



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**“ AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE MERCÚRIO
TOTAL EM SEDIMENTOS, REJEITOS, SOLOS E SOLOS COM TPA, NA BACIA DO
RIO RATO - ITAITUBA/PA”.**

TESE APRESENTADA POR

JORGE RAIMUNDO DA TRINDADE SOUZA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA

Data de Aprovação 20/08/95

Comitê de Tese:

.....
JOSÉ FRANCISCO DA F. RAMOS (Orientador)

.....
NORBERT FENZL

.....
WILLIAM ZAMBONI DE MELLO

BELÉM

À minha mãe: Maria Trindade.

Aos meus irmãos: Carlos, Carmen, Paulo, Nato e Simone.

Aos meus amigos: Fernanda, Robson e Alice.

Muito obrigado por tudo.

AGRADECIMENTOS

Várias pessoas e órgãos contribuíram para a realização deste trabalho, cujos agradecimentos aqui expresso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo fornecimento da bolsa de estudo.

Ao Centro de Geociências, em particular ao Departamento de Geoquímica e Petrologia, pela infraestrutura fornecida.

Ao professor Dr. José Francisco da Fonseca Ramos, pela orientação, discussões e sugestões apresentadas no decorrer do trabalho.

A banca examinadora constituída pelos Drs. Nobert Fenzl e William Zamboni, pela análise crítica e pelas sugestões feitas a primeira versão.

A Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia, SUDAM, que permitiu a execução das análises de mercúrio (Hg) em seu laboratório.

Aos químicos da SUDAM, Arcelando Souza e Ieda Hagmam Sossiatti, pela ajuda e incentivo nas análises de mercúrio (Hg).

Aos funcionários da biblioteca do Centro de Geociências, pela paciência e atenção na normalização da dissertação.

Ao Centro de Tecnologia Mineral, CETEM, que financiou a primeira viagem a área de estudo.

Aos garimpeiros "Ivo Preto" (Ivo Lubrina de Castro) e "Paraíba", e à comunidade da "corrutela" Piririma pelo apoio dado durante os trabalhos de campo.

Aos químicos do Centro de Geociências da UFPA, M.sc. Natalino Moreira e Prof. M.sc. Antonio Vaquera pelas suas contribuições e incentivos.

A amiga Alice Oliveira, pelo apoio dado durante a realização do curso, pela leitura crítica, correção do texto e confecção dos desenhos.

A amiga Fernanda Nascimento, pelo incentivo no decorrer do curso, pela leitura crítica e correção do texto.

A amiga Lucilena Monteiro, pela ajuda nas análises químicas, pelo incentivo constante e apoio incondicional.

Aos companheiros da sala 2, Amilcar, Lianne, Hebe, Alex, Valdenira e Wagner, pela ajuda, incentivo, companheirismo e troca de idéias referentes a dissertação.

SUMÁRIO

	p.
DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vi
RESUMO	01
ABSTRACT	03
1. INTRODUÇÃO	04
2. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO ESTUDADA	07
2.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO	07
2.2. ASPECTOS FISIOGRAFICOS	07
2.2.1. Clima	07
2.2.2. Vegetação	09
2.2.3. Relevo	09
2.2.4 Geologia	11
2.2.5. Hidrografia	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1. HISTÓRICO	14
3.2. PRODUÇÃO GARIMPEIRA DO ESTADO DO PARÁ	16
3.3. GARIMPOS DE ITAITUBA	20
3.4. MERCÚRIO (Hg)	26
3.4.1. Propriedades	26
3.4.2. Fontes e usos	27
3.4.3. Riscos e consequências	29

3.4.4. Espécies, ciclos e mecanismos.....	30
3.5. IMPACTOS AMBIENTAIS NO GARIMPO.....	41
3.6. CARACTERÍSTICAS DE SOLOS COM TERRA PRETA	
ARQUEOLÓGICA (TPA).....	43
4. METODOLOGIA.....	45
4.1. CAMPO.....	45
4.2. LABORATÓRIO.....	46
5. RESULTADOS, DISCUSSÕES E CONCLUSÕES.....	50
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
ANEXOS.....	104

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1. FIGURAS

	p.
Figura 1: Mapa de localização.	8
Figura 2: Esboço Geológico do Estado do Pará	19
Figura 3: Principais Distritos Garimpeiros de Ouro do Estado do Pará	21
Figura 4: Desenho esquemático do garimpo de "baixão" apresentando a captação de água, desmonte hidráulico, dragagem, concentração na cobra fumando e dispersão dos rejeitos.	24
Figura 5: Esquema de amalgamação em garimpos de "baixão"	25
Figura 6: Ciclo do mercúrio na atmosfera	33
Figura 7: Ciclo hidrogeoquímico do mercúrio.	35
Figura 8: Ciclo completo do mercúrio no ecossistema em áreas de garimpos.	37
Figura 9a: Histograma do mercúrio das amostras de rejeito de garimpo do rio Rato. Primeira etapa de campo.	54
Figura 9b: Histograma do mercúrio das amostras de rejeito de garimpo (com concentrações entre 0,0 e 3,0 ppm) do rio Rato. Primeira etapa de campo.....	54
Figura 9c: Histograma do mercúrio das amostras de rejeito de garimpo (com concentrações entre 0,0 e 3,0 ppm) do rio Rato. Primeira etapa de campo.....	55
Figura 10: Histograma do mercúrio das amostras de rejeito de garimpo do rio Rato. Segunda etapa de campo.	57
Figura 11: Esquema de localização de amostras de solos e rejeitos, próximo ao queimador do Sr. Geraldo e de perfis realizados no ig. Fé em Deus.	60
Figura 12: Gráfico de correlação entre PF x CO das amostras de rejeito de garimpo do ig. Fé em Deus. Primeira etapa de campo.	61
Figura 13: Histograma do mercúrio das amostras de rejeito de garimpo do ig. Fé em Deus. Primeira etapa de campo.	62
Figura 14: Gráficos de correlação das amostras de rejeito de garimpo do ig. Fé em Deus. Segunda etapa de campo. a) Hg x CO b) PF x CO c) Hg x PF	64
Figura 15: Histograma de mercúrio das amostras de rejeito de garimpo do Ig. Fé em	

	Deus. Segunda etapa de campo.	65
Figura 16:	Gráfico de correlação entre PF x CO das amostras de sedimento de corrente do rio Rato. Primeira etapa de campo.	68
Figura 17:	Histograma do mercúrio das amostras de sedimentos de corrente do rio Rato. Primeira etapa de campo.	69
Figura 18:	Gráfico de correlação entre PF x CO das amostras de sedimento de corrente do ig. Fé em Deus. Primeira etapa de campo.	73
Figura 19:	Histograma do mercúrio das amostras de sedimentos de corrente dos ig. tributários do rio Rato. Primeira etapa de campo.	75
Figura 20:	Gráfico de correlação entre PF x CO das amostras de sedimento de corrente dos ig. tributários do rio Rato. Primeira etapa de campo.	76
Figura 21:	Histograma do mercúrio das amostras de solo do ig. Fé em Deus. Primeira etapa de campo.	79
Figura 22:	Gráficos de correlação das amostras de solo do ig. Fé em Deus. Primeira etapa de campo. a) Hg x PF b) PF x CO	80
Figura 23:	Histograma do mercúrio das amostras de solo com TPA. Primeira etapa de campo.	82
Figura 24:	Gráfico de correlação entre PF x CO das amostras de solo com TPA. Segunda etapa de campo.	84
Figura 25:	Histograma do mercúrio das amostras de solo com TPA. Segunda etapa de campo.	85

2. TABELAS

	p.
Tabela 1: Produção oficial de ouro no Estado do Pará, no ano de 1990.	18
Tabela 2: Resultado das análises químicas de amostras de rejeito de garimpo do rio Rato. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.	52
Tabela 3: Resultado das análises químicas de amostras de rejeito de garimpo do rio Rato. Segunda etapa de campo / julho de 1993.	56
Tabela 4: Resultado das análises químicas de amostras de rejeito de garimpo do ig. Fé em Deus. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.	59
Tabela 5: Resultado das análises químicas de amostras de rejeito de garimpo do ig. Fé em Deus. Segunda etapa de campo / julho de 1993.	63
Tabela 6: Resultado das análises químicas de amostras de sedimento de corrente do rio Rato. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.	67
Tabela 7: Resultado das análises químicas de amostras de sedimento de corrente do rio Rato. Segunda etapa de campo / julho de 1993.	70
Tabela 8: Resultado das análises químicas de amostras de sedimento de corrente do ig. Fé em Deus. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.	71
Tabela 9: Resultado das análises químicas de amostras de sedimento de corrente dos ig. tributários do rio Rato. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.	74
Tabela 10: Resultado das análises químicas de amostras de solo do ig. Fé em Deus. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.	78
Tabela 11: Resultado das análises químicas das amostras de solo com Terra Preta Arqueológica da "corrutela" Piririma. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.	81
Tabela 12: Resultado das análises químicas das amostras de solo com Terra Preta Arqueológica da "corrutela" Piririma. Segunda etapa de campo / julho de 1993.	83

3. QUADROS

	p.
Quadro 1: Estatística descritiva das amostras de rejeito de garimpo do rio Rato. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.	52
Quadro 2: Estatística descritiva das amostras de rejeito de garimpo do rio Rato. Segunda etapa de campo / julho de 1993.	56
Quadro 3: Estatística descritiva das amostras de rejeito de garimpo do ig. Fé em Deus. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.	59
Quadro 4: Estatística descritiva das amostras de rejeito de garimpo do ig. Fé em Deus. Segunda etapa de campo / julho de 1993.	63
Quadro 5: Estatística descritiva das amostras de sedimento de corrente do rio Rato. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.	67
Quadro 6: Estatística descritiva das amostras de sedimento de corrente do rio Rato. Segunda etapa de campo / julho de 1993.	70
Quadro 7: Estatística descritiva das amostras de sedimento de corrente do ig. Fé em Deus. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.	71
Quadro 8: Estatística descritiva das amostras de sedimento de corrente dos ig. tributários do rio Rato. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.	74
Quadro 9: Estatística descritiva das amostras de solo do ig. Fé em Deus. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.	78
Quadro 10: Estatística descritiva das amostras de solo com Terra Preta Arqueológica da "corrutela" Piririma. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.	81
Quadro 11: Estatística descritiva das amostras de solo com Terra Preta Arqueológica da "corrutela" Piririma. Segunda etapa de campo / julho de 1993.	83
Quadro 12: Resultado da análise de mercúrio (Hg) em ppm, das amostras dos perfis realizados no solo com TPA na "corrutela" Piririma.	86
Quadro 13: Teores médios (ppm) encontrados nos rejeitos de garimpo, sedimentos de corrente, solo e solo com Terra Preta Arqueológica - Primeira etapa de campo / agosto de 1992.	90
Quadro 14: Teores médios (ppm) encontrados nos rejeitos de garimpo, sedimentos de corrente, solo e solo com Terra Preta Arqueológica - Segunda etapa de campo / julho de 1993.	90

4. ANEXOS		p.
Anexo 1:	Vista aérea da “corrutela” Piririma e da pista de pouso, às margens do rio Rato	104
Anexo 2:	Solo com TPA rico em matéria orgânica, na “corrutela” Piririma. Ao fundo, observa-se bananeiras gigantes.	105
Anexo 3:	Vestígios de fragmentos cerâmicos arqueológicos no início da pista de pouso.	106
Anexo 4:	Peças de cerâmica arqueológica encontradas na área estudada.	106
Anexo 5:	Vista parcial do ig. Fé em Deus. Ao fundo, o desmatamento da floresta para exploração do ouro.	107
Anexo 6:	Encontro do rio Rato, de água amarelada turva (como consequência do assoreamento pelo desmonte dos barrancos) com o igarapé Tachi, de água escura transparente.....	107
Anexo 7:	Desmonte hidráulico com “chupadeira” do barranco em um dos garimpos de “baixão”.	108
Anexo 8:	Caixa concentradora (“cobra fumando”) em operação no ig. Fé em Deus. Local onde teve início a coleta de amostras.	108
Anexo 9:	Barraco de queima do amálgama Hg-Au na “corrutela” Piririma.	109
Anexo 10:	Queima com maçarico do amálgama Hg-Au. Ponto de emissão de mercúrio na corrutela “Piririma”.	109
Anexo 11:	Vista de um trecho do rio Rato assoreado pelo rejeito da “chupadeira”.	110
Anexo 12:	Banco de rejeito de garimpo de balsa acumulado nas margens do rio Rato, aflorando quando o nível da água é baixo	110
Anexo 13:	Mapa de localização de amostras de sedimentos e rejeitos do rio Rato e ig. tributários.	111
Anexo 14:	Mapa esquemático de localização de amostras de solos com TPA.	112
Anexo 15:	Lista de amostras de sedimentos de corrente, solo, solo com Terra Preta Arqueológica e rejeito de garimpo, coletadas na primeira etapa de campo, em agosto de 1992.	113
Anexo 16:	Lista de amostras de sedimentos de corrente, solo, solo com Terra Preta Arqueológica e rejeito de garimpo, coletadas na segunda etapa de campo,	

	em julho de 1993.....	116
Anexo 17:	Encontro das águas do rio Rato com o rio Tapajós. Ponto mais extremo do rio Rato, onde coletou-se amostras	118
Anexo 18:	Queimador/retorta para queima do amálgama Hg-Au e recuperação do mercúrio, no igarapé Fé em Deus.	119

RESUMO

O rio Rato localiza-se na porção sudoeste do Estado do Pará, no sudeste da cidade de Itaituba, principal centro garimpeiro da região. O trecho mapeado, que possui uma extensão aproximada de 60 km, sofre grandes impactos ambientais devido a exploração do ouro.

Para a avaliação da distribuição das concentrações de mercúrio total na bacia do rio Rato, foram realizadas duas campanhas de campo, coletando-se 161 amostras. A análise de mercúrio total foi realizada por absorção atômica com a técnica de vapor frio, sendo antes realizada a digestão química das amostras, por meio de H_2SO_4 , HNO_3 e V_2O_5 .

Através das análises de sedimentos de corrente, rejeito de garimpo, solos e solos com Terra Preta Arqueológica (TPA), foram determinadas as concentrações de mercúrio total, carbono orgânico e perda ao fogo, com o objetivo de se encontrar correlações entre estas três variáveis.

Os valores mínimos, máximos, médios e o desvio padrão identificados no tratamento estatístico, foram utilizados como parâmetros para avaliação da poluição da área, e também para comparação com os limites máximos propostos em outros estudos, sendo as amostras distribuídas em sete grupos, de acordo com a etapa de amostragem, o tipo de amostra e o local da coleta.

Em todos os tipos de materiais coletados, em que houve oportunidade de se comparar os resultados das duas campanhas de campo, estes sempre foram mais altos na primeira campanha, reflexo de uma maior atividade garimpeira, possibilitada por ser época de pouca chuva.

Em poucas oportunidades, observou-se correlação entre o mercúrio e as outras duas variáveis (carbono orgânico e perda ao fogo), confirmando a ocasionalidade da poluição por mercúrio, observando-se que, o que define na realidade a distribuição de mercúrio no garimpo são fatores como o tipo de exploração, época de atividade e granulometria e localização das amostras, refletindo situações pontuais e específicas.

Em todos os grupos, observou-se que grande parte das amostras, apresentam concentrações superiores ao *background* regional, concluindo-se, portanto, que o mercúrio utilizado em torno do rio Rato e seus tributários está provocando a contaminação do ambiente.

ABSTRACT

The rio Rato located in Itaituba, SW of Pará State, is the principal mercury mining center of the region. The surveyed stretch of approximately 60 km, suffers a great environmental impact, due to gold mining activities.

Two field campaigns were conducted and 161 samples were collected for analysis. Total mercury content was determined by cold vapor atomic absorption (CVAS), prior to chemical digestion with H_2SO_4 , HNO_3 and V_2O_5 .

The mercury concentration was determined in stream sediments, mining tailings, soils and black earth archeological soils. Organic carbon and loss on ignition (LOI) were also determined to correlate with mercury data.

Statistical parameters, such as minimum, maximum, average and standard deviation were used to evaluate the pollution degree of the area and also for comparison with data from other studies. Samples were distributed in seven groups according to field campaign period, type of sample and sample site.

For all types of samples, the results obtained from the first field campaign were higher than those from the second campaign, indicating that mining activities are more intense during the dry season.

Significant correlation between mercury concentrations and other two variables (organic carbon and LOI) was observed only in a few sample. This observation supports the alleatoricity of the contaminations, and shows that mercury distribution depends on the type of exploitation, season, granulometry and sample location.

Most samples show mercury concentrations greater than the regional background, which represents a general environmental contamination.

1. INTRODUÇÃO

O mercúrio (Hg) é o 16º elemento mais raro na natureza, e o seu uso indiscriminado tem provocado desastres ecológicos, como ocorreu pela primeira vez na Baía de Minamata no Japão e, vem ocorrendo, até hoje, principalmente no Brasil, onde as maiores fontes de poluição envolvem o uso deste elemento para fazer amálgama com o ouro nos garimpos (SOUZA, 1990).

A extração do ouro através da garimpagem constitui-se em um processo irracional de exploração dos recursos minerais (SILVA *et al.*, 1990). Apesar de ser uma atividade secular no Brasil, a garimpagem de ouro na região do Tapajós teve seu desenvolvimento a partir dos anos 50, quando foi descoberto o ouro aluvionar no rio das Tropas, afluente da margem direita do rio Tapajós (RODRIGUES, *et al.*, 1994). Em três décadas, o processo de extração de ouro, que era feito através de equipamentos rudimentares, passou a ser feito com o auxílio de máquinas a motor, o que resultou em volumes cada vez maiores de material trabalhado, no anseio de recuperar o bem mineral em maior quantidade. Apesar da tecnologia disponível, o mercúrio continua sendo muito utilizado no processo de concentração e apuração do ouro, comprometendo assim o meio ambiente.

O Brasil não é produtor de mercúrio e, portanto, todas as suas necessidades do metal são supridas através de importação. Dados da então CACEX (GEDEBAM, 1991) indicam que o valor global de mercúrio importado na década de 80 foi de 2.500 t. Deste total cerca de 50% pode ter sido utilizado nos garimpos (BEZERRA, 1990), o que dá uma média de 125 t/ano.

Os danos causados ao meio ambiente pelo mercúrio (utilizado no processo convencional de separação do ouro em áreas de mineração), vêm sendo objeto de estudo por inúmeros pesquisadores no mundo inteiro. No Brasil, a contaminação por mercúrio, em áreas de mineração de ouro, especialmente na Região Norte do país, constitui um problema de grande complexidade, já que é difícil de se estudar, devido a grande extensão da Amazônia, aliado a falta de recursos, e

por ser uma contaminação pontual exige uma densidade de amostras muito grande (WILKEN, 1992).

A intensificação da atividade mineradora expõe o ecossistema da Amazônia Brasileira aos efeitos do mercúrio metálico, empregado em larga escala no processo convencional de extração de ouro. A simplicidade do método, cujo princípio reside na retirada de pequenas partículas de ouro por amalgamação com mercúrio, constitui seu ponto alto. Segundo PFEIFFER (1992), o único processo alternativo que remove o ouro por cianetação, é inviável aos pequenos mineradores, tanto do ponto de vista prático, quanto econômico, ficando seu uso restrito às poucas mineradoras de grande porte.

As transformações sofridas pelo mercúrio em um ecossistema tropical, supostamente ocorrem em velocidades muito maiores que nas zonas temperadas. Esta é a razão que explica o grande interesse demonstrado por especialistas de países como a Alemanha, a Suécia, a Finlândia e o Japão em investigar o comportamento em regiões tropicais, como a Amazônia. As emissões de mercúrio para a atmosfera na região amazônica, correspondem a cerca de 6% da totalidade da emissão antropogênica mundial de mercúrio (PFEIFFER, 1992). Os estudos dos efeitos do mercúrio e do material particulado sobre o homem e o meio ambiente também têm recebido destaque especial nas atividades dos que lidam com a questão ambiental na Amazônia.

O local escolhido para executar este trabalho, foi a bacia do rio Rato por apresentar uma elevada atividade garimpeira e ser pouco estudada. Neste estudo estão relatados os resultados encontrados, bem como as análises, conclusões e opiniões, buscando o conhecimento da distribuição de mercúrio total em solos, solos com Terra Preta Arqueológica (TPA), sedimentos de corrente e rejeito de garimpo, na área de influência do garimpo do rio Rato, município de Itaituba-PA.

Devido a afinidade do mercúrio natural com a matéria orgânica, foram feitas determinações de perda ao fogo e carbono orgânico, buscando-se encontrar alguma correlação com o teor de mercúrio verificado nas amostras.

O objetivo geral deste trabalho é o de avaliar a distribuição de mercúrio total na área do rio Rato, e os objetivos específicos são:

- 1- realizar um diagnóstico ambiental da área
- 2- tornar de conhecimento público uma série de dados existentes sobre a bacia do rio Rato, que apesar da densidade de amostragem ser baixa, servem de indicativo de contaminação, uma vez que a maioria das dosagens acusam a presença do metal e muitas das quais revelam teores acima do limite (0,3 ppm), considerados aceitáveis nesta área;
- 3- comparar os resultados obtidos nas duas campanhas de campo;
- 4- melhorar o número de informações que se tem atualmente sobre o uso do mercúrio na região do Tapajós, especialmente no rio Rato;
- 5- informar sobre os perigos que o uso indiscriminado do mercúrio no garimpo pode causar ao meio ambiente e avançar na pesquisa sobre o mercúrio na Região.

2. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO ESTUDADA

2.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A pista e garimpo Piririma, as margens do rio Rato, está localizada na porção sudoeste do Estado do Pará, na Região Norte, no sudoeste da cidade de Itaituba, sede do município homônimo e principal centro das atividades garimpeiras da região. A bacia hidrográfica do rio Rato é praticamente desconhecida em virtude da inexistência de cartografia em escala adequada.

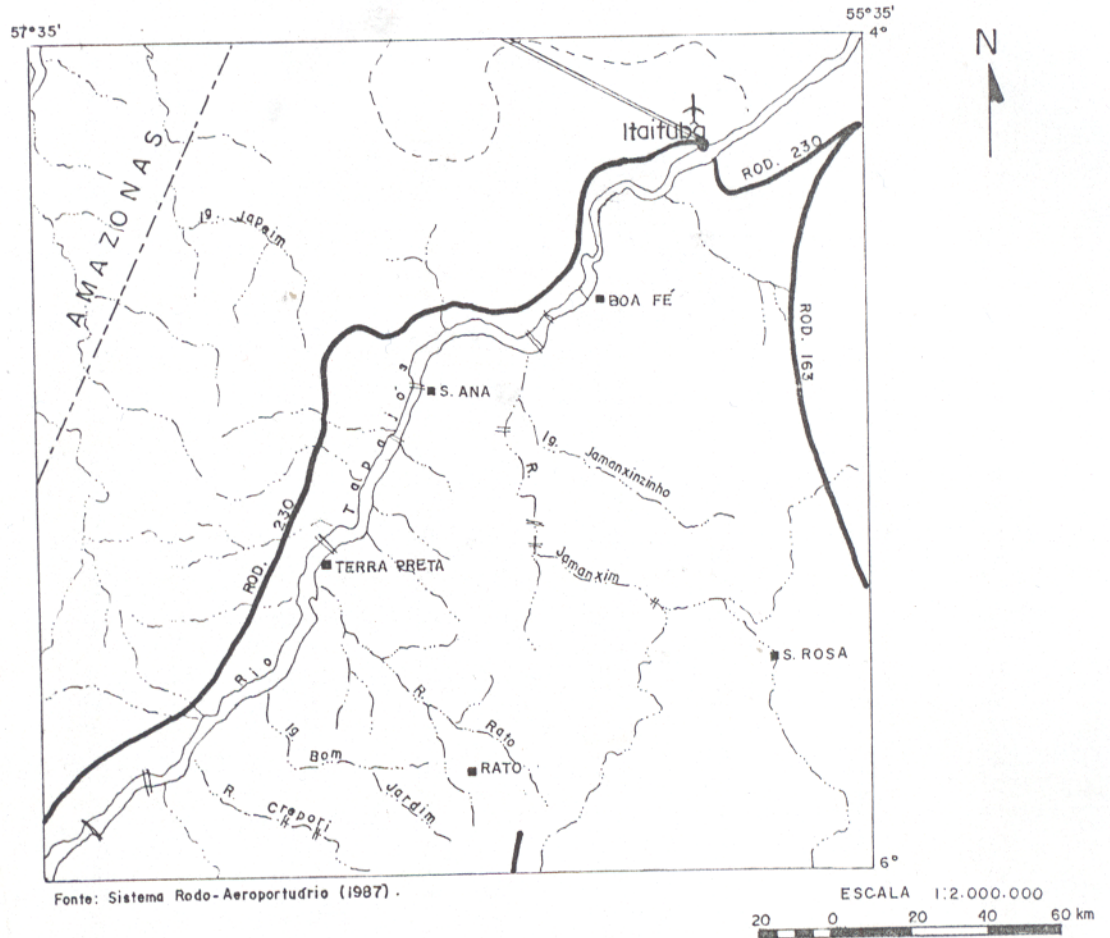
O trecho estudado, com extensão aproximada de 60 km, corresponde a foz e ao baixo curso do rio Rato (afluente da margem direita do médio Tapajós) e sua área aluvionar. Encontra-se limitado pelos paralelos 05°19'07" S e 05°36'31" S e meridianos 56°40'21" WGr e 56°57'00" WGr, na Folha SB. 21-X-C (rio Jamanxim) (Figura 1 e Anexo 1).

O acesso a área do Garimpo Piririma é feito, principalmente, por via aérea, através de aviões monomotores que, partindo de Itaituba, gastam cerca de 40 minutos de voo, e secundariamente, por via do rio Tapajós.

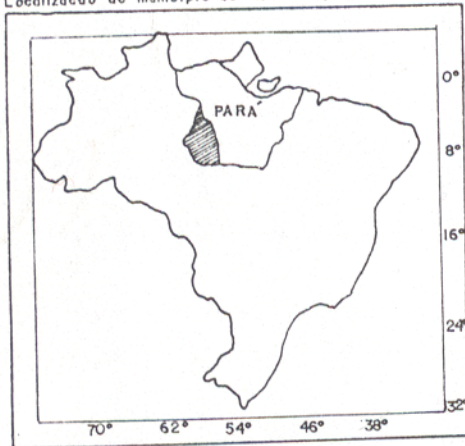
2.2. ASPECTOS FISIOGRAFICOS

2.2.1. Clima

A região estudada possui um clima tropical, quente e úmido, enquadrado no sub-tipo climático **Am** da classificação de Köppen, mais especificamente no tipo **Am4**. Esta última subdivisão adotada por MARTORANO *et al.* (1993). Este tipo climático caracteriza-se por apresentar uma precipitação pluviométrica anual entre 1500 a 2000mm, localizando-se dentro de uma área chamada de "corredor seco" no Estado do Pará. A média das temperaturas máximas anuais fica em torno de 32,1°C e das mínimas em 22,4°C. A umidade relativa do ar está em torno de 88% (Brasil *apud* MARTORANO *et al.*, *op. cit.*). A época mais chuvosa ocorre nos meses de dezembro a maio, ao passo que os meses mais secos são de junho a novembro.



Localização do município de Itaituba:



Legenda









-  RODOVIA
-  LIMITE INTERESTADUAL
-  PARQUE E RESERVAS
-  RIOS
-  QUEDA D'ÁGUA
-  SEDE MUNICIPAL
-  PEQUENAS LOCALIDADES
-  AEROPORTO

Figura 1 : Mapa de localização

2.2.2. Vegetação

Na região, excetuando-se pequenas áreas desmatadas para agropecuária e outras cobertas por Formações Pioneiras, é revestida pela floresta, destacando-se a **Floresta Densa**; que ocupa os baixos platôs, zonas areníticas do Pré-Cambriano, áreas dissecadas, outras de relevo ondulado e ainda de terraços aluviais. Ocorre ainda a **Floresta Aberta Latifoliada** que ocupa tanto a parte do Terciário como do Pré-Cambriano, em superfícies aplainadas, acidentadas e tabulares e, de **Floresta Aberta Mista** quando as palmáceas ocupam áreas consideráveis. As Formações Pioneras ocupam as áreas deprimidas, periodicamente inundadas, cobertas por vegetação arbustivas e algumas ciperáceas (TEREZO *et al.*, 1975).

Na região do Município de Itaituba ocorre uma Floresta de Terra Baixa, que reveste a área de terraços com cobertura uniforme ao longo do rio Tapajós e alguns afluentes, além de coberturas emergentes, destacando-se as espécies *Ponteira paraensis*, *Protium poeppigiaanum* e *Mezilaurus itaituba* em áreas de baixos platôs, ao longo dos rios onde o relevo é tabular (TEREZO *et al.*, *op. cit.*).

Localmente, a área estudada é revestida por floresta com árvores muito altas (cerca de 40 m), sendo que nas áreas de garimpo encontram-se clareiras, aproximadamente nas proporções de um campo de futebol, resultantes do desmatamento. Observa-se na "corrutela", o desenvolvimento de bananeiras muito maiores que as normais. Esta particularidade talvez seja devido ao fato destas plantas estarem situadas em solos com Terra Preta Arqueológica (TPA), que são ricos em matéria orgânica.

2.2.3. Relevo

O relevo relaciona-se aos principais traços estruturais da geologia regional, onde se destacam a Bacia Paleozóica do Amazonas e os grandes blocos constituídos basicamente de

rochas cristalinas integrantes dos escudos Brasil Central e das Guianas, respectivamente, o primeiro ao sul e o segundo ao norte da Bacia Sedimentar do Amazonas (IBGE, 1989).

A área de estudo insere-se, segundo IBGE (*op. cit.*), em duas regiões geomorfológicas: Planaltos Residuais da Amazônia Meridional e Depressão da Amazônia Meridional.

Os Planaltos Residuais da Amazônia Meridional representam um agrupamento de relevos interpenetrados pela superfície pediplanada da Depressão da Amazônia Meridional. Pela sua intensa fragmentação, expressão espacial e heterogeneidade constituem unidades ampliadas, com sub-unidades, algumas das quais podem ser destacadas como a Serra dos Pacaás Novos, Serra do Cachimbo, Serra dos Caiabis, Serra do Sucunduri, Serra do Cubencianquém e outros grupos de serras com características próprias que são importantes na economia nacional, como por exemplo a Serra dos Carajás.

Na área estudada, a Depressão da Amazônia Meridional ligou-se morfogenicamente à atuação de processos erosivos controlados pela estrutura regional e pelos diversos litotipos, resultando numa superfície muito rebaixada em relação aos relevos residuais adjacentes. Esta unidade apresenta-se compartimentada com feições de relevo diferentes, mantendo, contudo, a característica geral de depressão. Os relevos dissecados estão intercalados com setores conservados, possuem topo plano, estão associados a colinas de porte variado e são resultantes da pediplanação pleistocênica.

2.2.4. Geologia

A área insere-se geologicamente no contexto da Província do Tapajós, que é formada em sua quase totalidade por rochas pré-cambrianas e unidades pertencentes a Bacia Sedimentar do Amazonas.

As rochas de idade pré-cambriana são constituídas por rochas metamórficas arqueanas do embasamento cristalino e de rochas magmáticas e sedimentares do Proterozóico Médio (IBGE, 1989).

As unidades pertencentes a Bacia sedimentar do Amazonas são divididas em 3 sequências: a primeira foi depositada entre o Ordoviciano e o Neo-Carbonífero sendo constituída por uma sequência clástica; a segunda é representada por uma sequência de sedimentos químicos depositados do Neo-Carbonífero ao Permiano e, a última sequência é constituída por sedimentos clásticos fluviais do Meso-Cenozóico. Tais sequências foram recobertas por sedimentos inconsolidados, constituídos por cascalhos, areias siltes e argilas (RODRIGUES *et al.*, 1994).

Localmente, observa-se que na área aflora uma rocha granitóide de textura grossa, que deve dar origem a todo o material de montoneira. No perfil de solo, sob a mata, em cortes, observa-se o regolito, eluvião, onde se percebe ainda a textura granitóide do regolito que, em partes é de textura fina, o que pode representar uma variação litológica primária do embasamento. São observados vários espaços vazios pequenos, sugerindo a dissolução de minerais. Por outro lado, a textura é fina e a consistência rígida, pouco friável, o que pode ser consequência do enriquecimento secundário de minerais, como “cimento”, associado ao intemperismo laterítico.

O local onde se encontra instalada a “corrutela”, que é um vilarejo onde se desenvolve a vida social do garimpo, constitui-se principalmente de solo com Terra Preta Arqueológica (TPA), rico em matéria orgânica. Este tipo de solo, neste local, tem uma profundidade média de 30 cm, aparecendo ao final da TPA um solo argiloso amarelado, semelhante ao que se desenvolve nos

arredores, coberto pela floresta. Devido aos restos de cerâmica indígena que ocorrem em parte da pista de pouso do vilarejo, verifica-se que esta foi construída sobre um sítio arqueológico (Anexos 2, 3 e 4).

2.2.5. Hidrografia

A região apresenta uma densa rede hidrográfica com destaque para a bacia do rio Tapajós, afluente da margem direita do rio Amazonas. O rio Tapajós é formado a partir da junção dos rios Juruena e São Manuel ou Teles Pires e tem como principais afluentes os rios Arapiuns, Jamanxim, Crepori e Tropas, entre outros, sendo que o rio Rato constitui um dos muitos afluentes da margem direita de seu médio curso. Os rios Juruena e Teles Pires são denominados rios de águas claras por possuírem pequeno transporte de sedimentos argilosos (IBGE, 1989, RODRIGUES *et al.*, 1994), o que não acontece com o rio Rato que se apresenta bastante turvo, devido os sedimentos argilosos provenientes da atividade garimpeira.

Na região da Depressão da Amazônia Meridional, a rede hidrográfica desenvolve cursos por vezes encaixados, ao longo dos quais as planícies se estreitam ou desaparecem, e ao longo dos rios aparecem ilhas formadas por afloramentos rochosos (IBGE, 1989). O rio Tapajós e seus afluentes apresentam-se com trechos encachoeirados, com dificuldades de navegação e poucas áreas de espraiamento a partir de sua entrada. Na área dos planaltos, em terrenos paleozóicos, o rio torna-se mais navegável e com maior área de espraiamento (RODRIGUES *et al.*, 1994).

O rio Rato, onde foi coletado a maioria das amostras de sedimento para este trabalho, apresenta um grande transporte de sedimentos argilosos, devido ao trabalho de exploração dos garimpos em quase toda a sua extensão. É um rio relativamente raso, com grandes blocos de rochas no seu leito, o que dificulta a navegação em época de estiagem, e é habitado por jacarés em quantidade, mas com poucos peixes, talvez devido ao assoreamento e aumento da turbidez do rio,

que dificulta o desenvolvimento da vida aquática. O rio Rato possui vários igarapés como afluentes, sendo que a maioria é estreito (cerca de 5m) e raso, com muita vegetação em volta, que secam em épocas de águas baixas. Em alguns dos igarapés visitados durante este trabalho, é possível a entrada, no máximo, cerca de 50 m com a voadeira e cerca de 100 m a pé com relativa facilidade. No igarapé Fé em Deus, devido a sua dimensão e ao fato de que quase toda a sua área já foi trabalhada por garimpeiro, estando suas margens limpas de vegetação, foi possível um estudo mais detalhado a pé, desde sua parte média até a sua desembocadura no rio Rato. Alguns igarapés possuem águas turvas, por causa dos sedimentos em suspensão, resultante do garimpo em seu leito, outros que possuem drenagem natural como o Tachi, o Visagem e o Jacundá, apresentam uma cor escura transparente, que denota a presença de matéria orgânica dissolvida (Anexos 5 e 6).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. HISTÓRICO

O mercúrio foi mencionado 300 anos a.C. por Theophrastus, que o chamou de *chutos argyros*, prata viva ou prata líquida e estabeleceu que se podia prepará-lo triturando cinábrio com vinagre num recipiente de cobre. Discorides chamou *Hydor Argyros*, prata líquida; daí o nome latino *Hydrargyrum* e o símbolo atual, Hg. Este metal exercia certa fascinação sobre os alquimistas que durante algum tempo, acreditaram que o mercúrio ou algo semelhante fosse um constituinte de todos os metais. Foi denominado "mercúrio volátil leve", por analogia com o mercúrio da mitologia (MELLOR, 1967).

Segundo DUARTE (1977), desde 1863 os compostos orgânicos mercuriais são utilizados em pesquisa química. Por esta época, a observação já havia demonstrado que alguns artesãos apresentavam quadros típicos de envenenamento. Era o caso, por exemplo, dos chapeleiros de 1800. Os chapéus eram feitos de feltro, que era tratado com compostos metil-mercuriais, e seus fabricantes tinham dificuldade para falar e andar e seus movimentos não eram bem coordenados.

Em 1950, ornitologistas suecos alarmaram-se com uma brusca diminuição de população de pássaros em zonas de agricultura. Como o fato se deu em regiões onde há dez anos vinham usando fungicidas mercuriais nas plantações, o mesmo não acontecendo nas demais áreas, eles sugeriram a possibilidade de haver relação entre essas duas variáveis. Logo depois animais predadores aparecem mortos também, mas só em 1967 é que se chegaria a conclusão de que o tóxico que causara os envenenamentos era o metilmercúrio. A esta altura, teores alarmantes de mercúrio foram encontrados em peixes de água doce (DUARTE, 1977).

Por volta de 1953, uma doença começou a ocorrer em Minamata, uma aldeia do Japão. Os sintomas observáveis eram neurológicos. Algumas pessoas faleceram e houve um acentuado aumento de bebês deformados. A análise do lodo anaeróbico no fundo da baía rasa em torno do

qual a população se agrupava, revelou uma concentração elevada de mercúrio, principalmente na forma elementar, que chegava a 2,1g/Kg. A fonte de poluição era uma fábrica que usava sulfato de mercúrio (Hg_2SO_4) como catalisador. A resposta do problema só seria encontrada cerca de 15 anos depois, com ajuda da cromatografia de gás, quando foi verificado que os tecidos dos pássaros e dos peixes dos lagos continham traços significativos do dimetilmercúrio (CH_3HgCH_3), um derivado do mercúrio (OTTAWAY, 1982).

De acordo com JENSEN & JERNELOV (1969), resíduos industriais contendo mercúrio lançados em água de rios ou lagos haviam sido metilados no lodo por ação bacteriana e a metilação do mercúrio podia se dar tanto de forma enzimática como não enzimaticamente.

Dois anos antes de surgir o problema, uma fábrica que sintetizava acetaldeído a partir de acetileno, empregando mercúrio como catalisador, foi instalada às margens do rio Minamata e nele lançava seus resíduos industriais. Coadjuvado pelo problema da Suécia, o Mal de Minamata atraiu a atenção do mundo, surgindo estudos e pesquisas em torno da degradação do mercúrio e da sua concentração no peixe e na cadeia alimentar. Lamentavelmente, foi preciso essa dramática situação japonesa, em que cerca de 150 pessoas foram envenenadas entre 1953 e 1960 (das quais 19 foram casos congênitos) para que surgissem estudos sobre metilação do mercúrio, sobre a toxidez do metilmercúrio e sobre como ele se acumula nos organismos e chega ao homem através da cadeia alimentar (DUARTE, 1977).

O segundo surto ocorreu entre 1964 e 1965 em Niigata, também no Japão, pelos mesmos motivos, apenas com menos casos registrados, sendo que as fábricas de papel Tisso Corporation e a Showa-Denko Corporation foram as responsáveis pela poluição de Minamata e Niigata, respectivamente (MAL, 1992).

A partir destes episódios que ocorreram em Minamata, Suécia e Niigata, os pesquisadores passaram a dar uma maior importância aos problemas provocados pela utilização do mercúrio e

seus derivados, e começaram a surgir importantes estudos sobre seus mecanismos, riscos para a saúde do homem e as consequências para o meio ambiente.

Nos últimos dez anos a garimpagem de ouro no norte do Brasil, tornou-se uma importante fonte de contaminação de mercúrio, principalmente nos estados do Pará, Rondônia, Roraima e Mato Grosso, sendo que as principais bacias contaminadas são as do Tapajós, Madeira, Jari e Gurupi (MALM *et al.*, 1990)

Em 1988 foi estabelecido um programa, chamado Nossa Natureza, para a proteção do ecossistema amazônico, propondo estudos e projetos relacionados aos problemas surgidos pelo uso de mercúrio em áreas de garimpo, e desde 1989 o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), é o órgão responsável pela formulação e coordenação da política ambiental nacional (Ministério da Saúde, DNEHSA *apud* BRABO, 1992).

Em 1991 o Governo do estado do Pará, elaborou o Programa de Controle Ambiental da Garimpagem do rio Tapajós (CAMGA-TAPAJÓs), com o objetivo de estudar os problemas oriundos dos garimpos (RODRIGUES *et al.*, 1994).

3.2. PRODUÇÃO GARIMPEIRA DO ESTADO DO PARÁ

De acordo com SILVA *et al.* (1989), em toda Amazônia extrai-se ouro por processo de garimpagem em uma área de cerca de 16,6 milhões de ha (3,9% da superfície total da Amazônia Legal, distribuída, por Unidade de Federação, da seguinte maneira: Pará, 10 milhões de ha (150 mil); Amapá, 1,5 milhão de ha (15 mil); Roraima, 1,8 milhão de ha (35 mil); Maranhão, 0,8 milhão de ha (10 mil) e Rondônia, 0,1 milhão de ha (50 mil). Em consequência disso, as bacias das grandes drenagens, como: Madeira, Tapajós, Itacaiunas, Xingu, Fresco, Gurupi, Piriá, Jari, Juruena, Teles Pires, Tepequém, Uraricoera, Tromai, Maracaçumé, Oiapoque, Cassiporé,

Amapari, Araguari e Tartarugal, etc., poderiam estar com o meio ambiente sob a ameaça da ação nociva do mercúrio, sendo que muitas destas bacias drenam reservas indígenas.

Dados oficiais informam que, entre 1980/87, os garimpeiros brasileiros produziram 182,3 t de ouro (DNPM *apud* SILVA *et al.*, 1989), o que equivaleira a uma produção real de algo em torno de 900 t (dados assumidos abertamente por entidades garimpeiras como o Sindicato Nacional dos Garimpeiros e a USAGAL). Se for considerado que para recuperar cada grama de ouro são necessários dois de mercúrio, ter-se-iam acumulados nas bacias hidrográficas citadas cerca de 1.800 t de mercúrio, apenas no período considerado, que pelas características do metal provavelmente uma fração já estaria se transformando em mercúrio orgânico, um dos seus derivados mais tóxicos (SILVA *et al.*, 1989).

A produção brasileira de ouro em 1990 foi de 98,3 t, das quais 70% foram provenientes de garimpos. O Estado do Pará, o segundo colocado na produção aurífera brasileira, só ultrapassado pelo Estado de Mato Grosso, produziu em 1990 21,7 t de ouro, das quais 99,5% foram provenientes de garimpo. O município que obteve a maior produção de ouro foi o de Itaituba na região do Tapajós, com 12,21 t representando 56,3% do total da produção paraense (Tabela 1) (SEICOM, 1990).

De uma área oficial de 3,2 milhões de ha destinada a garimpagem de ouro, em toda a Amazônia Legal, esta atividade ocupa hoje, uma superfície de 16,7 milhões de ha, envolvendo cerca de 600 mil pessoas. O Estado do Pará com uma superfície de 1.248.042 km² representando 14,7% da superfície do país, produz atualmente 15 substâncias minerais entre as quais o ouro (SEICOM, 1990).

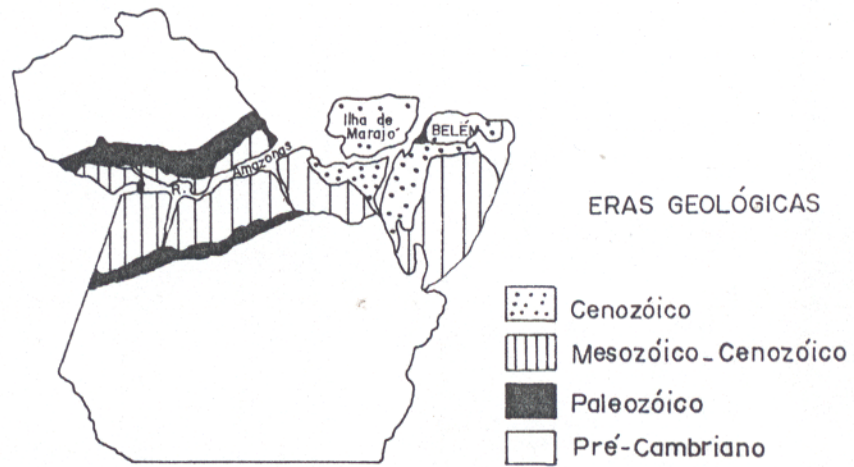
As reservas de ouro no Estado do Pará até o ano de 1988 eram de cerca de 11 t (metal contido nas reservas medidas de empresas de mineração, excluídas as reservas de garimpos), com uma participação nas reservas brasileiras de 2,4%. Os ambientes geológicos do estado (Figura 2)

Tabela 1: Produção oficial de ouro no Estado do Pará, no ano de 1990

<i>Municípios</i>	<i>Produção de Ouro (kg)</i>	<i>Total (%)</i>
Itaituba	12.216,38	56,29
Redenção	2.240,97	10,32
Tucumã	1.427,68	6,57
Santarém	968,97	4,46
Ourilândia do Norte	634,59	2,92
Viseu	623,37	2,87
Marabá	583,87	2,69
Almerim	460,04	2,11
Rio Maria	405,93	1,87
Altamira	391,98	1,80
Sen. José Porfírio	330,36	1,52
Curionópolis *	280,85	1,29
Belém	268,33	1,23
Santana do Araguaia	257,52	1,18
Xinguara	246,80	1,13
Aveiro	228,49	1,05
Oriximiná	53,27	0,24
Pacajá	31,66	0,14
Conceição do Araguaia	28,18	0,12
Tucuruí	13,75	0,06
Parauapebas	4,98	0,02
Sta. Maria das Barreiras	1,79	0,00
Sta. Maria do Pará	0,63	0,00
Castanhal	0,57	0,00
Paragominas	0,16	0,00
São Geraldo do Araguaia	0,02	0,00
TOTAL	21.701,14	100,00

Fonte: Banco Central do Brasil/GAEM-SEICOM *apud* SEICOM, (1990).

* Inclui Serra Pelada



Fonte: SEICOM, 1990

Figura 2: Esboço Geológico do Estado do Pará.

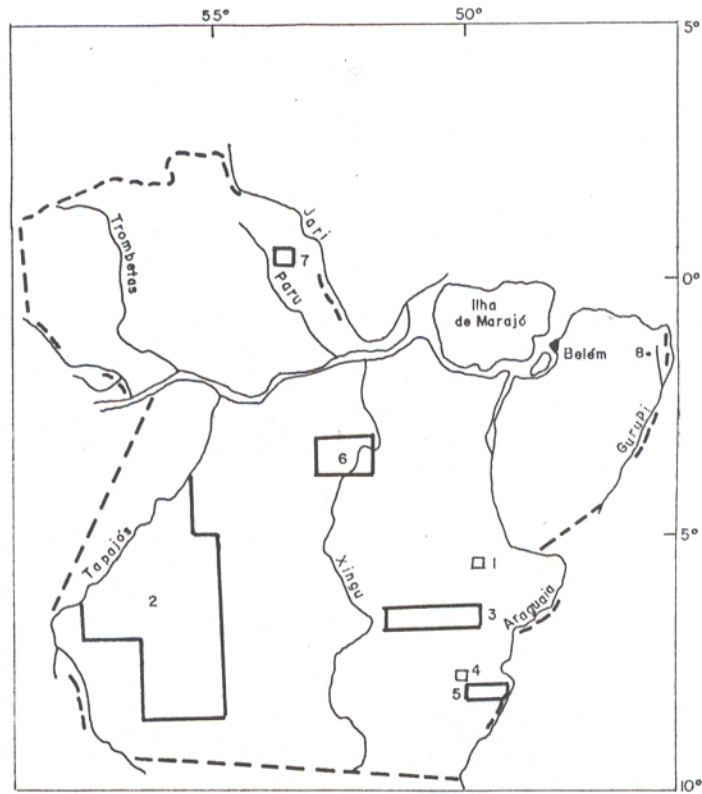
apresentam grande potencial para hospedar diversos depósitos minerais, com destaque para as unidades pré-cambrianas (onde está inserida a área estudada) e cenozóicas que são favoráveis a prospecção de ouro, e na Figura 3 estão assinalados os principais distritos garimpeiros de ouro do estado (SEICOM, 1990).

De acordo com RODRIGUES *et al.* (1994), entre as regiões garimpeiras produtoras de ouro, a bacia do Tapajós possui grande destaque. Reunindo-se as produções do Tapajós-Parauari e do norte do Mato Grosso, nota-se que esta bacia tem contribuído com aproximadamente a metade do ouro produzido pelos garimpos no Brasil (do mínimo anual de 42% ao máximo de 57%). É esta bacia, portanto, a que sofre os maiores impactos da atividade garimpeira.

A produção estimada de ouro na bacia do rio Tapajós, durante a década de 80 foi de 320 t (RODRIGUES *et al.*, 1994). Alguns trabalhos sugerem valores diferentes para a relação Hg/Au: 1,32 (PFEIFFER & LACERDA, 1988); 1,70 (SILVA *et al.*, 1990); 1,50 (LACERDA, 1990) e 2,00 (SILVA *et al.*, 1988; FERREIRA & APEL, 1990). Sendo assim, pode-se estimar, para aquele período, um incremento de mercúrio na bacia do Tapajós em torno de 422 a 640,0 t. O cálculo exato da perda total de mercúrio para o ambiente, contudo, é ainda dificultado pela falta de confiança das estimativas da produção de ouro na região amazônica (LACERDA & SALOMONS, 1991).

3.3. GARIMPOS DE ITAITUBA

As primeiras informações sobre ocorrência de ouro na região do Tapajós, datam da primeira metade do século XVIII. No século atual, os primeiros trabalhos datam de 1933 e se referem ao relatório sobre os resultados geológicos, sem sucesso, da viagem de exploração do rio das Tropas e da região de Monte Alegre, executada por Friedrich Katzer em 1892, publicado no Boletim do Museu Paraense de História Natural e Etnografia, em 1901. Mas o início da atual



Fonte: DNPM - 5º Distrito *apud* SEICOM, 1990

- | | |
|---------------------------------|------------------|
| 1 - Serra Pelada | 6 - Xingú |
| 2 - Tapajós | 7 - Paru |
| 3 - S. Félix do Xingú/Rio Maria | 8 - Gurupi/Viseu |
| 4 - Cumarú | |
| 5 - Inajá/Santana do Araguaia | |

Figura 3 - Principais Distritos Garimpeiros de Ouro do Estado do Pará.

atividade garimpeira em toda bacia do Tapajós se dá sobretudo em 1958. Em 1962, foi construída a primeira pista de pouso no garimpo, inaugurando o sistema de abastecimento dos garimpos através de aeronaves (RODRIGUES *et al.*, 1994).

O Município de Itaituba, que tem como fronteiras o rio Tapajós a leste, o Estado do Amazonas a oeste, e Mato Grosso, ao sul, é o maior do Brasil, com uma área de 165 mil km², quase do tamanho do Estado do Paraná. Cerca de 90% da sua economia está baseada no ouro, que é também a moeda corrente e indexador de preços (NOBRE, 1988a).

Quase 20% dos habitantes do Município estão concentrados na área urbana, às margens do rio Tapajós. Junto com a pobreza da população, convive a riqueza do ouro que, no entanto, não é desfrutada. As cidades tem várias empresas de táxi aéreo. Para se chegar aos garimpos, não há estradas, entretanto há pista de pouso em grande quantidades. O ouro extraído nos garimpos de Itaituba nunca trouxe benefícios para a cidade. Por lei, deve-se pagar 1% de imposto sobre o metal comercializado. O ouro sonogado fica nas mãos da mais de 200 casas compradoras de ouro da cidade. A Caixa Econômica Federal (CEF), a única compradora oficial e que dá nota fiscal de compra, não detem 10% do movimento (NOBRE, 1988a).

A evolução dos garimpos não está sendo acompanhada pela legislação. A atividade de garimpeiros está garantida em lei nas reservas garimpeiras, mas apenas para a extração manual, ou seja, o garimpeiro que ainda se utiliza da batéia para procurar o metal. Na região do Tapajós, entretanto, segundo NOBRE (1988b), apenas de 10 a 20% ainda fazem a garimpagem manual.

A mecanização da atividade garimpeira foi provocada pela rápida proliferação dos garimpos, acompanhada do aumento natural da concentração de garimpeiros. O trabalho que era feito com pá e picareta passou a ser feito com motor-bomba de alta pressão, tanto para a desagregação do capeamento estéril, como do minério (cascalho aurífero). Para o transporte do minério até as caixas concentradoras, utiliza-se motor-bomba de grande poder de sucção. A

concentração final do ouro, no entanto, ainda é feita de forma rudimentar (RODRIGUES *et al.*, 1994).

A maneira mais comum de extração é a utilização de dragas, compostas por dois motores e canos de 4" (nas barcas nos rios pode chegar a 12"). Um dos motores da draga serve para injetar água no barranco, que é conhecido localmente como "baixão", e derrubá-lo, enquanto o outro puxa o material para a caixa concentradora ou "cobra fumando", que é uma armação de madeira em declínio, que tem no fundo uma tela sobre sacos de estopa ou carpete removíveis, presos através de ripas de madeiras ("taliscas"), que também servem como "rifles" de concentração (Figura 4). A "polpa" do minério retirado do barranco é alimentado na parte mais alta da caixa e desce por gravidade. A água e o cascalho vão embora e o ouro, por ser pesado, fica depositado na parte final da caixa por onde passa o material retirado do barranco. A perda de ouro fica entre 30 a 60% devidas, as técnicas pouco desenvolvidas de extração (NOBRE, 1988b; RODRIGUES *et al.*, 1994) (Anexos 7 e 8).

O material acumulado na caixa concentradora é misturado com mercúrio, formando o amálgama. A aplicação final é processada com auxílio de batéia. A última etapa constitui-se na queima do amálgama com uso de maçaricos (Figura 5 e Anexos 9 e 10). O processo conhecido como "chupadeira" passou a ser desenvolvida, principalmente em coluviões, paleo-aluviões e eluviões, onde a camada aurífera encontra-se recoberta por espessa cobertura estéril (em torno de 5 m) (RODRIGUES *et al.*, 1994).

Quando o rejeito do garimpo de "baixão" é descartado dispõe-se em forma de leque, sendo que, quanto mais fina a granulometria do material, maior é o transporte, e mais distante a deposição, chegando algumas vezes até as drenagens (CETEM/CNPq, 1992). Os termos "curimã" e "melechete" são utilizados pelos garimpeiros para designar respectivamente, o rejeito grosseiro arenoso, e o rejeito fino argiloso que contém hidróxido de ferro (Anexo 11).

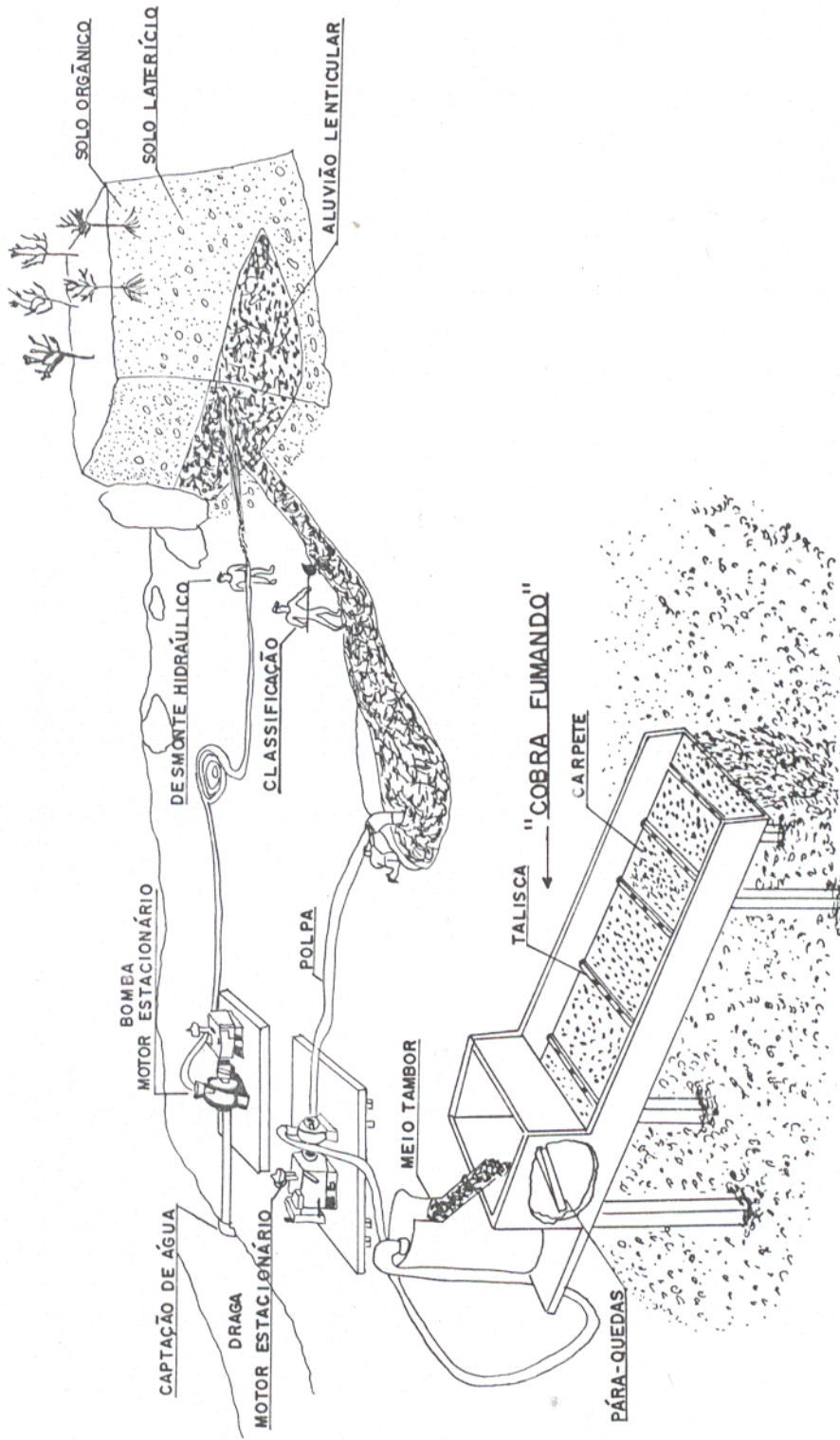


Figura 4 - Desenho esquemático do garimpo de *baixão* apresentando a captação de água, desmonte hidráulico, dragagem, concentração na "cobra fumando" e dispersão dos rejeitos.

Fonte: CETEM / CNPq (1992).

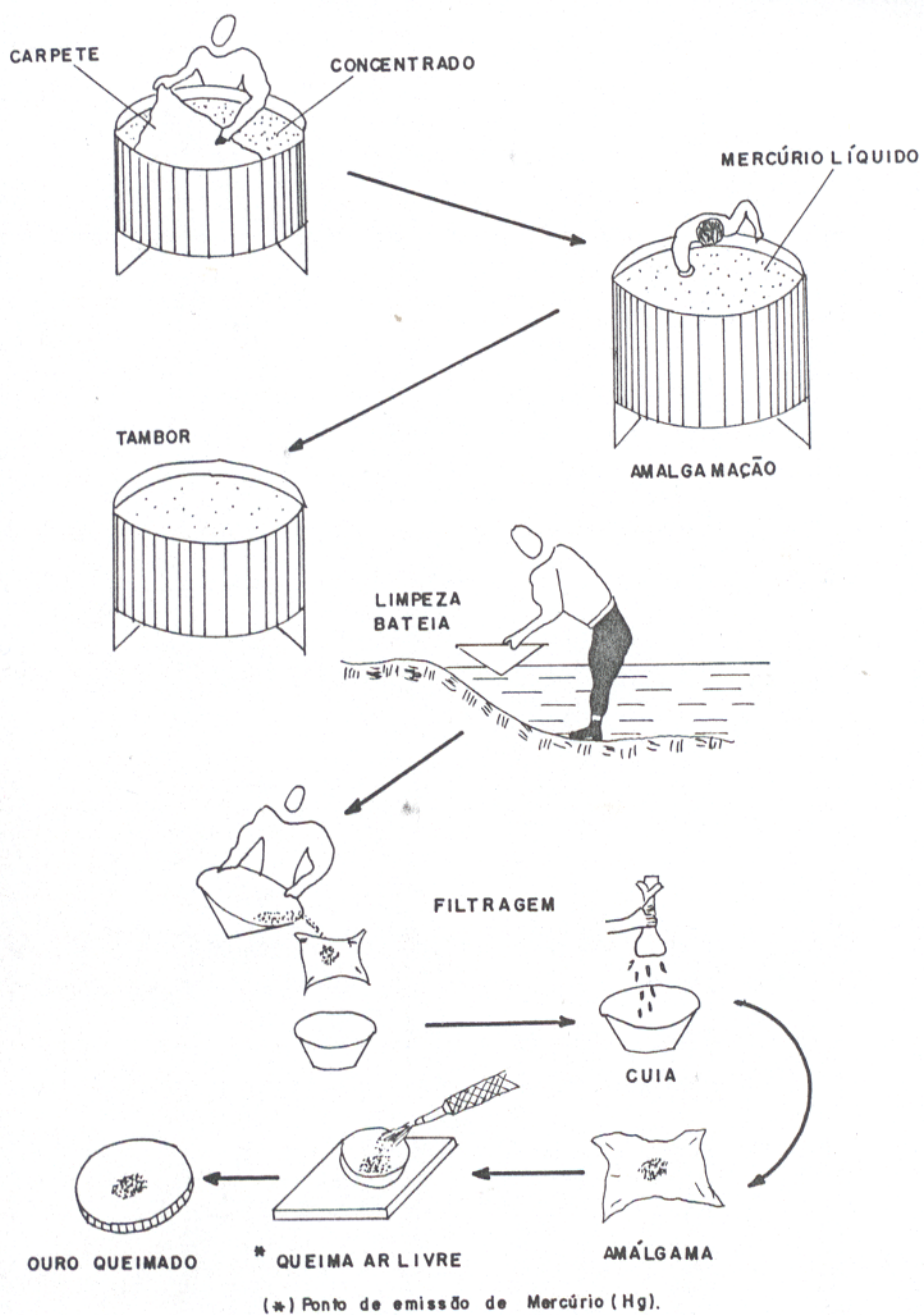


Figura 5 - Esquema de amalgamação em garimpos de *baixão*.

Fonte: CETEM/CNPq (1992).

O sistema de extração é padronizado em alguns garimpos. Cada grupo de 4 homens é responsável por um barranco, que tem em média 25 X 25m de largura e 4 de profundidade. Um homem controla o bico-jato que desmancha as paredes do barranco e os outros 2 homens ficam na draga, que é controlada pelo gerente (NOBRE, 1988a).

No passado, o mercúrio costumava ser empregado apenas na concentração final do minério (o bateamento), hoje, é comum utilizá-lo na "cobra fumando". No garimpo do Rato é muito comum a utilização do mercúrio, já nesta fase de concentração, o que provoca a dispersão do metal no ambiente (CETEM/CNPq, no prelo). Algumas vezes, o mercúrio é jogado diretamente no barranco, antes do início da lavra (RODRIGUES *et al.*, 1994). Para lavar sedimento ativo dos rios, são montadas balsas que processam um volume relativamente grande de minério, sendo os rejeitos despejados nas margens das drenagens (Anexo 12).

3.4. MERCÚRIO (Hg)

3.4.1. Propriedades

De acordo com o DICIONÁRIO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E BIOLÓGICAS, o elemento químico metálico mercúrio (Hg), também conhecido como azougue, é pesado, branco-prateado de tonalidade azulada, sem odor, univalente e bivalente, venenoso e é o único metal puro que se apresenta em estado líquido à temperatura normal. O seu número atômico é 80 e a massa atômica 200,61. O próprio metal e os seus cloretos-calomelano (HgCl) e sublimado corrosivo (HgCl) são remédios muito antigos, utilizados como diuréticos, anti-sépticos e germicidas.

Abaixo do seu ponto de fusão (-38,87 °C), o mercúrio é um sólido branco maleável, e acima do seu ponto de ebulição (356,9 °C) é um vapor incolor. Possui pressão de vapor pouco elevada, mesmo à temperatura ordinária, e seu vapor é tóxico (MELLOR, 1967; D'itri; & Taylor *apud* SILVA, 1988a).

Nas circunstâncias ordinárias, o mercúrio não perde seu brilho, porém, quando aquecido à ebulição em presença de ar ou de oxigênio, oxida-se lentamente. Reage fortemente com o cloro, e combina-se com o iodo e com o enxofre quando triturado com eles, num gral. O mercúrio não é atacado pelo ácido clorídrico; a frio, o ácido sulfúrico concentrado reage muito lentamente; porém a quente, forma-se sulfato mercúrio e dióxido de enxofre:



O ácido nítrico diluído atua muito lentamente, resultando nitrato mercurioso, e os hidróxidos alcalinos não exercem ação apreciável sobre o mercúrio (MELLOR, 1967).

O mercúrio é um bom solvente para alguns metais e as soluções resultantes denominam-se amálgamas. Ouro, prata, cádmio, estanho, bismuto, chumbo, zinco e sódio formam facilmente amálgamas à temperatura ordinária (MELLOR, 1967).

O minério aurífero do Pará de aluviões e eluviões possui abundância de ferro, material que dá origem a uma película imunizadora na polpa, fazendo com que as partículas de ouro não sejam ligadas as gotículas de mercúrio. Esse fator, adicionado a limitação da recuperação por processos gravimétricos, das frações menores que 100-120 mesh, limitam a utilização do mercúrio na recuperação do ouro (SILVA *et al.*, 1988). Devido a este fato estudos como o de LACKSCHEVITZ Jr. & RADINO (1987), indicam que o mercúrio não é ideal na recuperação do ouro e que a sua utilização excessiva é até prejudicial.

3.4.2. Fontes e usos

Segundo SILVA *et al.* (1989), a produção mundial do metal é cerca de 10 mil t/ano, com o Brasil importando 100% do que consome, tendo como principais fornecedores os Países Baixos, México, Reino Unido, EUA, Alemanha e principalmente a Espanha que possui a maior mina, situada na cidade de Almadém.

Ustula-se o cinábrio (HgS) para oxidar o enxofre e liberar o mercúrio, $\text{HgS} + \text{O}_2 \text{ === Hg} + \text{SO}_2$, (MELLOR, 1967).

A estimativa da quantidade anual de mercúrio que entra no sistema de uma maneira global é da ordem de 44.230 t, da qual 80% é originária de fontes naturais e 20%, de origem antropogênica (BEZERRA, 1990).

Os teores naturais possuem muita variação, motivo pelo qual não é fácil de se distinguir uma fonte de outra. Segundo DUARTE (1977) e BARROS (1988), as fontes naturais podem ser divididas em: terrenas (intemperismo de rochas minerais, atividades vulcânicas e desgaseificação do magma) e extra terrenas (meteoritos e côndrulas). Entre as fontes artificiais estão incluídas mais de 80 tipos de indústrias que utilizam o mercúrio pelo menos de 300 formas diferentes, além da combustão de carvões fósseis, defensivos agrícolas e laboratórios diversos.

Embora a concentração de mercúrio em combustíveis fósseis seja pequena, a enorme taxa de acumulação dos mesmos constitui uma fonte significativa de emissão. Estima-se para a queima de carvão, uma emissão de 140 a 2700 t/ano de mercúrio, enquanto que a utilização de petróleo é responsável por uma emissão de 200 t anuais (BEZERRA, 1990).

Entre as indústrias, as grandes poluidoras são as de obtenção de cloro e álcalis, seguidas pelas de aparelhos elétricos, sendo que em cada tonelada métrica de cloro ou cloretos são perdidas 100 g de mercúrio (DUARTE, 1977). Segundo SILVA et al. (1989) estas duas indústrias juntas respondem por 60% do total da demanda de mercúrio, sendo que a quantidade utilizada nos garimpos está à margem das estatísticas oficiais.

Outras fontes são: indústrias de cosméticos, produtos cirúrgicos, medicamentos, fermentação de cerveja (BARROS, 1988), indústrias de chapéus de feltro, instrumentos científicos como termômetros e manômetros, lâmpadas fluorescentes nas quais a corrente é conduzida através de mercúrio; montagem de sinais a neon, em Odontologia para obturações em dentes e em

laboratório onde usa-se o amálgama de sódio, junto com a água, como agente redutor (MELLOR, 1967). Os óxidos e sais de mercúrio são usados nas tintas para cascos de navios para retardar o crescimento de cracas (molusco que vive nos rochedos ou no costado dos navios) e de outras formas de vida marinha (DUARTE, 1977).

Quanto aos fungicidas mercuriais, eles foram usados em quase todo o mundo como defensivos agrícola em plantações, mas na maioria dos países seu uso é proibido, como é o caso do Brasil pela portaria nº 2 de 06/01/75 (DUARTE, 1977).

3.4.3. Riscos e consequências

Segundo o Departamento de Saúde, Educação e Bem Estar Americano, o dano causado por mercúrio é permanente e não existe tratamento algum, a não ser a prevenção (DUARTE, 1977), concordando com BARROS (1988), que diz que os efeitos no organismo e no meio ambiente são irreversíveis, não existindo meios de descontaminação quando são ultrapassados os limites de tolerância. O homem pode se contaminar diretamente por inalação, por via cutânea ou através da cadeia alimentar ao consumir a água e o peixe contaminados. Tanto nos peixes quanto no homem ele vai se acumulando gradativamente no organismo.

São sintomas de intoxicação mercurial: gosto metálico, perda de memória, insônia, irritabilidade, excitabilidade, ansiedade, perda de confiança em si mesmo, sonolência, tremores, irritação pulmonar, alucinações, depressão, visão dificultada, distúrbio gastro-intestinal, comprometimento renal e perda da coordenação motora (COUTO *et al.*, 1988), concluindo-se, portanto que o mercúrio é um agente mutagênico, teratogênico e carcinogênico (SILVA *et al.*, 1989)

A ingestão do alimento contendo mercúrio pelas gestantes compromete o feto, também de forma irreversível (PFEIFFER, 1992). O metil-mercúrio ultrapassa a barreira placentária mesmo

quando a mãe não apresenta nenhum sintoma. O feto é 28% mais atingido que a mãe, porque desenvolve polaridade negativa e atrai o Hg^+ (ion positivo) causando sérios danos à formação do seu cérebro, como o retardamento mental e a paralisia cerebral (BARROS, 1988).

Dependendo da forma físico-química em que se encontra, o mercúrio apresenta diferentes processos cinéticos e efeitos tóxicos. Como mercúrio elementar é absorvido através da inalação de seus vapores (Galvão *et al.*, *apud* SILVA *et al.*, 1989). Os organomercúrios e, particularmente, o metil mercúrio, que se encontra bioconcentrado nos peixes em áreas contaminadas, é o mais perigoso e tóxico para o homem, pois cerca de 80% é absorvido no aparelho digestivo (SILVA *et al.*, 1989), sendo que a toxidez seletiva do mercúrio, é devida a sua também seletiva distribuição no organismo (DUARTE, 1977).

Os indivíduos expostos a riscos de saúde por motivo de trabalho são: os mineiros de minas de extração do cinábrio; os que trabalham em laboratórios científicos, inclusive os famosos cientistas Faraday e Pascal sofreram de envenenamento crônico por mercúrio; os trabalhadores que fazem douração e prateação (são usadas 10 partes de mercúrio para 1 de ouro ou de prata, onde cerca de 20% do mercúrio utilizado é perdido na atmosfera) (DUARTE, 1977) e principalmente os garimpeiros que trabalham na exploração de ouro.

3.4.4. Espécies, ciclos e mecanismos

a) ESPÉCIES

O mercúrio é um metal muito volátil que pode existir em três estados de oxidação: mercúrio elementar (Hg^0), ion mercurioso (Hg_2^{2+}) e ion mercúrio (Hg^{2+}). O mercúrio elementar é oxidado a mercúrio (II) sob condições naturais e metilado por bactérias aeróbicas e anaeróbicas e também no fígado e intestino do peixe (Graig *apud* SILVA *et al.*, 1989).

Na hidrosfera, nos sedimentos, nos solos e na biota o mercúrio pode ocorrer em diversas formas químicas, tais como Hg, Hg⁺, Hg²⁺, (CH₃)₂Hg, HgS. A ação de bactérias canaliza algumas reações do mercúrio, sobretudo as de formação de metilmercúrio, que é a sua forma mais tóxica (Kaiser & Tolg *apud* RAMOS & COSTA, 1990; Purves *apud* RAMOS & COSTA, 1990). Como pode existir no ambiente sob inúmeras formas físicas e químicas que controlam seu comportamento, a conversão entre as diferentes formas do mercúrio torna sua distribuição ambiental bastante complexa (LACERDA, 1990).

De uma maneira geral podemos dividir três classes de compostos mercuriais segundo suas principais características físico-químicas: 1) compostos voláteis: Hg⁰ e (CH₃)₂Hg; 2) compostos reativos: Hg²⁺, HgX₂, HgX₃, HgX₄, (X=OH⁻, Cl⁻ e Br⁻), HgO em aerossóis e Hg²⁺ complexado a ácidos orgânicos; e 3) compostos não reativos; CH₃Hg⁺, CH₃HgCl; CH₃HgOH e outros compostos organomercúricos como Hg(CN)₂; HgS e Hg²⁺ ligados ao enxofre em materiais húmicos (LACERDA, 1990).

Segundo Lindqvist citado por LACERDA (1990), a classificação dos compostos mercuriais, de acordo com a sua ocorrência na natureza, pode ser dividida em mercúrio particulado, que pode ser reativo (ex: HgO) e não reativo (ex: HgS) e mercúrio gasoso/aquoso, que se divide em volátil (ex: Hg⁰) e solúvel em água, que se subdivide em reativo (ex: Hg²⁺) e não reativo (ex: HgCH₃⁺).

Os compostos mercuriais que estão envolvidos na contaminação ambiental são encontrados como: mercúrio elementar, íon mercúrio e metilmercúrio.

b) CICLOS

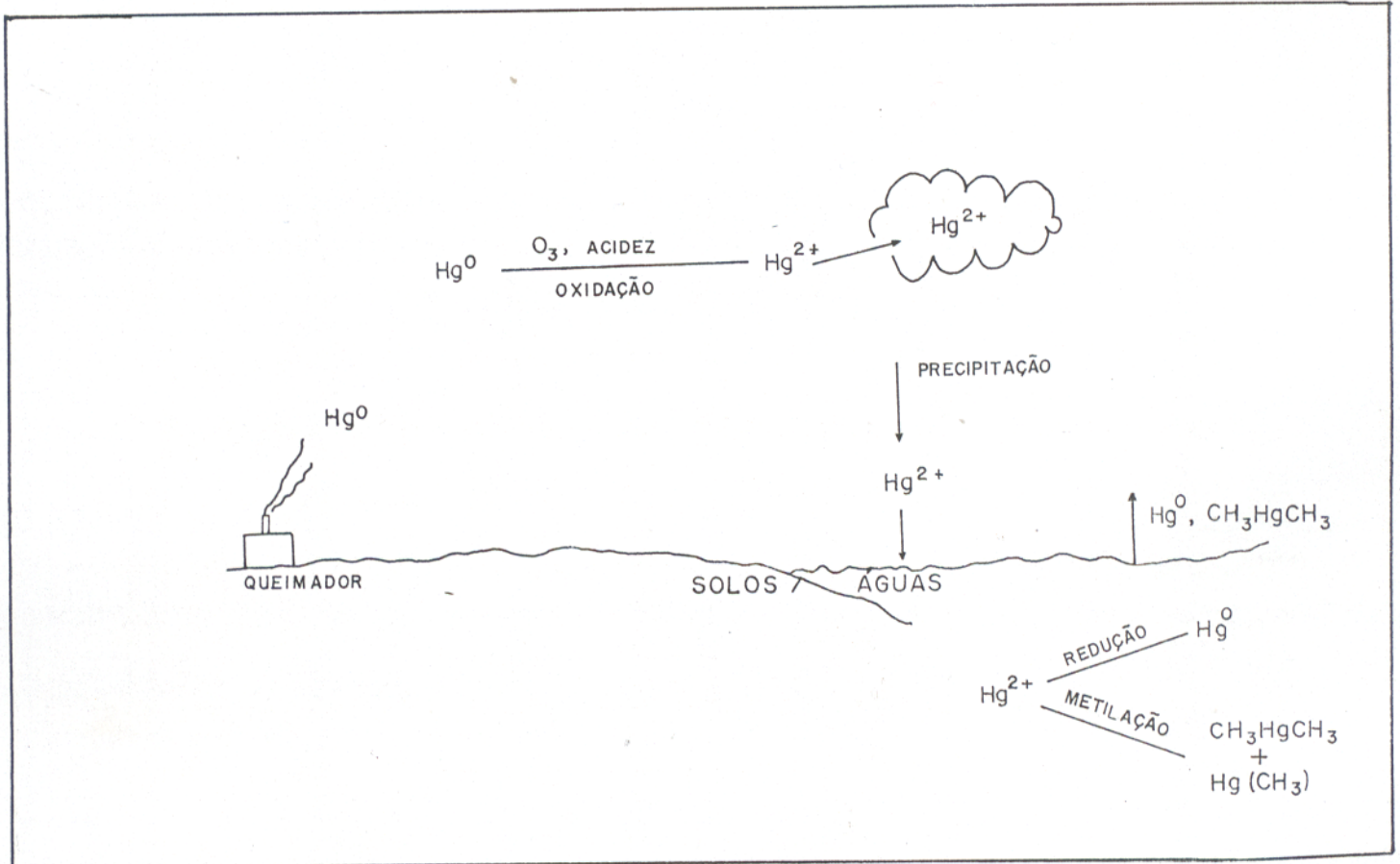
Em função da utilização do mercúrio no garimpo existem duas maneiras de atingir a cadeia trófica: a primeira, quando lançado, sob a forma metálica nas bacias de drenagens, na ocasião da aglutinação do ouro e a outra como vapor de mercúrio, antes da comercialização do metal amarelo, uma vez que se faz necessária a separação pela queima da liga mercúrio-ouro (amalgama) (SILVA, 1988b; SILVA *et al.*, 1989).

Dois ciclos controlam a distribuição e eventualmente a disponibilidade do mercúrio lançado no meio ambiente: o ciclo atmosférico e o ciclo hidrogeoquímico (LACERDA, 1990).

A maior parte do conhecimento existente sobre entradas, fluxos e amplitude global, regional ou local do impacto antropogênico do mercúrio no ambiente, basea-se em estimativas do tempo de residência do mercúrio na atmosfera (cerca de 1 ano), solos (10 a 100 anos) e corpos de água. A maior parte destas estimativas, entretanto, basea-se no comportamento de formas inorgânicas de mercúrio (Hg^{2+} , Hg°) e não consideram os complexos orgânicos de mercúrio. Além disso, mesmo considerando-se somente as formas inorgânicas, as reações de oxi-redução na atmosfera e seus fatores controladores ainda são pouco conhecidos. Evidências entretanto, sugerem que o tempo de residência na atmosfera é menor, da ordem de dias, resultando em impactos mais regionais e locais que propriamente globais (LACERDA, 1990).

A Figura 6 mostra o ciclo atmosférico do mercúrio. O vapor do mercúrio alcança a atmosfera, onde o vapor d'água, ácido de nuvens e neblina em contato com o ar, contendo Hg° e O_3 , produz o Hg^{2+} . A concentração e velocidade de produção do Hg^{2+} dependerá das concentrações de Hg° e O_3 no ar, do pH da água e da concentração de agentes complexantes, (Cl⁻).

No ciclo atmosférico o mercúrio ocorre majoritariamente sob forma de mercúrio elementar (Hg°), embora o dimetilmercúrio possa também estar presente. A acidez natural encontrada na



FONTE: Lacerda (1990) e Almeida (1992).

Figura 6 : Ciclo do mercúrio na atmosfera.

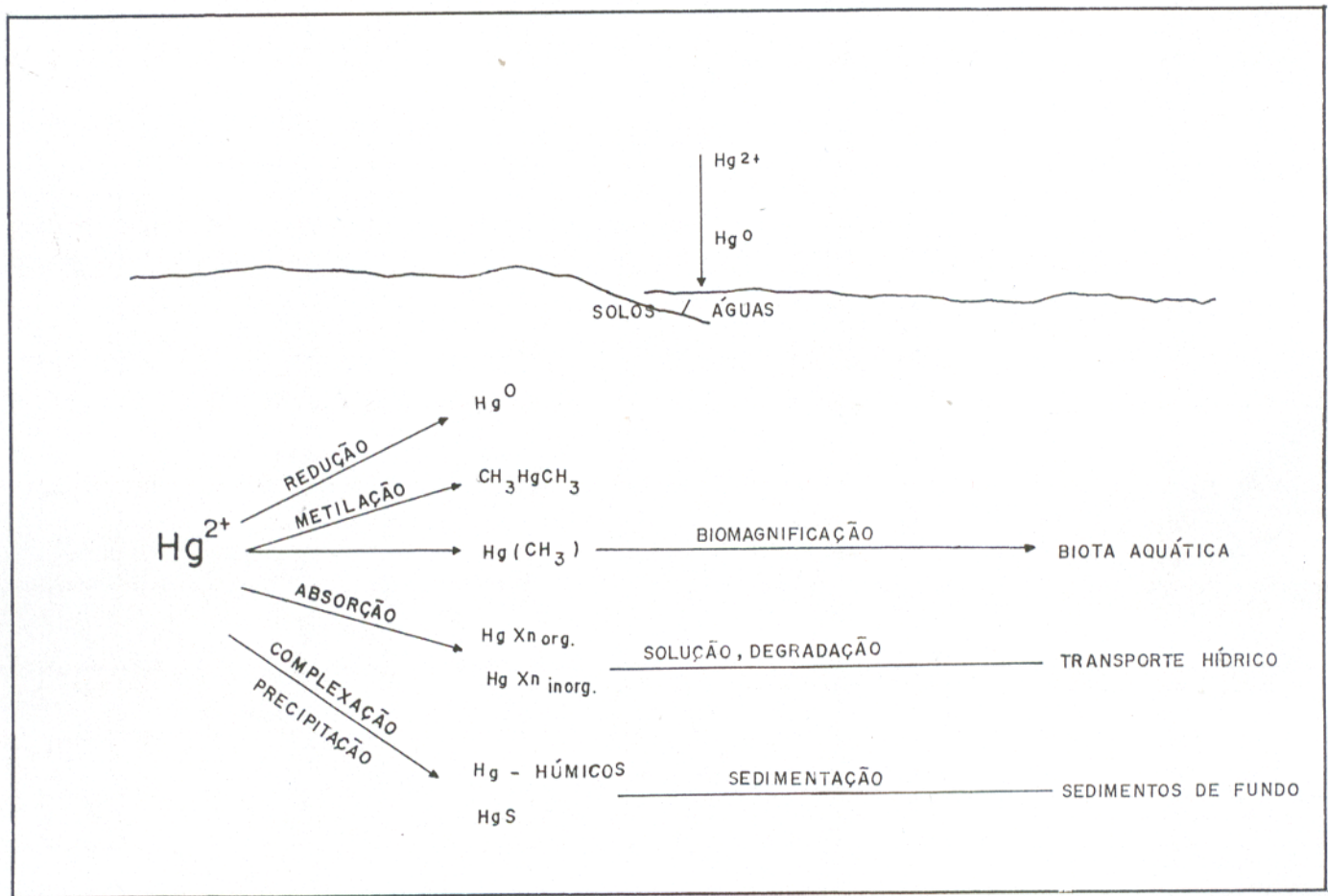
chuva e neblina da região, que pode facilitar a lixiviação do mercúrio na atmosfera e a retirada de substâncias da atmosfera pela vegetação, apontam para um curto tempo de residência do mercúrio, na atmosfera amazônica, e a dispersão deve ser próxima da fonte, o que resulta em uma contaminação de mercúrio nos sedimentos, que é acumulativa a pré-existente (LACERDA, 1990).

Uma vez depositado, as condições hidrogeoquímicas locais controlarão a dinâmica do mercúrio. Como em solos, o tempo de residência pode ser da ordem até de centenas de anos, o mercúrio fica absorvido na matéria orgânica e em argilas. Uma fração do mercúrio depositado poderá ser reduzido ou organificado a dimetilmercúrio, retornando a atmosfera por volatilização, completando assim o seu ciclo (LACERDA, 1990).

A Figura 7 mostra como se dá o ciclo hidrogeoquímico do mercúrio. Neste ciclo as principais formas químicas envolvidas são: o mercúrio elementar (Hg^0) que possui alta pressão de vapor e pequena solubilidade em água; mercúrio inorgânico divalente (Hg^{2+}), que possui grande afinidade por ligantes inorgânicos (Cl) e orgânicos, especialmente aqueles ricos em enxofre; e monometilmercúrio (CH_3Hg^+) de alta solubilidade em água e resistente a degradação ambiental (LACERDA, 1990).

A matéria orgânica impregnada de mercúrio serve de alimento a fauna local que, ao cumprir seu ciclo de vida, multiplica velozmente a concentração do contaminante (PFEIFFER, 1992). O metal que na sua forma inorgânica é inócuo, em contato com a matéria orgânica no solo ou no fundo dos rios, transforma-se no perigoso metilmercúrio (BARROS, 1988).

É difícil explicar mais precisamente os detalhes da distribuição do íon mercúrio, porque a distribuição de metais pesados parece ser controlada por fatores físicos, químicos e biológicos tais como: localização dos efluentes poluidores, intervalo de descarga, movimento da água, dragagens, propriedades químicas dos metais, condição química local e transporte biológico (FERREIRA, 1978).



FONTE: Lacerda (1990).

FIGURA 7 : Ciclo hidrogeoquímico do mercúrio.

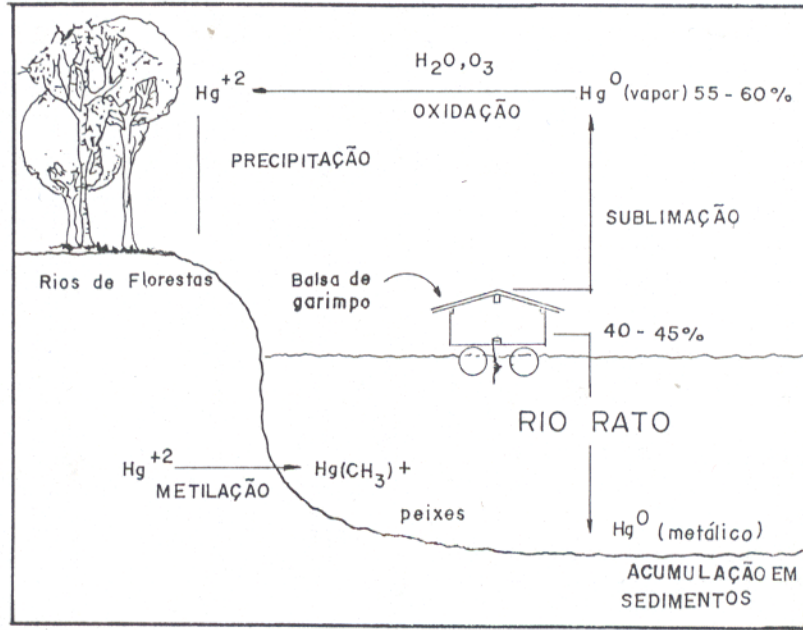
A Figura 8 mostra o ciclo do mercúrio completo em uma área de garimpo. Cerca de 55% do mercúrio liberado pelos garimpos entram diretamente na atmosfera sob forma de vapor (Hg^0). O restante é lançado sob forma metálica (líquida). O vapor de mercúrio sofre oxidação, reagindo com o vapor d'água e o ozônio (O_3 , oxidante forte) presentes no ar, e depois é lixiviado pela chuva depositando-se sob a forma iônica (Hg^{2+}) nos lagos de várzea, rios de florestas e áreas pantanosas levemente ácidas e ricas em matéria orgânica, sendo rapidamente metilado pela intensa atividade microbiana, acumulando-se em plantas e animais (PFEIFFER *et al.*, 1990).

Uma vez no rio, o mercúrio deve preferencialmente sedimentar, sendo incorporado ao sedimento de corrente. Uma outra fração entretanto, poderá ser adsorvida por partículas em suspensão (RAMOS & COSTA, 1990; CARVALHO & MACHADO, 1990).

Os compostos orgânicos de baixo peso molecular são provavelmente os principais carreadores de mercúrio em suspensão, podendo transportá-lo a grandes distâncias da fonte. O mercúrio incorporado ao sedimento de corrente também poderá ser transportado, porém de forma limitada (LACERDA, 1990).

Nos consumidores primários, como as diatomáceas marinhas, o metilmercúrio se acumula por absorção passiva na superfície do organismo. Nos organismos aquáticos, o mercúrio pode ser absorvido diretamente pelo organismo ou pode vir através da cadeia alimentar. O peixe que tem uma meia vida de 200 dias, tem sido não só o grande "portador" de mercúrio como o "depositário" de quase todos os estudos feitos sobre o assunto, uma vez que um dos problemas em toxicologia ambiental, desde 1960, tem sido o aumento gradual dos níveis de mercúrio encontrados em peixes (DUARTE, 1977).

No homem, o mercúrio chega normalmente pela cadeia alga-peixe-homem, sendo que praticamente todo o mercúrio dos peixes é o metilmercúrio. Compostos organo-mercuriais são



FONTE: Pfeiffer (1992) - modificado.

Figura 8 : Ciclo completo do mercúrio no ecossistema em áreas de garimpos.

absorvidos pela pele e mais eficazmente pelos tratos respiratórios e gastro-intestinal. Uma vez absorvidos, os compostos alcoil e aril-mercúrios são transportados principalmente pela união com eritrócitos, diferentemente dos compostos de mercúrio inorgânicos e seus íons que se unem em especial à proteína plasmática. Compostos metoxietílicos, distribuem-se uniformemente entre glóbulos vermelhos e plasma. Tanto os compostos metoxietílicos como os fenílicos se degradam no organismo, a mercúrio inorgânico. O alcoil-mercúrio também se metaboliza, mas muito lentamente. Quando os organomercuriais são adquiridos pelo pulmão ou pelo trato gastro-intestinal, eles são rapidamente absorvidos pelo corpo. Após a absorção, são transportados através do sangue para os diferentes órgãos com distribuição diferente para diferentes compostos (DUARTE, 1977).

O mercúrio é quimicamente distinto e, por formar fortes ligações covalentes, com os grupos SH⁻ de proteínas, seu comportamento em sistema biológico também é distinto. As propriedades biogeoquímicas do mercúrio resultam em larga dispersão e em elevada exposição ambiental, mesmo sob condições naturais (LACERDA, 1990).

c) MECANISMO

O mercúrio elementar é quimicamente não reagente e precisa ser oxidado antes de se tornar reagente. O íon mercúrio e os cátions organo-metálicos são passíveis de combinações químicas com uma variedade de ligações encontradas na matéria viva, mas em intensidade maior com os grupos sulfidril do que com qualquer outra liga (DUARTE, 1977).

A biometilação do mercúrio inorgânico nos sedimentos bentônicos se dá segundo as transformações químicas e bioquímicas: $\text{Hg}^0 \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{Hg}^+$, tanto em ambientes de água salgada como de água doce, por ação de bactérias, sendo que as moléculas

CH₃-doadoras acham-se disponíveis e ativas na fase aquosa, nos particulados e nos sedimentos bênticos (CRAIG, 1986).

Para que o mercúrio seja liberado dos sedimentos fluviais para as águas é necessário que se transforme de sua forma química metálica para outras formas iônicas simples ou complexa, com ânions de cloro ou de enxofre, com radicais orgânicos (metil, por exemplo) sob a ação de bactérias.

A produção de metilmercúrio por diferentes espécies de bactérias capazes desta função, pode ser controlada por diferentes variáveis ambientais e entre elas destacam-se o potencial redox, a concentração de mercúrio inorgânico, a temperatura, a atividade microbiológica e a concentração de sulfetos, de tal maneira que, o monometil mercúrio é o produto predominante da metilação sob condições de pH levemente ácido a neutro. A taxa de metilação é maior sob condições oxidantes que sob condições anaeróbicas, provavelmente como um reflexo da maior eficiência do metabolismo aeróbico em relação ao anaeróbico. Um aumento de 10 vezes na concentração de mercúrio inorgânico no substrato resulta em um aumento de 2 vezes na produção de metil-mercúrio. A temperatura afeta a produção de metil-mercúrio já que acelera a atividade microbiana e aumentos na taxa de crescimento microbiano resultam em aumentos proporcionais da taxa de metilação (LACERDA, 1990).

Pouco se conhece sobre a química do mercúrio em solos tropicais florestados, Semu *et al* *apud* LACERDA (1990), sugeriram que a matéria orgânica é responsável pela retenção de até 90% do mercúrio retido em solos tropicais. O mesmo deve acontecer em solos amazônicos, entretanto, a intensa atividade microbiana, típica destas solos poderá acelerar os processos de metilação, resultando em uma emissão de dimetilmercúrio para os rios. Uma parte variável do mercúrio depositado em solos poderá ser eventualmente incorporado pela vegetação, diminuindo a

velocidade de ciclagem, funcionando a vegetação como um sumidouro semi-permanente para o mercúrio.

A metilação do mercúrio pode ocorrer fora de organismos vivos, desde que exista alta concentração de ácidos fúlvicos e húmicos (ácidos orgânicos de grande peso molecular) no meio aquático, sendo acelerada em ambientes ácidos, com $\text{pH} < 6$ (PFEIFFER *et al.*, 1990).

Estudos realizados em sementes tratadas com fungicidas mercuriais, revelaram que parte do mercúrio passa para a terra de cultivo e para o lençol freático, desde que o solo contenha substâncias ligantes e pequenas quantidades de matéria orgânica. Neste caso, o mercúrio é absorvido pela maior parte das camadas superficiais desmoronáveis (DUARTE, 1977).

A reação química pode ser considerada um mecanismo de eliminação de mercúrio das células. O mercúrio entra na célula bacteriana em forma iônica (Hg^{2+}) e sofre redução para Hg^0 . Após a redução, o dimetilmercúrio é formado enzimaticamente, mediado pela homocisteína, ou não enzimaticamente, pela transferência de grupos metil da metil-cobalamina presentes nas células bacterianas para os íons de mercúrio. O dimetilmercúrio pode se difundir para fora da bactéria. Em meio alcalino, o dimetilmercúrio escapa para a água e a atmosfera, mas em meio ácido é convertido em monometilmercúrio e permanece na água, sendo incorporado em peixes. O metilmercúrio (CH_3Hg^+) tem solubilidade em lipídeos (gorduras) cerca de 100 vezes superior a do mercúrio metálico (PFEIFFER *et al.*, 1990; ALMEIDA, 1992a)

O dimetilmercúrio, muito lipossolúvel, perde com facilidade um grupo metila formando o cátion CH_2Hg^+ que também é tóxico. Ambos são pouco solúveis em água. As bactérias anaeróbicas da lama do fundo são as responsáveis pela conversão de mercúrio metálico ou sais inorgânicos desse elemento em dimetilmercúrio (BENN & McAULIFFE, 1981).

3.5. IMPACTOS AMBIENTAIS NO GARIMPO

O mercúrio é empregado na extração do ouro fino depositado em leito ativos de rios e terraços de aluviões antigos. O mercúrio age como um ímã capturando o ouro em pó que está misturado com o cascalho, devido a afinidade química.

A extração do ouro inicia-se através de uma pré-concentração do sedimento fluvial por processos gravimétricos. Quando o pré-concentrado é misturado com o mercúrio, ocorre a amalgamação das partículas de ouro. Este amálgama é separado por aquecimento, ocorrendo a volatilização do mercúrio. O excesso de mercúrio que lançado sob a forma metálica nas drenagens, pode ser metilado por bactérias do tipo pseudomonas no habitat limnológico formando o dimetil e metil mercúrio (COUTO *et al.*, 1988).

RODRIGUES *et al.* (1994) revelam que nas áreas garimpeiras na Amazônia, não se dispõe de informação sistemática dos níveis de mercúrio na atmosfera, de modo a se poder estimar os níveis de exposição durante a queima do amálgama por garimpeiros. No garimpo, a primeira queima do amálgama Au-Hg ocorre em locais fechados ou a céu aberto, estima-se que no processo de extração do ouro, cerca de 55% a 90% deste mercúrio é perdido para a atmosfera, ocorrendo nesta fase uma grande exposição das pessoas presentes.

Embora o mercúrio recicle-se, o ambiente é o receptor final, onde se mantém permanentemente, apesar de alterar suas formas químicas, seja por mecanismos físicos, químicos ou biológicos (SILVA *et al.*, 1988).

Enquanto nas rochas o mercúrio se encontra mais ou menos homoganeamente distribuído de acordo com a profundidade, no solo este metal atinge suas mais altas concentrações no horizonte superior compreendido entre 5 e 20 cm (KAISER & TOLG, 1980).

As estatísticas disponíveis indicam que para cada 1 kg de ouro produzido na Amazônia Brasileira são liberados 1,4 kg de mercúrio para o meio ambiente, a metade para a atmosfera, na

forma de vapor. Ainda não se sabe quanto é retido pela vegetação e solo após a deposição atmosférica. Aproximadamente 0,4 kg do mercúrio são lançados diretamente nos rios e a parcela restante é perdida por evaporação na etapa final de requeima no amálgama para recuperação do mercúrio (PFEIFFER, 1992).

A variação das concentrações de mercúrio total (normalmente mercúrio metálico) em sedimentos de áreas de garimpos é função da fase granulométrica e física analisada, da localização do ponto de coleta (se muito próximo de uma fonte de mercúrio, como uma caixa concentradora de minérios) e da época de amostragem. Levantamentos feitos no final da estação de estiagem, acusam valores muito mais altos do que similares feitos no final do período chuvoso, quando é maior a vazão dos rios, sendo portanto, maior o transporte e maior a diluição, e novos sedimentos, em grandes massas e não sujeitos a influência da intensa atividade garimpeira, cobrem os leitos dos rios e preenchem grandes cavas deixadas pela atividade garimpeira do ano anterior (BRABO, 1992).

Em geral, o halo de dispersão do mercúrio metálico é pequeno e restrito às proximidades das fontes de emissão das gotículas com densidade $13,5 \text{ g/cm}^3$ que, no que se refere ao transporte pelas águas, funciona como um mineral pesado, acumulando-se em zonas onde a água perde um pouco de sua energia mecânica (RAMOS, 1992).

A atuação de um fator importante sobre um meio gera impactos sobre outros meios, por exemplo, a atividade de desmonte dos barracos, lança milhares de toneladas de sedimentos nos cursos d'água. A limpeza da área do garimpo, envolvendo a parcela destinada a lavra, as áreas destinadas a implantação de "currutelas", pista de pouso, etc., é feita sem qualquer preocupação com o meio ambiente. O produto dessas atividades é o carreamento do material orgânico, oriundo da limpeza, para os cursos d'água favorecendo a metilação do mercúrio metálico alterando a cor, a turbidez e, a acidez da água. Como consequência dessas alterações, o meio biótico acusa a

destruição de nichos ecológicos, incluindo os solos orgânicos superficiais, bem como a potencialização de intoxicação da biota pelo mercúrio organificado em relação ao mercúrio metálico (RODRIGUES *et al.*, 1994).

3.6. CARACTERÍSTICAS DE SOLOS COM TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA (TPA)

O solo é o resultado da ação de fatores ambientais, clima, organismos vivos, rocha e relevo no decorrer do tempo, entretanto, a ocupação humana também pode modificar as características adquiridas naturalmente pelo solo. Localmente, segundo BIDWELL & HOLE (1965), a atividade humana pode produzir um efeito benéfico ou maléfico, modificando inclusive os fatores de formação do solo.

Na Amazônia ocorrem áreas de solos com horizonte A de cor escura e com alto teor de fósforo e cálcio, afetados por culturas pré-histórica e que são vulgarmente conhecidos como “Terra Preta Arqueológica” (TPA), denominado em arqueologia como sítio arqueológico (KERN, 1988).

Os solos da Amazônia, em geral, são considerados altamente intemperizados e, como consequência, são pobres em nutrientes. No entanto, os solos com TPA diferem em vários aspectos do solo original da região. As áreas com TPA são encontradas sobre os mais diversos tipos de solos, como em latossolo, podzol, terra roxa estruturada e podzólico. Estão localizadas em terra firme, em situação topográfica que permite uma boa visibilidade da região. Ocupam normalmente 2 a 3 ha de extensão, podendo no entanto, existir locais com área superior a 80 ha. O horizonte A afetado pela atividade humana pré histórica possui em média 40 a 60 cm de espessura, chegando no máximo a 2 m. (SMITH, 1980).

Apesar da frequência com que ocorrem, os solos com TPA não constam em mapas de solos da Região Amazônica efetuados a nível exploratório ou de reconhecimento, uma vez que ocupam áreas pouco extensas, sendo então registradas como inclusões (SILVA *et al.*, 1970).

Em arqueologia, a TPA é utilizada para estabelecer os limites da área de atividade humana pré-histórica e determinar a espessura do refugio ocupacional do sítio arqueológico. Sob o ponto de vista pedológico, os trabalhos referentes a TPA são realizados à medida em que os solos que as contém chamam a atenção pela sua alta fertilidade e por serem material de interesse para o estudo da gênese do solo (KERN, 1988).

Os solos com TPA possuem teores muito elevados de Ca, Mg, C, P, Zn e Mn que se sobressaem em relação aos demais elementos, contrastando com os solos pobres em nutrientes característicos da região amazônica (KERN, 1988).

Os solos húmicos (horizonte A) possuem concentrações de mercúrio em alguns compartimentos naturais que variam de 0,2 até 1,86 ppm, com uma média de 0,48 ppm de Hg (Jnasson & Boyle *apud* VEIGA *et al.*, 1991).

Em relação a cor escura do solo com TPA, SILVA *et al.* (1970) atribui ao elevado teor de matéria orgânica e SOMBROEK (1966) completa atribuindo o resultado desta coloração como um complexo de matéria orgânica com íons de cálcio que revestem as partículas do solo.

4. METODOLOGIA

4.1. CAMPO

Neste trabalho foram coletados solos, sedimentos das drenagens do rio Rato e seus igarapés tributários, assim como sedimentos que constituem o rejeito da atividade garimpeira. Foram feitas também coletas de solos ricos em matéria orgânica, conhecidos como Terra Preta Arqueológica (TPA), localizados na "corrutela" próximo ao local de queima do amalgama.

Foram realizadas duas viagens de campo para a coleta de amostras. A primeira coleta ocorreu no mês de agosto de 1992 em um período de 10 dias, enquanto a segunda coleta foi realizada em julho de 1993 e teve duração de 4 dias. Em ambas etapas de campo, o período era de pouca chuva, sendo que na primeira etapa de campo a atividade garimpeira era mais alta.

Na primeira etapa foram coletadas 17 amostras de solo com TPA na "corrutela" e 88 amostras de solo, sedimento de corrente e de rejeitos de garimpo, no rio Rato e nos igarapés tributários. Na segunda etapa, dedicou-se mais atenção ao estudo de solos com TPA, sendo coletadas 32 amostras e outras 24 amostras de sedimentos de corrente e rejeito de garimpo no rio Rato e no igarapé Fé em Deus. No total das duas amostragens coletou-se 161 amostras para este trabalho, sendo 105 na primeira etapa de campo e 56 na segunda, sendo o material do tipo arenoso, argiloso, areno-argiloso e argilo-arenoso.

A coleta de amostras no rio Rato e nos igarapés foi feita na maioria das vezes com voadeira. A voadeira penetrava nos igarapés cerca de 50 m, sendo que a partir daí a coleta era realizada a pé, sempre às margens das drenagens e com as mãos.

Quanto as amostras de solo com TPA, foram coletadas com a mão e pá metálica, de duas maneiras: na superfície (0-2 cm) em pontos aleatórios nas proximidades da chaminé dos queimadores, tendo sido aqui considerada a direção predominante dos ventos, e por vezes foram feitas coletas em perfil vertical até encontrar-se o fim da TPA.

Todas as amostras, com um peso médio de 200 g, foram acondicionadas em saco plástico impermeável, colocadas dentro de outro mais resistente e conservadas a baixa temperatura em um freezer, até seguirem em caixa de isopor para análise em laboratório em Belém.

A localização dos pontos de amostragem e descrição das amostras, foi feita detalhadamente em listas, mapas ou esquemas das áreas, já que os garimpos são sujeitos a alterações em curto espaço de tempo, fazendo com que os mapas correspondam ao terreno, frequentemente, só por alguns meses (Anexos 13, 14, 15 e 16).

4.2. LABORATÓRIO

a) Preparação das amostras

Inicialmente as amostras foram secadas a temperatura ambiente (25°C), dentro do laboratório por cerca de 15 dias no próprio saco em que foram acondicionadas, e em seguida peneiradas separando-se a fração menor que 170 mesh para posterior análise.

Para determinação de carbono orgânico e perda ao fogo foi realizada a retirada da umidade (H_2O), colocando-se as amostras já peneiradas, em estufa a 110°C por cerca de duas horas. Para a determinação do mercúrio esta umidade foi determinada em uma alíquota em separado, para que não houvesse perda do metal por volatilização.

b) Decomposição para Análise do mercúrio

A digestão química das amostras foi efetuada por meio de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, ácido nítrico (HNO_3) concentrado e pentóxido de vanádio (V_2O_5), de acordo com a metodologia proposta por Knechtel & Fraser *apud* COSTA & COQUEIRO (1988), na qual 0,5 g de amostra, já seca ao ar livre e peneirada em uma malha de 170 mesh, é transferida para um tubo

de ensaio (aeração) e 100 mg de V_2O_5 são adicionados, seguido por 10 ml de HNO_3 concentrado. O tubo é deixado em repouso até que a formação de espuma tenha cessado, e depois transferido para o cilindro de alumínio mantido em aquecimento por 5 minutos a $160^\circ C$. O tubo é removido do aquecimento e deixado esfriar a temperatura ambiente. Então 15 ml de H_2SO_4 concentrado são adicionados, o aquecimento do tubo do cilindro de alumínio é repetido por 15 minutos e deixado esfriar. Uma digestão do branco e padrões contendo todos os reagentes também é efetuada juntamente com as amostras. A amostra é transferida para uma balão volumétrico de 100 ml contendo água destilada deionizada gelada, o resíduo lavado várias vezes por decantação com água gelada e as lavagens transferidas para o balão. Após atingir temperatura ambiente os balões volumétricos foram aferidos com água destilada e em seguida as soluções foram homogeneizadas.

c) Determinação do mercúrio

A dosagem de mercúrio nas primeiras 50 amostras foi feita transferindo-se 10 ml da amostra para um frasco acoplado a absorção atômica onde foi adicionada solução de cloreto estanhoso ($SnCl_2$) a 20% m/v em ácido sulfúrico (H_2SO_4) 1 M. O vapor de mercúrio gerado foi medido por espectrofotometria de absorção atômica, no laboratório do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará.

A dosagem do restante das amostras foi executada no laboratório da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), no monitor de dosagem de mercúrio "Milton Roy", que possui limite de detecção de 0,1 ppb na solução de leitura, adicionando-se 1 ml da mostra e 5 ml do mesmo reagente redutor, $SnCl_2$ a 20% em H_2SO_4 . Neste caso também, o mercúrio é transformado em mercúrio metálico antes de se efetuar a detecção.

d) Carbono orgânico

O carbono orgânico foi analisado pelo método WALKLEY-BLACK, modificado por GAUDETTE *et al.* (1974). Através deste método, 0,2 a 0,5 g de sedimentos secos e peneirados (170 mesh), são misturados com 10 ml da solução de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) 1 N e 20 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, em um frasco de erlenmeyer. Após 30 minutos a solução é diluída para um volume de 200 ml com água destilada, adicionando-se em seguida 10 ml de ácido fosfórico (H_3PO_4) 85%, 0,2 g de fluoreto de sódio (NaF) e 15 gotas de indicador difenilamina. A solução é titulada com solução de sulfato ferroso de amônia ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) 0,5 N, resultando numa cor verde amarronzada que progride para uma cor mais esverdeada e finalmente cinza-azulado. Neste ponto a adição de 10 a 20 gotas de solução ferrosa muda a cor para um verde brilhante, e atingindo o ponto de virada. Os resultados são então calculados pela equação:

$$\% \text{ carbono orgânico} = 10 (1-T/S) [1,0 N (0,03) (100/W)] \text{ onde,}$$

T= Volume, em ml, da solução de ferro, gasto na titulação da amostra.

S= Volume, em ml, da solução de ferro, gasto na titulação do branco (standar).

W= peso da amostra em gramas.

10= Volume de $K_2Cr_2O_7$ em ml.

0,003 = $12/4/1000$ = Peso do miliequivalente do carbono

1,0 N = Normalidade do $K_2Cr_2O_7$

e) Perda ao fogo (H_2O^+)

A perda ao fogo foi determinada através de análise gravimétrica da seguinte maneira: pesou-se em um cadinho de porcelana a amostra peneirada a 170 mesh e livre de umidade (p1),

transferiu-se para uma mufla a uma temperatura de 900°C por cerca de duas horas, e após resfriamento em um dessecador, pesou-se novamente o conjunto amostra + cadinho (p2). A perda ao fogo, que reflete as concentrações de matéria orgânica, argilo-minerais e hidróxidos, foi determinada pela diferença de peso (p1-p2).

5. RESULTADOS, DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

O estabelecimento dos níveis de mercúrio total em sedimentos e solos é um procedimento comum na detecção de fontes de contaminação, mesmo decorrido muito tempo depois da entrada do metal no sistema, sendo possível observar o desenvolvimento da intensidade de contaminação, através de investigações periódicas (BRABO, 1992).

Como um dos objetivos deste trabalho é o de fazer um diagnóstico ambiental, o desvio padrão e os valores limites, citados em estudos sobre a concentração de mercúrio em solos e sedimentos, foram utilizados para comparação com os resultados obtidos.

Nos sedimentos depositados pelas drenagens, a Organização Mundial da Saúde (OMS) considera como concentração baixa, valores que vão de 50 a 500 ppb (ALMEIDA, 1992b). Segundo RAMOS (1992), diversos autores consideram como valores de *background* de mercúrio total em sedimentos de drenagem, concentrações de até 0,5 ppm dependendo de situações geográficas e geológicas.

O critério estabelecido por Prater & Anderson *apud* EYSINK (1990), classifica os ambientes em não poluídos por mercúrio quando os teores são menores que 1,0 ppm e altamente poluídos quando os teores são superiores a este valor.

Segundo FERNANDES *et al.* (1990) e PFEIFFER *et al.* (1990), os sedimentos dos rios amazônicos poluídos pela atividade garimpeira situam-se em geral na faixa de 0,2 até 20 ppm. Para sedimentos de fundo de áreas não contaminadas, alguns autores estabelecem o valor de *background* entre 0,1-0,3 ppm.

Quanto aos solos, LINDSAY (1979), cita que as concentrações mais frequentes situam-se entre 0,01 e 0,3 ppm, enquanto TSALEV & ZAPRIANOV (1984), citam que solos não contaminados geralmente, contém menos de 0,1 ppm de mercúrio. Jnasson & Boyle *apud* VEIGA

et al. (1991) encontraram no horizonte A dos solos teores entre 0,2 e 1,86 ppm, com uma média de 0,48 ppm em alguns compartimentos naturais.

Foram determinados os valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão dos grupos de amostras, excluídos os valores anômalos *outliers* da distribuição normal. Com auxílio do programa Microsta (versão 1.0), construiu-se tabelas e gráficos de frequência de distribuição e diagramas de dispersão para as variáveis que apresentam boa correlação linear.

Para caracterizar a capacidade que os vários tipos de materiais investigados neste estudo, tem de reter o mercúrio, foi quantificada a concentração de carbono orgânico e determinado o valor da perda ao fogo.

Foram analisadas 159 amostras e destas, 135 foram consideradas no tratamento estatístico, sendo 93 da primeira etapa de campo e 42 da segunda etapa. As amostras foram selecionadas em grupos, conforme a época de amostragem, o local de coleta, o tipo de matriz (solo, solo TPA, sedimento de corrente ou rejeito de garimpo) para uma melhor análise e interpretação dos dados.

Grupo 1: Distribuição da concentração de mercúrio total em rejeitos de garimpo no rio Rato.

A primeira campanha de campo em meados de agosto de 1992, foi realizada no início do período de estiagem, quando o trabalho no garimpo se desenvolvia de maneira normal, conseqüentemente com uma maior utilização do mercúrio. Foram analisadas 20 amostras, das quais 55% apresentaram valores superiores a 1,0 ppm, evidenciando a ocorrência de um ambiente poluído (Tabela 2).

As concentrações de mercúrio total nos rejeitos de garimpo da primeira etapa variam de 0,07 (amostra RG-56 - curimã) até 18,0 ppm (RG-71 - curimã coletado a cerca de 20 cm da superfície), com uma média de 4,1 ppm e um desvio padrão de 5,9 ppm, observando-se assim uma variação de valores muito grande (Quadro 1).

Tabela 2: Resultado das análises químicas de amostras de rejeito de garimpo (RG) do rio Rato. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.

AMOSTRA	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
RG-36	1,23	3,01	0,36
RG-37	1,47	3,78	0,24
RG-39	0,30	9,14	0,37
RG-43	1,83	7,80	0,38
RG-46	0,11	3,82	1,75
RG-47	n.a	n.a	1,86
RG-49	4,02	2,09	0,29
RG-50	0,20	0,32	0,23
RG-51	6,05	4,25	0,17
RG-56	0,07	3,90	0,41
RG-70	11,28	3,59	n.a
RG-71	17,98	12,11	n.a
RG-73	0,43	14,74	n.a
RG-74	0,26	7,27	0,20
RG-79	2,13	6,04	0,30
RG-81	1,71	9,50	0,60
RG-83	16,79	7,95	0,81
RG-85	0,52	8,58	0,52
RG-86	0,55	9,39	0,90
RG-87	13,67	3,13	0,18
RG.88	0,39	3,67	0,16

* n.a. (não analisado)

Quadro 1: Estatística descritiva das amostras de rejeito de garimpo (RG) do rio Rato. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.

	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
MENOR VALOR	0.07	0.32	0.16
MAIOR VALOR	17.98	14.74	1.86
MÉDIA	4.05	6.24	0.54
DESVIO PADRÃO	5.89	3.66	0.51
Nº de amostras	20	20	18

Nesta campanha observou-se uma alta dispersão do mercúrio. As amostras RG-50, RG-74 e RG-88 coletadas no leque de deposição de uma caixa concentradora, apresentaram valores menores que 0,5 ppm, enquanto que as amostras RG-70, RG-71 e RG-79 coletadas em rejeitos a algumas dezenas de metros da caixa, apresentaram valores superiores a 10,0 ppm. O mais interessante aconteceu com as amostras RG-87 e RG-88: a primeira que foi coletada no leque de deposição da caixa concentradora, apresentou um valor de 13,7 ppm e, a segunda, coletada cerca de 5 m de distância, apresentou um valor de 0,4 ppm. Estes dados são espelhados no fato da poluição por mercúrio ser pontual e heterogênea, pois é reflexo de vários fatores como intensidade garimpeira, quantidade de mercúrio utilizado, a forma em gotículas e o tipo de transporte do mercúrio metálico entre outros.

Com o objetivo de analisar o comportamento da concentração entre as três variáveis analisadas, ou seja, mercúrio (Hg), perda ao fogo (PF) e carbono orgânico (CO), foram contruídos diagramas de dispersão. Através da disposição dos pontos e o valor da matriz de correlação, observa-se que não existe correlação entre estas variáveis na primeira fase. O histograma do mercúrio mostra uma predominância de valores entre 0,0 e 3,0 ppm (Figura 9a), sendo que a metade destas amostras, que representam 70% do total, estão abaixo de 0,5 ppm (Figura 9b), enquanto cerca de 28% estão dentro do limite máximo do *background* de 0,3 ppm (Figura 9c).

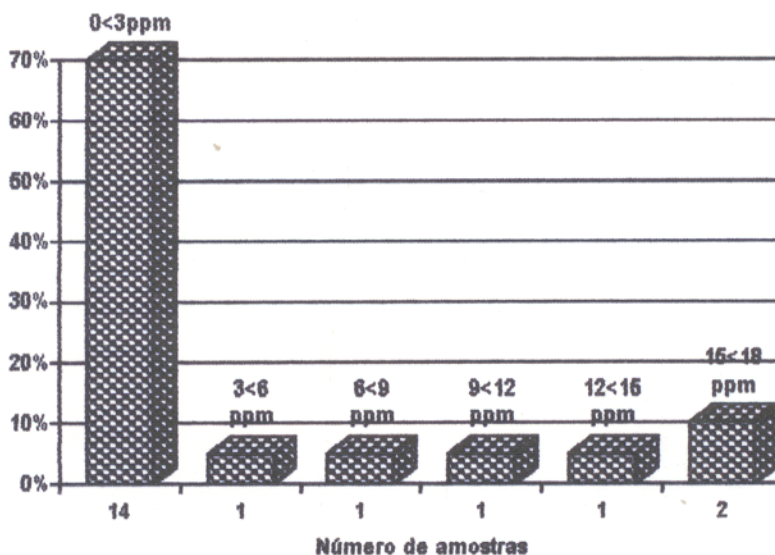


Figura 9a: Histograma do mercúrio das amostras de rejeito de garimpo do rio Rato. Primeira etapa de campo.

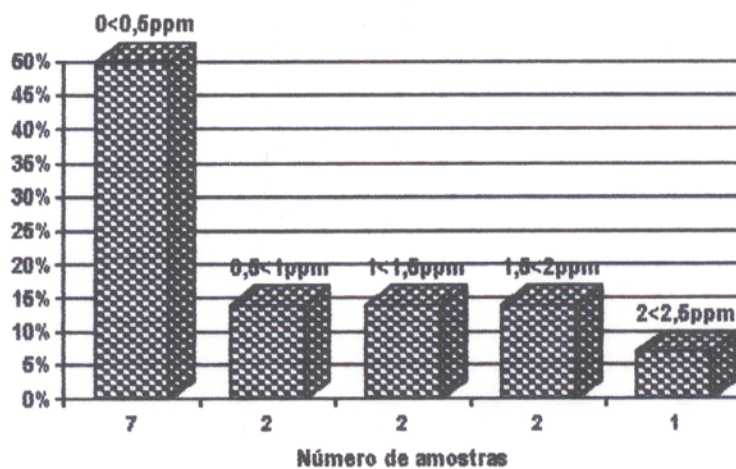


Figura 9b: Histograma do mercúrio das amostras de rejeito de garimpo (com concentrações entre 0,0 e 3,0 ppm) do rio Rato. Primeira etapa de campo.

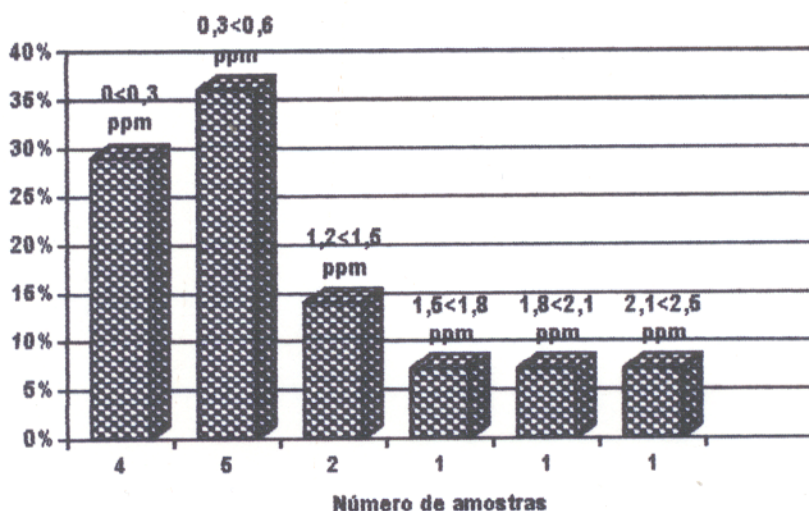


Figura 9c: Histograma do mercúrio das amostras de rejeito de garimpo (com concentração entre 0,0 e 3,0 ppm) do rio Rato. Primeira etapa de campo.

A segunda etapa de campo foi realizada no início de julho de 1993, quando as atividades garimpeiras estavam apenas reiniciando, após o final do período chuvoso. Das 10 amostras analisadas, 20% apresentaram teores maiores que 1,0 ppm de mercúrio, indicando assim uma diminuição na poluição por mercúrio nos rejeitos em relação a primeira campanha (Tabela 3).

O menor valor encontrado foi de 0,25 ppm (amostras RG-155 - material argiloso e, RG-156 - "melechete" coletado no leito do rio Rato) enquanto o maior foi de 2,50 ppm (RG-151 - amostra arenosa coletada em rejeito de balsa). O valor médio foi de 0,81 ppm e o desvio padrão de 0,82 ppm (Quadro 2).

O conjunto de amostras coletadas na segunda fase não apresentou uma grande variação de teores, todos próximos do valor médio obtido, com exceção da amostra RG-154 de granulometria arenosa (coletada próximo ao queimador do Sr. "Parafba", no leito do rio), que apresentou uma concentração de 28,4 ppm, considerado anômalo na curva de distribuição normal. Ressalta-se

Tabela 3: Resultado das análises químicas de amostras de rejeito de garimpo (RG) do rio Rato. Segunda etapa de campo / julho de 1993.

AMOSTRA	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
RG-147	2,15	4,02	n.a.*
RG-148	0,30	6,77	0,13
RG-149	0,53	3,90	0,38
RG-151	2,5	2,54	0,72
RG-152	0,75	2,29	n.a.
RG-153	0,30	6,78	0,50
RG-154	28,40	1,90	0,26
RG-155	0,25	6,91	0,38
RG-156	0,25	1,06	n.a.
RG-158	0,30	7,11	0,41
RG-159	0,85	1,02	0,11

* n.a. (não analisado)

Quadro 2: Estatística descritiva das amostras de rejeito de garimpo (RG), do rio Rato. Segunda etapa de campo / julho de 1993.

	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
MENOR VALOR	0,25	1,02	0,11
MAIOR VALOR	2,5	7,11	0,72
MÉDIA	0,81	4,02	0,36
DESVIO PADRÃO	0,82	2,46	1,20
Nº de amostras	10	11	8

Obs: os valores anômalos não foram considerados.

que uma outra amostra com as mesmas características físicas, coletada a 5 m desta amostra de resultado anômalo, apresentou um valor de 0,30 ppm.

No grupo de amostras da segunda etapa, não houve nenhum tipo de correlação entre as três variáveis. O histograma de mercúrio mostra que 80% das amostras da segunda fase, têm valores de concentração de mercúrio menor que 1,0 ppm (Figura 10).

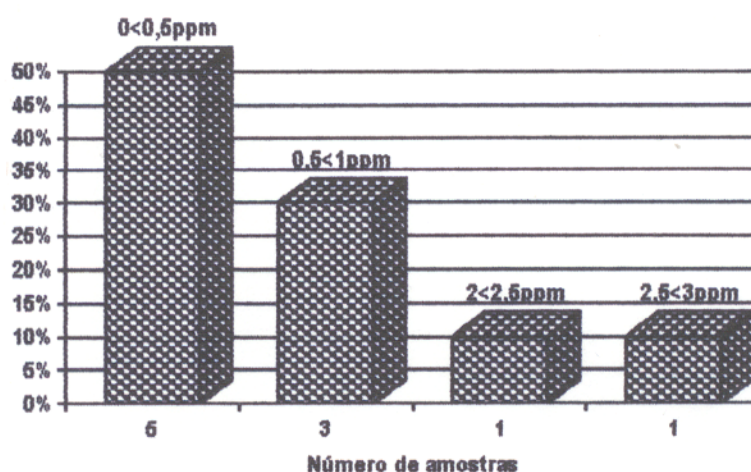


Figura 10: Histograma do mercúrio das amostras de rejeito de garimpo do rio Rato. Segunda etapa de campo.

Se o valor de 0,3 ppm for adotado como o *background* para a região, verifica-se que 75% das amostras na primeira etapa e 50% das amostras na segunda etapa estão contaminadas pois apresentam valores superiores ao estabelecido.

Comparando-se os resultados obtidos nas duas fases de campo, observa-se que o grupo de amostras da primeira etapa apresentam teores mais elevados. Estes valores são reflexos da intensidade da atividade garimpeira. Há de se considerar que, durante a época da cheia, a atividade garimpeira fica bastante reduzida, não ultrapassando 15-20% da atividade na época da seca (CETEM/ CNPq, no prelo).

Grupo 2: Distribuição da concentração de mercúrio total em rejeitos de garimpo no igarapé Fé em Deus.

Foram analisadas 17 amostras na primeira etapa de campo, das quais 6,66% apresentaram valores acima de 1,0 ppm e 13,33 % estão dentro do *background* adotado para a região (Tabela 4).

As concentrações de mercúrio total na primeira fase variam de 0,19 ppm (RG-07 - amostra areno-argilosa coletada a 2,5 m da “boca” da caixa concentradora do João “mecânico”) até 2,01 ppm (RG-34 - amostra de montoeiro de rejeito a 2 m de profundidade), com uma média de 0,82 ppm e desvio padrão de 0,45 ppm (Quadro 3)

O perfil 3 foi realizado em um depósito de rejeito, sendo coletadas amostras na superfície (RG-32), a 1 m de profundidade (RG-33), a 2 m de profundidade (RG-34) e a 3 m de profundidade (RG-35). As concentrações de mercúrio foram de 1,44, 0,93, 2,01 e 0,76 ppm, respectivamente (Figura 11).

O gráfico de PF x CO mostra correlação direta entre essas variáveis ($r = 0,62$) (Figura 12), e o histograma do mercúrio mostra uma predominância, cerca de 73% do total, da população de amostras entre os valores de 0,4 - 1,2 ppm (Figura 13).

TABELA 4: Resultado das análises químicas de amostras de rejeito de garimpo (RG) do igarapé Fé em Deus. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.

AMOSTRA	Hg (ppm)	Perda ao Fogo. (%)	Carbono Orgânico (%)
RG-01	0,47	0,62	0,23
RG-07	0,19	4,08	n.a.*
RG-08	0,64	8,12	0,31
RG-09	0,25	8,04	0,17
RG-10	0,95	9,99	0,35
RG-11	0,93	9,76	0,46
RG-12	19,70	6,00	0,90
RG-13	9,92	7,19	0,47
RG-14	0,55	6,11	0,15
RG-17	0,67	3,58	0,11
RG-18	0,81	8,44	0,08
RG-19	0,93	14,31	1,02
RG-20	0,83	5,96	0,07
RG-32	1,44	8,54	0,36
RG-33	0,93	6,87	0,23
RG-34	2,01	10,69	0,44
RG-35	0,76	6,30	0,67

* n.a. (não analisado)

Quadro 3: Estatística descritiva das amostras de rejeito de garimpo (RG) do igarapé Fé em Deus. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.

	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
MENOR VALOR	0,19	0,62	0,07
MAIOR VALOR	2,01	14,31	1,02
MÉDIA	0,82	7,33	0,37
DESVIO PADRÃO	0,45	3,09	0,28
Nº de amostras	15	17	16

Obs: os valores anômalos não foram considerados.

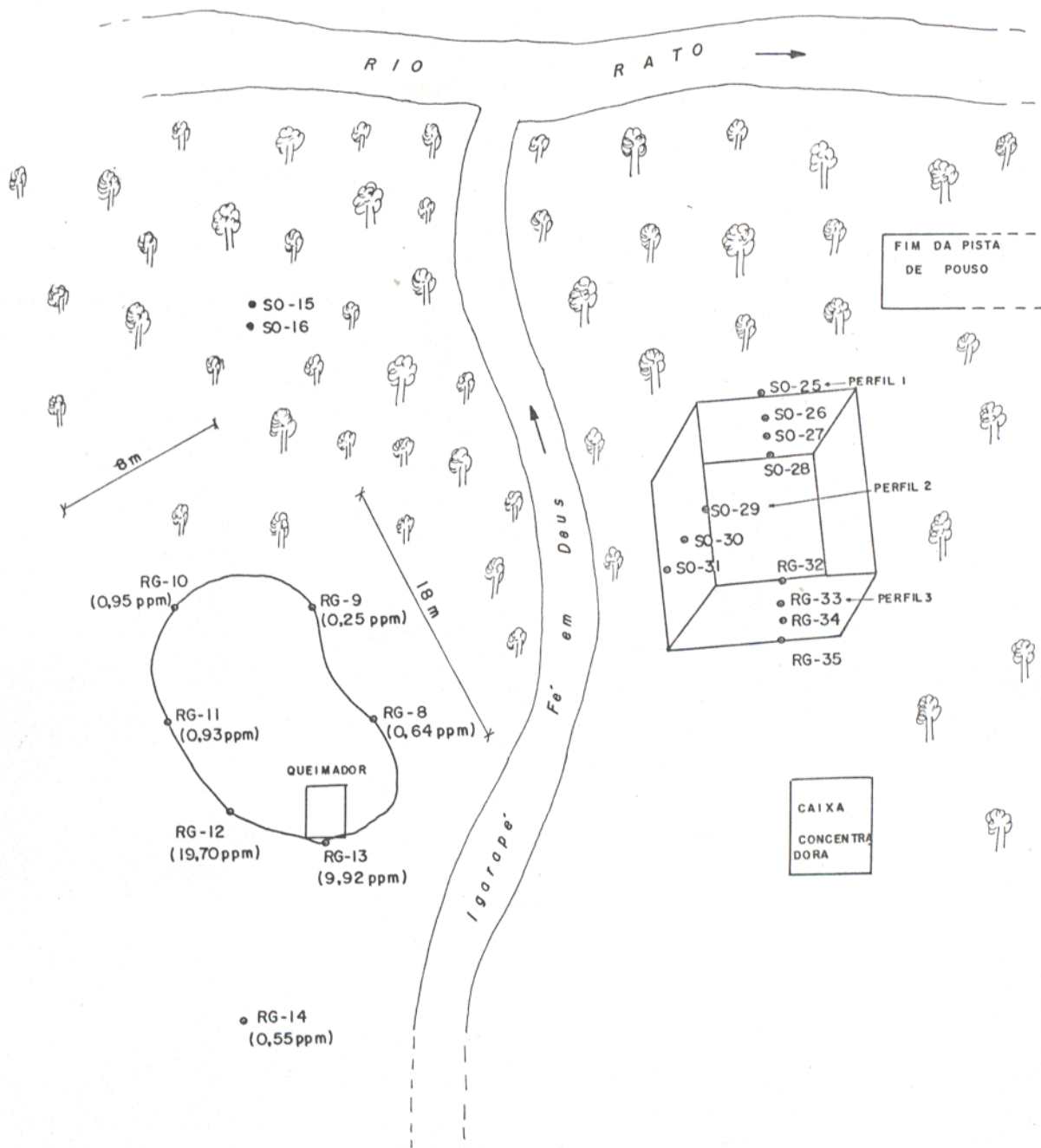


Figura 11: Esquema de localização de amostras de solos e rejeitos, próximo ao queimador do Sr. Geraldo e de perfis realizados no ig. Fé em Deus.

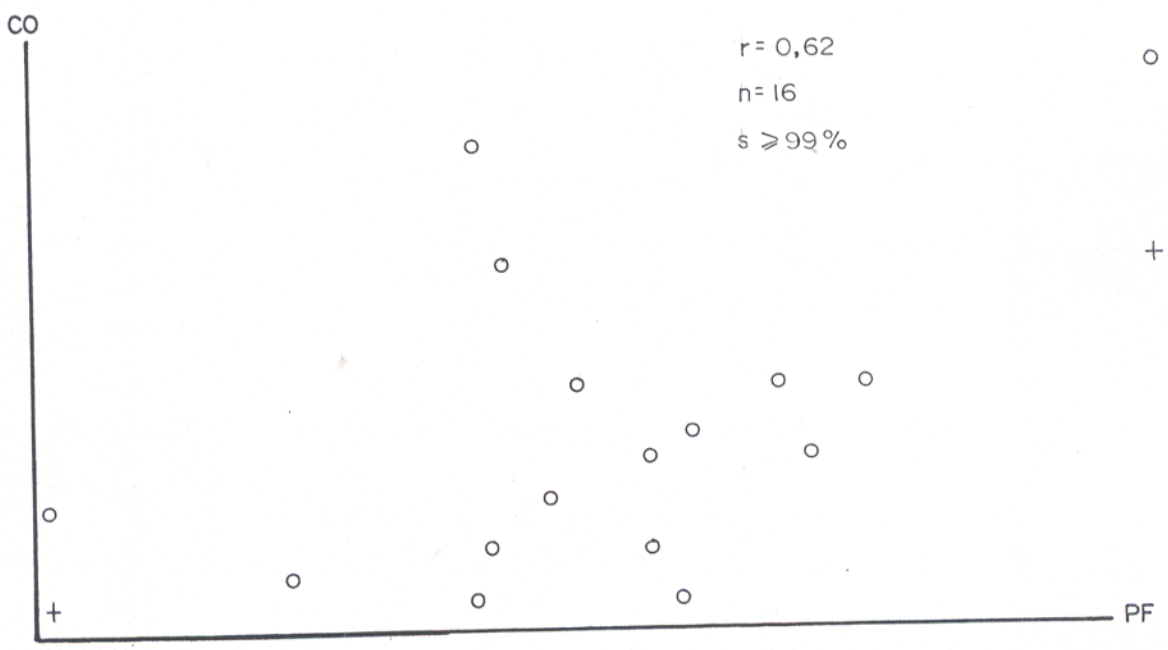


Figura 12: Gráfico de correlação entre PF x CO das amostras de rejeito de garimpo do ig. Fé em Deus. Primeira etapa de campo.

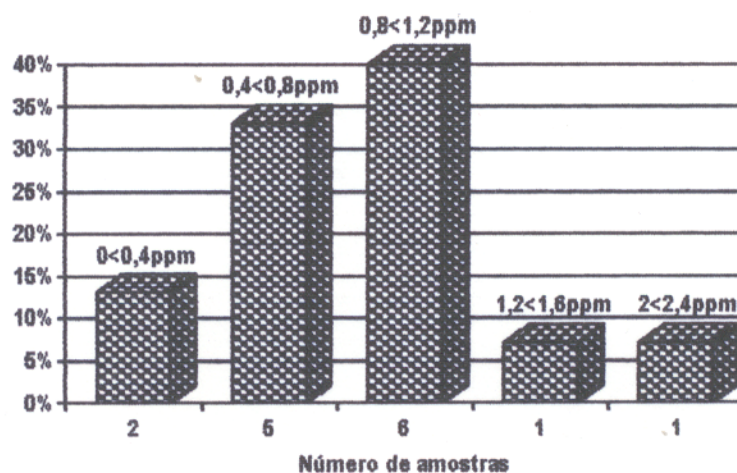


Figura 13: Histograma do mercúrio das amostras de rejeito de garimpo do igarapé Fé em Deus. Primeira etapa de campo.

Na segunda etapa de campo foram analisadas 10 amostras, duas consideradas altamente anômalas (*outliers*) e os restantes, com teores abaixo de 1,0 ppm, sendo que 25% destas estão dentro do *background* regional de 0,3 ppm adotado para a região (Tabela 5). O menor valor encontrado foi de 0,10 ppm (amostra RG-130 -coletada na saída de uma caixa concentradora), e o maior foi de 0,98 ppm (amostra RG-122 - curimã coletado a 10 m do queimador, na direção do vento). O valor médio para mercúrio foi de 0,54 ppm e o desvio padrão de 0,30 ppm (Quadro 4).

Os gráficos de correlação mostram uma boa correlação direta entre Hg x PF ($r = 0,63$), Hg x CO ($r = 0,97$) e CO x PF ($r = 0,74$) (Figura 14), mostrando assim, que quando a dispersão do mercúrio não é tão irregular e com valores baixos, pode existir uma forte correlação entre as concentrações de mercúrio e matéria orgânica, que é refletida pelas concentrações de carbono orgânico e perda ao fogo. O histograma do mercúrio mostra-se regular entre as várias classes de

TABELA 5: Resultado das análises químicas de amostras de rejeito de garimpo (RG) do igarapé Fé em Deus. Segunda etapa de campo / julho de 1993.

AMOSTRA	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
RG-121	1.346,00	7,76	0,42
RG-122	0,98	5,60	0,68
RG-123	0,49	2,73	0,23
RG-124	0,59	9,02	0,35
RG-125	0,25	1,10	0,08
RG-126	8,77	2,90	0,12
RG-127	0,82	9,49	0,67
RG-128	0,35	3,46	0,14
RG-129	0,71	10,09	0,59
RG-130	0,10	4,15	0,01

Quadro 4: Estatística descritiva das amostras de rejeito de garimpo (RG) do igarapé Fé em Deus. Segunda etapa de campo / julho de 1993.

	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
MENOR VALOR	0,10	1,10	0,10
MAIOR VALOR	0,98	10,09	0,68
MÉDIA	0,54	5,63	0,33
DESVIO PADRÃO	0,30	3,23	0,25
Nº de amostras	8	10	10

Obs: os valores anômalos não foram considerados.

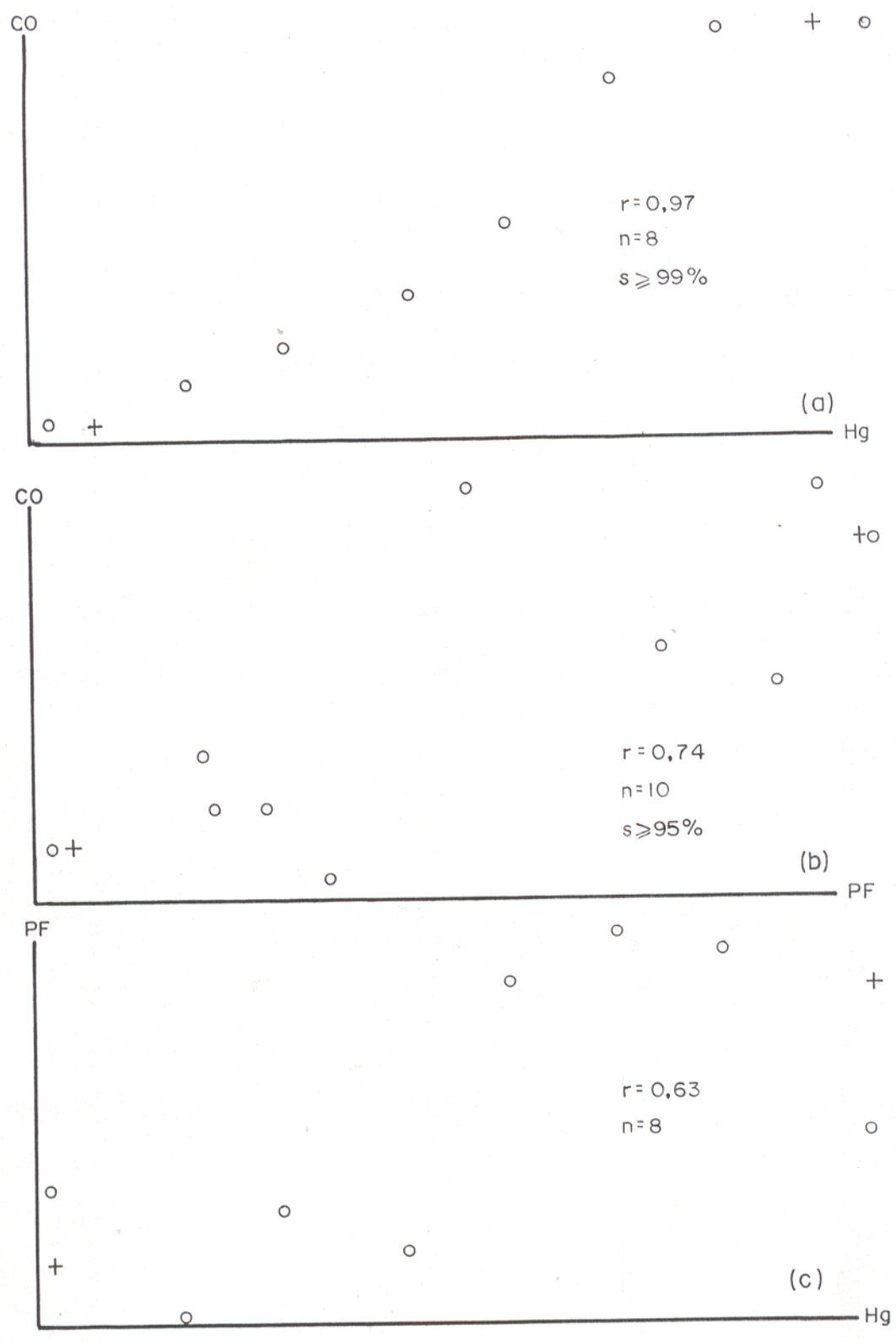


Figura 14: Gráficos de correlação das amostras de rejeito de garimpo do ig. Fé em Deus. Segunda etapa de campo.
- (a) Hg x CO (b) PF x CO (c) Hg x PF

concentração, ainda que o número de amostras seja muito reduzido (8) para raciocínios definitivos dessa natureza (Figura 15).

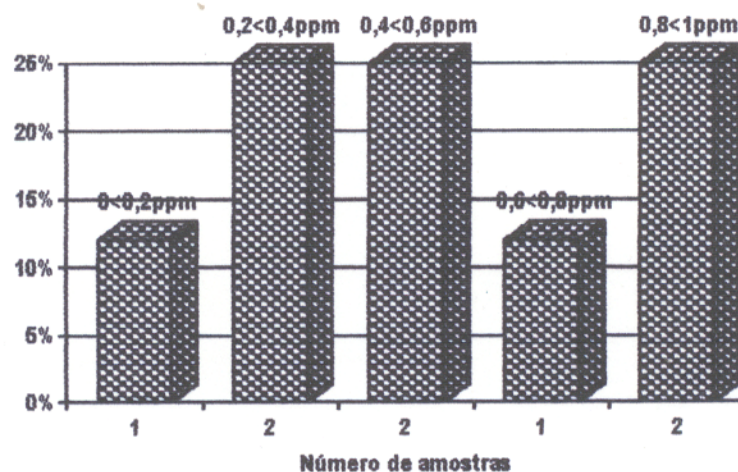


Figura 15: Histograma de mercúrio das amostras de rejeito de garimpo do igarapé Fé em Deus. Segunda etapa de campo.

Tanto as amostras de “melechete” como as de “curimã”, em ambas as campanhas apresentaram teores da mesma magnitude, assim como aquelas coletadas próximas ou não da caixa concentradora. Quatro amostras, porém, coletadas próximo a queimadores de amálgamas, duas na primeira etapa (RG-12 e RG-13) e duas na segunda (RG-121 e RG-126), apresentaram valores anômalos. Cinco outras amostras, coletadas próximos as amostras RG-12 e RG-13, apresentaram valores menores do que 1,0 ppm, e a amostra RG-121 revelou o maior teor entre todas as amostras deste estudo (0,13% de Hg) (Figura 11).

Apesar dos valores encontrados na primeira etapa terem sido maiores do que os da segunda etapa, a distribuição de mercúrio total foi homogênea nas duas campanhas e, em comparação com o comportamento global observado no rio Rato, o igarapé Fé em Deus apresenta-se menos poluído.

Grupo 3: Distribuição da concentração de mercúrio total em sedimentos de corrente no rio Rato.

Foram analisadas 14 amostras na primeira etapa de campo, sendo que 29,0% apresentam valores acima de 1,0 ppm e apenas 7,0% encontram-se abaixo do limite de *background* regional (Tabela 6). O menor valor encontrado foi de 0,29 ppm em uma amostra arenosa (SC-54), e o maior foi de 2,40 ppm em uma amostra de granulometria fina, coletada sobre pedras no meio do rio Rato, próximo ao igarapé Jacundá (SC-66). O teor médio foi de 0,77 ppm e o desvio padrão de 0,56 ppm, que denota uma distribuição relativamente uniforme (Quadro 5). Estes dados indicam que o mercúrio, neste tipo de material, teve um comportamento semelhante ao verificado na distribuição da concentração de mercúrio total, em rejeitos de garimpo no igarapé Fé em Deus.

Não se observam variações contudentes das concentrações em materiais de diferentes granulometrias em grande parte das amostras, porém, em duas amostras coletadas entre as rochas no meio do rio, verificou-se um teor maior na amostra argilosa SC-66 (2,40 ppm) do que na arenosa SC-67 (1,23 ppm).

No ponto mais extremo onde foi realizada a amostragem, na confluência do rio Rato com o rio Tapajós, distante cerca de 5 km do último local de extração do ouro no rio Rato, o teor de mercúrio encontrado foi de 0,46 ppm, estando acima do *background* regional (Anexo 17).

O gráfico de correlação mostra que só houve uma boa correlação entre as variáveis CO e PF ($r = 0,84$) (Figura 16), sugerindo assim que, embora a matéria orgânica tenha capacidade de reter o mercúrio, a poluição por este metal é pontual, independente do teor de matéria orgânica na amostra analisada, e se dando de acordo com a proximidade da fonte poluidora e da predominância do vento. O histograma mostra que 93,0 % das amostras estão distribuídas entre as classes abaixo de 1,5 ppm (Figura 17).

Tabela 6: Resultado das análises químicas de amostras de sedimento de corrente (SC) do rio Rato. primeira etapa de campo / agosto de 1993.

AMOSTRA	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
SC-40	0,45	14,24	1,55
SC-41	0,35	6,66	n.a.
SC-42	0,57	7,25	0,70
SC-48	0,68	16,32	1,65
SC-53	1,21	17,30	n.a.
SC-54	0,29	3,90	0,53
SC-57	0,39	14,09	1,21
SC-58	1,16	8,50	n.a.
SC-60	0,43	9,85	0,90
SC-61	0,46	9,11	0,07
SC-66	2,40	16,27	1,74
SC-67	1,23	11,07	n.a.
SC-82	0,56	13,14	1,48
SC-84	0,70	13,02	1,19

* n.a. (não analisado)

Quadro 5: Estatística descritiva das amostras de sedimento de corrente (SC) do rio Rato. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.

	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
MENOR VALOR	0,29	3,90	0,07
MAIOR VALOR	2,40	17,30	1,74
MÉDIA	0,77	11,48	1,10
DESVIO PADRÃO	0,56	4,07	0,54
Nº de amostras	14	14	10

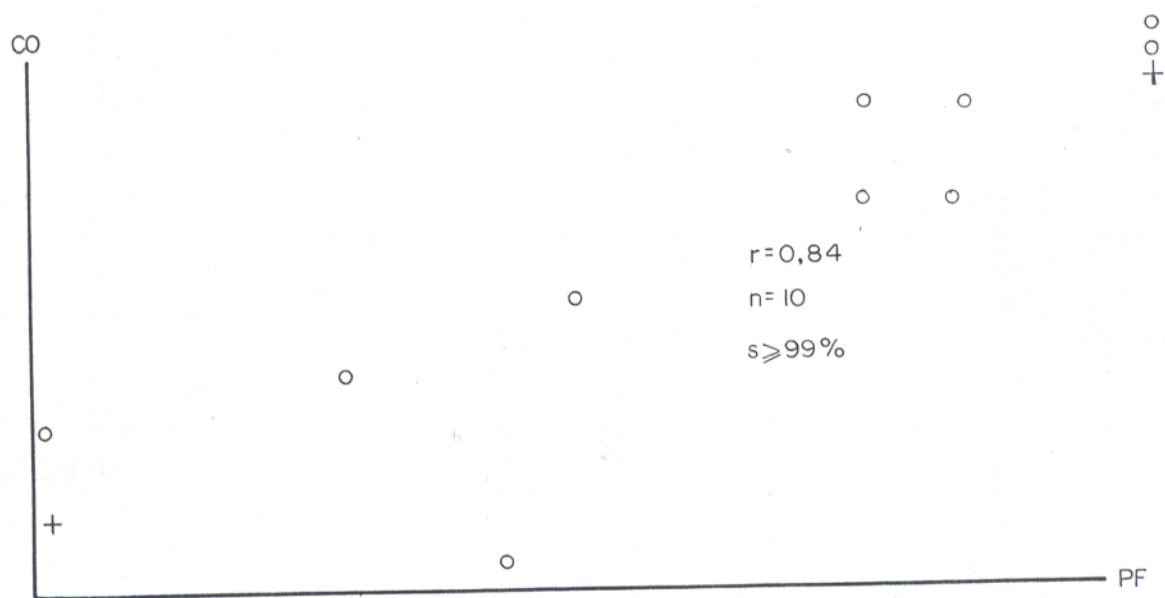


Figura 16: Gráfico de correlação entre PF x CO das amostras de sedimento de corrente do rio Rato. Primeira etapa de campo.

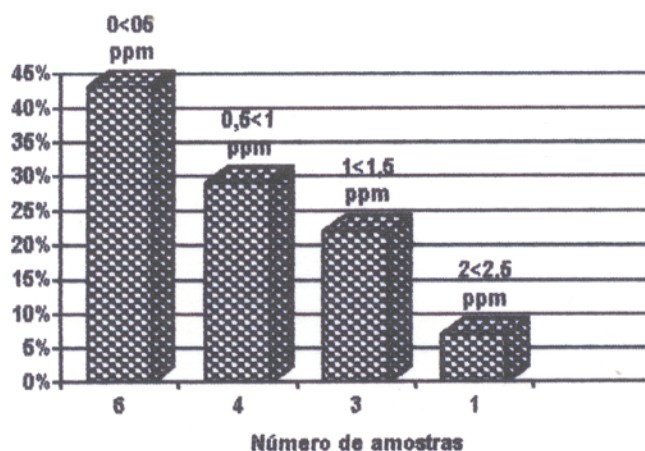


Figura 17: Histograma do mercúrio das amostras de sedimentos de corrente do rio Rato. Primeira etapa de campo.

Na segunda campanha foram coletadas apenas 3 amostras. Seus resultados são compatíveis com aqueles da primeira campanha (Tabela 7 e Quadro 6).

Grupo 4: Distribuição da concentração de mercúrio total em sedimentos de corrente no igarapé Fé em Deus.

Este grupo possui 5 amostras, que foram coletadas na primeira fase de campo, sendo que três delas apresentaram teores maior que 1,0 ppm e apenas uma encontra-se dentro do intervalo de *background* regional (Tabela 8).

A média foi de 2,18 ppm e o desvio padrão foi de 1,77 ppm (Quadro 7). Esta média é considerada alta, se compararmos com a média obtida para este tipo de material na mesma campanha no rio Rato, que foi de 0,77 ppm. Isto pode ser explicado pelo fato do igarapé Fé em

Tabela 7: Resultado das análises químicas de amostras de sedimento de corrente (SC), do rio Rato. Segunda etapa de campo / julho de 1993.

AMOSTRA	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
SC-117	0,83	2,24	0,36
SC-157	0,15	6,35	0,51
SC-160	1,02	9,43	1,00

Quadro 6: Estatística descritiva das amostras de sedimento de corrente (SC) do rio Rato. Segunda etapa de campo / julho de 1993.

	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
MENOR VALOR	0.15	2.24	0.36
MAIOR VALOR	1.02	9.43	1.00
MÉDIA	0.66	6.00	0.62
DESVIO PADRÃO	0.46	3.61	0.33
Nº de amostras	3	3	3

Tabela 8: Resultado das análises químicas de amostras de sedimento de corrente (SC) do igarapé Fé em Deus. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.

AMOSTRA	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
SC-02	2,27	10,75	0,64
SC-03	3,87	9,76	0,41
SC-21	0,21	3,95	0,31
SC-06	3,97	8,87	0,55
SC-59	0,59	18,63	0,83

Quadro 7: Estatística descritiva das amostras de sedimento de corrente (SC) do igarapé Fé em Deus. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.

	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
MENOR VALOR	0,21	3,95	0,31
MAIOR VALOR	3,97	18,63	0,83
MÉDIA	2,18	10,39	0,55
DESVIO PADRÃO	1,77	5,29	0,20
Nº de amostras	5	5	5

Deus estar mais assoreado, já que têm dimensões menores, trechos com menos de 2 m de largura, e uma maior densidade de garimpeiros em relação ao rio Rato.

Observa-se que as duas amostras de “melechete” (SC-02 e SC-03) estão entre as três que apresentaram os mais altos teores (2,27 ppm e 3,78 ppm, respectivamente) e que, duas amostras areno-argilosas foram as que menor teor de mercúrio revelaram: SC-21 (0,21 ppm) e SC-59 (0,59 ppm).

O gráfico CO x PF mostra uma correlação forte ($r = 0,93$) (Figura 18).

Grupo 5: Distribuição da concentração de mercúrio total em sedimentos de corrente nos igarapés tributários do rio Rato.

Foram analisadas 20 amostras de sedimentos, 19 da primeira etapa de campo e uma amostra SC-150, pertencente a segunda etapa. A metade delas apresentou teores acima de 1,0 ppm e apenas 5,0% pertencem ao intervalo de *background* regional (Tabela 9).

O menor valor encontrado foi de 0,17 ppm na amostra SC-77 (obtida na superfície do igarapé Lontra, que possui água barrenta, a cerca de 200 m do rio Rato), e o maior valor foi de 3,87 ppm, obtido na amostra SC-68 (coletada a 3,5cm de profundidade no igarapé Jacundá, que possui água transparente). A média foi de 1,19 ppm e o desvio padrão de 0,93 ppm (Quadro 8).

Muito embora, cerca de 70% dos igarapés investigados sejam de águas limpas, sugerindo que pelo menos às proximidades não havia trabalho de garimpo, a média obtida foi superior a verificada no rio Rato de 0,77 ppm, no mesmo período de amostragem.

Pelos critérios de FERNANDES *et al.* (1990) e PFEIFFER *et al.* (1990), estes igarapés podem ser considerados poluídos em relação ao mercúrio, já que 100% das amostras situam-se na faixa de rios amazônicos poluídos por mercúrio, que é de 0,2 a 20 ppm em sedimentos.

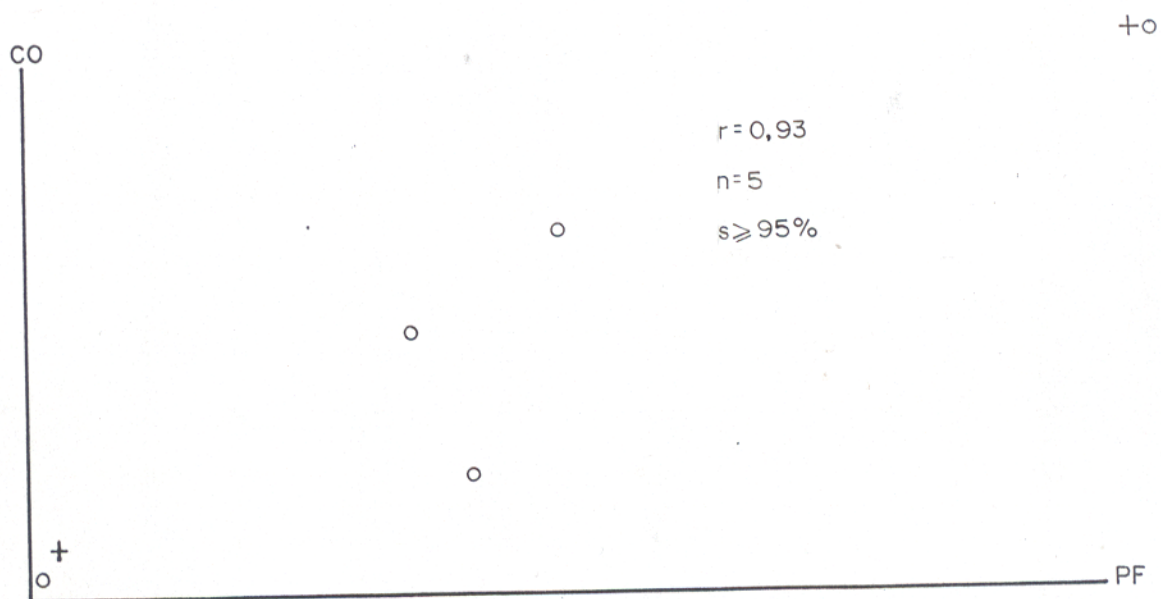


Figura 18: Gráfico de correlação entre PF x CO das amostras de sedimento de corrente do ig. Fé em Deus. Primeira etapa de campo.

Tabela 9: Resultado das análises químicas de amostras de sedimento de corrente (SC) dos igarapés tributários do rio Rato. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.

AMOSTRA	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
SC-22	0,42	7,34	1,53
SC-23	0,97	7,13	n.a.
SC-24	1,12	17,06	n.a.
SC-38	1,40	n.a.	n.a.
SC-44	0,97	15,52	2,24
SC-45	0,30	9,36	1,68
SC-52	0,40	14,93	3,21
SC-55	1,24	15,97	n.a.
SC-62	0,64	21,09	3,49
SC-63	2,31	n.a.	n.a.
SC-64	1,02	18,35	2,85
SC-65	1,59	12,19	n.a.
SC-68	3,87	15,12	2,13
SC-69	0,55	20,76	2,54
SC-72	1,51	13,42	2,21
SC-75	0,32	17,02	3,39
SC-76	2,61	11,25	2,07
SC-77	0,17	7,91	1,31
SC-78	n.a.	n.a.	0,40
SC-80	0,50	16,54	2,05
SC-150 **	1,93	13,14	2,29

* n.a. (não analisado)

** amostra coletada na segunda fase de campo

Quadro 8: Estatística descritiva das amostras de sedimento de corrente (SC) dos igarapés tributários do rio Rato. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.

	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
MENOR VALOR	0,17	7,13	0,40
MAIOR VALOR	3,87	21,09	3,49
MÉDIA	1,19	14,12	2,23
DESVIO PADRÃO	0,93	4,27	0,82
Nº de amostras	20	18	15

No igarapé Lontra, de águas barrentas, devido a disposição de rejeitos de garimpo, foram executadas coletas de duas amostras superficiais de sedimentos e uma a 50 cm de profundidade. As amostras superficiais SC-75 e SC-77 apresentaram concentrações de 0,32 e 0,17 ppm de mercúrio, respectivamente, e a amostra SC-76, obtida em profundidade, apresentou um valor bem mais alto (2,61 ppm).

Este fato também foi observado com as amostras SC-68 e SC-69. A primeira obtida a 3,5 cm de profundidade apresentou um valor de 3,87 ppm (a mais alta do grupo), e a segunda coletada na superfície apresentou um valor de 0,55 ppm.

O histograma mostra que 70% das amostras são menores do que 1,5 ppm de mercúrio (Figura 19). O gráfico de correlação mostra que houve novamente uma boa correlação entre as variáveis PF x CO ($r = 0,79$), confirmando que o ensaio de perda ao fogo reflete as concentrações de matéria orgânica (Figura 20).

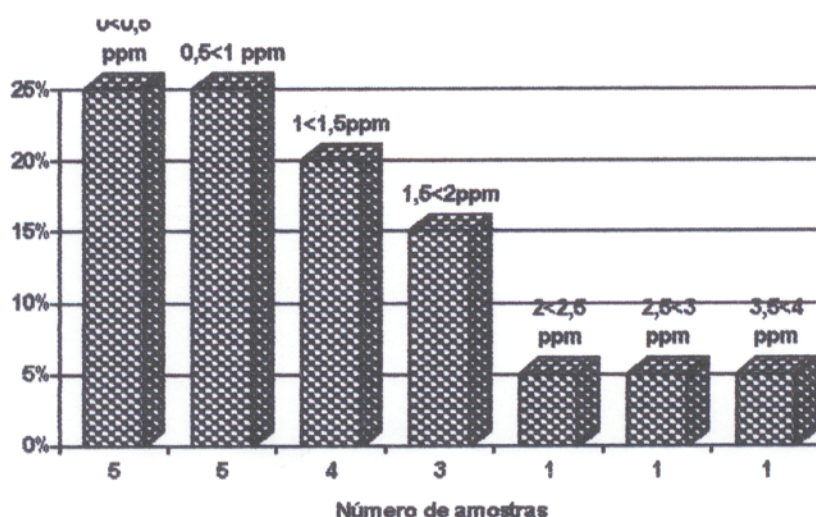


Figura 19: Histograma do mercúrio das amostras de sedimento de corrente dos igarapés tributários do rio Rato. Primeira etapa de campo.

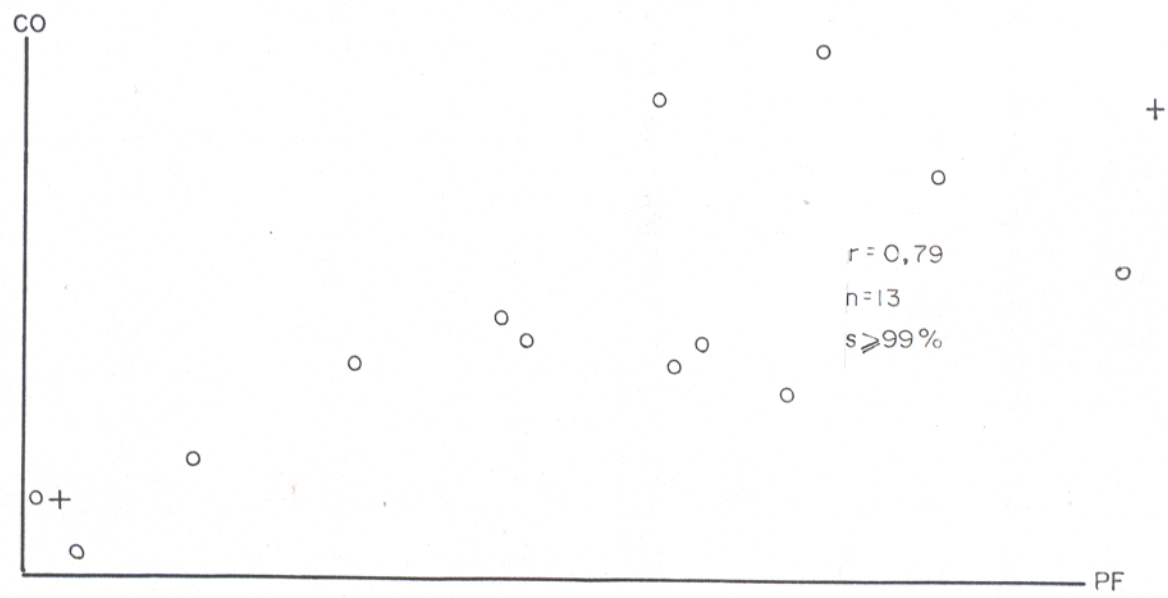


Figura 20: Gráfico de correlação entre PF x CO das amostras de sedimento de corrente dos ig. tributários do rio Rato. Primeira etapa de campo.

Grupo 6: Distribuição da concentração de mercúrio total em solos no igarapé Fé em Deus.

Todas as 11 amostras foram coletadas na primeira fase de campo. Neste grupo 20% apresentam teor maior que 1,0 ppm, e outras 20% estão dentro do *background* regional (Tabela 10).

As concentrações de mercúrio total situam-se entre 0,11 e 1,18 ppm, com média de 0,58 ppm e desvio padrão de 0,36 ppm (Quadro 9). Entre todos os tipos de materiais investigados este foi o que apresentou a menor média de mercúrio total. O menor valor foi encontrado na amostra SO-15, que foi coletada dentro da mata, 5 cm abaixo da liteira, na direção do vento, próximo a um queimador. O maior valor foi verificado em uma amostra areno-argilosa (SO-31), de cor branca, obtida em um perfil de uma "cratera", deixada pelo desmonte de um barranco, onde estava sendo despejado os rejeitos da atividade garimpeira (Figura 11).

A amostra SO-04 foi considerada anômala, pois apresentou o valor de 8,84 ppm que se situa fora do intervalo razoável à curva de distribuição normal. Esta amostra foi obtida no acampamento Três mil, no pé da base de um queimador, que estava há 33 meses desativado e esteve, anteriormente cerca de 5 anos em operação.

Analisando-se os perfis obtidos, observa-se que no perfil 1 a amostra superficial (SO-25) apresentou um valor baixo de 0,16 ppm e as amostras obtidas a 1 m de profundidade (SO-26), 2 m de profundidade (SO-27) e 3 m de profundidade apresentaram teores próximo de 0,5 ppm (Figura 11).

No perfil 2 nota-se um pequeno acréscimo do teor de mercúrio a medida que aumenta a profundidade. A amostra SO-29 (argila de cor cinza) apresentou um valor de 0,36 ppm, a amostra SO-30 (argilo-arenoso de cor marrom) 1,10 ppm e a amostra SO-31 (areno-argiloso de cor branca) 1,18 ppm (Figura 11).

Tabela 10: Resultado das análises químicas de amostras de solo (SO) do igarapé Fé em Deus. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.

AMOSTRA	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
SO-04	8,84	14,37	3,18
SO-05	0,65	14,47	3,47
SO-15	0,11	5,76	0,17
SO-16	0,77	7,63	0,53
SO-25	0,16	7,77	0,29
SO-26	0,51	4,65	0,16
SO-27	0,49	5,51	0,13
SO-28	0,50	11,00	0,24
SO-29	0,36	12,59	0,60
SO-30	1,10	11,44	0,41
SO-31	1,18	13,00	0,35

Quadro 9: Estatística descritiva das amostras de solo (SO) do igarapé Fé em Deus. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.

	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
MENOR VALOR	0,11	4,65	0,13
MAIOR VALOR	1,18	14,47	3,47
MÉDIA	0,58	9,82	0,87
DESVIO PADRÃO	0,36	3,69	1,23
Nº DE AMOSTRAS	10	11	11

Obs: os valores anômalos não foram considerados.

O histograma de mercúrio mostra que 80% das amostras estão distribuídas em várias faixas com limite inferior a 0,8 ppm (Figura 21). Os gráficos de correlação mostram uma boa correlação entre Hg x PF ($r = 0,53$) e PF x CO ($r = 0,64$) (Figura 22).

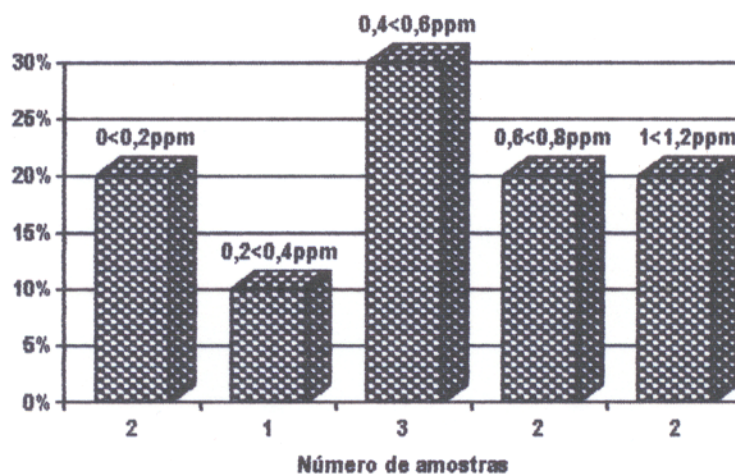


Figura 21: Histograma do mercúrio das amostras de solo do Igarapé Fé em Deus. Primeira etapa de campo.

Grupo 7: Distribuição das concentrações de mercúrio total nos solos com TPA na “corrutela” Piririma.

O tratamento estatístico para as amostras de solo com TPA foi realizado com a eliminação das amostras coletadas em profundidade e daquelas superficiais de dentro do barraco de queima do amálgama, porque elas não são compatíveis com o restante das amostras superficiais.

Na primeira etapa de campo, foram coletadas 17 amostras, porém, apenas 9 foram consideradas para o tratamento estatístico (Tabela 11). O teor de mercúrio varia de 1,33 até 20,78 ppm, com uma média de 9,94 ppm e desvio padrão de 6,91 ppm. O menor valor foi encontrado na amostra SO.TPA-94, coletada atrás do queimador, a cerca de 7,5 cm de distância, e a maior foi encontrada na amostra SO.TPA-101, coletada a cerca de 30 m do queimador na direção do vento (Quadro 10 e Anexo 4)

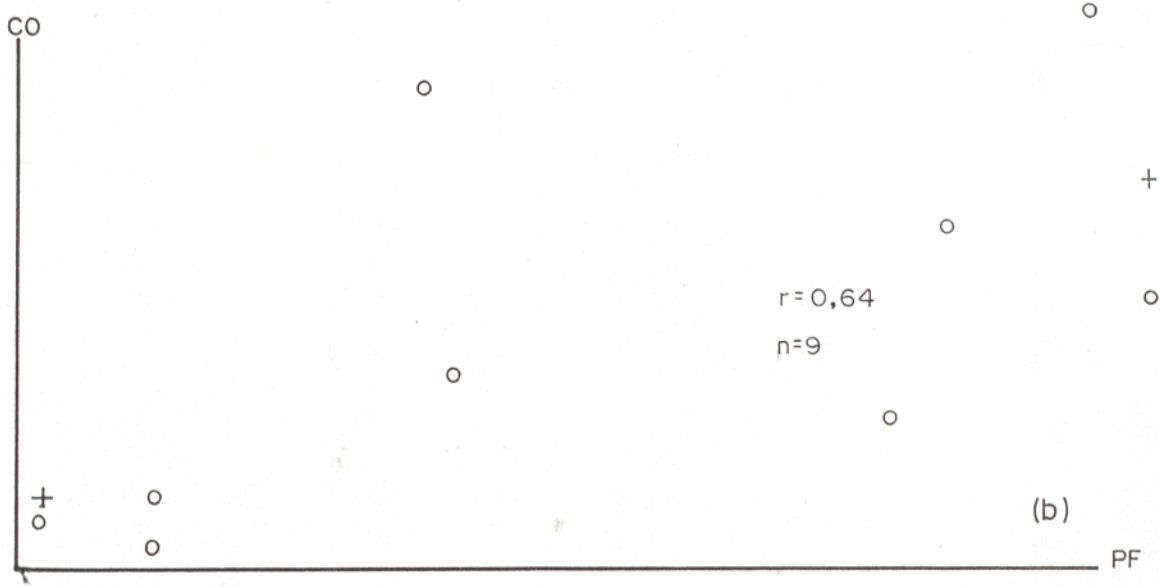
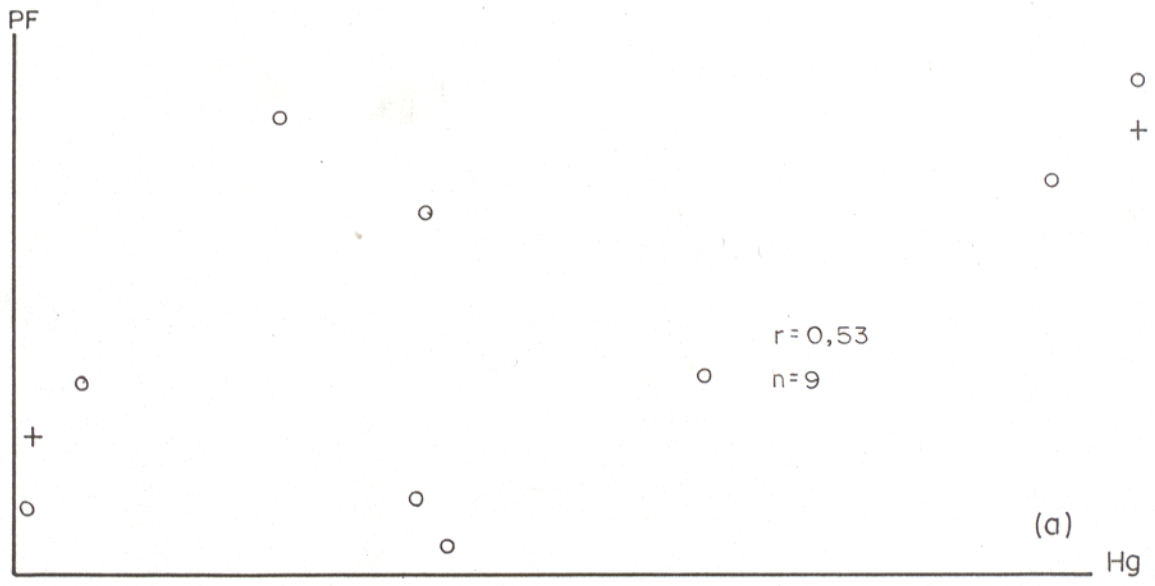


Figura 22: Gráficos de correlação das amostras de solo do ig. Fé em Deus. Primeira etapa de campo.

- (a) Hg x PF

(b) PF x CO

TABELA 11: Resultado das análises químicas das amostras de solo com Terra Preta Arqueológica (SO.TPA) da “corrutela” Píririma. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.

AMOSTRA	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
SO.TPA-89	23,24	20,57	3,87
SO.TPA-90	1,23	19,01	3,77
SO.TPA-91	20,37	19,16	3,98
SO.TPA-92	2,46	19,41	3,94
SO.TPA-93*	1,66	18,04	3,50
SO.TPA-94*	1,33	19,65	4,16
SO.TPA-95	2,10	32,12	4,48
SO.TPA-96	1,42	19,97	3,76
SO.TPA-97	1,91	18,59	3,45
SO.TPA98*	17,14	16,95	3,21
SO.TPA-99*	13,96	17,85	33,51
SO.TPA-100*	7,56	19,74	4,61
SO.TPA-101*	20,78	23,41	5,99
SO.TPA-102*	13,20	24,19	6,14
SO.TPA-103*	10,07	21,03	n.a.
SO.TPA-104	5,38	19,86	44,16
SO.TPA-105*	3,77	21,42	n.a.

(n.a.) não analisado

* amostras consideradas no tratamento estatístico

Quadro 10: Estatística descritiva das amostras de solo com Terra Preta Arqueológica (SO.TPA) da “corrutela” Píririma. Primeira etapa de campo / agosto de 1992.

	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
MENOR VALOR	1,33	16,95	3,21
MAIOR VALOR	20,78	24,19	6,14
MÉDIA	9,94	20,25	4,60
DESVIO PADRÃO	6,91	2,49	1,26
Nº de amostras	9	9	6

Na segunda fase, das 30 amostras coletadas, 21 foram consideradas para o tratamento estatístico (Tabela 12). O menor valor encontrado foi de 0,59 ppm, em frente ao restaurante, na amostra SO.TPA-110, distante cerca de 60 m do queimador na direção do vento, e o maior valor encontrado foi na amostra SO.TPA-112 (14,15 ppm), coletada em frente a delegacia do sindicato das garimpeiros do Tapajós, a cerca de 40 m do queimador em atividade e distante cerca de 20 m do antigo queimador (Quadro 11 e Anexo 14).

O histograma do mercúrio mostra, tanto na primeira fase de campo como na segunda, a população distribuída de uma maneira quase uniforme em todas as classes de concentração, reflexo da variação acentuada dos valores de mercúrio total (Figuras 23 e 25). Houve uma boa correlação apenas entre as variáveis CO x PF ($r = 0,60$) no grupo de amostras da segunda etapa (Figura 24).

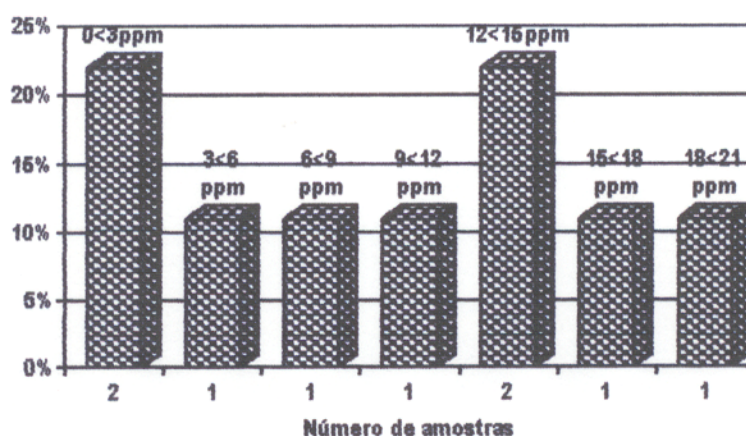


Figura 23: Histograma do mercúrio das amostras de solo com TPA. Primeira etapa de campo.

Tabela 12: Resultado das análises químicas das amostras de solo com Terra Preta Arqueológica (SO.TPA) da "corrutela" Piririma. Segunda etapa de campo / julho de 1993.

AMOSTRA	Hg (ppm)	Perda ao Fogo. (%)	Carbono Orgânico (%)
SO.TPA-106*	8,55	18,09	3,84
SO.TPA-107*	6,97	21,43	4,63
SO.TPA-108*	2,18	21,00	4,64
SO.TPA-109*	2,74	19,68	3,96
SO.TPA-110*	0,59	13,51	2,57
SO.TPA-111*	5,96	17,75	2,77
SO.TPA-112*	14,15	20,42	4,59
SO.TPA-113*	8,84	24,27	5,81
SO.TPA-114*	11,95	38,88	4,66
SO.TPA-115*	7,78	13,03	2,48
SO.TPA-116*	1,64	5,98	0,92
SO.TPA-118*	13,94	15,08	3,72
SO.TPA-119*	3,61	17,71	3,98
SO.TPA-120*	13,60	16,78	3,33
SO.TPA-131*	12,51	10,67	4,16
SO.TPA-132	2,42	24,89	3,29
SO.TPA-133	3,45	22,93	1,17
SO.TPA-134*	4,77	26,17	3,66
SO.TPA-135*	11,53	17,77	3,69
SO.TPA-136	1,64	16,45	2,30
SO.TPA-137	0,50	16,79	2,68
SO.TPA-138	6,32	22,95	1,61
SO.TPA-139*	1,60	23,69	3,47
SO.TPA-140*	4,42	20,16	3,27
SO.TPA-141*	8,11	18,67	3,21
SO.TPA-142*	6,91	19,28	2,31
SO.TPA-143	0,77	14,04	2,38
SO.TPA-144	0,56	12,97	1,83
SO.TPA-145	1,08	13,24	1,07
SO.TPA-146	110,43	20,76	4,12

* amostras consideradas no tratamento estatístico

Quadro 11: Estatística descritiva das amostras de solo com Terra Preta Arqueológica (SO.TPA) da "corrutela" Piririma. Segunda etapa de campo / julho de 1993.

	Hg (ppm)	Perda ao Fogo (%)	Carbono Orgânico (%)
MENOR VALOR	0,59	5,98	0,92
MAIOR VALOR	14,15	38,88	5,81
MÉDIA	7,25	19,05	3,60
DESVIO PADRÃO	4,41	6,48	1,04
Nº de amostras	21	21	21

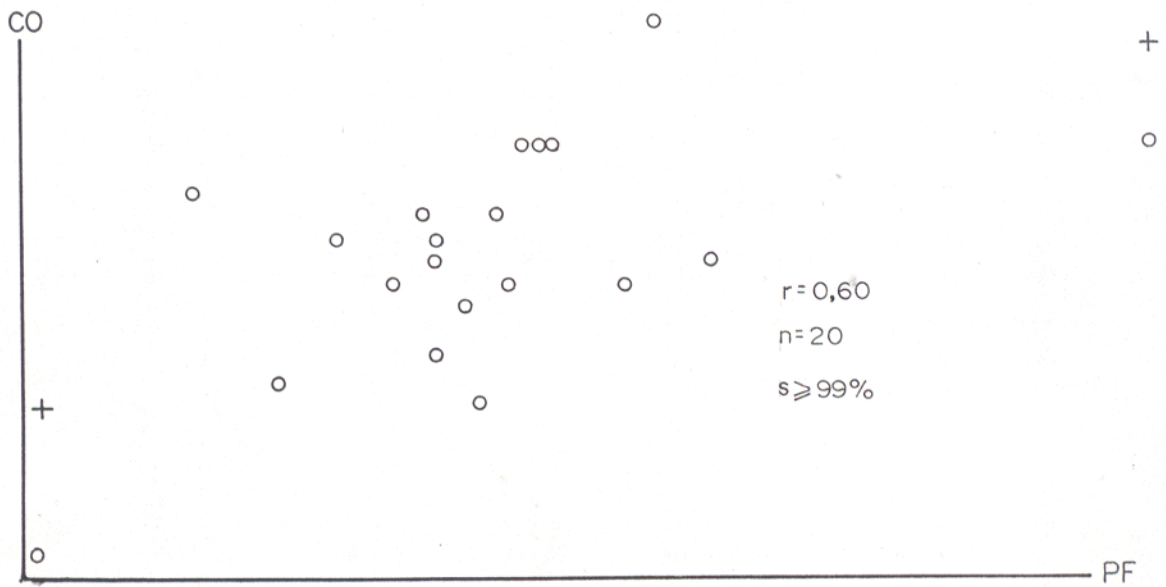


Figura 24: Gráfico de correlação entre PF x CO das amostras de solo com TPA. Segunda etapa de campo.

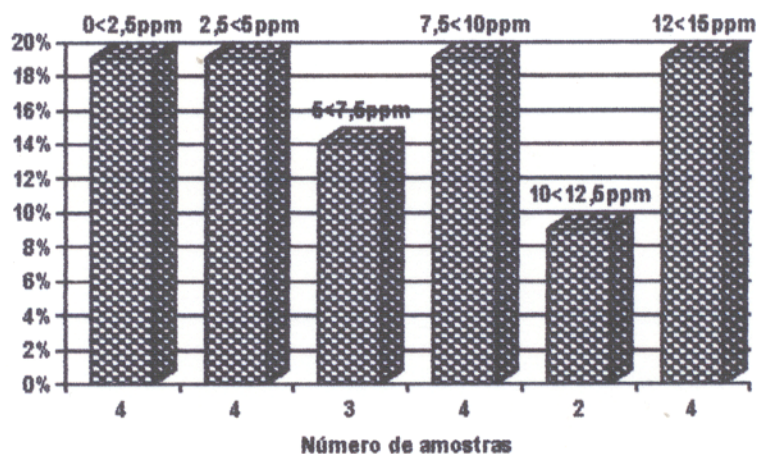


Figura 25: Histograma do mercúrio das amostras de solo com TPA. Segunda etapa de campo.

Na primeira etapa de amostragem, foi verificado que as amostras coletadas próximas a um queimador de amálgama já desativado apresentaram valores altos para os solos. Na segunda fase de amostragem, ao redor do antigo queimador, o solo ainda se apresentava bastante contaminado, apesar do abandono desse queimador, o que indica que anomalias em unidades de ppm não desaparecem em intervalo de tempo de poucos anos.

Nas duas fases de campo foram realizados perfis verticais atrás do queimador de amálgama. Na primeira etapa de campo, observaram-se valores menores do que os obtidos na segunda etapa. Isto ocorreu provavelmente devido ao fato deste queimador ser de uso recente, quando da realização da primeira amostragem.

Analisando-se os perfis estudados, nota-se que os maiores valores ocorrem quase sempre na superfície, caindo de maneira brusca já no segundo nível do perfil. Observa-se em alguns perfis (C, F e G) que existe uma espécie de aprisionamento do mercúrio nas camadas mais profundas do

solo com TPA. Na amostra (SO.TPA-138), encontrou-se um valor maior do que 5,0 ppm, no último nível (Quadro 12 e Anexo 14).

Quadro 12: Resultado da análise de mercúrio (Hg) em ppm, das amostras dos perfis realizados no solo com TPA na "corrutela" Piririma.

Profundidade	Perfil A	Perfil B	Perfil C	Perfil D	Perfil E	Perfil F	Perfil G
Superficial	23,24	20,37	1,33	10,07	12,51	11,53	6,91
10cm	1,23	2,46	2,10	5,38	2,42	1,64	0,77
20cm	-	-	1,42	-	3,45	0,50	0,56
30cm	-	-	1,91	-	-	6,32	1,08

O alto teor de matéria orgânica no solo com TPA cria uma estruturação bem clara do solo no local, com a parte orgânica superficial jazindo sobre o horizonte argiloso inferior. A remobilização do mercúrio pode ocorrer devido a sua alta densidade que favorece o movimento vertical descendente, muito facilitado pela ação mecânica da fauna presente no horizonte orgânico que caracteriza a TPA.

Dentro do barraco, onde é realizada a queima do amálgama, foram coletadas três amostras superficiais, cujas análises revelaram valores altos e anômalos (SO.TPA-89, 23,24 ppm; SO.TPA-91, 20,37 ppm e SO.TPA-146, 110,43 ppm).

No centro do campo de futebol, fora da área de solo com TPA, foi coletada a amostra de solo SO-161, que, apesar de estar situada na direção oposta ao vento e a uma distância de cerca de 100 m do queimador, revelou um teor relativamente alto de mercúrio (1,55 ppm), se comparado com os solos analisados nos "baixões" do igarapé Fé em Deus.

Comparando-se com a primeira amostragem, verificou-se que, de uma forma geral, ocorreu uma diminuição nos níveis de mercúrio no solo. Ainda assim, conclui-se que a área está contaminada, pois todas as amostras acusam presença de mercúrio com valores anômalos para os solos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados apresentados e discutidos neste trabalho evidenciam que o mercúrio utilizado na extração do ouro nos garimpos do rio Rato e seus tributários está provocando a contaminação do ambiente, com futuras consequências para a saúde da comunidade local.

As análises químicas dos vários tipos de materiais coletados na bacia do rio Rato, revelaram valores de várias ordens de magnitude, como foi visto no capítulo de discussão dos resultados e conclusões. Este comportamento se deve, principalmente, ao uso irregular do mercúrio nas várias fases do processo de extração do ouro. A distribuição deste metal, nos solos com TPA e nos sedimentos de drenagens e rejeito de garimpo, é um reflexo direto da intensidade irregular da atividade garimpeira na área estudada.

Pelos resultados obtidos de algumas amostras coletadas próximo as caixas concentradoras e pelo que foi observado no próprio local, constata-se que, atualmente, o mercúrio metálico para amalgamação do ouro já está sendo adicionado nesta etapa de concentração, apesar da afirmativa dos próprios garimpeiros de que não colocam mercúrio na caixa concentradora, com o argumento de que se o sedimento contiver chumbo, o ouro escurece na hora da queima do amálgama.

O fato de algumas amostras coletadas no leque de sedimentação, associado a caixas concentradoras apresentarem resultados relativamente baixos e outras apresentarem resultados elevados ou anômalos, confirmam a ocasionalidade da contaminação mercurial, sugerindo que alguns garimpeiros usam o mercúrio nesta fase de concentração na "cobra fumando", e outros não.

Em todos os métodos de análise, o mercúrio é transformado em mercúrio metálico antes de se efetuar a detecção. As análises revelam somente o teor de mercúrio total, mas pelas características da área é de supor que a biometilação deste elemento pode estar ocorrendo em níveis desconhecidos.

A concentração média de mercúrio das amostras de rejeito de garimpo, coletadas no igarapé Fé em Deus, na segunda fase de campo, foi de 0,54 ppm, com um desvio padrão de 0,30 ppm. Neste grupo de amostras houve uma forte correlação entre mercúrio e carbono orgânico e mercúrio e perda ao fogo, sugerindo que, quando a dispersão do mercúrio não é irregular, pode existir uma boa correlação com a matéria orgânica, refletida pelas concentrações de carbono orgânico e perda ao fogo. Contudo, o que define na realidade a distribuição de mercúrio no garimpo, são fatores como o tipo de exploração (balsa ou "baixão"), época de atividade, granulometria das amostras e principalmente a localização da amostra.

Neste trabalho, realizado na bacia do rio Rato, os teores máximos de mercúrio nos sedimentos de drenagens e nos solos refletem situações pontuais específicas. Como cita RODRIGUES *et al.* (1994), as concentrações de mercúrio variam no tempo e no espaço de forma aleatória, relacionada à entrada de materiais contaminados oriundos das áreas garimpeiras.

PFEIFFER *et al.* (1989) cita que a concentração de mercúrio decresce rapidamente de valores elevados, próximos as atividades de garimpos, para valores de *background* a alguns quilômetros à jusante. Isto também foi observado no rio Rato e seus tributários, provavelmente devido a baixa mobilidade do mercúrio metálico, tendendo a acumular-se nos sedimentos de fundo, como cita JARDIM (1988).

Nos solos analisados, os valores mais altos, normalmente, foram encontrados às proximidades dos pontos de queima ou nos ambientes fechados próximos aos mesmos, resultando em contaminações restritas.

Não se pode fazer uma correlação direta entre os valores médios encontrados nos solos e nos sedimentos de drenagens, pois eles não apresentam distribuição semelhante. Entretanto, pode-se comparar os valores médios e os desvios padrões dos vários tipos de materiais nas duas etapas de campo, observando-se que a dispersão do poluente foi sempre mais alta na primeira campanha,

em consequência de uma atividade garimpeira mais intensa. Nos quadros 13 e 14 observa-se os valores médios encontrados nos vários tipos de materiais investigados nas duas campanhas de campo deste estudo.

Como cita WILKEM (1992), o mercúrio se comporta quimicamente de formas diferentes em função de várias condições ambientais, e este comportamento precisa ser entendido, sendo que o estudo das espécies químicas (especiação) do mercúrio é fundamental para aprofundar os conhecimentos acerca do seu ciclo biogeoquímico. Em face das dificuldades de um entendimento mais geral sobre o mercúrio, a melhor opção é educar o garimpeiro para o controle do seu uso, ou mesmo deixar de utilizá-lo.

Caso isto chegue a acontecer, uma outra alternativa para a exploração do ouro teria que ser pesquisada, pois, as duas alternativas mais recentemente propostas parecem inviáveis. Segundo BATISTA (1992), o cianeto, que seria uma alternativa para a extração do ouro, envolve problemas ambientais e de segurança, além de elevado investimento, restringindo seu uso às grandes mineradoras. Uma outra solução seria a lixiviação do ouro com tiouréia que tem custo próximo ao uso do cianeto (NOBRE, 1992).

No Igarapé Fé em Deus, no garimpo do Sr. "Paraíba", foi verificado a presença de uma "retorta" de fabricação local, que reduz a emissão do contaminante para a atmosfera. Seria interessante que a Secretaria de Meio Ambiente do Município de Itaituba, incentivasse o uso de semelhantes equipamentos (Anexo 18). Cabe salientar, que na época em que foi realizado o trabalho de campo, o então Secretário de Meio Ambiente (Sr. Ivo Lubrina de Castro), era um proprietário de garimpo, portanto, conhecedor dos problemas oriundos da utilização de mercúrio na exploração do ouro.

Um outro tipo de impacto ambiental foi observada no rio Rato e seus tributários, também provocado pela exploração do ouro. É o assoreamento, causado pelo lançamento nas drenagens de

Quadro 13: Teores médios (ppm) encontrados nos rejeitos de garimpo (RG), sedimentos de corrente (SC), solo (SO) e solo com Terra Preta Arqueológica (SO.TPA) - Primeira etapa de campo / agosto de 1992.

	RG - rio Rato	RG - ig. Fe em Deus	SC - rio Rato	SC - ig. Fe em Deus	SC - ig. tributários	SO - ig. Fe em Deus	SO.TPA
Média	4,05	0,82	0,77	2,18	1,19	0,58	9,94
Desvio padrão	5,89	0,45	0,56	1,77	0,93	0,36	6,91
Nº de amostras	20	15	14	5	20	10	9

Quadro 14 : Teores médios (ppm) encontrados nos rejeitos de garimpo (RG), sedimentos de corrente (SC), solo (SO) e solo com Terra Preta Arqueológica (SO.TPA) - Segunda etapa de campo / julho de 1993.

	RG - rio Rato	RG - ig. Fe em Deus	SC - rio Rato	SC - ig. Fe em Deus	SC - ig. tributários	SO - ig. Fe em Deus	SO.TPA
Média	0,81	0,54	0,66	-	-	-	7,25
Desvio padrão	0,82	0,30	0,46	-	-	-	4,41
Nº de amostras	10	8	3	-	-	-	21

sedimentos, procedentes do processo de garimpagem. O assoreamento provoca a diminuição do volume dos rios e a turbidez da água, com isso a mortalidade dos peixes, que têm suas guelras entupidadas, além da perda de alimentos disponíveis, que são espécies menores também prejudicadas pela poluição. A presença de sólidos em suspensão dificulta, adicionalmente, a passagem de luz para a vegetação aquática fotossintetizante.

As populações atingidas, da área, são as principais prejudicadas, pois não dispõem de condições financeiras e estruturais para se defender contra a poluição. Por isso, como cita PFEIFFER (1992), os programas educacionais e a aplicação de legislação adequada são importantes para o cumprimento das medidas de prevenção e monitoramento do meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C.P. de. 1992a. A poluição dos garimpos-3. **O Liberal**. Belém, 20 Set. 1992. Cad. 2., p.4.

_____. 1992b. A poluição dos garimpos-4. **O Liberal**. Belém, 27 set. 1992. Cad. 2., p.4.

BARROS, C. 1988. O perigo do garimpo. **Brasil Mineral** (55): 46-48.

BATISTA, E.M. de A. 1992. Cuidados com o cianeto na mineração do ouro. **Brasil Mineral**, 96:16-19.

BENN, F.R. & MCAULIFFE, C.A. 1981. **Química e poluição**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos. 132p.

BEZERRA, J.F.M. 1990. Estimativas de cargas de mercúrio liberadas para o meio ambiente por atividades industriais - caracterização de fontes. In: SEMINÁRIO NACIONAL, Brasília, 1989. **Riscos e conseqüências do uso do mercúrio**. Rio de Janeiro, FINEP/CNPq. p.91-109. Fotocópia.

BIDWELL, O.W. & HOLE, F.D. 1965. Man as factor of soil formation. **Soil Science**, 99:64-72.

BRABO, E. da S. 1992. **Contaminação por mercúrio dos rios Crepori e Marupã-Bacia do rio Tapajós-PA**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 116p. Tese (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Geociências, UFPA, 1992.

BRASIL, Departamento de Estradas e Rodagens do Pará. 1987. **Sistema rodo-aeroportuário**. Pará. Escala 1:2.000.000.

BRASIL, Departamento Nacional de Pesquisa Mineral/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1992. **Projeto jamanxim**. Pará. Escala 1:100.000.

CARVALHO D. & MACHADO, E.P. 1990. Ecotoxicologia - política de ações de saúde humana e ambiental. In: SEMINÁRIO NACIONAL, Brasília, 1989. **Riscos e consequências do uso do mercúrio**. Rio de Janeiro, FINEP/CNPq. p.279-289. Fotocópia.

CETEM/CNPq. 1992. **Diagnóstico preliminar dos impactos ambientais gerados por garimpos de ouro em Alta Floresta/MT.** Rio de Janeiro. 190p.

CETEM/CNPq. **Merúrio em Itaituba.** Rio de Janeiro. (no prelo).

COSTA, M.Q. & COQUEIRO, P.E.V. 1988. Avaliação de um método de decomposição química para determinação de mercúrio por absorção atômica sem chama. I - amostras de sedimentos. In: ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DE QUÍMICA DA AMAZÔNIA, 6., Manaus, 1988. **Anais.** Manaus, CRQ. p.109-14.

COUTO, R.C. de S.; CÂMARA, V.M.; SABROZA, P.C. 1988. Intoxicação mercurial: resultados preliminares em duas áreas garimpeiras no Estado do Pará. **Pará Desenvolvimento,** (23):63-67.

CRAIG, P.J. 1986. **Organometallic compounds in the environment; principles and reactions.** Leilester, Longman Group Limited, 362p.

DICIONÁRIO de Ciências Físicas e Biológicas. São Paulo, MECA. 153P.

DUARTE, R. de G. 1977. Coleta e tratamento de resíduos líquidos de pequenas comunidades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 9., Belo Horizonte, 1977. **Anais**. Belo Horizonte, SBES. p.72-77.

EYSINK, G.G.J. 1990. A presença de mercúrio nos ecossistemas aquáticos do estado de São Paulo. In: SEMINÁRIO NACIONAL, Brasília, 1989. **Riscos e consequências do uso do mercúrio**. Rio de Janeiro, FINEP/CNPq. p.12-29. Fotocópia.

FERNANDES, R. da S.; GUIMARÃES, A.F.; BIDONE, E.D.; LACERDA, L.D.; PFEIFFER, W.C. 1990. Monitoramento do mercúrio na área do Projeto Carajás. In: SEMINÁRIO NACIONAL, Brasília, 1989. **Riscos e consequências do uso do mercúrio**. Rio de Janeiro, FINEP/CNPq. p.211-228. Fotocópia.

FERREIRA, J.R. 1978. **Estudo do mercúrio no ambiente marinho - litoral paulista**. Piracicaba, Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 106p. Tese (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura)- Curso de Pós-Graduação em Energia Nuclear, Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, USP, 1978.

FERREIRA, R.H. & APPEL, L.E. 1990. Fontes e usos de mercúrio no Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq. (Série estudos e documentos, 13).

GAUDETTE, H.E., FLIGHT, W.R., TONER, L.; FOLGER, D.W. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. **Journal of Sedimentary Petrology**, 44(1):249-253.

GEDEBAM/SOL 3. 1991. **Mercury contamination in the brazilian amazon**: background information on SOL 3/GEDEBAM'S work in the Tapajos'/Valley. Avulso.

IBGE. 1989. **Geografia do Brasil: Região Norte**. Rio de Janeiro. 307p. v.3.

JARDIN, W.F. 1988. Contaminação por mercúrio: fatos e fantasias. **Ciência Hoje**, 41: 78-79.

JENSEN, S. & JERNELOV, A. 1969. Biological methylation of mercury in aquatic organisms. **Nature**, 223:753-754.

KAISER, G. & TOLG, G. 1980. Mercury. In: HUTZINGER, O., ed. **The Handbook of Environmental Chemistry**. Berlin, Springer-Verlag. p.217-271.

KERN, D.C. 1988. **Caracterização pedológica de solos com Terra Preta Arqueológica na região de Oriximiná-PA**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 231 p. Tese (Mestrado em Solos) - Curso de Pós-Graduação em solos, 1988.

LACERDA, L.D. de. 1990. Distribuição e comportamento do mercúrio no ambiente amazônico. In: SEMINÁRIO NACIONAL, Brasília, 1989. **Riscos e consequências do uso do mercúrio**. Rio de Janeiro, FINEP/CNPq. p.80-90. Fotocópia.

LACERDA, L.D. & SALOMONS, W. 1991. **Mercury in the Amazon: A chemical time Bomb?** dutch ministry of housing, physical planning and environment. chemical time bomb project. Rio de Janeiro, 46p.

LAKSCHEVITZ JR., A.C. & RADINO, P. 1987. Recuperação de ouro de concentrados gravimétrico, unidade CIP/móvel. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DO OURO, 3., Rio de Janeiro, 1987. **Anais**. Rio de Janeiro, s.ed. 17p.

LINDSAY, W.L. 1979. **Chemical equilibria in soils**. New York.

Wiley-interscience publication. 449p.

Mal que deforma corpos e mentes. 1992. **O LIBERAL**, Belém, 29

maio 1992. Cad.1., p.3.

MALM, O.; PFEIFFER, W.C.; SOUZA, C.M.M.; REUTER, R. 1990.

Mercurry pollution due to gold mining in the madeira river basin, Brazil. **Ambio**, 19(1):11-15.

MARTORANO, L.G.; PEREIRA, L.C.; E.G.M.; PEREIRA, I.C.B. 1993.

Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thorntwaite, mather). Belém, SUDAM/EMBRAPA: SNLCS. 53p.

MELLOR, J.W. 1967. **Química inorgânica moderna**. Porto alegre,

Globo. 528p.

NOBRE, G.H. 1988a. Dívidas asfixia garimpeiro. **Vale do**

Tapajós, 9:18.

NOBRE, G.H. 1988b. Draga é o mais utilizado atualmente para

a extração de ouro. **Vale do Tapajós**, 9:20.

NOBRE, G.H. 1992. Uma nova alternativa na lixiviação de ouro.

Brasil Mineral, 96:31-33.

OTTAWAY, J.H. 1982. **Bioquímica da poluição**. São Paulo, E.P.U.

74p.

PFEIFFER, W. 1992. Mercúrio: a poluição dos garimpos. **Rev. de**

Química Industrial, 689:17-18.

PFEIFFER, W.C. & LACERDA, L.D. 1988. Mercury inputs into the

Amazon River Region, Brazil. **Environ. Techn. Letters**,

9:325-30.

PFEIFFER, W.C.; LACERDA, L.D.; MALM, O.; SOUZA, C.M.M.;

SILVEIRA, E.G.; BASTOS, W.R. 1989. Mercury concentrations

in inland waters of Rondônia Amazon, Brazil. **Sci. Tot**

Environment, 87(88):233-240.

PFEIFFER, W.C.; MALM, O.; SOUZA, C.M.M.; LACERDA, L.D.;

SILVEIRA, E.G. 1990. A ameaça do mercúrio nos garimpos.

Ciência Hoje, 11(61):10-12.

- RAMOS, J.F.F. 1992. Garimpagem: poluição química e física. In: MEIO ambiente qualidade de vida e desenvolvimento. Belém. Núcleo de Meio Ambiente/UFPA. p. 59-74.
- RAMOS, J.F. da F. & COSTA, M.Q. da. 1990. Distribuição do mercúrio em dois garimpos do Estado do Pará. In: SEMINÁRIO NACIONAL, Brasília, 1989. **Riscos e consequências do uso do mercúrio**. Rio de Janeiro, FINEP/CNPq. p.70-79. Fotocópia.
- RODRIGUES, R.M.; MASCARENHAS, A. F.S.; ICHIARA. A.H.; SOUZA, T.M.C.; BIDONE, E.D.; BELLIA, V.; HACON, S.; SILVA, A.R.B da; BRAGA, J.B.P.; STILIANIDI F. B. 1994. **Estudos dos impactos ambientais decorrentes do extrativismo mineral e poluição mercurial no Tapajós - pré-diagnóstico**. Rio de Janeiro, CETEM/CNPq. 220p.
- SEICOM. Governo do Estado do Pará. 1990. **Sumário mineral**. Belém. 28p.
- SILVA, A.M. da. 1988a. **Toxicologia do mercúrio no meio ambiente**. São Paulo, Centro de Recursos Educacionais, 26p. il.

SILVA, A.R.B. 1988b. Perdas técnicas e degradação ambiental.

Brasil Mineral, 60:112-117.

SILVA, A.R.B.; GUIMARÃES, G. de A.; COSTA, M.Q. 1989. O mercúrio nos garimpos da Amazônia e suas implicações ambientais. **Rev. de Cultura do Pará**, Belém, 10(2):25-33.

SILVA, A.R.B.; SOUZA, T.M.C. de.; CORTEZ, C.M.B. 1988. Contaminação por mercúrio nos garimpos paraenses. **Brasil Mineral**, (60):100-111.

SILVA, A.S. da; OLIVEIRA, A.D.F.; GONÇALVES, H.S.; ANJOS, J.R. dos.; AMARAL, N.S.; ESTRELA, V. 1990. Avaliação da poluição por mercúrio nos garimpos de Paracatu/Mg. In: SEMINÁRIO NACIONAL, Brasília, 1989. **Riscos e consequências do uso do mercúrio**. Rio de Janeiro, FINEP/CNPq. p.30-45. Fotocópia.

SILVA, B.N.R.; ARAÚJO, J.V.; RODRIGUES, T.E.; FALESI, I.C.; REGO, R.S. 1970. Os solos da área de cacau perêramanaeapurú. **Institutuo de Pesquisa e Experimentação Agropecuária do Norte**. 2(3):1-198. Série solos da Amazônia.

- SMITH, N.J.H. 1980. Anthrosols and human carrying capacity in Amazônia. **Annals of the association of american geographers**, 70(4):553-66.
- SOMBROEK, W.G. 1966. **Amazon soils**: A reconnaissance of the soils of the brazilian amazon region. Wageningen, centre for agricultural publications and documentation. 292p.
- SOUZA, E.C. 1990. Genética molecular e de microorganismos da despoluição do mercúrio. In: SEMINÁRIO NACIONAL, Brasília, 1989, **Riscos e consequências do uso do mercúrio**. Rio de Janeiro, FINEP/CNPq. p.135-140. Fotocópia.
- TEREZO, E.F. de M.; GOES, F.L.; FERREIRA, H. de C.; VELOSO, H.P.; FONSECA, W.N. da; SILVA, S.B. 1975. Vegetação; as regiões fito-ecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SB.21-rio Jamaxim**; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e usos potenciais da terra. Rio de Janeiro. Cap.4, p.287-384. (Levantamento de Recursos Naturais,7).

TSALEV, D.L. & ZAPRIANOV, Z.K. 1984. **Absorption spectrometry in/occupational and environmental health practice.** Flórida, CRC Press. v.1: Analytical aspects and healt significance.

VEIGA, M.M.; FERNANDES, F.R.C.; FARID, L.H.; MACHADO, J.E.B.; SILVA, A.O. da; LACERDA, L.D. de; SILVA A.P. da; SILVA, E.C.; OLIVEIRA, E.F.; SILVA, G.D. da; PÁDUA, H.B.; PEDROSO, L.R.M.; FERREIRA, N.L.S.; OZAKI, S.K.; MARINS, R.V.; IMBASSAHY, J.A.; PFEIFFER, W.C.; BASTOS, W.R.; SOUZA, V.P. de. 1991 . **Poconé: um campo de estudos do impacto ambiental do garimpo.** Rio de Janeiro, CETEM/CNPq. 113P.

WILKEN, R.D. 1992. Aspectos químicos da poluição por mercúrio: a análise química a serviço do meio ambiente. **Rev. de Química Industrial**, 689:16.



Anexo 1: Vista aérea da “corrutela” Piririma e da pista de pouso, às margens do rio Rato.



Anexo 2: Solo com TPA rico em matéria orgânica, na “corrutela” Piririma. Ao fundo, observa-se bananeiras gigantes.



Anexo 3: Vestígios de Fragmentos cerâmicos arqueológicos no início da pista de pouso.



Anexo 4: Peças de cerâmica arqueológica encontradas na área estudada.



Anexo 5: Vista parcial do ig. Fé em Deus. Ao fundo, o desmatamento da floresta para exploração do ouro.



Anexo 6: Encontro do rio Rato, de água amarelada turva (como consequência do assoreamento pelo desmonte dos barrancos) com o igarapé Tachi, de água escura transparente.



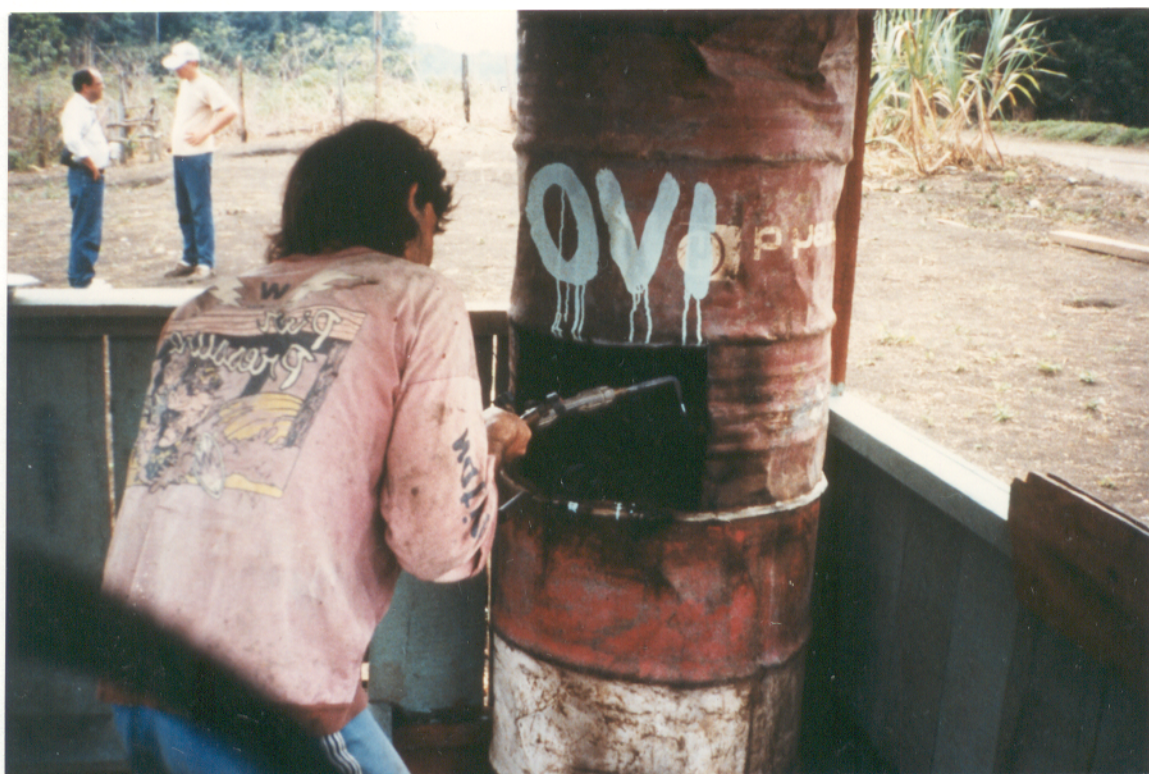
Anexo 7: Desmonte hidráulico com “chupadeira” do barranco em um dos garimpos de baixão.



Anexo 8: Caixa concentradora (“cobra fumando”) em operação no ig. Fé em Deus. Local onde teve início a coleta de amostras.



Anexo 9: Barraco de queima do amálgama Hg-Au na corrutela "Piririma".



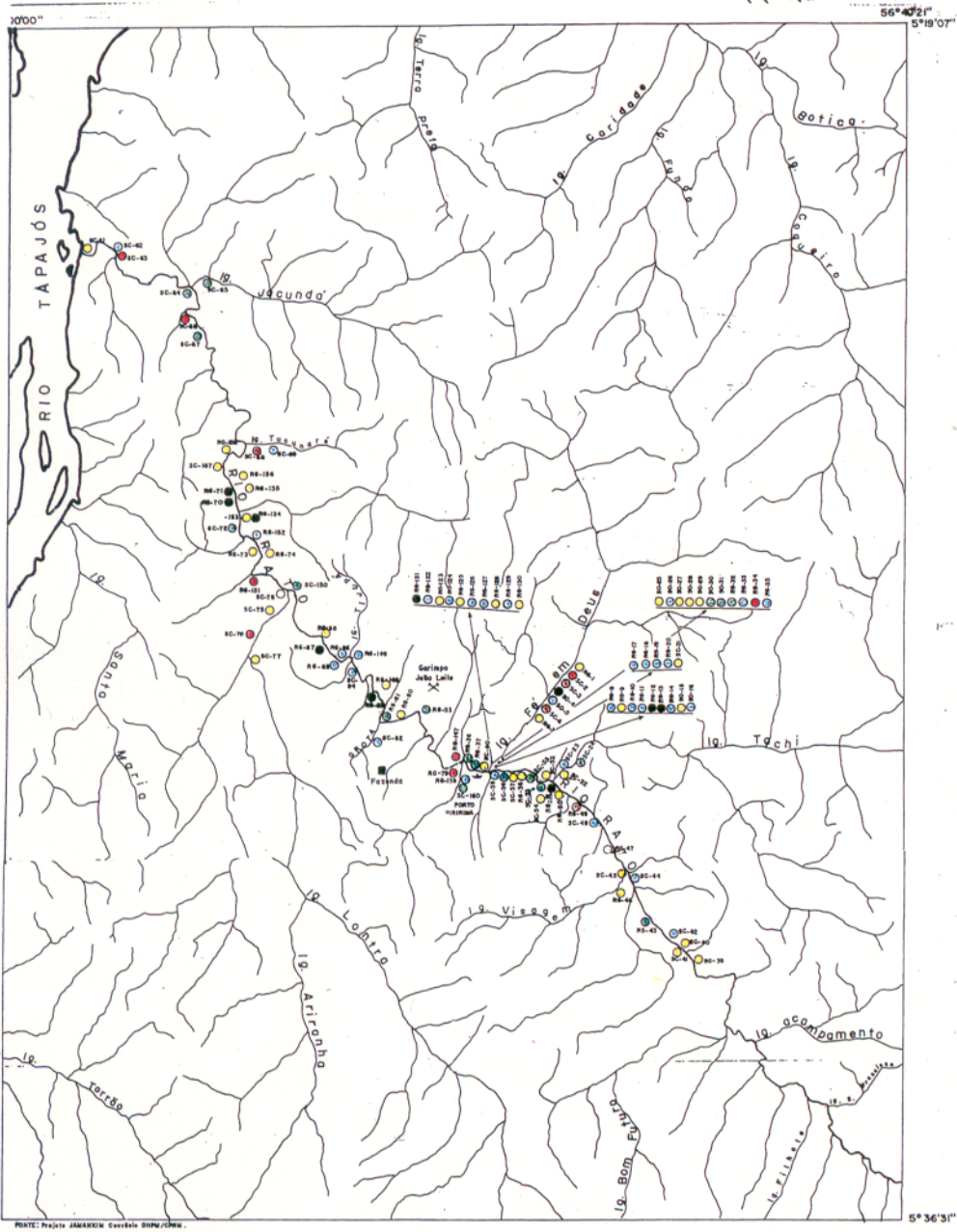
Anexo 10: Queima com maçarico do amálgama Hg-Au. Ponto de emissão de mercúrio na "corrutela" Piririma.



Anexo 11: Vista de um trecho do rio Rato assoreado pelo rejeito da “chupadeira”



Anexo 12: Banco de rejeito de garimpo de balsa acumulado nas margens do rio Rato, aflorando quando o nível da água é baixo.



CONVENÇÕES

- RIOS
- MARAPÉS
- GARIMPO
- PORTO
- FAZENDA

CONCENTRAÇÃO DE Hg EM PPM

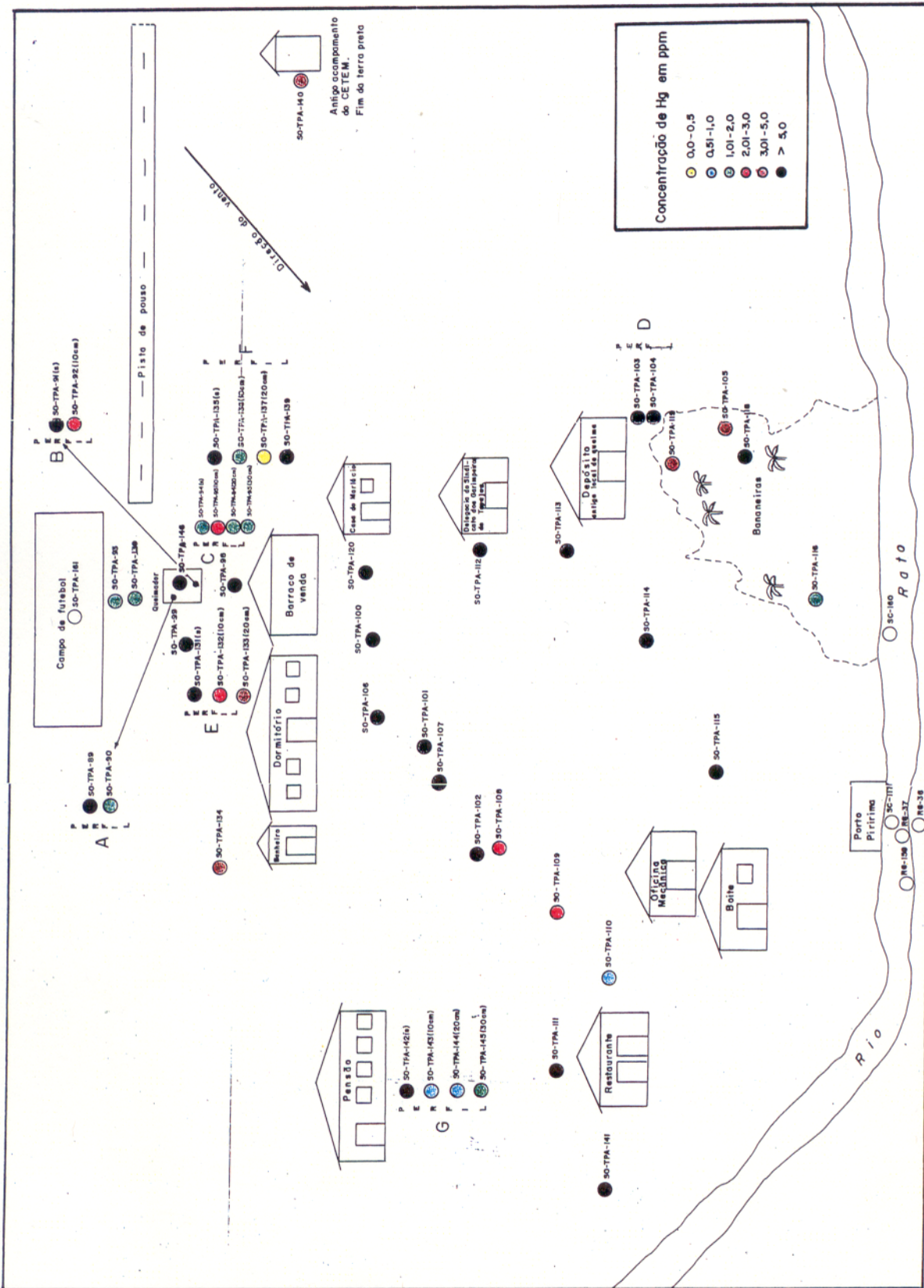
- 0,0 - 0,5
- 0,51 - 1,0
- 1,01 - 2,0
- 2,01 - 3,0
- 3,01 - 5,0
- > 5,0



ARTICULAÇÃO DA FOLHA

54°30'	55°00'	55°30'	56°00'
88 21 - V - B	88 21 - X - A	88 21 - X - B	
88 21 - V - D	88 21 - X - C	88 21 - X - D	
88 21 - V - B	88 21 - X - A	88 21 - X - B	

ANEXO13: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE AMOSTRAS DE SEDIMENTOS E REJEITOS DO RIO RATO E IGARAPÉS TRIBUTÁRIOS.



ANEXO 14 : MAPA ESQUEMÁTICO DE LOCALIZAÇÃO DE AMOSTRAS DE SOLOS COM TPA.

Anexo 15: Lista de amostras de sedimentos de corrente (SC), solo (SO), solo com Terra Preta Arqueológica (SO.TPA) e rejeito de garimpo (RG) coletadas na primeira etapa de campo, em agosto de 1992.

<i>AMOSTRA</i>	<i>LOCAL DE COLETA, TIPO, PROFUNDIDADE, GRANULOMETRIA, ETC.</i>
RG-01	igarapé Fé em Deus ponto extremo, 15 a 20m da saída da "cobra fumando", areno-argilosa, melechete e curimã
SC-02	200m abaixo da amostra 01, no leito do Fé em Deus
SC-03	300m abaixo da amostra 02, areno-argilosa
SO-04	acampamento 3 MIL, pé da base de um queimador, 33 meses desativado com 5 anos de operação, 5 a 10cm de profundidade
SO-05	20m da amostra anterior, ao lado de um poço, 3-8cm de profundidade, arenoso
SC-06	300m abaixo da amostra anterior, na margem do Fé em Deus, areno-argilosa
RG-07	500m abaixo da amostra anterior, 2,5m da boca da caixa concentradora do João Mecânico, areno-argilosa, igarapé Fé em Deus
RG-08	em volta do queimador no acampamento do Sr. Geraldo
RG-09	idem
RG-10	idem
RG-11	idem
RG-12	idem
RG-13	idem
RG-14	idem
SO-15	dentro da mata, 5cm abaixo da liteira
SO-16	3m da amostra 15
RG-17	caixa concentradora no caminho da pista de pouso
RG-18	idem
RG-19	idem
RG-20	idem
SC-21	no leito do igarapé Fé em Deus
SC-22	300m da desembocadura do Tachi no Rato, argilo-arenoso, igarapé de água escura transparente
SC-23	idem, areno-argiloso
SC-24	a 50m da confluência Tachi-Rato, argilo-arenoso
SO-25	perfil 1. 0,15cm de profundidade, em uma cratera produzida pela atividade garimpeira, solo natural da região, igarapé Fé em Deus
SO-26	perfil 1. 1m de profundidade
SO-27	perfil 1. 2m de profundidade
SO-28	perfil 1. 3m de profundidade
SO-29	perfil 2. argila pura, cor cinza, cratera produzida pela atividade garimpeira, igarapé Fé em Deus, solo natural da região
SO-30	perfil 2. argilo-arenoso, cor marrom
SO-31	perfil 2. areno com argila, cor branca
RG-32	perfil 3. 10cm, igarapé Fé em Deus, monte de rejeito
RG-33	perfil 3. 1m de profundidade
RG-34	perfil 3. 2m de profundidade
RG-35	perfil 3. 3m de profundidade

.....Continuação do Anexo 15.

<i>AMOSTRA</i>	<i>LOCAL DE COLETA, TIPO, PROFUNDIDADE, GRANULOMETRIA, ETC.</i>
RG-36	rejeito, nível preto (minerais pesados) em frente ao porto Pírima no rio Rato
RG-37	idem, obtido de solo e água
SC-38	igarapé com água limpa, arenoso, no meio do caminho para o garimpo do João leite
RG-39	rejeito de balsa no rio Rato com aproximadamente 3 anos
SC-40	pequena entrada do rio Rato onde aflora argila com gretas de ressecamento
SC-41	lado oposto ao local da amostra 40, arenosa
SC-42	areno-argilosa, parte interna de uma curva no Rato
RG-43	afloramento de curimã, textura arenosa, rio Rato
SC-44	argilosa, igarapé Visagem, água limpa
SC-45	igarapé Visagem, arenoso
RG-46	20m abaixo da desembocadura do Visagem, afloramento de curimã, rio Rato
RG-47	afloramento de curimã a 500m do Visagem, rio Rato
SC-48	materil fino do fundo do rio a 500m do Visagem, rio Rato
RG-49	afloramento de curimã de cor preta (minerais pesados), rio Rato
RG-50	início do leque de sedimentação da caixa concentradora, ponto trabalhado durante 3 meses pelo Ivo Preto agora desativado, rio Rato
RG-51	idem
SC-52	igarapé de água limpa, material argiloso
SC-53	material argiloso da enseada do rio Rato
SC-54	material arenoso, rio Rato
SC-55	grota do Urucú com água transparente, areno-argiloso
RG-56	afloramento de curimã, rio Rato
SC-57	argilosa, abaixo de uma pedra desfolhando no rio Rato
SC-58	arenoso, entre as pedras do rio Rato próximo de uma corredeira
SC-59	igarapé Fé em Deus. 20m do Rato, areno-argiloso
SC-60	argiloso da margem do rio Rato
SC-61	encontro do Rato com o Tapajós, coletado sobre pedra e água
SC-62	igarapé com água transparente, amostra coletada a 3cm de profundidade
SC-63	idem, 8 a 12cm de profundidade, argiloso-orgânico
SC-64	igarapé Jacundá, água transparente, argiloso, parte lateral, 100m do Rato, trabalho de garimpo 6 horas acima
SC-65	igarapé Jacundá, arenoso, meio do igarapé
SC-66	pedras no meio do Rato, acima do Jacundá, material fino
SC-67	idem, material grosso
SC-68	igarapé de água transparente, 3,5cm de profundidade
SC-69	idem, superficial 3 a 6cm
RG-70	arenoso da superfície, próximo ao Paraíba no rio Rato
RG-71	afloramento de curimã, próximo ao Paraíba, a 20cm da superfície no rio Rato
SC-72	grota de água transparente, argilosa
RG-73	rejeito de balsa, areno-argiloso, rio Rato
RG-74	caixa concentradora do Paraíba, rio Rato

.....continuação do Anexo 15.

<i>AMOSTRA</i>	<i>LOCAL DE COLETA, TIPO, PROFUNDIDADE, GRANULOMETRIA, ETC.</i>
SC-75	igarapé Lontra, barrento, coletado na superfície, material fino
SC-76	idem, a 50cm, argiloso
SC-77	idem, arenoso, superficial 0-10cm a 200m da amostra anterior
SC-78	idem, superficial a 200m da amostra anterior
RG-79	curimã, Rio Rato, porto Piririma
SC-80	argiloso, igarapé próximo ao vilarejo João Leite, água suja de garimpo
RG-81	margem direita do Rato, na vila João Leite, curimã
SC-82	grota, fazenda do Oliveira, argiloso, leito lateral do rio Rato
RG-83	curimã da margem do rio Rato
SC-84	grota, água transparente, argiloso, rio Rato
RG-85	leque da caixa concentradora do Oliveira, rio Rato
RG-86	esteira da caixa concentradora do Oliveira, rio Rato
RG-87	curimã da boca da caixa do "Ivo Preto", rio Rato
RG-88	abaixo do leque de deposição da caixa do Ivo, rio Rato
SO.TPA-89	perfil A. perto do queimador do Ivo, em frente a pista de poso, superficial (0-1cm)
SO.TPA-90	perfil A. idem (10cm)
SO.TPA-91	perfil B. idem (0-1cm)
SO.TPA-92	perfil B. idem (10cm)
SO.TPA-93	a 7,5cm da amostra 89 (0-1cm de profundidade, com mato)
SO.TPA-94	perfil C. a 7,5cm da amostra 89 (0-1cm)
SO.TPA-95	perfil C. idem (10cm)
SO.TPA-96	perfil C. idem (20cm)
SO.TPA-97	perfil C. idem (30 cm), fim da TPA
SO.TPA-98	a 7,5cm da amostra 89 (0-1cm)
SO.TPA-99	a 7,5cm da amostra 89 (0-1cm)
SO.TPA-100	a 10m do canto do dormitório, superficial com mato seco
SO.TPA-101	a 10m da amostra anterior, Idem
SO.TPA-102	a 10m da amostra anterior, Idem
SO.TPA-103	perfil D. antigo queimador ao lado do depósito, superficial
SO.TPA-104	perfil D. idem, (10cm)
SO.TPA-105	a 10m das amostras 103 e 104, superficial

* curimã (rejeito grosseiro arenoso) ; melechete (rejeito fino argiloso, que contém hidróxido de ferro)

Anexo 16: Lista de amostras de sedimentos de corrente (SC), solo (SO), solo com Terra Preta Arqueológica (SO.TPA) e rejeito de garimpo (RG), coletadas na segunda etapa de campo, em julho de 1993.

<i>AMOSTRA</i>	<i>LOCAL DE COLETA, TIPO, PROFUNDIDADE, GRANULOMETRIA, ETC.</i>
SO.TPA-106	a 10m do barraco de venda do " Ivo Preto ", superficial
SO.TPA-107	a 10m da amostra 106
SO.TPA-108	a 10m da amostra 107
SO.TPA-109	a 10m da amostra 108
SO.TPA-110	a 10m da amostra 109, em frente ao restaurante
SO.TPA-111	ao lado do restaurante
SO.TPA-112	em frente a sede da delegacia dos sindicatos dos garimpeiros do Tapajós a 30m do queimador, amostra superficial
SO.TPA-113	a 10m da amostra anterior
SO.TPA-114	a 10m da amostra anterior em frente a oficina mecânica
SO.TPA-115	a 20m da amostra anterior, em frente a boite
SO.TPA-116	a 10m da amostra anterior, fim da TPA
SC-117	a 15m da amostra anterior, sedimento do rio Rato no porto Piririma
SO.TPA-118	próximo a bananeira em frente a boite
SO.TPA-119	próximo a bananeira em frente a oficina mecânica
SO.TPA-120	em frente a casa do marlúcio a 20m na direção do queimador
RG-121	curimã em frente ao queimador do "Paraíba", igarapé Fé em Deus
RG-122	ao lado do queimador do "Paraíba" no Fé em Deus, 10m na direção do vento, curimã
RG-123	a 30m do queimador do "Paraíba" na direção do vento, ig. Fé em deus
RG-124	argilo-arenosa, no leito do Fé em Deus, em frente ao acampamento do "Paraíba"
RG-125	saída da caixa concentradora do Paraíba no Fé em Deus, curimã repassado
RG-126	material arenoso no leito do Fé em Deus na direção da caixa concentradora
RG-127	idem, argiloso
RG-128	curimã, caixa concentradora do "Paraíba", ig. Fé em Deus
RG-129	igarapé Fé em Deus, areno-argilosa a 30m da caixa concentradora do Marlúcio
RG-130	na saída da caixa concentradora do Marlúcio; ig. Fé em Deus
SO.TPA-131	perfil E. superficial a 10m do queimador do Ivo na corrutela
SO.TPA-132	perfil E. (10cm)
SO.TPA-133	perfil E. (20cm), fim da TPA
SO.TPA-134	20m da amostra anterior ao lado do banheiro
SO.TPA-135	perfil F. superficial, 10m atrás do queimador
SO.TPA-136	perfil F. (10cm)
SO.TPA-137	perfil F. (20cm)
SO.TPA-138	perfil F. (30cm), fim da TPA, início do barro
SO.TPA-139	a 10m do queimador ao lado do campo de futebol
SO.TPA-140	superficial, no antigo acampamento do CETEM, final da TPA horizontalmente
SO.TPA-141	a 20m do restaurante
SO.TPA-142	perfil G. superficial, a 50m do queimador ao lado da pensão na direção do vento
SO.TPA-143	perfil G. (10cm)
SO.TPA-144	perfil G. (20cm)

.....continuação do anexo 16.

<i>AMOSTRA</i>	<i>LOCAL DE COLETA, TIPO, PROFUNDIDADE, GRANULOMETRIA, ETC.</i>
SO.TPA-145	perfil G. (30cm) fim da TPA
SO.TPA-146	dentro do queimador do Ivo
RG-147	arenosa com metais pesados, acampamento do Ivo Preto já desativado, rio Rato
RG-148	trabalho do "Doutor" em operação, areno-argiloso, rio Rato
RG-149	rejeito de balsa, arenoso, rio Rato
SC-150	igarapé Lontra, material fino argiloso, trabalho a uma hora
RG-151	trabalho de draga do "Paraíba", arenoso, rio Rato
RG-152	material arenoso de balsa no centro do Rato
RG-153	trabalho do Paraíba, queimador no leito do rio Rato, argiloso
RG-154	idem, arenoso
RG-155	material argiloso de rejeito de draga, rio Rato
RG-156	melechete do leito do rio Rato
SC-157	material argiloso em cima de uma pedra no centro do Rato
RG-158	material argiloso da margem do Rato, ponto máximo atingido
RG-159	em frente ao porto Piririma, arenoso com metais pesados
SC-160	material argiloso no porto Piririma, rio Rato
SO-161	no centro do campo de futebol, na direção oposta do vento

* curimã (rejeito grosseiro arenoso); melechete (rejeito fino argiloso, que contém hidróxido de ferro).



Anexo 17: Encontro das águas do rio Rato com o rio Tapajós. Ponto mais extremo do rio Rato, onde coletou-se amostras.



Anexo 18: Queimador/retorta para queima do amálgama Hg-Au e recuperação do mercúrio, no ig. Fé em Deus.