2.5	0	410	1
Média	0.21	1	62	3	35	0	76	1	3.0	0	722	1
Desvio Padrão	0.21		98		11		31		1.0		442	
Background local	0.10		10		32		43		2.6		260	

No que se refere aos metais cobre e chumbo, observou-se um comportamento completamente distinto. As maiores concentrações desses metais encontram-se preferencialmente nas estações PG-01 e PG-03, onde há uma predominância de rejeitos provenientes dos garimpos. Nesses casos, a fonte de emissão seria em parte antropogênica e em parte litogênica, pois o processo de concentração gravítica utilizado pelos

garimpeiros retêm não somente o ouro, mas também todos os minerais de densidade elevada, isto é, óxidos, sulfetos e silicatos ferro-magnesianos. Esses minerais podem conter concentrações anômalas de cobre, chumbo e ferro, entre outros metais (Loring, 1978). Após a etapa de amalgamação do concentrado de minério, esses minerais acessórios passam a compor o rejeito da amalgamação, que freqüentemente é repassado na calha, e assim misturado ao rejeito da concentração gravítica.

Apesar das concentrações um pouco elevadas desses metais em sedimentos, estes não poderiam ser considerados sedimentos absolutamente poluídos, devido a uma provável baixa biodisponibilidade dos metais neles contidos. Esses elementos teriam atingido as drenagens, não pela ação do intemperismo sobre seus minerais, o que aumentaria a mobilidade e possivelmente a biodisponibilidade dos mesmos, mas sim pela ação mecânica de lavra e beneficiamento nos garimpos.

A baixa mobilidade de metais-traços na sub-bacia do córrego Guanandi está demonstrada pelas baixas concentrações obtidas em amostras de água filtrada (fase dissolvida). Apenas a amostra PG-12 apresentou uma concentração anômala de cobre. (Tabela 12)

Com relação aos solos dessa sub-bacia, não foram observadas diferenças significativas no comportamento de metais pesados em relação aos solos da sub-bacia do córrego Formiga. Entretanto, para todos os metais, as concentrações médias encontradas no horizonte A dessa sub-bacia estiveram um pouco mais elevadas. No horizonte B, por sua vez, as concentrações médias de Hg e Cu estiveram um pouco mais baixas do que aquelas observadas no córrego Formiga. (Tabela 13)

É possível identificar ainda uma correlação positiva entre as concentrações de Hg e Cu nos solos dessa sub-bacia (Gráfico

1). Essa correlação parece indicar uma origem litológica comum desses elementos, possivelmente relacionada ao intemperismo de rochas sulfetadas. O coeficiente de correlação entre as concentrações de Hg e Cu nos solos, calculado em 0.765 pelo método de "Pearson", confirma a existência de uma correlação marcante entre esses dois elementos nas amostras estudadas.

Tabela 12 - Concentrações de metais pesados em águas fluviais da sub-bacia do córrego Guanandi, em comparação com rios não-contaminados (concentrações em ppb)

Águas Fluviais	Hg	Cu	Pb	Autor
Guanandi				Este estudo
PG-01	nd	nd	1.0	
PG-02	nd	nd	nd	
PG-03	nd	nd	nd	
PG-11	nd	nd	nd	
PG-12	nd	9.2	0.9	
PG-13	nd	0.4	nd	
PG-15	nd	nd	nd	
Rios não-contaminados no nível mundial	0.01 0.07	1.0 7.0	0.2 1.0	Salomons & Förstner, 1984 Drever, 1982
Rios não-contaminados da Amazônia	<0.04	*	*	Pfeiffer et al., 1989

nd < 0.1 ppb (não detectável)

* não determinado

Tabela 13 - Concentrações de metais pesados em solos da sub-bacia do córrego Guanandi, em comparação com as concentrações de *background* obtidas na sub-bacia do córrego Formiga (concentrações em ppm).

Solos	Tipo de Solo	Hg	Cu	Pb	Zn
Guanandi	(Horizonte)				
GB-1B	Orgânico (A)	0.07	10	25	13
GB-1C	Laterítico (B)	0.05	16	69	28
GB-1D	Saprolítico (C)	0.06	23	50	17
GB-3B	Orgânico (A)	nd	15	37	58
GB-4A	Orgânico (A)	nd	35	50	60
GB-4B	Laterítico (B)	nd	40	53	42
GB-9A	Orgânico (A)	0.07	76	112	64
GB-9B	Laterítico (B)	0.08	110	71	81
GB-9C	Laterítico (B)	0.07	62	32	50
GB-12B	Orgânico (A)	nd	35	26	20
GB-20A	Orgânico (A)	0.17	40	4.4	26
GB-20B	Laterítico (B)	0.14	96	5.6	19
GB-20C	Saprolítico (C)	0.24	54	32	21
GB-21B	Orgânico (A)	0.12	74	22	32
GB-22B	Arenoso (B)	0.32	136	5.2	84
Média	Horizonte A	0.08	41	39	38
Média	Horizonte B	0.12	77	39	50
Background	Horizonte A	0.05	28	34	29
Background	Horizonte B	0.15	89	21	55

nd <0.04 ppm

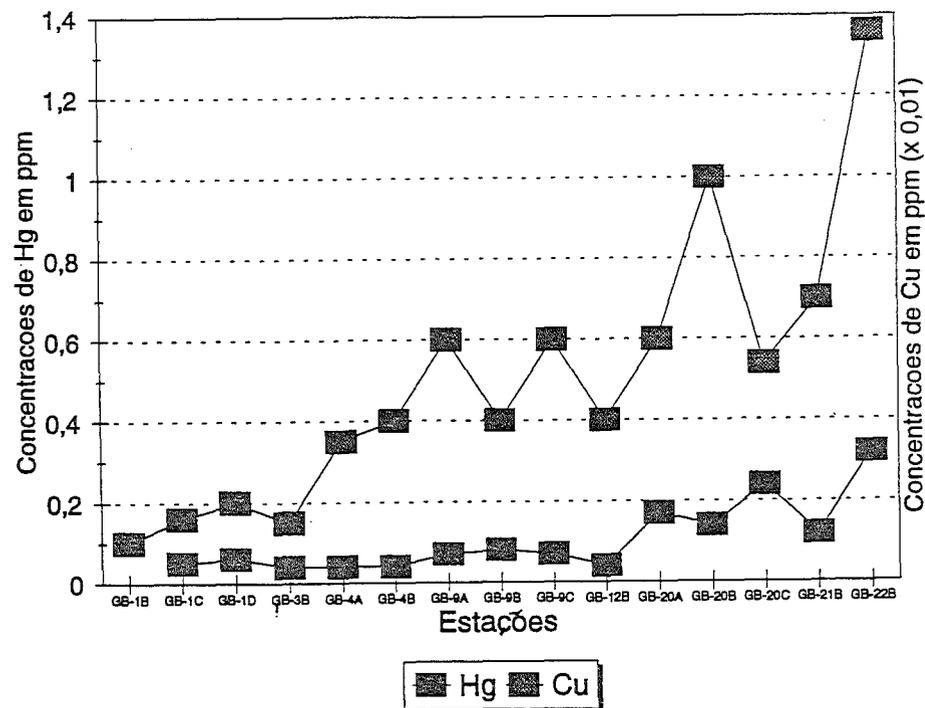


Gráfico 1 - Correlação entre as concentrações de Hg e Cu nos solos da sub-bacia do córrego Guanandi (valores em ppm).

5.5.3 Sub-bacia do Córrego Piraputanga

A sub-bacia do córrego Piraputanga encontra-se também bastante atingida por impactos físicos, caracterizados pela intensa deposição de rejeitos sólidos provenientes das frentes de beneficiamento dos garimpos. Com isso, observa-se a predominância de partículas na fração arenosa ($>74 \mu\text{m}$) recobrando toda a extensão do leito da drenagem.

Apesar da estreita associação dos pontos de amostragem com as fontes de emissão de mercúrio, não foram observadas anomalias de mercúrio em amostras de sedimento de corrente e água, a exemplo do que ocorreu em alguns pontos da sub-bacia do córrego Guanandi. Esse fato demonstra, mais uma vez, que as concentrações de mercúrio em sedimentos de granulometria grosseira apresentam uma distribuição bastante irregular, ao contrário do que acontece nos locais onde há deposição de sedimentos silto-argilosos. O mesmo comportamento das concentrações de mercúrio foi observado em drenagens das regiões garimpeiras de Alta Floresta (este estudo) e Pilar de Goiás (Andrade et al., 1988).

Os índices de geoacumulação em sedimentos nas classes 0 e 1, demonstram a ausência de contaminação para os metais estudados. (Tabela 14)

Tabela 14 - Concentrações de metais pesados em sedimentos e água da sub-bacia do córrego Piraputanga e índices de geoacumulação (concentrações em ppm para sedimentos e ppb para água).

Sedimentos Fluviais	Hg		Cu		Pb		Zn		Fe		Mn	
	Cc	Ig	Cc	Ig	Cc	Ig	Cc	Ig	Cc	Ig	Cc	Ig
Piraputanga												
PG-07	0.06	0	20	1	23	0	40	0	3.1	0	620	1
PG-10	<0.0	0	27	1	35	0	20	0	2.7	0	560	1
	4											
Água												
PG-07		nd		nd		nd		*		*		*
PG-10		nd		nd		nd		*		*		*

nd <0.1 ppb

* não determinada

Nos solos, as concentrações de metais apresentaram elevações, em relação aos valores de *background* locais, para todos os metais no horizonte A, e para Hg e Pb no horizonte B. Devido à proximidade entre os pontos de amostragem e os locais de queima de amálgama, é possível que a deposição do mercúrio emitido para a atmosfera esteja causando essas pequenas anomalias. Por outro lado, as concentrações elevadas de Cu, Pb e Zn no horizonte A indicam a ocorrência de anomalias litogênicas. (Tabela 15)

Tabela 15 - Concentrações de metais pesados em solos da sub-bacia do córrego Piraputanga, em comparação com as concentrações de *background* locais (concentração em ppm)

Solos	Tipo de Solo	Hg	Cu	Pb	Zn
Piraputanga					
GB-17B	Orgânico (A)	0.08	56	38	28
GB-17C	Laterítico (B)	0.10	46	52	28
GB-19A	Orgânico (A)	0.06	98	72	61
GB-19B	Laterítico (B)	0.27	46	84	28
Média	Horizonte A	0.07	78	55	44
Média	Horizonte B	0.18	46	67	28
<i>Background</i>	Horizonte A	0.05	28	34	29
<i>Background</i>	Horizonte B	0.15	89	21	55

5.5.4 Sub-bacia do Rio Bento Gomes

Como principal drenagem da região de Poconé, o rio Bento Gomes recebe o aporte de todas as drenagens anteriormente descritas, à exceção do córrego Formiga (Mapa 3). Assim sendo, ele é o depositário final do material transportado pelas drenagens tributárias, e por isso constitui-se no principal objeto de avaliação ambiental deste estudo.

A partir do lago onde se situa a estação PG-24, o rio Bento Gomes sofre uma acentuada queda em sua energia de transporte, causada por uma declividade \approx inexpressiva do terreno, passando então a integrar os ambientes alagados do Pantanal mato-grossense.

A redução da energia de transporte traz como consequência a elevação das taxas de sedimentação, principalmente de sedimentos em suspensão. Por isso, as águas nesses locais passam a apresentar uma turbidez muito baixa, característica do Pantanal mato-grossense, formada essencialmente por partículas orgânicas em suspensão.

Cerca de 40 km a montante da estação PG-24 situa-se a estação PG-04, onde o rio Bento Gomes drena um ambiente típico de cerrado isento de impactos causados pela atividade garimpeira. As concentrações de metais nessa estação são bastante similares às concentrações encontradas na estação PG-02, no córrego Traíras, onde também não há incidência de atividades relacionadas ao garimpo.

As concentrações médias estabelecidas a partir das estações PG-04 e PG-02, devem refletir, portanto, os níveis naturais de ocorrência dos metais pesados em sedimentos (*background*). O *background* de mercúrio, equivalente a 0.10 ppm, encontrado em sedimentos de corrente na fração $<74 \mu\text{m}$, mostrou-se mais elevado do que o valor verificado em sedimentos lacustres localizados em áreas remotas do Pantanal mato-grossense, que equivale a 0.02 ppm de Hg (Lacerda et al., 1991). Provavelmente, este valor mais baixo em sedimentos lacustres se deve à grande distância em relação às principais fontes litogênicas de mercúrio, aliada à baixíssima energia de transporte das águas ao longo da planície pantaneira. Por outro lado, o *background* local de Hg corresponde à metade da concentração média observada em sedimentos argilosos (fração $<2 \mu\text{m}$) não-contaminados do rio Reno, Alemanha, de 0.20 ppm (Förstner & Müller, 1974). Admite-se, entretanto, que as concentrações de mercúrio na fração $<74 \mu\text{m}$, dos sedimentos não-contaminados do rio Reno, sejam ainda menores que a concentração de *background* observada em Poconé, devido à maior superfície específica da fração argilosa.

A concentração de *background* local de mercúrio, relativamente elevada, parece estar relacionada, principalmente, à disseminação de piritas nas rochas metassedimentares do Grupo Cuiabá, que compõem o substrato rochoso da região, e que, conforme verificado, podem conter concentrações anômalas de mercúrio (os cristais de pirita intemperizados contêm em média 0.13 ppm).

O estudo realizado por Andrade et al., 1988, na região garimpeira de Pilar de Goiás, demonstra a ocorrência de um *background* de mercúrio em sedimentos, na fração <106 µm, bastante elevado (0.77 ppm). A região encontra-se inserida no "Greenstone Belt de Crixás", formado por rochas metassedimentares e metamórficas básicas e ultrabásicas, entre outras. A mineralização de ouro está associada à ocorrência de arsenopirita e calcopirita.

O *background* local dos outros metais estudados na região de Poconé revelou concentrações ainda mais baixas que aquelas relatadas por Turekian & Wedepohl (1961) para sedimentos argilosos não-contaminados, em nível mundial, à exceção do chumbo. (Tabela 16)

Tabela 16 - Concentrações de metais pesados em sedimentos de corrente da sub-bacia do rio Bento Gomes e Índices de Geoacumulação (concentrações em ppm)

Sedimentos	Hg		Cu		Pb		Zn		Fe		Mn	
	Cc	Ig	Cc	Ig	Cc	Ig	Cc	Ig	Cc	Ig	Cc	Ig
Bento Gomes												
PG-04	0.12	0	12	0	36	0	40	0	2.0	0	390	0
PG-06	0.30	1	25	1	28	0	46	0	1.9	0	180	0
PG-08	0.10	0	23	1	29	0	32	0	1.7	0	640	1
PG-17	1.10	3	40	2	44	0	90	1	3.1	0	820	2
PG-18	0.25	1	24	1	36	0	60	0	1.9	0	470	1
PG-19	1.85	4	36	2	58	1	76	1	4.2	1	840	2
PG-24	0.70	3	92	3	76	1	120	1	2.8	0	1340	2
Média	0.63	3	36	2	44	0	66	1	2.5	0	668	1
Desvio Padrão	0.60		24		16		29		0.8		350	
Background local	0.10		10		32		43		2.6		260	
Background Mundial Sed. Argil. (10)	0.20		45		20		95		4.7		600	

Turekian & Wedepohl (1961)

Note-se que a partir da estação PG-19, situada próximo ao garimpo denominado "Fazenda Salinas", até as proximidades

da confluência do córrego Guanandi, estações PG-08, PG-17 e PG-18, as concentrações de metais nos sedimentos do rio Bento Gomes tornam-se mais elevadas, evidenciando o aporte de sedimentos mais poluídos por metais pesados. (Mapa 3)

Na estação PG-24, onde o rio forma um grande lago, foram observadas altas concentrações de todos os metais, denotando uma zona preferencial de acúmulo de metais pesados (*sink*), pois a jusante do lago as concentrações em sedimentos sofrem uma sensível redução, atingindo níveis próximos aos de *background* (Gráfico 2). Essa é mais uma evidência de que o transporte em meio hídrico, não somente do mercúrio, mas também dos outros metais estudados, está relacionado principalmente aos sedimentos em suspensão.

Os "Índices de Geoacumulação" observados nesse local foram os mais elevados dessa drenagem, mas ainda assim indicam, de um modo geral, um grau de poluição apenas moderado. (Tabela 16 e Mapa 3)

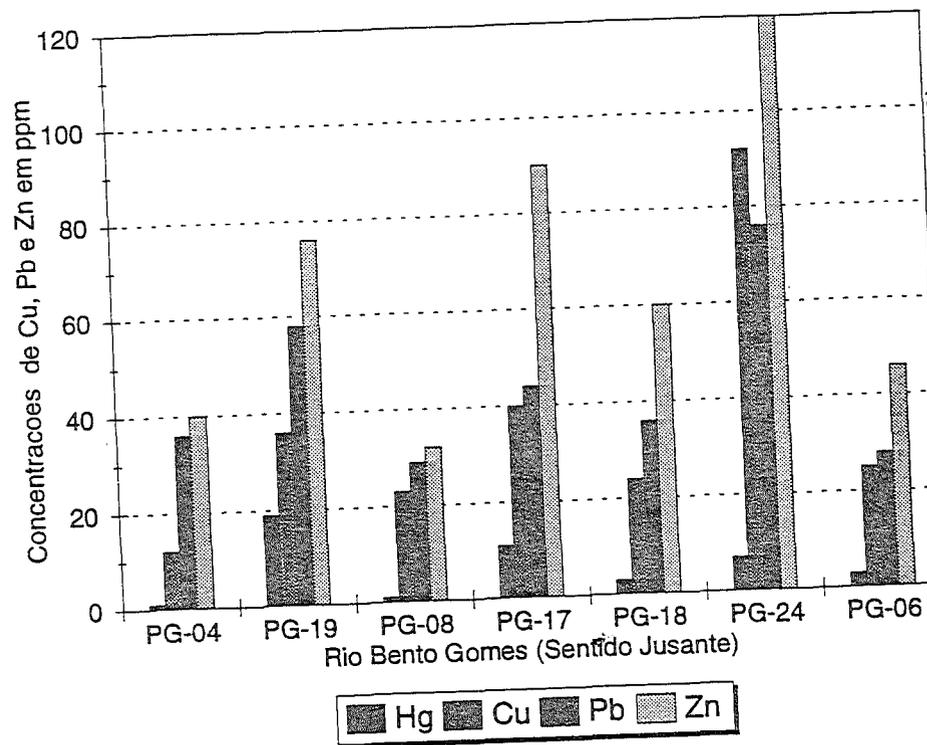
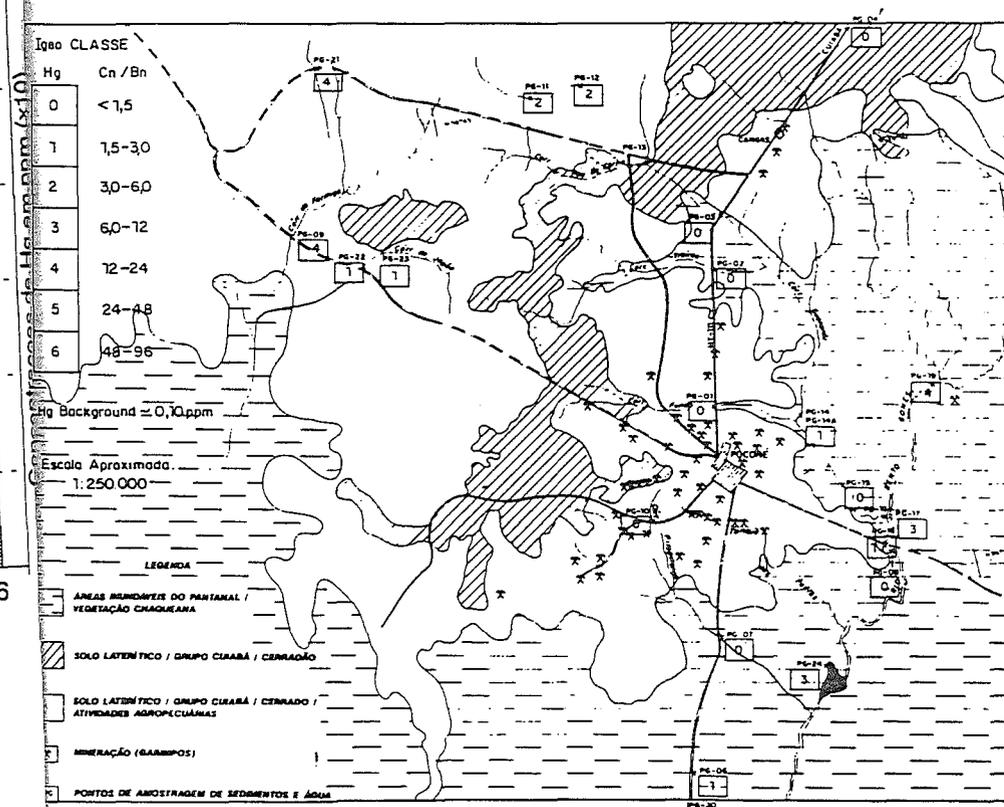


Gráfico 2 - Distribuição das concentrações de metais pesados em sedimentos de corrente ao longo do rio Bento Gomes - sentido jusante.



Mapa 3 - Mapa de distribuição dos Índices de Geoacumulação de mercúrio em sedimentos da região de Poconé.

Ao estabelecer-se a correlação entre as concentrações de mercúrio e ferro encontradas em sedimentos de corrente, agrupando-se todas as drenagens impactadas, observa-se que há uma nítida afinidade no comportamento dos dois elementos, com um coeficiente de correlação de 0.717. Isso demonstra que os óxidos e hidróxidos de ferro exercem importante função na retenção/transporte do mercúrio presente nessas drenagens. (Gráfico 3)

Para se investigar a origem do mercúrio encontrado nessas amostras, ou seja, em que medida contribuem as fontes antropogênica e litogênica, seriam necessárias determinações analíticas utilizando-se técnicas de extração seletiva. Entretanto, essas técnicas ainda estão sujeitas a verificações quanto à confiabilidade dos seus resultados, no que se refere à sua aplicação ao mercúrio. (Veiga & Fernandes, 1990)

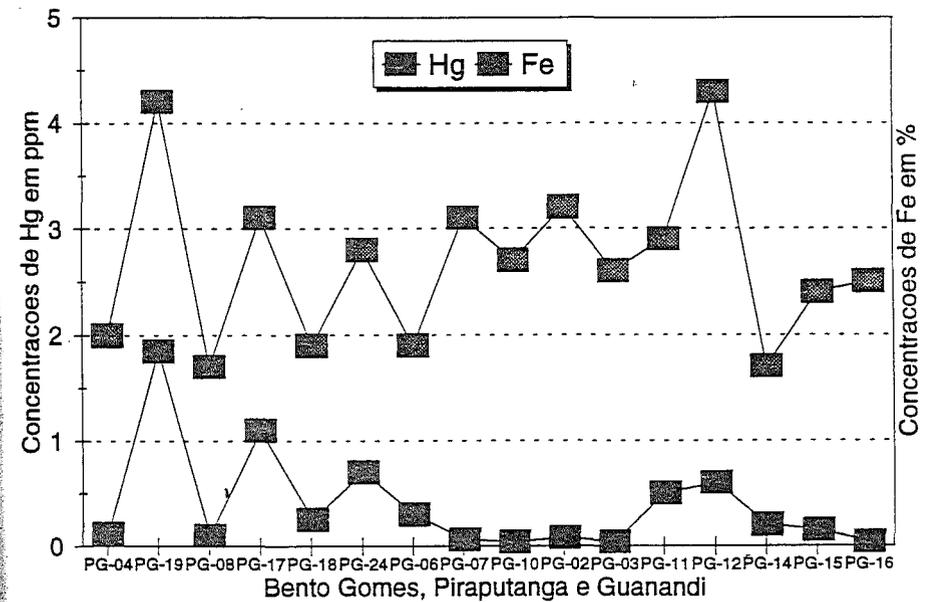


Gráfico 3 - Correlação entre as concentrações de Hg & Fe em sedimentos de corrente das drenagens impactadas.

No que se refere às concentrações de metais dissolvidos em amostras de água do rio Bento Gomes, foram observados valores baixos para todos os metais, à exceção das amostras nas estações PG-08, que apresentou 2.0 ppb de mercúrio e 1.5 ppb de cobre, e PG-24 com 3.9 ppb de cobre. Devido à proximidade dessa estação de coleta em relação aos garimpos e às casas compradoras de ouro, pode-se atribuir essa anomalia de mercúrio à deposição atmosférica do metal que é emitido na forma de vapor, a partir dos locais de queima de amálgama. (Tabela 17)

Tabela 17 - Concentrações de metais pesados em águas fluviais da sub-bacia do rio Bento Gomes em comparação com rios não-contaminados (concentrações em ppb).

Águas Fluviais	Hg	Cu	Pb	Autor
Bento Gomes				Este estudo
PG-04	nd	nd	1.0	
PG-06	nd	nd	nd	
PG-08	2.0	1.5	nd	
PG-24	nd	3.9	nd	
Rios não-contaminados, em nível mundial	0.01	1.0	0.2	Salomons & Förstner, 1984
Rios não-contaminados da Amazônia	<0.04	*	*	Pfeiffer et al., 1989

nd <0.1 ppb

* não determinado

5.6 Distribuição de Mercúrio em Compartimentos Ambientais: Diagnósticos da Região de Alta Floresta - MT

O estudo em Alta Floresta teve como principal objetivo a avaliação preliminar da distribuição das concentrações totais de mercúrio em sedimentos de corrente, de planícies de inundação e água, numa área que compreende cerca de 100 km de extensão do rio Teles Pires, abrangendo seus tributários mais expressivos. Além disso, os solos situados na cidade de Alta Floresta foram alvo de avaliação da contribuição atmosférica do mercúrio que é emitido pelas casas compradoras de ouro.

Em vista do caráter peculiar da emissão de mercúrio para as drenagens, no presente caso, como efluente na forma metálica dos processos de amalgamação realizados junto às drenagens, optou-se pelo estudo fracionado das concentrações em relação à granulometria dos sedimentos (frações <74 μm e >74 μm), objetivando-se identificar possíveis fácies sedimentares preferenciais na retenção de mercúrio em meio hídrico.

O mercúrio metálico utilizado na amalgamação de partículas de ouro, etapa final do processo de beneficiamento do minério, vem ocasionando concentrações anômalas de Hg em meio hídrico, principalmente na região amazônica, onde o minério predominantemente explorado é de origem aluvionar. A estreita associação desses depósitos com as drenagens faz com que o mercúrio perdido durante o processo de amalgamação em circuito aberto, sem o uso de retortas ou de confinamento de rejeitos contaminados, seja conduzido aos canais fluviais.

Com o objetivo de se determinar os níveis de *background* de mercúrio nos sedimentos da região de Alta Floresta, elegeu-se o rio Cristalino, cujo curso mostrava-se, à época do estudo, completamente isento de atividades garimpeiras.

As determinações do nível de contaminação, bem como da taxa de sedimentos em suspensão transportada pelas principais drenagens da área de estudo, foram efetuadas em locais pré-selecionados que pudessem fornecer a caracterização da região como um todo. A escolha desses locais foi condicionada por fatores tais como tipo de exploração mineral (por meio de dragas escarriantes ou por desmonte hidráulico) e a característica do minério (aluviões ativos ou inativos).

A área-alvo selecionada para a amostragem de sedimentos de corrente, sedimentos em suspensão e água compreende um trecho contínuo do rio Teles Pires, incluindo seus principais tributários, quais sejam: rio Peixoto de Azevedo, rio Nhandu, rio Cristalino, ribeirão Rochedo, córrego Carlinda e córrego Triângulo.

Considerando-se que existem cerca de 30 casas compradoras de ouro, na cidade de Alta Floresta, que comercializam grande parte da produção aurífera do norte de Mato Grosso e sul do Pará, pode-se estimar que quantidades expressivas de mercúrio foram emitidas para a atmosfera nos últimos 12 anos, através da queima do *bullion* (amalgama previamente queimado nos garimpos, que ainda contém

mercúrio). Objetivando-se compreender alguns indícios da dispersão do mercúrio gerado nesse processo, executou-se uma malha regular de amostragem dos solos superficiais (0-10 cm), cobrindo uma área de aproximadamente 3,4 km², com um total de 130 amostras.

Dentro da malha de amostragem foram selecionados 10 pontos para a coleta de solos a 30 cm de profundidade, visando a avaliação do potencial de remobilização vertical do mercúrio dos solos.

5.6.1 Distribuição de Mercúrio em Solos Urbanos

As concentrações de mercúrio encontradas nos solos (fração <74 µm) revelam uma clara predominância de valores anômalos, provocados pela emissão via atmosférica do metal a partir das casas compradoras de ouro. O menor valor encontrado foi de 0.05 ppm e o maior de 4.10 ppm, estando o teor médio em torno de 0.23 ppm.

Considerando-se a concentração natural média de mercúrio em solos, de 0.10 ppm (Bowen, 1979; Wedepohl, 1968), observa-se que apenas 20% das amostras apresentam concentrações naturais (<0.10 ppm), sendo 54% pertencentes ao intervalo de 0.10 a 0.20 ppm, 15% de 0.20 a 0.30 ppm e 11% com valores maiores que 0.30 ppm.

A contaminação superficial dos solos ocorre preferencialmente nas proximidades das casas compradoras de ouro, indicando que parte do mercúrio vaporizado precipita-se rapidamente. Foram observadas anomalias elevadas (>1.0 ppm) até a 600 metros de distância das fontes, enquanto que anomalias menores (entre 0.10 e 0.20 ppm) foram encontradas até a 1000 metros de distância.

O mapa de curvas de isotores de mercúrio (Mapa 4), apresenta uma interpolação dos valores obtidos, sendo a sua

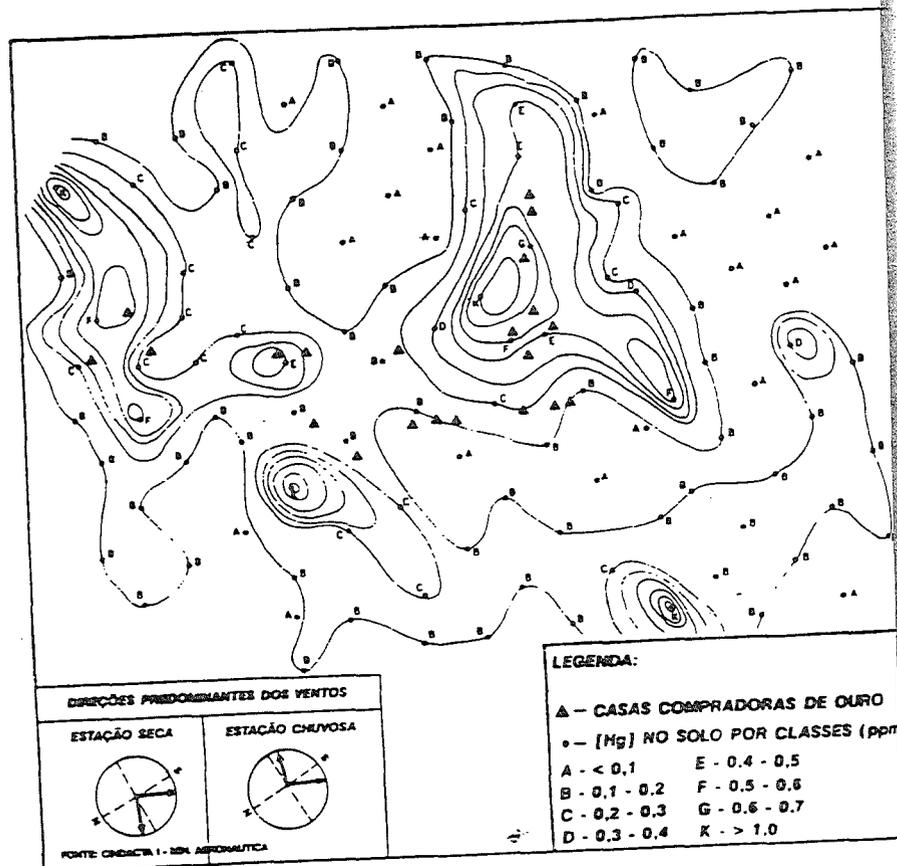
configuração estabelecida a partir do agrupamento dos dados em classes de concentração de mercúrio. (CETEM/CNPq, 1992)

Objetivando-se compreender os indícios da dispersão e da precipitação do metal na área, foram coletados o dados meteorológicos da estação de Alta Floresta (CINDACTA I) referentes aos últimos 4 anos (a estação foi implantada em 1987).

Observou-se que, conforme ilustrado no Mapa 4, existiram nesse período duas direções preferenciais dos ventos, tanto nas estações secas como nas estações chuvosas, sendo: 20° e 115° nas estações secas (de maio a agosto) e 30° e 280° nas estações chuvosas (de setembro de abril).

É possível notar, a partir das curvas de isotores, halos de dispersão de mercúrio registrados nos solos, segundo duas direções preferenciais, tendo as casas compradoras de ouro como origem: leste e sudoeste. Essas direções coincidem com aquelas registradas para os ventos nas estações chuvosas, indicando que, como era esperado, as chuvas constituem-se num importante agente responsável pela precipitação do mercúrio vaporizado. Durante períodos secos, o mercúrio pode atingir distâncias maiores, devido à elevação do seu tempo de residência na atmosfera.

Os resultados obtidos em 10 amostras coletadas em sub-superfície, intervalo de 10 a 30 cm, indicaram uma baixa remobilização vertical do mercúrio, pois apenas 2 amostras revelaram concentrações anômalas (0.22 e 0.52 ppm). Tais amostras continham entre 20 e 30% de fração silto-argilosa, enquanto que as demais possuíam entre 50 e 70% dessa fração. Isso demonstra que a distribuição vertical das concentrações de mercúrio nos solos está diretamente condicionada à permeabilidade do terreno.



Mapa 4 - Mapa de distribuição das concentrações de mercúrio em solos do perímetro urbano de Alta Floresta

5.6.2 Distribuição de Mercúrio em Sedimentos e Águas da Região de Alta Floresta

A emissão de mercúrio para o meio hídrico pode se dar de forma direta, como efluente líquido, ou indireta, através da precipitação do mercúrio vaporizado durante a queima de amálgama. O mercúrio metálico líquido, por sua densidade elevada (13,5), tende a se concentrar nos sedimentos de corrente, enquanto que o mercúrio vaporizado se dispersa na atmosfera, sendo a sua precipitação dependente de condições climáticas. (CETEM/CNPq, 1991)

Foram efetuadas determinações das concentrações de mercúrio, compartimentando-se o ambiente aquático em 2 microambientes, caracterizados por sedimentos de corrente e água. Para uma melhor apresentação da distribuição de mercúrio na área estudada, procedeu-se à sub-divisão da mesma em 4 subáreas.

a) Subárea I (rio Peixoto de Azevedo)

A subárea I, representada pelas estações TP-21, TP-22 e TP-23, abriga o rio onde o impacto causado pelo assoreamento é observado com maior intensidade. A nítida descaracterização de suas margens e leito, provocada tanto pela atuação de dragas escariantes, como pelo emprego da técnica de desmonte hidráulico, pode ser constatada através da taxa de sólidos em suspensão em suas águas, cerca de 30 vezes superior ao índice encontrado no rio Teles Pires - estação TP 27 (subárea II) - a montante das áreas atingidas pelo garimpo (Tabela 18). A vazão sólida em suspensão do rio Peixoto de Azevedo, podendo ser avaliada de acordo com os dados de vazão e de concentração de sólidos em suspensão, situa-se em torno de 255 t/h. A água apresenta cor amarelo-avermelhada típica de drenagens que percorrem solos lateríticos, onde há grande disponibilidade de óxidos e hidróxidos de ferro.

Tabela 18 - Concentrações de mercúrio divididas por frações (< e > 74 µm) granulométricas em sedimentos do Rio Peixoto de Azevedo - Subárea I - incluindo dados de TSS, vazão e perda ao fogo

Estação	TSS(a) (mg/l)	Vazão (m ³ /s)
TP-21.1*	125	≅ 570
TP-21.2*	125	≅ 570
TP-22**	-	-
TP-22.1	125	≅ 570
TP-23.A	125	≅ 570
TP-23.B1	125	≅ 570
TP-23.B2	125	≅ 570
TRP-23.C	125	≅ 570

Estação	Fração <74 µm			[Hg] (ppm)	
	% Peso	[Hg] (ppm)	% P.F.	Frac. <74 µm	Total
TP-21.1*	4	11,5	-	0,22	0,67
TP-21.2*	22	0,32	-	0,25	0,27
TP-22**	66	4,92	7,5	5,77	5,24
TP-22.1	72	0,38	7,8	0,43	0,39
TP-23.A	35	0,36	5,4	0,71	0,59
TP-23.B1	62	0,21	6,0	2,24	0,98
TP-23.B2	45	0,66	6,1	2,70	1,78
TP-23C	0	0,80	-	1,92	1,70

* rejeito de calha

** sedimento de planície de inundação

(a) total de sólidos em suspensão

Observou-se ainda que as concentrações de mercúrio em amostras brutas de sedimento apresentaram anomalias elevadas, com índices de 0.27 a 5.24 ppm, e média de 1.45 ppm.

O Gráfico 4 apresenta as concentrações de mercúrio obtidas em sedimentos de corrente e de planícies de inundação, sendo que cada ponto no gráfico representa a interseção dos valores encontrados nas frações <74 e >74 µm de cada amostra bruta. Pode-se observar que grande parte das amostras de sedimentos possuem valores mais elevados na fração > 74µ, que podem ser traduzidos numa função linear cujo coeficiente angular é maior que 1. Isso indica que o metal encontra-se principalmente sob a forma metálica, pouco disponível aos processos interativos com as partículas finas de sedimento.

O Mapa 5 ilustra a distribuição das concentrações de mercúrio em sedimentos de corrente da região de Alta Floresta como um todo, através dos "Índices de Geoacumulação" na fração <74 µm. Os "Igeo" foram estabelecidos através da concentração média em cada subárea, ou em cada drenagem (em se tratando de tributários).

A concentração média de mercúrio na subárea I (fração <74 µm), de 2.39 ppm, corresponde a um "Igeo" na classe 5, indicando um grau de contaminação bastante elevado.

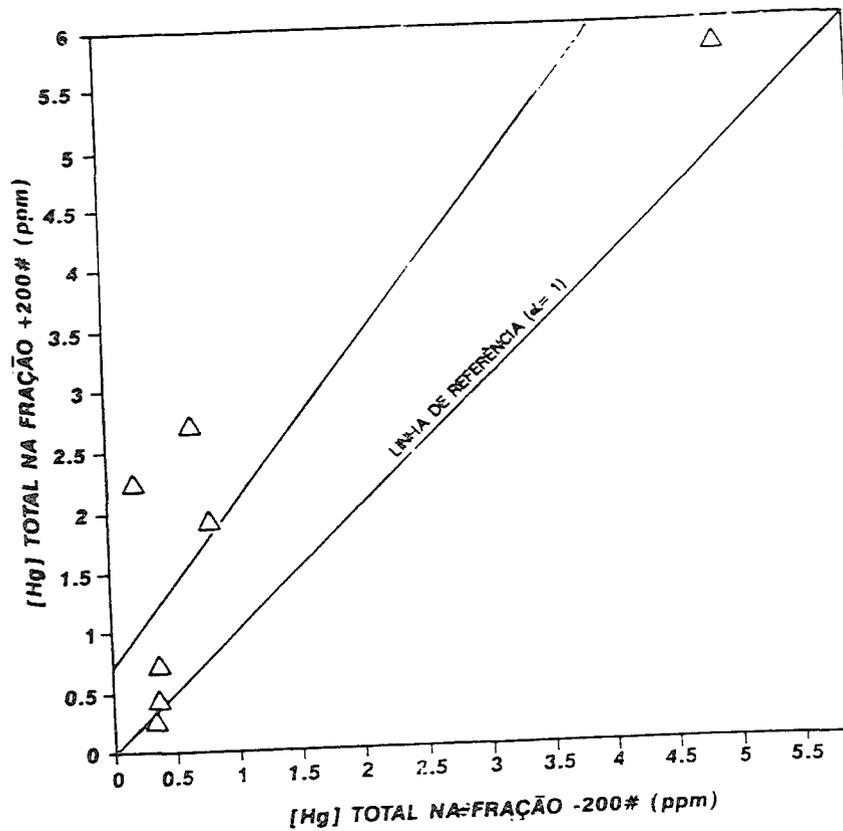
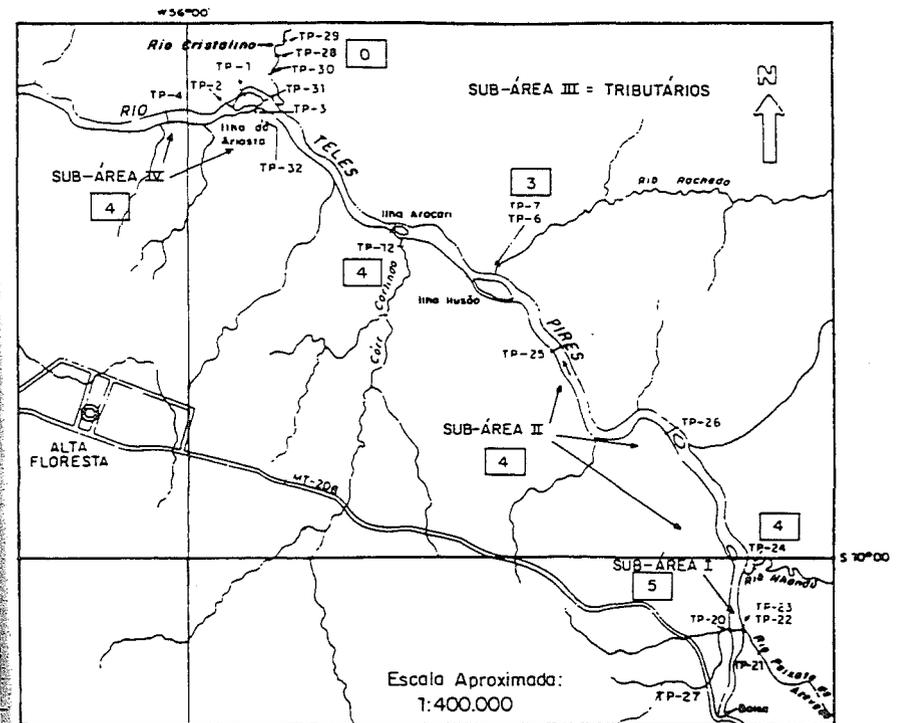


Gráfico 4 - Concentrações de mercúrio nas frações < e > 74 μ m de sedimentos do Rio Peixoto de Azevedo (subárea I)



"Igeo" CLASSE

Hg	Cn / Bn	CLASSE	Índice
0	< 1,5	2	3,0-6,0
1	1,5-3,0	3	6,0-12
		4	12-24
		5	24-48
		6	48-96

"Background" de Hg \approx 0,07 ppm

Mapa 5 - Mapa de distribuição dos índices de geoacumulação em sedimentos na região de Alta Floresta

b) Subárea II (Rio Teles Pires)

A subárea II comporta 2 estações de coleta de sedimentos a montante da afluência do rio Peixoto de Azevedo (TP-20 e TP-27), estando as demais estações situadas a jusante da mesma (TP-25 e TP-26).

No trecho a montante, estação TP 20, o rio Teles Pires apresenta uma cor esverdeada, sugerindo uma baixa concentração de sólidos em suspensão. Entretanto, o índice encontrado de 33mg/l indica uma condição próxima àquela observada em trechos a jusante, onde a água apresenta cor amarelo-avermelhada. Portanto, a diferença de cor deve estar relacionada à ausência de hidróxidos de ferro no material particulado desse trecho, que recebe contribuições de pequenos córregos submetidos à garimpagem de "baixão". Nesses córregos foi observada a presença marcante de matriz caulínica, conferindo às águas uma cor leitosa.

Na estação TP 27 o rio apresenta-se isento da atividade de garimpo, o que se confirma pela baixa concentração de sólidos em suspensão (4.0 mg/l). No trecho a jusante, o rio Teles Pires passa a transportar 54 mg/l de sólidos, cujo incremento se deve à influência do rio Peixoto de Azevedo.

O Gráfico 5 apresenta as concentrações de mercúrio nos sedimentos, comparando-se as frações < 74 e > 74 μm . Observa-se nessas amostras dois padrões de distribuição distintos. Um formado por uma reta cujo coeficiente angular é maior que 1, indicando a acumulação preferencial do metal na fração > 74 μm . O outro, representado por um conjunto de pontos dentro da faixa de coeficiente angular menor que 1, pode significar uma maior disponibilidade do mercúrio para que se promova a adsorção nas partículas de superfície específica elevada, ou, ainda, a simples retenção como Hg^0 micropulverizado.

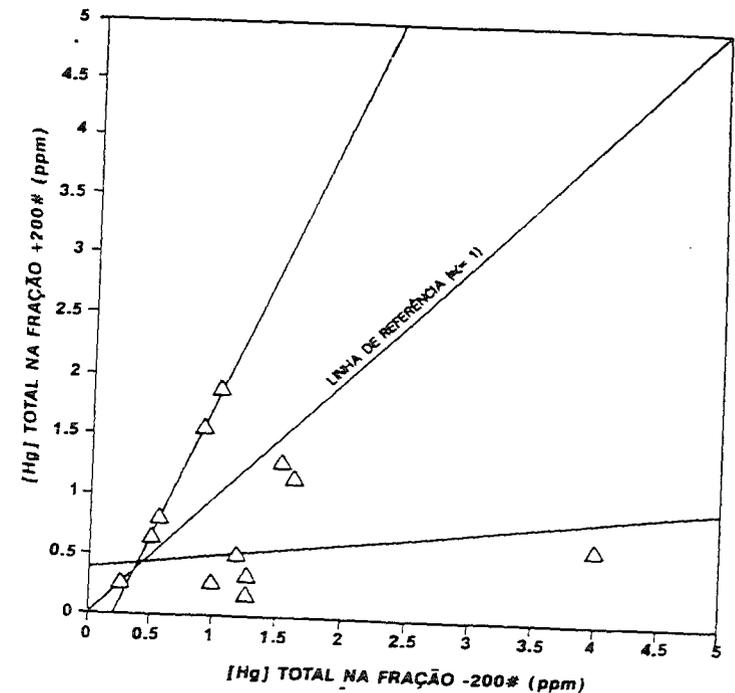


Gráfico 5 - Concentrações de mercúrio nas frações < e > 74 μm de sedimentos do rio Teles Pires (subárea II).

O rio Teles Pires, numa estação a montante das áreas atingidas - TP 27 - apresentou uma concentração de mercúrio na água abaixo do limite de detecção analítico, ou seja, < 0.1 ppb.

Também nessa subárea foram encontradas concentrações anômalas de mercúrio em todas as amostras brutas, com valores de 0.21 a 2.04 ppm, e média de 0.88 ppm. (Tabela 19)

Tabela 19 - Concentrações de mercúrio divididas por frações (< e > 74 µm) granulométricas em sedimentos do rio Teles Pires - subárea II - incluindo dados de TSS, vazão e perda ao fogo.

Estação	TSS ^(a) (mg/l)	Vazão (m ³ /s)	Fração - 200 #			[Hg] (ppm)	
			% peso	[Hg] (ppm)	% P.F.	Fração + 200 #	Total
TP-20.1	33	≅ 1270	0	-	-	1,88	1,88
TP-20.2	33	≅ 1270	0	-	-	2,04	2,04
TP-20.3	33	≅ 1270	35	0,90	-	1,55	1,33
TP-25	54	≅ 1900	70	0,55	-	0,80	0,63
TP-25.2*	-	-	73	1,52	19,9	1,26	1,43
TP-25.3	54	≅ 1900	20	4,01	-	0,62	1,30
TP-25.4A	54	≅ 1900	2	1,24	-	0,32	0,34
TP-25.4B	54	≅ 1900	5	0,97	-	0,25	0,29
TP-25.5	54	≅ 1900	47	1,17	8,2	0,49	0,81
TP-25.6A*	-	-	93	1,61	9,7	1,14	1,58
TP-25.6B*	-	-	79	1,01	11,4	1,88	1,20
TP-25.6C*	-	-	32	0,26	-	0,23	0,24
TP-26.1A	-	-	56	0,49	9,2	0,63	0,55
TP-26.1B	-	-	5	1,24	-	0,16	0,21
TP-26A	-	-	0	-	-	0,10	0,10
TP-27	4	≅ 1200	2	0,41	-	0,15	0,16

* sedimentos de planície de Inundação

(a) Total de sólidos em suspensão

A concentração média de mercúrio na subárea II (fração < 74 µm), de 1.18 ppm, corresponde a um "Igeo" na classe 4, indicando um grau de contaminação elevado. (Mapa 5)

A partir dos valores de concentração de sólidos em suspensão e de vazão, obteve-se a vazão sólida em suspensão (VSS) nos diversos locais amostrados do rio Teles Pires. Um perfil longitudinal (sentido jusante) apresenta a variação dos índices de VSS (Gráfico 6). Em relação à área presumivelmente não-impactada pela atividade garimpeira (TP 27), observou-se uma enorme elevação do valor de VSS, passando de 18 t/h para 150 t/h e atingindo 400 t/h após a confluência do rio Peixoto de Azevedo. O incremento de até 22 vezes no valor de VSS reflete o processo acelerado de degradação física, via assoreamento, a que estão submetidas as drenagens expostas à atividade de garimpo de ouro aluvionar.

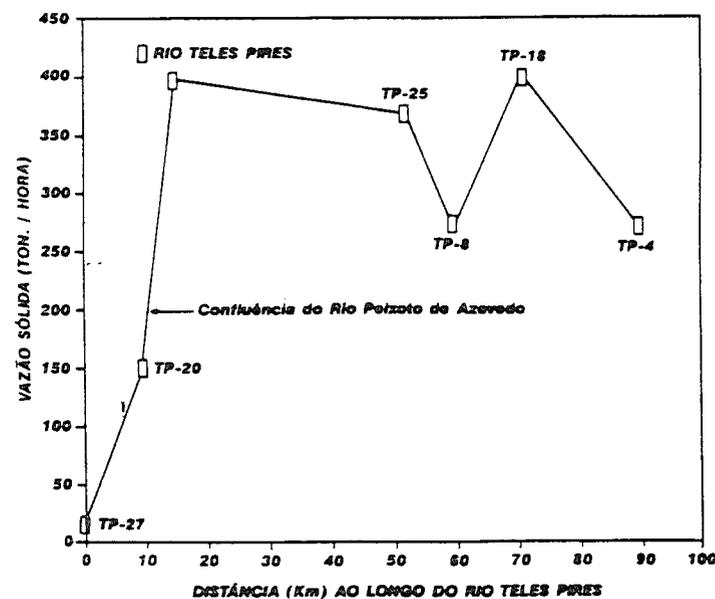


Gráfico 6 - Vazão sólida de sedimentos em suspensão ao longo do rio Teles Pires (sentido jusante).

c) Subárea III (rio Nhandu, ribeirão Rochedo, córrego Carlinda e rio Cristalino)

Os afluentes incluídos nessa subárea recebem as contribuições dos garimpos de "baixão" localizados em suas sub-bacias, à exceção do rio Cristalino. O rio Nhandu, aparentemente, é a drenagem mais impactada dessa subárea, possuindo os maiores valores, tanto para concentração de sólidos em suspensão, quanto para concentração de mercúrio em sedimentos.

As concentrações de mercúrio nos sedimentos das drenagens impactadas variaram de 0,28 a 3,11, com média de 0,85 ppm (Tabela 20). Considerando-se a grande distância que separa os pontos de amostragem (próximos às zonas de confluência com o rio Teles Pires) dos locais submetidos à garimpagem de "baixão", e, ainda, a baixa energia de transporte característica desses tributários, pode-se estimar que o mercúrio metálico emitido nos garimpos dificilmente atingiria os pontos de amostragem via transporte por arraste.

Tabela 20 - Concentrações de mercúrio divididas por frações (< e > 74 µm) granulométricas em sedimentos de drenagens tributárias do rio Teles Pires - subárea III - incluindo dados de Tss, vazão e perda ao fogo.

Estação	TSS ^(a) (mg/l)	Vazão (m ³ /s)	Fração - 200 #			[Hg] (ppm)	
			% peso	[Hg] (ppm)	% P.F.	Fração + 200 #	Total
TP-24 (Nhandu)	27	≅ 120	44	0,41	5,6	0,19	0,28
TP-24.1 (Nhandu)	-	-	87	3,02	7,9	3,75	3,11
TP-6 (Rochedo)	20	≅ 90	54	0,74	7,5	0,41	0,59
TP-6.1 (Rochedo)	20	≅ 90	7	0,49	-	0,27	0,29
TP-7 (Rochedo)	20	≅ 90	29	1,00	-	0,21	0,44
TP-12A (Carl.)	15	≅ 80	-	-	-	0,78	0,78
TP-12B (Carl.)	15	≅ 80	7	1,07	-	0,44	0,48
TP-28 (Crist.)	8	≅ 190	0	-	-	0,05	0,05
TP-28A (Crist.)	8	≅ 190	0	-	-	0,07	0,07
TP-29 (Crist.)	8	≅ 190	7	0,08	-	0,08	0,08
TP-30A (Crist.)	8	≅ 190	0	-	-	0,05	0,05
TP-30B (Crist.)	8	≅ 190	5	0,24	-	0,11	0,12

Observa-se ainda nessas drenagens a retenção preferencial do mercúrio na fração < 74 µm, demonstrando sua disponibilidade para o transporte através do particulado fino. (Gráfico 7)

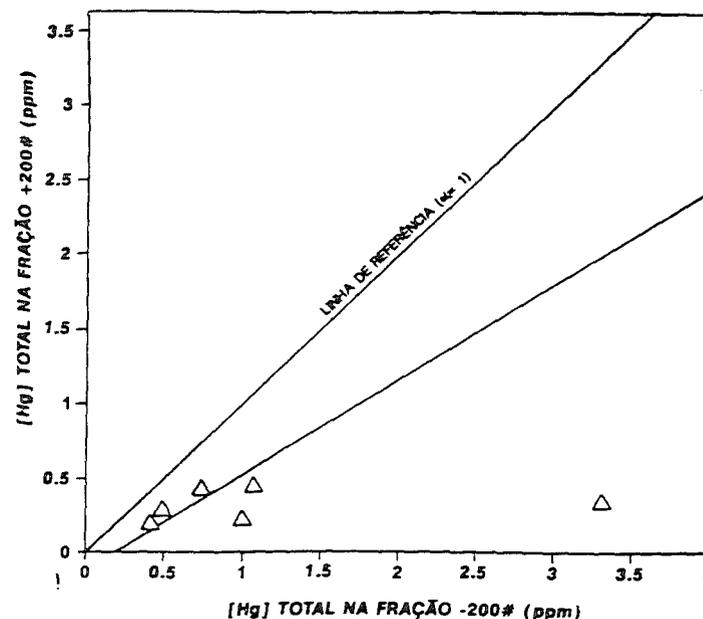


Gráfico 7 - Concentrações de mercúrio nas frações < e > 74 µm de sedimentos das drenagens tributárias do rio Teles Pires (subárea III).

O rio Cristalino, isento de atividade garimpeira, revelou baixas concentrações de mercúrio nos sedimentos e água. Nos sedimentos, fração < 74 µm, as concentrações tiveram média de 0,07 ppm. Esse valor foi adotado como *background* de mercúrio para a região de Alta Floresta, inclusive para o cálculo dos "Igeo" em sedimentos.

A concentração de mercúrio encontrada na água do rio Cristalino, < 0.1 ppb, em que pese o maior limite de detecção do método utilizado, está compatível com os valores atribuídos aos rios amazônicos não-contaminados, < 0.04 ppb. (Pfeiffer et al., 1991)

As concentrações médias de mercúrio em cada drenagem dessa subárea revelaram "Igeo" na classe 4 para o rio Nhandu, na classe 3 para o ribeirão Rochedo, na classe 4 para o córrego Carlinda e na classe 0 para o rio Cristalino. (Mapa 5)

d) Subárea IV (rio Teles Pires)

Nesse trecho do rio Teles Pires, extremo jusante da área estudada, não houve atuação expressiva de dragas escariantes, segundo relato da população local. Confirmando esta informação, a quase totalidade das amostras de sedimentos analisadas apresentaram concentrações de mercúrio nitidamente maiores na fração < 74 μm . No gráfico 8, a reta de coeficiente angular menor que 1 expressa a forte associação do mercúrio com a fração silto-argilosa, revelando sua forma mais interativa e portanto, sujeita ao transporte associado aos sedimentos finos. Desse modo, pode-se assumir que o mercúrio encontrado nessa subárea possui caráter essencialmente alóctone, ou seja, originado de áreas localizadas a montante.

Lacerda & Salomons (1991) também atribuem à baixa mobilidade do mercúrio metálico a ocorrência do metal associado a diferentes granulometrias de sedimentos da drenagem, afetada por garimpos de ouro em Cumaru, Pará.

As concentrações de mercúrio em sedimentos (amostras brutas) variaram de 0.06 a 2.20 ppm, com média de 0.70 ppm. (Tabela 21)

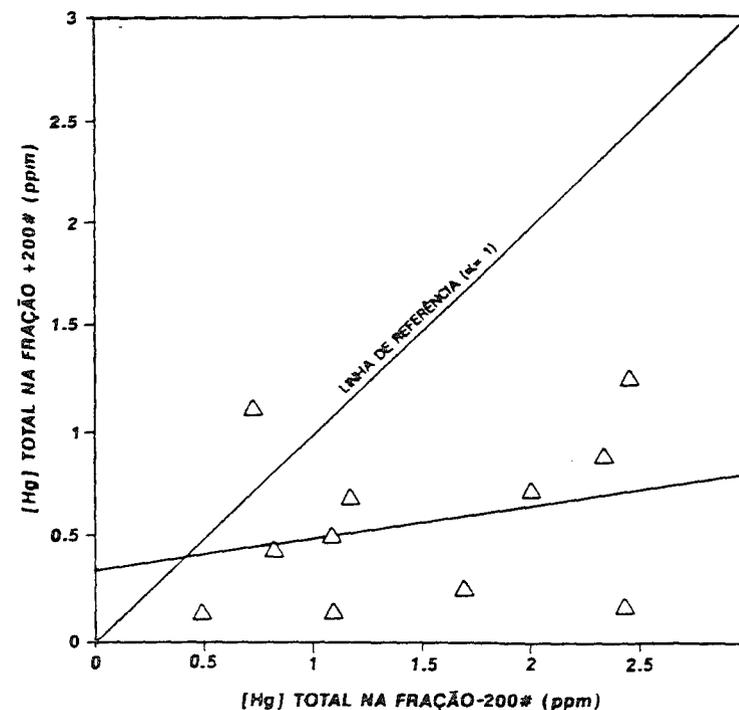


Gráfico 8 - Concentrações de mercúrio nas frações < e > 74 μm de sedimentos do rio Teles Pires (subárea IV)

Tabela 21 - Concentrações de mercúrio divididas por frações (< e > 74 µm) granulométricas em sedimentos do rio Teles Pires - subárea IV - incluindo dados de TSS, vazão e perda ao fogo.

Estação	TSS ^(a) (mg/l)	Vazão (m ³ /s)
TP-1.4	28	≅ 2300
TP-2	29	≅ 2300
TP-3.1	33	-
TP-3.2	33	-
TP-3.3	33	-
TP-3.4A*	-	-
TP-3.4B*	-	-
TP-3.5A*	-	-
TP-3.5B*	-	-
TP-4.2	33	≅ 2300
TP-4.3	33	≅ 2300
TP-32	-	-
TP-32A	-	-
TP-32B	-	-

A concentração média de mercúrio nos sedimentos (fração < 74 µm) dessa subárea revelou um "Igeo" na classe 4, indicando um grau de contaminação elevado.

Também nessa subárea a concentração de mercúrio detectada na água esteve abaixo do limite de detecção do método analítico empregado, isto é, < 0.1 ppb.

Foi possível constatar ainda uma correlação direta entre as concentrações de mercúrio da fração <74 µm e o percentual de perda ao fogo (PF) em amostras de sedimentos que possuíam enriquecimento de mercúrio na fração silto-argilosa. Na medida em que o ensaio de PF reflete as concentrações de matéria orgânica, argilo-minerais e hidróxidos, pode-se inferir que o metal encontra-se adsorvido química e/ou fisicamente a esse grupo de substâncias. (Gráfico 9)

Estação	Fração -200 #			[Hg] (ppm)	
	% Peso	[Hg] (ppm)	% P.F.	Frac. + 200 #	Total
TP-1.4	73	0,72	9,5	1,10	0,82
TP-2	53	1,17	-	0,68	0,94
TP-3.1	12	1,09	-	0,13	0,25
TP-3.2	79	2,45	11,5	1,24	2,20
TP-3.3	33	1,08	10,3	0,49	0,70
TP-3.4A*	47	2,33	8,0	0,87	1,57
TP-3.4B*	30	0,49	7,5	0,13	0,24
TP-3.5A*	41	1,99	10,1	0,71	1,24
TP-3.5B	0,8	2,43	-	0,16	0,18
TP-4.2	19	1,69	-	0,25	0,52
TP-4.3	61	0,82	8,1	0,42	0,68
TP-32	-	0,64	-	<0,05	0,28
TP-32A	-	0,08	-	0,05	0,06
TP-32B	-	0,13	-	0,08	0,09

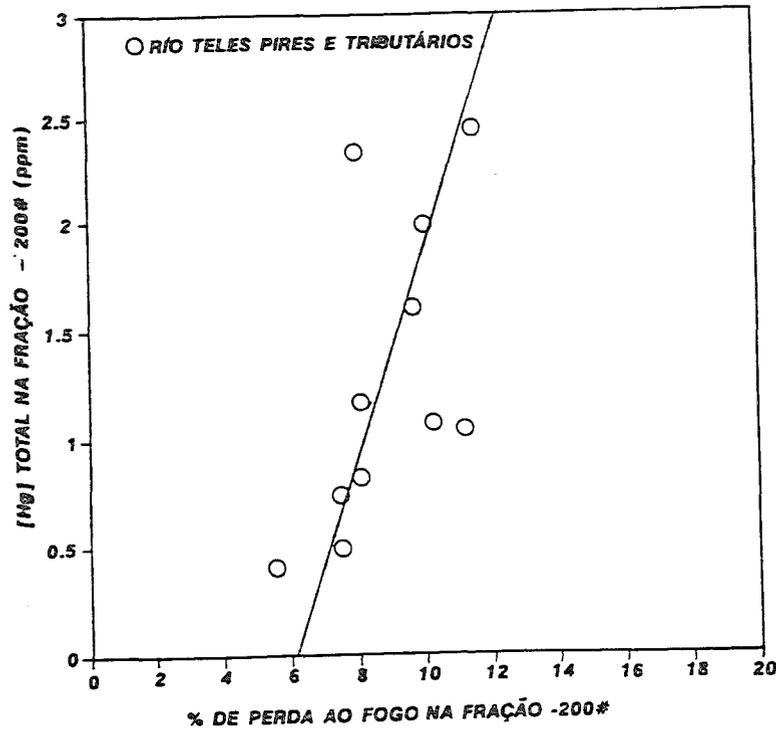


Gráfico 9 - Correlação entre as concentrações de mercúrio na fração < 74 µm e os percentuais de perda ao fogo em sedimentos da subárea IV

6. CONCLUSÕES

Observou-se que as concentrações de mercúrio, existentes em sedimentos de corrente, água e solos das sub-bacias hidrográficas estudadas na região de Poconé, revelaram índices anômalos, conforme relatado a seguir, em relação aos valores locais de *background* para sedimentos e solos, e em relação às concentrações de mercúrio conhecidas para águas de rios não-contaminados. Os metais Cu, Pb, Zn, Fe, e Mn apresentaram concentrações em sedimentos, em geral, muito próximas aos valores de *background*, o mesmo ocorrendo nos solos para Cu, Pb e Zn, e em águas para Cu e Pb.

Na sub-bacia do córrego Formiga, as concentrações anômalas de mercúrio em sedimentos, conferindo-lhes um "Igeo" médio na classe 3, e na água parecem estar relacionadas à incidência marcante de mineralizações de pirita nos filitos, que estariam liberando o metal contido em sua estrutura cristalina através de processos intempéricos. As concentrações encontradas nos solos superficiais dessa sub-bacia (horizonte A) apresentaram valores baixos, com média de 0.05 ppm. Esse menor valor em horizontes superficiais normalmente ocorre devido à lixiviação incidente em microambientes de maior acidez, que, por sua vez, é causada pela presença de substâncias húmicas.

Os valores de condutividade elétrica encontrados na sub-bacia do córrego Formiga mostraram-se elevados, chegando a até 1000 µS/cm, assim como nas demais estações inseridas em ambiente de cerrado. Isso demonstra a maior capacidade desses ambientes na liberação de sais a partir dos solos. Os valores de pH também estiveram mais elevados nesses locais, comparando-se com os ambientes do Pantanal, particularmente durante a estação seca.

Considerando-se todas as medições físico-químicas efetuadas na região de Poconé, observou-se que na estação cheia (janeiro de 1992) há uma maior acidez, pH de 6.1 a 6.9, e um potencial menos oxidante nas águas superficiais, 163 a 210 mV. Apesar dos valores de Eh e pH indicarem uma maior solubilidade de Cu e Pb na estação cheia, não foram encontrados valores anômalos nas drenagens da região, adotando-se como referência os valores conhecidos para águas fluviais não-contaminadas no nível mundial. Apenas duas amostras de água do rio Bento Gomes e uma do córrego Guanandi mostraram concentrações ligeiramente elevadas de cobre (1.5, 3.9 e 9.2 ppb, respectivamente).

Na sub-bacia do córrego Guanandi, onde se verifica a presença marcante de atividades de garimpo, foram observadas concentrações ligeiramente elevadas de mercúrio, 0.2 a 0.6 ppm, associadas a sedimentos mais afastados das frentes de beneficiamento do minério de ouro, com "Igeo" nas classes 1 e 2. As amostras coletadas em pontos próximos aos rejeitos da garimpagem apresentaram concentrações mínimas, em torno de 0.04 ppm, que podem ser explicadas pela predominância do quartzo nesses rejeitos de granulometria grosseira, e pela origem alóctone desses materiais.

Com relação aos elementos cobre e chumbo, observou-se um comportamento inverso, ou seja, as maiores concentrações estiveram associadas aos sedimentos próximos aos rejeitos do processo de concentração gravítica. A acumulação de cobre e chumbo nesses locais seria, portanto, consequência da concentração de minerais acessórios (mais densos) a partir do beneficiamento do minério de ouro. A indicação de que esses elementos estão contidos na estrutura cristalina de minerais pesados aponta para uma baixa biodisponibilidade de cobre e chumbo dessa drenagem.

Verificou-se uma correlação direta entre as concentrações de Hg e Cu nos solos dessa sub-bacia, indicando uma origem

mineralógica comum para os dois elementos, possivelmente associada aos sulfetos de ferro.

Devido à ampla distribuição de rejeitos ao longo do córrego Piraputanga, as concentrações de mercúrio em sedimentos estiveram abaixo da faixa de *background*, confirmando o efeito de diluição provocado pelas partículas de constituição essencialmente quartzosa. Nos solos, observou-se um comportamento das concentrações de mercúrio compatível com as demais sub-bacias, ou seja, os valores encontrados no horizonte B foram superiores aos encontrados no horizonte A, indicando a menor capacidade do horizonte húmico na retenção de mercúrio, comparando-se com o horizonte laterítico.

Os índices de geoacumulação de mercúrio em sedimentos do rio Bento Gomes indicam um grau de contaminação relativamente elevado em alguns pontos, atingindo até a classe 4 (1.85 ppm) na estação PG-19, próxima ao garimpo da fazenda Salinas. No entanto, ao atingirem o Pantanal mato-grossense, as concentrações de mercúrio sofrem uma sensível redução, atingindo 0.30 ppm. Isto se deve à acumulação de metais observada nos sedimentos do lago da fazenda Ipiranga (PG-24), que retém grande parte dos sedimentos transportados pelo rio Bento Gomes. A acumulação preferencial observada nesse lago também ocorreu para os metais Cu, Pb, Zn, Fe e Mn.

Foi constatada a grande afinidade existente entre as concentrações de Hg e Fe nos sedimentos dessa sub-bacia, indicando que os óxidos e hidróxidos de ferro exercem importante função no transporte de mercúrio ao longo do rio Bento Gomes.

Devido à ampla distribuição de concentrações elevadas de mercúrio nos sedimentos da região de Alta Floresta, pode-se concluir que, em garimpos de ouro aluvionar, o metal tem atingido o meio hídrico de forma mais intensa do que em garimpos de ouro primário/laterítico. Assim, foi confirmada a

suspeita de que a proximidade do minério de aluvião em relação às drenagens implica numa sensível elevação do potencial poluidor da atividade garimpeira de ouro.

A subárea I, no rio Peixoto de Azevedo, apresentou um "Igeo" médio de mercúrio na classe 5, enquanto que nas demais subáreas os índices de geoacumulação médios estiveram na classe 4, indicando um grau de contaminação bastante elevado na região como um todo.

Constatou-se nas subáreas III e IV, localizadas no extremo jusante das drenagens investigadas (tributários e rio Teles Pires, respectivamente), locais mais afastados das fontes de emissão, a associação preferencial do mercúrio com sedimentos silto-argilosos. Este fato indica que o metal pode ser transportado até a grandes distâncias, através da associação ao particulado fino, possivelmente sob a forma adsorvida. A confirmação da hipótese do mercúrio estar adsorvido às partículas finas dos sedimentos depende de novos estudos abrangendo a extração seletiva do metal.

Nas drenagens impactadas da região de Alta Floresta observou-se um acelerado processo de assoreamento, com alterações inclusive de seus cursos naturais, provocado pela ausência de medidas de controle na emissão de rejeitos sólidos. Verificou-se também o elevado potencial de ressuspensão dos sedimentos de fundo, por parte das dragas escariantes.

As concentrações de mercúrio encontradas nos solos superficiais da cidade de Alta Floresta indicaram que a precipitação do metal vaporizado ocorre, no âmbito da malha de amostragem, principalmente durante a estação chuvosa (de setembro a abril). Foi possível verificar que o potencial de remobilização vertical do mercúrio precipitado nos solos está condicionado pela permeabilidade desses materiais, sendo baixo em horizontes argilosos e alto nos horizontes arenosos.

A partir do registro da contaminação por mercúrio nos solos e sedimentos, fica caracterizada a necessidade do uso de retortas (nos garimpos) e capelas (nas casas compradoras de ouro), de modo a minimizar os impactos ambientais causados pela emissão atmosférica do metal, haja vista que essa forma de maior reatividade química pode proporcionar a formação de compostos organometálicos e, conseqüentemente, a incorporação biológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

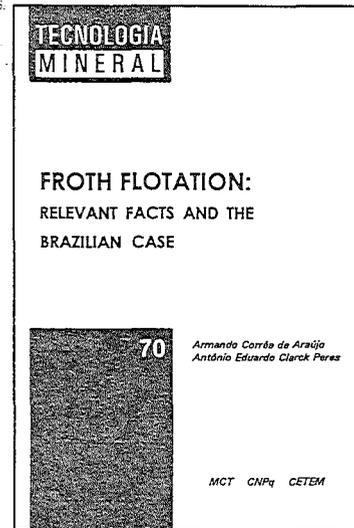
- 1) ACKERMANN, F. (1980) A procedure for correcting the grain size effect in heavy metal analysis of estuarine and coastal sediments. Environm. Technol. Lett. v.1, p.518-527.
- 2) ALMEIDA, F. F. M. (1964) Geologia do centro-oeste mato-grossense. Rio de Janeiro: DNPM. 215p.
- 3) ANDRADE, J. C.; BUENO, M. I. M. S; SOARES, P. V. E CHOUDHURI, A. (1988) The fate of mercury released from prospecting areas (garimpos) near Guarinos and Pilar de Goiás, GO (Brazil). An. Acad. Bras. Cienc. v.60, p.293-303.
- 4) ANDREA, M.O. (1984) Changing biogeochemical cycles. In: NRIAGU, J. O. (ed.) Changing metal cycles and human health. Berlin: Springer-Verlag, p.359-374.
- 5) BOWEN, H.J.M. (1979) Environmental chemistry of the elements. London: Academic Press. 333 p.
- 6) CETEM/CNPq (1989) Estudos petrográficos de rochas encaixantes do Projeto Poconé. RA 07/89. Rio de Janeiro. 10p.
- 7) CETEM/CNPq (1991) Poconé: um campo de estudos do impacto ambiental do garimpo (sed. ed. rev.). Org. por M.M. Veiga e F.R.C. Fernandes. Rio de Janeiro. 113p. (Tecnologia Ambiental, 1).
- 8) CETEM/CNPq (1992) Preliminary diagnosis of the environmental impacts caused by gold prospecting in Alta Floresta, MT (Brazil). A case study. Coord. por L. H. Farid. Rio de Janeiro, 185p. (Environmental Technology Series, 2).
- 9) CINDACTA I (1991) Boletim meteorológico da região de Alta Floresta, MT. Brasília (Of. 216/DO-MET/1492).

- 10) DREVER, J.I. (1982) The Geochemistry of natural waters. New York: Prentice-Hall. 387p.
- 11) EPA-Environmental Protection Agency (1983) Methods for chemical analysis of water and wastes. Cincinnati. (EPA 600/4-79-020).
- 12) FÖRSTNER, U. & MÜLLER, G. (1974) Schwermetalle in Flüssen und Seen als Ausdruck der Umweltverschmutzung. Berlin: Springer. 225p.
- 13) FÖRSTNER, U. & WITTMANN, G.T.W (1979) Metal pollution in the aquatic environment. Berlin: Springer. 486p.
- 14) HEM, J.D. (1970) Chemical Behaviour of mercury in aqueous media. In: U.S. Geol. Survey. Mercury in the Environment. Washington. 67p. p.19-28 (Professional Paper, 713).
- 15) IBGE (1988) Geografia do Brasil, Região Centro-Oeste. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. v.1.
- 16) JENNE, E.A. (1970) Atmospheric and fluvial transport of mercury. In: U.S. Geol. Survey. Mercury in the Environment. Washington. 67p. p.40-46. (Professional Paper, 713)
- 17) JERNELOV, A. & LANN, H. (1973) Studies in Sweden of feasibility of some methods for restoration of mercury - contaminated bodies of water. Environm. Sci. & Technol. v.7, n.8, p.27-43.
- 18) JONASSON, I. & BOYLE, R.W. (1979) The biogeochemistry of mercury. In NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA (publ. 16739). Mercury in the Canadian Environment. Toronto. 290 p. p.28-49
- 19) LACERDA, L.D.; PFEIFFER, W.C.; SILVEIRA, E.G.; BASTOS, W.R. e SOUZA, C.M.M (1987), Porto Alegre: Anais... Rio de Janeiro: SBGq. p.295-299.

- 20) LACERDA, L.D.; PFEIFFER, W.C.; MARINS, R.V.; RODRIGUES, S.; SOUZA, C.M.M. e BASTOS, W.R. (1991) Mercury dispersal in water, sediments and aquatic biota of a gold mining tailing deposit drainage in Poconé, Brazil. Water, Air and Soil Pollution, v.55, p.283-294
- 21) LACERDA, L.D. & SALOMONS, W. (1992) Mercúrio na Amazônia: uma bomba relógio química? Rio de Janeiro: CETEM/CNPq. 78p. (Tecnologia Ambiental, 3).
- 22) LORING, D.H. (1978) Geochemistry of zinc, copper and lead in the sediments of the estuary and gulf of St. Lawrence. Can. J. Earth Science. v.15, p.757-772.
- 23) MALM, O.; PFEIFFER, W.C.; BASTOS, W.R. e SOUZA, C.M.M. (1989) Utilização do acessório de geração de vapor frio para análise de mercúrio em investigações ambientais por espectrofotometria de absorção atômica. Ciência e Cultura, v.41, n.1, p.88-92.
- 24) MITRA, S. (1986) Mercury in the Ecosystem. Aedermannsdorf. Trans. Tech. Public. 327 p.
- 25) MUDROCH, A. & CLAIR, T.A. (1986) Transport of arsenic and mercury from gold mining activities through an aquatic system. Sci. of Total Environment. v.57, p.205-216.
- 26) MÜLLER, G. (1979) Schwermetalle in sedimenten des Rheins - Veränderungen seit 1971. Umschau. v.79, p.778-783.
- 27) PFEIFFER, W.C.; LACERDA, L.D.; MALM, O.; BASTOS, W.R.; SOUZA, C.M.M. and SILVEIRA, E.G. (1989) Mercury contamination in inland waters of Rondônia, Amazon, Brazil. Sci. Total Environment. v.87/88, p.233-240.
- 28) PFEIFFER, W.C.; LACERDA, L.D.; MALM, O.; SOUZA, C.M.M.; SILVEIRA, E.G. & BASTOS, W.R. (1991) Mercury in the Madeira river ecosystem, Rondônia, Brazil. Forest. Ecol. Managt. J. v.38p, p.239-245.

- 29) RADAMBRASIL (1980) Levantamento de Recursos Naturais Brasileiros: Folha SC. 21 Juruena. Rio de Janeiro, v.20.
- 30) RADAMBRASIL (1982) Levantamento de Recursos Naturais Brasileiros: Folha SE.21 Corumbá. Rio de Janeiro, v.27.
- 31) ROSE, A.W.; HAWKES, H.E. & WEBB, J.S. (1979) Geochemistry in Mineral Exploration. London: Academic Press, 658p.
- 32) SALOMONS, W. & FÖRSTNER, U. (1984) Metals in the Hydrocycle. Berlin: Springer-Verlag, 349p.
- 33) SANTOS, J.F. (1984) O ouro laterítico do depósito de Jatobá, MT. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, 1984. Anais... Rio de Janeiro: SBG. p.4012-4023.
- 34) SIDGWICK, N.V. (1950) The chemical elements and their compounds. Oxford: Clarendon Press, 1700p.
- 35) SILVA, A.P. (1991) Estudos biogeoquímicos sobre o mercúrio em ambientes aquáticos de Poconé. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq (Série Tecnologia Ambiental, 1), p.61-83.
- 36) SILVER, S. (1984) Bacterial transformations of and resistance to heavy metals. In: NRIAGU, J.O. (ed.) Changing metal cycles and human health. Berlin: Springer-Verlag. p.199-224.
- 37) SIOLI, H. (1974) Tropical rivers as expressions of their terrestrial environments. Tropical Ecological Systems. Berlin: Springer-Verlag, p.199-213.
- 38) THORNTON, I. & ABRAHAMS, P. (1984) Historical records of metal pollution in the environment. In: NRIAGU, J.O. (ed.). Changing metal cycles and human health. Berlin: Springer-Verlag, p.7-26.

- 39) TUREKIAN, K.K. & WEDEPOHL, K.H. (1961) Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Bull. Geol. Soc. Am. v.72, p.175-192.
- 40) VEIGA, M.M. & FERNANDES, F.R.C. (1990) Poconé and opportunity for studying the environmental impact of the gold fields. In: INTER. SYMP. ENVIRONM. STUD. TROPIC. RAIN FORESTS, 1, 1990, Manaus. Proceedings...v.1, p.185-194.
- 41) WEDEPOHL, K.H. (1968) Origin and distribution of the elements. Oxford: Pergamon Press. 999p.
- 42) WELCHER, F.J., ed. (1975) Standard Methods of chemical analysis. 6. ed. Robert E. Krieger Publ. v.IIA, IIB, IIIA.
- 43) WELZ, B. (1985) Atomic Absorption Spectrometry. Weinheim: VCH Publishers. 506p.



NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL

1. Flotação de Carvão: Estudos em Escala de Bancada - Antonio R. de Campos, Salvador L. M. de Almeida e Amílcar T. dos Santos, 1979. (esgotado)
2. Beneficiamento de Talco: Estudos em Escala de Bancada - Nelson T. Shimabukuro, Carlos Adolpho M. Baltar e Francisco W. Hollanda Vidal, 1979. (esgotado)
3. Beneficiamento de Talco: Estudos em Usina Piloto - Nelson T. Shimabukuro, Carlos Adolpho M. Baltar e Francisco W. Hollanda Vidal, 1979. (esgotado)
4. Flotação de Cianita da Localidade de Boa Esperança (MG) - Ivan O. de Carvalho Masson e Tulio Herman A. Luco, 1979. (esgotado)
5. Beneficiamento de Diatomita do Ceará - José A. C. Sobrinho e Adão B. da Luz, 1979. (esgotado)
6. Eletrorecuperação de Zinco: uma Revisão das Variáveis Influentes - Roberto C. Villas Bôas, 1979. (esgotado)
7. Redução da Gipsita em Carvão Vegetal - Ivan O. de Carvalho Masson, 1980. (esgotado)
8. Beneficiamento do Diatomito de Canavieira do Estado do Ceará - Franz Xaver H. Filho e Marcello M. da Veiga, 1980. (esgotado)
9. Moagem Autógena de Itabirito em Escala Piloto - Hedda Vargas Figueira e João Alves Sampaio, 1980. (esgotado)
10. Flotação de Minério Oxidado de Zinco de Baixo Teor - Carlos Adolpho M. Baltar e Roberto C. Villas Bôas, 1980. (esgotado)
11. Estudo dos Efeitos de Corrente de Pulso Sobre o Eletrorefino de Prata - Luiz Gonzaga dos S. Sobral, Ronaldo Luiz C. dos Santos e Delfin da Costa Laureano, 1980. (esgotado)
12. Lixiviação Bacteriana do Sulfeto de Cobre de Baixo Teor Caraíba - Vicente Paulo de Souza, 1980. (esgotado)
13. Flotação de Minérios Oxidados de Zinco: uma Revisão de Literatura - Carlos Adolpho M. Baltar, 1980. (esgotado)
14. Efeito de Alguns Parâmetros Operacionais no Eletrorefino do Ouro - Marcus Granato e Roberto C. Villas Bôas, 1980. (esgotado)
15. Flotação de Carvão de Santa Catarina em Escala de Bancada e Piloto - Antonio R. de Campos e Salvador L. M. de Almeida, 1981. (esgotado)
16. Aglomeração Seletiva de Finos de Carvão de Santa Catarina: Estudos Preliminares - Lauro Santos N. da Costa, 1981.
17. Briquetagem e a sua Importância para a Indústria - Walter Shinzel e Regina Célia M. da Silva, 1981. (esgotado)
18. Aplicação de Petrografia no Beneficiamento de Carvão por Flotação - Ney Hamilton Porfírio, 1981.
19. Recuperação do Cobre do Minério Oxidado de Caraíba por Extração por Solventes em Escala Semipiloto - Ivan O. C. Masson e Paulo Sérgio M. Soares, 1981. (esgotado)
20. Dynawhirpool (DWP) e sua Aplicação na Indústria Mineral - Hedda Vargas Figueira e José Aury de Aquino, 1981. (esgotado)

21. Flotação de Rejeitos Finos de Scheelita em Planta Piloto - José Farias de Oliveira, Ronaldo Moreira Horta e João Alves Sampaio, 1981. (esgotado)
22. Coque de Turfa e suas Aplicações - Regina Célia M. da Silva e Walter Schinzel, 1982.
23. Refino Eletrolítico de Ouro, Processo Wohlwill - Juliano Peres Barbosa e Roberto C. Villas Bôas, 1982. (esgotado)
24. Flotação de Oxidados de Zinco: Estudos em Escala Piloto - Adão Benvindo da Luz e Carlos Adolpho M. Baltar, 1982.
25. Dosagem de Ouro - Luiz Gonzaga S. Sobral e Marcus Granato, 1983.
26. Beneficiamento e Extração de Ouro e Prata de Minério Sulfetado - Márcio Torres M. Penna e Marcus Granato, 1983.
27. Extrações por Solventes de Cobre do Minério Oxidado de Caraíba - Paulo Sérgio M. Soares e Ivan O. de Carvalho Masson, 1983.
28. Preparo Eletrolítico de Solução de Ouro - Marcus Granato, Luiz Gonzaga S. Sobral, Ronaldo Luiz C. Santos e Delfin da Costa Laureano, 1983. (esgotado)
29. Recuperação de Prata de Fixadores Fotográficos - Luiz Gonzaga dos Santos Sobral e Marcus Granato, 1984. (esgotado)
30. Amostragem para Processamento Mineral - Mário V. Possa e Adão B. da Luz, 1984. (esgotado)
31. Indicador de Bibliotecas e Centros de Documentação em Tecnologia Mineral e Geociências do Rio de Janeiro - Subcomissão Brasileira de Documentação em Geociências - SBDG, 1984.
32. Alternativa para o Beneficiamento do Minério de Manganês de Urucum, Corumbá-MS - Lúcia Maria Cabral de Góes e Silva e Lélío Fellows Filho, 1984.
33. Lixiviação Bacteriana de Cobre de Baixo Teor em Escala de Bancada - Teresinha R. de Andrade e Francisca Pessoa de França, 1984.
34. Beneficiamento do Calcário da Região de Cantagalo-RJ. - Vanilda Rocha Barros, Hedda Vargas Figueira e Rupen Adamian, 1984.
35. Aplicação da Simulação de Hidrociclones em Circuitos de Moagem - José Ignácio de Andrade Gomes e Regina C. C. Carriso, 1985.
36. Estudo de um Método Simplificado para Determinação do "Índice de Trabalho" e sua Aplicação à Remoagem - Hedda Vargas Figueira, Luiz Antonio Pretti e Luiz Roberto Moura Valle, 1985.
37. Metalurgia Extrativa do Ouro - Marcus Granato, 1986. (esgotado)
38. Estudos de Flotação do Minério Oxidado de Zinco de Minas Gerais - Francisco W. Hollanda Vidal, Carlos Adolpho M. Baltar, José Ignácio de A. Gomes, Leonardo A. da Silva, Hedda Vargas Figueira, Adão B. da Luz e Roberto C. Villas Bôas, 1987.
39. Lista de Termos para Indexação em Tecnologia Mineral - Vera Lúcia Vianna de Carvalho, 1987.
40. Distribuição de Germânio em Frações Densimétricas de Carvões - Luiz Fernando de Carvalho e Valéria Conde Alves Moraes, 1986.
41. Aspectos do Beneficiamento de Ouro Aluvionar - Fernando A. Freitas Lins e Leonardo A. da Silva, 1987.
42. Estudos Tecnológicos para Aproveitamento da Atapulgita de Guadalupe-PI - Adão B. da Luz, Salvador L. M. de Almeida e Luciano Tadeu Silva Ramos, 1988.
43. Tratamento de Efluentes de Carvão Através de Espessador de Lamelas - Francisco W. Hollanda Vidal e Franz Xaver Horn Filho, 1988.
44. Recuperação do Ouro por Amalgamação e Cianetação: Problemas Ambientais e Possíveis Alternativas - Vicente Paulo de Souza e Fernando A. Freitas Lins, 1989. (esgotado)
45. Geopolítica dos Novos Materiais - Roberto C. Villas Bôas, 1989. (esgotado)
46. Beneficiamento de Calcário para as Indústrias de Tintas e Plásticos - Vanilda da Rocha Barros e Antonio R. de Campos, 1990.
47. Influência de Algumas Variáveis Físicas na Flotação de Partículas de Ouro - Fernando A. Freitas Lins e Rupen Adamian, 1991.
48. Caracterização Tecnológica de Caulim para a Indústria de Papel - Rosa Malena Fernandes Lima e Adão B. da Luz, 1991.
49. Amostragem de Minérios - Maria Alice C. de Goes, Mário V. Possa e Adão B. da Luz, 1991.
50. Design of Experiments in Planning Metallurgical Tests - Roberto C. Villas Bôas, 1991. (esgotado)
51. Eletrorecuperação de Ouro a partir de Soluções Diluídas de seu Cianeto - Roberto C. Villas Bôas, 1991.
52. Talco do Paraná - Flotação em Usina Piloto - Salvador Luiz M. de Almeida, Adão B. da Luz e Ivan F. Pontes, 1991.
53. Os Novos Materiais e a Corrosão - Roberto C. Villas Bôas, 1991.
54. Aspectos Diversos da Garimpagem de Ouro - Fernando Freitas Lins (coord.), José Cunha Cotta, Adão B. da Luz, Marcello M. da Veiga, Fernando Freitas Lins, Luiz Henrique Farid, Márcia Machado Gonçalves, Ronaldo Luiz C. dos Santos, Maria Laura Barreto e Irene C. M. H. Medeiros Portela, 1992. (esgotado)
55. Concentrador Centrífugo - Revisão e Aplicações Potenciais - Fernando Freitas Lins, Lauro S. Norbert Costa, Oscar Cuéllar Delgado, Jorge M. Alvares Gutierrez, 1992.
56. Minerais Estratégicos: Perspectivas - Roberto C. Villas Bôas, 1992.
57. O Problema do Germânio no Brasil - Roberto C. Villas Bôas, Maria Dionísia C. dos Santos e Vicente Paulo de Souza, 1992.
58. Caracterização Tecnológica do Minério Aurífero da Mineração Casa de Pedra-Mato Grosso - Ney Hamilton Porphírio e Fernando Freitas Lins, 1992.
59. Geopolitics of the New Materials: The Case of the Small Scale Mining and New Materials Developments - Roberto C. Villas Bôas, 1992.
60. Degradação de Cianetos por Hipoclorito de Sódio - Antonio Carlos Augusto da Costa, 1992.
61. Paládio: Extração e Refino, uma Experiência Industrial - Luiz Gonzaga S. Sobral, Marcus Granato e Roberto B. Ogando, 1992.
62. Desempenho de Ciclones e Hidrociclones - Giulio Massarani, 1992.
63. Simulação de Moagem de Talco Utilizando Seixos - Regina Coeli C. Carriso e Mário Valente Possa, 1993.
64. Atapulgita do Piauí para a Indústria Farmacêutica - José Pereira Neto, Salvador L. M. de Almeida e Ronaldo de Miranda Carvalho, 1993.
65. Caulim: um mineral industrial importante - Adão B. da Luz e Eduardo C. Damasceno, 1993.
66. Química e Tecnologia das Terras-Raras - Alcídio Abrão, 1994.
67. Tiouréia e Bromo como Lixivantes Alternativos à Cianetação do Ouro. Roberto de Barros E. Trindade, 1994.
68. Zeólitas: Propriedades e Usos Industriais - Adão Benvindo da Luz, 1994.
69. Caracterização Tecnológica de Lascas de Quartzo - Marília Inês Mendes Barbosa e Ney Hamilton Porphírio, 1994.

**METAIS PESADOS NAS
SUB-BACIAS
HIDROGRÁFICAS DE
POCONÉ E
ALTA FLORESTA**

10

Saulo Rodrigues Pereira Filho

MCT CNPq CETEM

**NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE
TECNOLOGIA AMBIENTAL**

1. Poconé: Um Campo de Estudos do Impacto Ambiental do Garimpo - Marcello M. da Veiga, Francisco R. C. Fernandes, Luiz Henrique Farid, José Eduardo B. Machado, Antônio Odilon da Silva, Luís Drude de Lacerda, Alexandre Pessoa da Silva, Edinaldo de Castro e Silva, Evaldo F. de Oliveira, Gercino D. da Silva, Hélcias B. de Pádua, Luiz Roberto M. Pedroso, Néelson Luiz S. Ferreira, Salete Kiyoka Ozaki, Rosane V. Marins, João A. Imbassahy, Wolfgang C. Pfeiffer, Wanderley R. Bastos e Vicente Paulo de Souza (2ª edição), 1991. (esgotado)

2. Diagnóstico Preliminar dos Impactos Ambientais Gerados por Garimpos de Ouro em Alta Floresta/MT: Estudo de Caso (versão Português/Inglês) - Luiz Henrique Farid, José Eduardo B. Machado, Marcos P. Gonzaga, Saulo R. Pereira Filho, André Eugênio F. Campos, Néelson S. Ferreira, Gersino D. Silva, Carlos R. Tobar, Volney Câmara, Sandra S. Hacon, Diana de Lima, Vangil Silva, Luiz Roberto M. Pedroso, Edinaldo de Castro e Silva, Laís A. Menezes, 1992.

3. Mercúrio na Amazônia: Uma Bomba Relógio Química? - Luis Drude Lacerda e Win Salomons, 1992.
4. Estudo dos Impactos Ambientais Decorrentes do Extrativismo Mineral e Poluição Mercurial no Tapajós - Pré-Diagnóstico - Rita Maria Rodrigues et al., 1994.
5. Utilização do Aguapé no Tratamento de Efluentes com Cianetos - Marcus Granato, 1995.
6. Are Tropical Estuaries Environmental Sinks or Sources? - Egbert K. Duursma, 1995.
7. Assessment of the Heavy Metal Pollution in a Gold "Garimpo" - Saulo Rodrigues Filho e John Edmund L. Maddock, 1995.
8. Instrumental Multielement Analysis in Plant Materials - A Modern Method in Environmental Chemistry and Tropical Systems Research - Bernd Market, 1995.
9. Heavy Metals in Estuarine Sediments: Mangrove Swamps of the Subaé and Paraguaçu Tributary Rivers of Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil - J. F. Paredes, A. F. S. Queiroz, I. G. Carvalho, M. A. S. B. Ramos, A. L. F. Santos e C. Mosser, 1995.

**THE PROFILE OF THE
BRAZILIAN MINING
PROFESSIONALS**

7

Arthur Pinto Chaves

MCT CNPq CETEM

**NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE
QUALIDADE E PRODUTIVIDADE**

1. Qualidade na Formulação de Misturas - Roberto C. Villas Bôas, 1992.
2. La Importância del Método em la Investigación Tecnológica - Roberto C. Villas Bôas, 1992.
3. Normalización Minerometalúrgica e Integración Latinoamericana - Rômulo Genuíno de Oliveira, 1993.
4. A Competitividade da Indústria Brasileira de Alumínio: Avaliação e Perspectivas - James M. G. Weiss, 1993.
5. O Gerenciamento Ambiental: Estudo de Caso de Cinco Empresas de Mineração no Brasil - José Antônio Parizotto, 1995.
6. Situação Atual e Perspectivas da Indústria Mineral no Brasil - Ulysses Rodrigues de Freitas, 1995.

NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE
ESTUDOS E DOCUMENTOS

1. Quem é Quem no Subsolo Brasileiro - Francisco R. C. Fernandes, Ana Maria B. M. da Cunha, Maria de Fátima Faria dos Santos, José Raimundo Coutinho de Carvalho e Maurício Lins Arcoverde, (2ª edição) 1987.

2. A Política Mineral na Constituição de 1967 - Ariadne da Silva Rocha Nodari, Alberto da Silva Rocha, Marcos Fábio Freire Montysuma e Luis Paulo Schance Heler Giannini, (2ª edição) 1987.

3. Mineração no Nordeste - Depoimentos e Experiências - Manuel Correia de Andrade, 1987. (esgotado)

4. Política Mineral do Brasil - Dois Ensaio Críticos - Osny Duarte Pereira, Paulo César Ramos de Oliveira Sá e Maria Isabel Marques, 1987. (esgotado)

5. A Questão Mineral da Amazônia - Seis Ensaio Críticos - Francisco R. C. Fernandes, Roberto Gama e Silva, Wanderlino Teixeira de Carvalho, Manuela Carneiro da Cunha, Breno

Augusto dos Santos, Armando Álvares de Campos Cordeiro, Arthur Luiz Bernardelli, Paulo César de Sá e Maria Isabel Marques, 1987. (esgotado)

6. Setor Mineral e Dívida Externa - Maria Clara Couto Soares, 1987.

7. Constituinte: A Nova Política Mineral - Gabriel Guerreiro, Octávio Elísio Alves de Brito, Luciano Galvão Coutinho, Roberto Gama e Silva, Alfredo Ruy Barbosa, Hildebrando Herrmann e Osny Duarte Pereira, 1988. (esgotado)

8. A Questão Mineral na Constituição de 1988 - Fábio S. Sá Earp, Carlos Alberto K. de Sá Earp e Ana Lúcia Villas-Bôas, 1988. (esgotado)

9. Estratégia dos Grandes Grupos no Domínio dos Novos Materiais - Paulo Sá, 1989. (esgotado)

10. Política Científica e Tecnológica no Japão, Coréia do Sul e Israel. - Abraham Benzaquen Sicsú, 1989. (esgotado)

11. Legislação Mineral em Debate - Maria Laura Barreto e Gildo Sá Albuquerque (organizadores), 1990.

12. Ensaio Sobre a Pequena e Média Empresa de Mineração - Ana Maria B. M. da Cunha (organizadora) 1991.

13. Fontes e Usos de Mercúrio no Brasil - Rui C. Hasse Ferreira e Luiz Edmundo Appel, (2ª edição) 1991.

14. Recursos Minerais da Amazônia - Alguns Dados Sobre Situação e Perspectivas - Francisco R. C. Fernandes e Irene C. de M. H. de Medeiros Portela, 1991. (esgotado)

15. Repercussões Ambientais em Garimpo Estável de Ouro - Um Estudo de Caso - Irene C. de M. H. de Medeiros Portela, (2ª edição) 1991.

16. Panorama do Setor de Materiais e suas Relações com a Mineração: Uma Contribuição para Implementação de Linhas de P & D - Marcello M. Veiga e José Octávio Armani Pascoal, 1991.

17. Potencial de Pesquisa Química nas Universidades Brasileiras - Peter Rudolf Seidl, 1991.

18. Política de Aproveitamento de Areia no Estado de São Paulo: Dos Conflitos Existentes às Compatibilizações Possíveis - Hildebrando Hermann, 1991.

19. Uma Abordagem Crítica da Legislação Garimpeira: 1967-1989 - Maria Laura Barreto, 1993.

20. Some Reflections on Science in the Low-Income Economies - Roald Hoffmann, 1993. (esgotado)

21. Terras-raras no Brasil: depósitos, recursos identificados e reservas - Francisco Eduardo de V. Lapido Loureiro, 1994.

22. Aspectos Tecnológicos e Econômicos da Indústria de Alumínio, Marisa B. de Mello Monte e Rupen Adamian, 1994

23. Indústria Carbonífera Brasileira: conveniência e viabilidade - Gildo de A. Sá C. de Albuquerque, 1995.

24. Carvão Mineral: Aspectos Gerais e Econômicos - Regina Coeli C. Carrisso e Mário Valente Possa, 1995.

25. "Sustainable Development: materials technology and industrial development in Brazil" - Roberto C. Villas Bôas, 1995.

26. Minerais e Materiais Avançados - Heloísa Vasconcellos de Medina e Luis Alberto Almeida Reis, 1995.

27. Poluição Mercurial: parâmetros técnico-jurídicos - Maria Laura Barreto e Anna Christiana Marinho, 1995.

estudos e 28

documentos

ASPECTOS TÉCNICOS E
ECONÔMICOS DO SETOR DE
ROCHAS ORNAMENTAIS

Cid Chiodi Filho

MCT CNPq CETEM