

2017

RELATÓRIO PARCIAL 1

INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E
LIBERAÇÕES DE MERCÚRIO NO ÂMBITO DA
MINERAÇÃO ARTESANAL E DE PEQUENA
ESCALA NO BRASIL

ZULEICA C. CASTILHOS- COORDENAÇÃO GERAL

Sumário

I.	APRESENTAÇÃO.....	2
II.	Equipe Técnica	4
III.	Objetivos	5
IV.	Materiais e Métodos.....	6
V.	Resultados	7
1.	Breve histórico da pequena mineração de ouro no Brasil	7
2.	Aspectos socioeconômicos da MAPEO no Brasil	9
a)	Caracterização dos garimpos e condições socioeconômicas	9
b)	Estimativas sobre o número de garimpeiros.....	10
c)	Programas de incentivo para formalização da MAPEO	13
d)	Visão geral da legislação relevante para MAPEO	13
e)	Comercialização de ouro	16
f)	Identificação da quantidade de ouro produzido pela atividade	17
3.	Espacialização da ocorrência da atividade	18
a)	As 10 maiores áreas de Permissão de Lavra Garimpeira.....	21
b)	As 10 menores áreas de Permissão de Lavra Garimpeira	21
4.	Descrição geral dos diferentes processos produtivos e das técnicas utilizadas na obtenção do ouro.....	22
a)	Métodos de extração e beneficiamento	23
b)	Amalgamação	25
5.	Desafios na estimativa da quantificação de mercúrio utilizado na MAPEO	26
a)	Estabelecimento da proporção “mercúrio utilizado x quantidade de ouro produzido” tendo como base as diferentes matérias primas, processos produtivos e equipamentos de controle ambiental utilizados/empregados	27
b)	Controle ambiental dos processos produtivos da MAPEO - características e gestão dos resíduos e efluentes contaminados com mercúrio	30
c)	A importação de mercúrio de acordo com a atividade fim	33
6.	Características do mercúrio e riscos à saúde e ao meio ambiente	36
a)	Formas químicas e propriedades físico-químicas.....	36
b)	Aspectos Toxicológicos	39
VI.	Referências Bibliográficas.....	46

RELATÓRIO PARCIAL 1

I. APRESENTAÇÃO

O Ministério do Meio Ambiente coordena o Projeto "Desenvolvimento da Avaliação Inicial da Convenção de Minamata sobre Mercúrio no Brasil ou "Mercury Initial Assessment" – Projeto MIA" que busca incentivar a pronta implementação da Convenção de Minamata sobre Mercúrio, ratificada pelo Brasil em 08 de agosto de 2017. Estão sendo desenvolvidas atividades base que possibilitarão a melhor compreensão dos instrumentos nacionais para a gestão do mercúrio e seus passivos. Ao final, será possível identificar oportunidades, prioridades e desafios, bem como as adequações necessárias, para devida implementação da Convenção no país.

O objetivo geral desta pesquisa é estimar os quantitativos emitidos pela atividade de Mineração Artesanal e de Pequena Escala de Ouro (MAPEO). Tais informações serão vitais para atender aos compromissos oriundos da Convenção de Minamata, como a elaboração e manutenção do inventário de emissões nos marcos do Artigo 8 da Convenção. Além disso, os mesmos subsidiarão a proposição de metas de redução reais e alcançáveis, em um esforço conjunto do setor produtivo e do governo brasileiro, incluindo as suas instâncias Federal, Estadual e Municipal, que auxiliarão na elaboração do Plano de Ação Nacional para a MAPEO, conforme Artigo 7 da Convenção.

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (ONU Meio Ambiente) sugere a utilização do Toolkit para Identificação e Quantificação de Liberações de Mercúrio para auxiliar na produção do inventário de emissões de mercúrio. Nesse sentido, os usuários são encorajados a trabalhar com informações que busquem representar da melhor forma a realidade de cada país. Assim, o presente trabalho busca complementar os parâmetros do Toolkit para adequá-lo a realidade da MAPEO brasileira e, assim, estimar emissões mais adequadas.

Ressalta-se que o presente trabalho apresenta-se como um esforço inicial de inventário das emissões de mercúrio da MAPEO de acordo com as possibilidades no escopo do Projeto MIA. Dessa forma, com o avançar da implementação da Convenção de Minamata no país é necessário que o mesmo seja aprimorado.

O "Relatório Parcial 1", apresentado a seguir, é o primeiro dos três relatórios acordados. Este visa a caracterização da pequena mineração de ouro no Brasil a partir da qualificação e da quantificação de múltiplos aspectos, apresentando um panorama geral da atividade, sendo base das etapas futuras deste projeto.

Adicionalmente, também foram elaborados: a) uma lista nominal de partes interessadas ("stakeholders") para consultas sobre o setor; e b) questionários semiestruturados específicos a serem aplicados às partes interessadas e aos pequenos mineradores durante as visitas técnicas em campo, cujo objetivo principal é validar as informações previamente

obtidas, além de fornecer dados para alimentar as planilhas do inventário constantes na ferramenta “toolkit”.

II. EQUIPE TÉCNICA

Zuleica C. Castilhos, D.Sc.

└ *Coordenação Geral*

Patrícia Araújo, Técnica em Química

└ *Responsável pelo estudo dos processos de extração e beneficiamento de minérios de ouro e efeitos toxicológicos*

Vinicius Kutter, D.Sc. Geoquímica

└ *Responsável pelo ciclo de vida do mercúrio e balanço metalúrgico*

Consultoria

Lillian Maria Borges Domingos, M.Sc. Química Industrial

└ *Responsável pelo estudo da ferramenta Toolkit e elaboração dos questionários de campo*

Renata C. J. Alaminio, D.Sc. Geologia

└ *Responsável pela atualização do Banco de Dados Geográficos e Mapeamento Temático*

Terezinha de Jesus Soares dos Santos – M.Sc. Saúde Pública

└ *Responsável por realizar visitas técnicas e contatos no estado do Amapá*

Ministério do Meio Ambiente

Letícia Reis de Carvalho

└ *Coordenadora Geral de Qualidade Ambiental e Gestão de Resíduos*

Diego Henrique Costa Pereira

└ *Analista Ambiental*

Luiz Gustavo Haisi Mandalho

└ *Analista Ambiental*

Gabriel Francisco Silva

└ *Analista Ambiental*

Elisa Badziack

└ *Consultor*

III. OBJETIVOS

O objetivo geral deste relatório é caracterizar a Mineração Artesanal e de Pequena Escala de ouro (MAPEO) no Brasil, apresentando um panorama geral da atividade (a partir da qualificação e da quantificação de múltiplos aspectos) abrangendo os tópicos abaixo relacionados:

- (i) Breve histórico da MAPEO no Brasil;
- (ii) Ciclo biogeocíquímico do mercúrio no meio ambiente e riscos ao meio ambiente;
- (iii) Riscos à saúde humana por exposição ambiental e ocupacional ao mercúrio;
- (iv) Compilação de dados atuais de importação de mercúrio (para uso na atividade a fim de descrever sua origem e características);
- (v) Espacialização da ocorrência da MAPEO no Brasil;
- (vi) Estimativa da quantidade de ouro produzido pela MAPEO e dados atuais de comercialização nacional e internacional de ouro;
- (vii) Descrição dos diferentes processos produtivos e técnicas utilizadas;
- (viii) Quantificação do mercúrio utilizado nos processos produtivos;
- (ix) Descrição dos equipamentos de controle ambiental empregados nos processos produtivos;
- (x) Revisão dos dados de literatura sobre a proporção “mercúrio utilizado vs. quantidade de ouro produzido” tendo como base as diferentes matérias primas, processos produtivos e equipamentos de controle ambiental utilizados/empregados;
- (xi) Descrição das exigências para o licenciamento ambiental e na gestão dos resíduos e efluentes contaminados com mercúrio.

IV. MATERIAIS E MÉTODOS

O Plano de Ação para a execução do projeto foi concebido por meio de diversas reuniões entre os membros da equipe para discussões, troca de conhecimentos, experiências e informações.

As seguintes atividades foram desenvolvidas para atingir o objetivo deste Relatório Parcial 1:

- (i) Ampla revisão bibliográfica, tanto na biblioteca central do CETEM quanto em plataformas web (Portal Periódicos CAPES, Base Scielo, etc.) e em outras bibliotecas virtuais e sites especializados na internet;
- (ii) Estudo de documentos-chave, dissertações e teses;
- (iii) Identificação das partes interessadas da MAPEO;
- (iv) Contatos por telefone, e-mail e Skype com partes interessadas, incluindo presidentes de cooperativas;
- (v) Estudo pormenorizado da ferramenta Toolkit;
- (vi) Elaboração de questionários semiestruturados a serem aplicados às partes interessadas, incluindo instituições governamentais e cooperativas garimpeiras;
- (vii) Elaboração de questionário semiestruturado para aplicação durante as visitas técnicas às áreas da MAPEO; e
- (viii) Elaboração de um Guia Prático, baseado na ferramenta Toolkit, para a execução de um balanço metalúrgico visando a realização do inventário de ciclo de vida do mercúrio em MAPEO.

A espacialização da MAPEO no país foi realizada por meio de consulta, aquisição e organização de dados secundários do Sistema de Informações Geográficas da Mineração – SIGMINE – disponibilizado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. Após o download dos processos minerários de cada Unidade Federativa – UF – foi criado um banco de dados em SIG segundo metodologia descrita em SILVA; STRAUCH; CASTRO (2011) e adaptada em CASTILHOS *et al.* (2016). Para o presente projeto, os dados foram atualizados até o período de julho de 2017.

V. RESULTADOS

Para facilitar o entendimento do leitor, os resultados estão apresentados em tópicos conforme elencados na “Apresentação” deste documento.

1. Breve histórico da pequena mineração de ouro no Brasil

O ouro é um mineral importante na história do Brasil e sua atividade mineral remonta o período colonial, tendo maior intensidade em torno dos séculos XVII e XVIII. Em sua primeira carta, Pero Vaz de Caminha informou à Portugal suas impressões sobre a nova colônia como produtora de ouro. Outro marco importante é "A Carta Magna de 1603", que instituiu o imposto chamado quinto de ouro (VILLAS BÔAS, BEINHOFF & SILVA, 2001).

As primeiras notícias de descoberta de ouro no Brasil datam de 1530, em Mato Grosso. Já em Minas Gerais, o ouro foi descoberto em 1680, no Rio das Velhas e, na mesma época, foram encontradas ocorrências em Goiás (ESCHWEGE, 1833).

Marcadas por descobertas de ouro em vários locais e em momentos diferentes de sua história, as "corridas do ouro" foram responsáveis pela formação de muitas cidades, pois, a atividade mineral em questão é diretamente influenciada pela riqueza geológica do país, seus aspectos socioeconômicos e por flutuações do seu valor mercado mundial.

O processo de extração de ouro era realizado, principalmente, pelos escravos que, desde esta época, já detinham o conhecimento da separação gravítica do metal. Esta era realizada com a utilização de bateias de madeira e de “canoas” - aparatos de madeira inclinados que possuíam pelo de boi para retenção do ouro proveniente dos leitos dos rios ricos deste metal (ESCHWEGE, 1833).

Nas casas de fundição de ouro, onde o metal trazido pelos mineiros era fundido em barras e quintado (tributado em um quinto para a Coroa), o uso do mercúrio era prática comum. Eschwege (1833) criticava, desde esta época, o uso indiscriminado de mercúrio para o processo de purificação do minério de ouro. Porém, esta “tecnologia” de utilização de mercúrio para extração de ouro de aluvião, com a formação de amalgama Hg-Au, já estava bem desenvolvida desde a Idade Média. Alguns autores se referem a Medina (1557) – Sevilla/Espanha, como o inventor do processo de amalgamação. Outros, todavia, contestam esta afirmação, descrevendo que a utilização do mercúrio para recuperação de peças de ouro já era realizada desde a Antiguidade (DEL MAR ,1902).

De forma geral, pode-se afirmar que a mineração de ouro no Brasil, no século XVIII, foi de extrema importância para o processo de colonização, que tinha, até então, por base econômica fundamental, a lavoura açucareira, principalmente no nordeste do país.

A partir de 1800, houve um declínio na produção de ouro devido à dificuldade de extração manual, que era o método utilizado dado às características e abundância das jazidas (SANT'ANNA *et al.*, 1989). Concomitantemente, a libertação dos escravos em 1888 contribuiu para o decréscimo da mão-de-obra (SILVA *et al.*, 1991).

O ciclo do ouro nesta ocasião parecia terminado no final do século XIX. Portugal, então, trouxe tecnologia da Inglaterra para incentivar a formação de empresas para incrementar a produção. Em 1830 foi fundada a *St. John D'El Rey Mining Limited*, que operou até 1960, quando então se transformou na Mineração Morro Velho, que é considerada a principal mineradora de ouro até os anos 1980 (SANT'ANNA *et al.*, 1989).

A história da pequena mineração de ouro também influenciou, e ainda é marcante, em estados como o Amapá, Mato Grosso e Pará.

No estado do Amapá a formação econômica e social está ligada à mineração, que data do século XVII, a partir do interesse dos estrangeiros que buscaram ouro e outros recursos minerais na região. Entre 1890 e 1894 houve a grande descoberta de ouro na região do Lourenço, pertencente ao município de Calçoene. Esta descoberta consolidou o potencial mineral da região, aumentando a produção anual média de ouro nas regiões de Lourenço/Cassiporé de 165 kg para 4.992 kg em 1894. No século seguinte, houve novas corridas de ouro: depósitos aluviais descobertos no rio Cassiporé em 1930, ocupação da região Alto Rio Cupixi na década de 1960, e registro de pelo menos onze minas na região do Alto Rio Cupixi em 1971. A mineração artesanal foi reduzida, principalmente, devido à criação de áreas de exclusão para empresas de mineração. No entanto, as áreas tradicionais de mineração de ouro, como Lourenço e Vila Nova, continuam ativas, sendo a principal atividade econômica de algumas centenas de trabalhadores.

A história do estado de Mato Grosso está fortemente ligada à exploração de ouro artesanal (GEOMIN, 2002; AZEVEDO & DELGADO, 2002; PAJANOTI, 2013). A própria fundação de Cuiabá, capital do estado, aconteceu em 1719, organizada por uma bandeira de Pascoal Moreira Cabral, devido à descoberta de ouro na localidade. No século XVIII o surgimento de novas cidades e aldeias se deu em função da busca portuguesa pela da linha do Tratado de Tordesilhas, ouro e outras riquezas. Este foi o caso das cidades de Vila Bela de Santíssima Trindade (1752), Poconé (1777), Nossa Senhora do Livramento (1730), Diamantino (1728), Rosário Oeste (1751) e Cáceres (1778). A descoberta das minas de ouro de "Beripoconé", em 1777, atraiu escavadores, aventureiros e comerciantes, devido à presença abundante de metal. Este levante formou o núcleo inicial da atual cidade de Poconé. Em 1982, a cidade viveu uma nova corrida de ouro, com a presença de 4500 garimpeiros. Em 1970, com o estímulo para ocupação da Amazônia, a mineração expandiu-se para Alta Floresta (1978), Peixoto de Azevedo (1979), Baixada Cuiabana e Nova Xavantina (1982) e arredores de Pontes e Lacerda (1984). A descoberta de ouro na região de Peixoto de Azevedo ocorreu durante a construção da BR-163 (Cuiabá - Santarém). A mineração artesanal começou a evoluir com o uso de tratores, dragas e bombas. Em 1981, as barcaças e dragas começaram a ser usadas nas caixas de eclusas dos rios Teles Pires, Peixoto de Azevedo, Braço Norte e Peixotinho. Durante os anos 80, o estado oscilou entre primeiro ou segundo produtor de ouro no Brasil, destacando a Província de Peixoto/Teles Pires/Aripuanã, que abrange os municípios de Alta Floresta, Peixoto de Azevedo, Matupá, Nova Canaã do Norte, Paranaíta, entre outros. Atualmente, a região de Pontes e Lacerda tem sofrido nova corrida do ouro, com todos os ingredientes deste fenômeno.

No Estado do Pará, na região do Tapajós, os garimpeiros de ouro em pequena escala atuam desde 1958 (MATHIS, 2011). Mas foi apenas no final da década de 1970 e no início dos anos 80, que o setor passou a representar uma alternativa de vida viável para milhares

de brasileiros carentes da região amazônica. Alguns fatores contribuíram para alavancar o setor da MAPEO na década de 1970 como, por exemplo: o aumento significativo no preço do ouro entre 1971 e 1979 e a abertura das rodovias Transamazônica e Brasília-Cuiabá, que facilitou a conexão de Itaituba com os mercados financeiros e comerciais no sul do Brasil, possibilitando assim, que o município se tornasse um centro comercial de expressão. Além disso, o incentivo do governo federal para a ocupação da região amazônica na década de 1970 propiciou a migração de uma grande quantidade de pessoas para região, que vieram, a princípio, com a promessa de trabalhar em agricultura. Todavia, não encontraram condições favoráveis de solo para plantio, e sem condições de subsistência, migraram para a garimpagem de ouro, que até hoje conta com expressivo número de imigrantes nordestinos, em especial, do Maranhão.

2. Aspectos socioeconômicos da MAPEO no Brasil

a) Caracterização dos garimpos e condições socioeconômicas

Na década de 80 o garimpo adquiriu outra estrutura de trabalho e organização, com a adoção de máquinas, que imprimiram velocidade e maior escala na extração do minério. Surgiu, então, o garimpo semimecanizado, mantendo ainda espaço para o garimpo artesanal ou manual.

O garimpo artesanal ou manual constitui uma atividade econômica tipicamente orientada à subsistência, realizada por pequenos grupos; muitas vezes com a participação da família e de forma itinerante. Os garimpeiros fazem uso de ferramentas rudimentares como a “bateia”, um tipo de panela cônica utilizada para a concentração do ouro. Para a separação do ouro utilizam mercúrio elementar. Os locais de extração são determinados por saberes adquiridos no trabalho. Muitas vezes, as orientações são fornecidas por garimpeiros mais velhos, detentores reconhecidos destas competências. Normalmente, com a permissão dos donos dos garimpos semimecanizados, estes grupos se alocam ao redor de suas cavas (COSTA, 2007).

O garimpo semimecanizado surgiu a partir dos anos 80 em função do desenvolvimento das técnicas e dos processos rudimentares do garimpo. Isso permitiu o trabalho em: (i) minério primário, jazidas que no passado não estavam ao alcance dos garimpeiros; (ii) aluviões nos leitos ativos dos rios, e (iii) aluviões mais profundos. Este estilo de garimpagem possui um caráter também itinerante, porém, menos marcado que o manual, sendo composto por grupos que variam entre 5 e 10 trabalhadores, onde os donos normalmente são familiares que contratam outros trabalhadores. Os garimpeiros, via de regra, lavram terras de terceiros, chamados superficiários. Em função disto, são estabelecidos acordos entre os garimpeiros e os superficiários ou entre os garimpeiros e os financiadores do empreendimento, o que ocasionalmente, geram conflitos (COSTA, 2007). As relações de trabalho são estabelecidas em um sistema de confiança mútua - às vezes como cooperativados - e a remuneração ocorre pela porcentagem do total de minério extraído. São relações verticalizadas, mas sem rigidez, ou seja, com mecanismos de coordenação em que os donos das máquinas determinam as tarefas a serem executadas e os trabalhadores as executam em conjunto com os garimpeiros mais experientes.

Kolen *et al.*, 2013 explicam que quanto mais mecanizado o garimpo, maior a percentagem apropriada pelo dono das máquinas, sendo que, em geral, a relação é de 70% para o dono das máquinas e 30% para o grupo de garimpeiros, que dividem igualmente entre si, não importando em quantos sejam. Esta relação pode ser maior para os garimpeiros caso assumam os custos de sua alimentação e o pagamento ao cozinheiro.

O índice de previsibilidade é baixo, pois não utilizam técnicas de sondagem. O principal elemento que o diferencia do garimpo manual é o uso de motores na extração, incluindo retroescavadeiras, que modificou radicalmente a extração aurífera, tornando a atividade muito mais dinâmica e com maior produção, ou seja, mudou a escala do empreendimento. Este tipo de garimpo pode causar uma alta degradação do meio ambiente pela ação das retroescavadeiras e também pela utilização de mercúrio, sendo alvo de fiscalização pelos órgãos competentes.

b) Estimativas sobre o número de garimpeiros

É difícil afirmar o número de garimpeiros de ouro no Brasil devido à inexistência de censo específico para este fim. Entretanto, alguns números têm sido indicados: (i) de acordo com o Registro Nacional de Garimpeiros publicado pelo DNPM, a população de garimpeiros artesanais na Amazônia cresceu de 90.000, em 1980, para até 350.000, em 1989, caindo em seguida para 200.000, em 1990; (ii) Veiga & Hinton (1995) estimaram o número de garimpeiros entre 200.000 e 400.000; (iii) dados do Ministério das Minas e Energia para o ano de 2007 (MME, 2009) indicam aproximadamente 80.000 garimpeiros de ouro, com grande concentração no Estado do Pará, seguido pelo Estado do Mato Grosso, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1. Número estimado de garimpeiros da MAPEO em algumas localidades e Unidades da Federação no Brasil

MAPEO	Número estimado de garimpeiros
Tapajós	35.000
Sul do Pará	15.500
Norte de Mato Grosso	12.000
Amapá	5.000
Rondônia	3.000
Roraima	1.500
Gurupi	1.200
Amazonas	1.000
Goiás	1.000
Minas Gerais	1.000
Outras	800
Total	77.000

Fonte: MME (2009), p.38.

Em 2010 foi estimado um número de 60.000 garimpeiros de ouro ativos em todo o Brasil (MATHIS¹, 2011). Já em 2013 a estimativa subiu para 300.000 a 500.000 pessoas trabalhando na MAPEO brasileira (OLIVEIRA, 2013).

¹ Armin Mathis, cientista político e pesquisador de garimpos no Brasil, Universidade Federal do Pará, em 25 de outubro de 2011 ao PNUD, 2011.

De outra parte, o número de garimpeiros (portadores de Permissão de Lavra Garimpeira — PLG) por autodeclaração ao Programa Nacional por Amostragem Domiciliar (PNAD) 2014 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) atinge cerca de 60.000 pessoas em 2014. Os dados históricos anuais de garimpeiros deste censo estão mostrados na Figura 1.

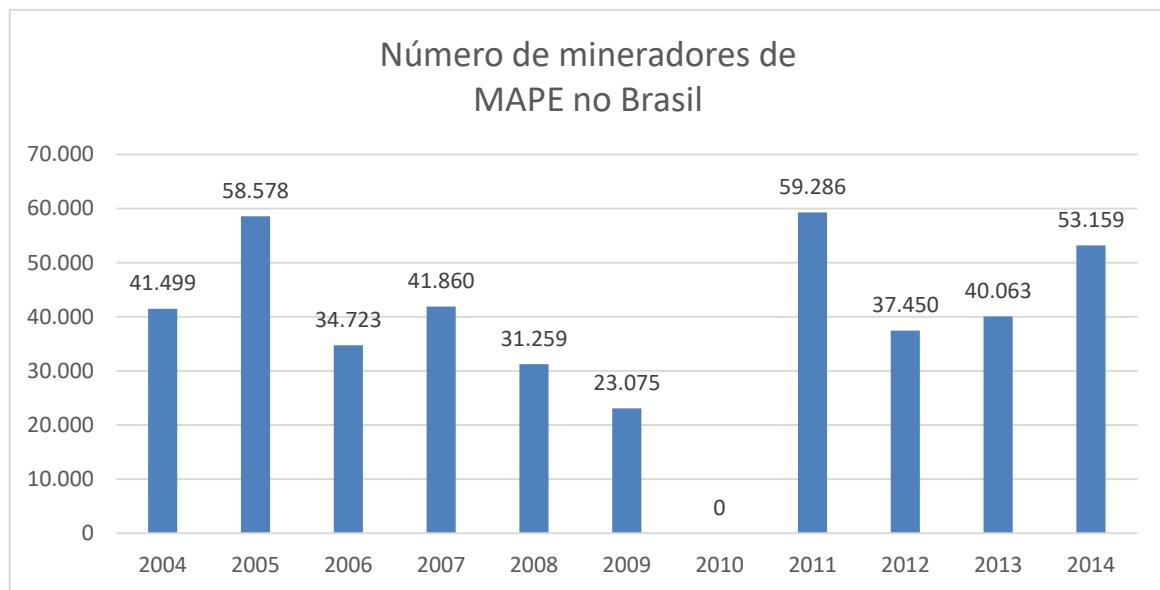


Figura 1. Total de garimpeiros de acordo com o IBGE/PNAD por autodeclaração
Fonte: RIBEIRO-DUTHIE & CASTILHOS (2016).

Os números incluem a extração de minerais metálicos e não-metálicos, de pedras preciosas, de pedras ornamentais, e de outros minerais. De acordo com o repositório do IBGE não há possibilidade de refinar as informações para retratar apenas os trabalhadores dedicados ao garimpo de ouro. Deve-se ressaltar também que a atividade de garimpo está sujeita à sazonalidade e que isto pode impactar as estimativas de pessoas economicamente ativas dedicadas ao setor.

Assim, o número de garimpeiros pode variar bastante, sobretudo, nos momentos de crise financeira, já que o ouro funciona como reserva de valor e acolhe crescentes investimentos nos períodos críticos da economia. Por conseguinte, o efeito de aumento de demanda tem feito crescer o número de garimpeiros em busca de ouro. Associado às “fofocas”, esta situação se constitui nas denominadas corridas do ouro (*gold rush*). Ressalta-se que esta fonte de informação, por autodeclaração, pode incluir garimpeiros envolvidos tanto na atividade formal quanto informal. E quando se trata de informalidade, o desafio de trabalhar com dados das MAPEs se torna ainda maior, pois não há dados seguros disponíveis que retratem esta realidade.

Dada a natureza nômade e sazonal da atividade, bem como a localização geográfica das ocorrências - muitas vezes de difícil acesso - o mapeamento do número de garimpeiros é uma tarefa complexa que pode não refletir a realidade, já que os resultados se baseiam em estimativas feitas por vários pesquisadores e instituições. Assim, por exemplo, em artigo publicado em 2014, Seccatore *et al.* estimam em 861.000 garimpeiros de ouro no Brasil, enquanto que, em comunicação pessoal, a Associação Nacional do Ouro - ANORO estima

em 120.000 o número de garimpeiros. Ou seja, há grande incerteza sobre o número real de garimpeiros de ouro no Brasil.

A estimativa do número de garimpeiros tomando por base a quantidade de cooperados nas cooperativas de garimpeiros de ouro também não se mostrou eficiente porque poucos se enquadram nesta categoria. Na ANORO, por exemplo, há menos de 10.000 pessoas cadastradas.

Uma iniciativa estadual de destaque na tentativa de melhor estimar estes números é o registro de garimpeiros da MAPE proposto pelos estados do Pará e do Mato Grosso, mas que ainda se encontra em fase de implantação.

Quanto à informalidade, sabe-se que existem garimpeiros que surgem especialmente quando há corridas do ouro, como as recentes ocorridas em Pontes e Lacerda / MT e Apuí / AM. Essas áreas são tomadas por pessoas vindas de diversos locais do país e mesmo do exterior, sendo que as localidades vizinhas enfrentam um declínio significativo da população, na ordem de milhares, em um curto período.

Apesar de a permissão para a mineração em pequena escala e a supervisão da extração de ouro estarem sob competências do DNPM, para dar conta da repressão à mineração ilegal, as forças-tarefa são reunidas com a Força Nacional, com o IBAMA, com o ICMBio, com a Polícia Federal, entre outras. As fronteiras no norte do país estão entre as áreas mais críticas (OLIVEIRA, 2013) de relatos e queixas comuns de ilegalidade; o IBAMA e a Polícia Federal são os atores que inibem a atividade ilegal: realizam o desmonte de toda a estrutura física encontrada, incluindo os equipamentos utilizados na atividade, o que, consequentemente, leva à dispersão dos aglomerados humanos.

Informações extraoficiais dão conta de significativo contingente de garimpeiros ilegais nos estados da Bahia e de Roraima, neste último, sendo indicada a presença de mais de 5.000 garimpeiros dentro de terras indígenas.

Outra dificuldade é estimar o número de mulheres presentes e atuantes na MAPEO. Considerando-se que ainda persistem distâncias entre os dois sexos no acesso a postos de trabalho, na renda e na qualidade dos vínculos de emprego em todo o Brasil (IPEA, 2014) não haveria de ser diferente nos garimpos de ouro. As mulheres têm funções de cozinheiras, secretárias, profissionais do sexo e em papéis administrativos e, em alguns casos, como garimpeiras. A análise de gênero na mineração brasileira possui precárias informações documentais disponíveis, levando a considerar a presença da mulher na mineração como invisível (CASTILHOS & CASTRO, 2006). Entretanto, como sugerido por pesquisas prévias do CETEM, é possível reconhecer a presença feminina atuante na mineração e este aspecto deve ser aprofundado.

Finalmente, ao considerar a produção de 300 g de Au / garimpeiro / ano (SECCATORE *et al.*, 2014) chega-se a uma estimativa de cerca de 76.000 garimpeiros para a produção de 23 toneladas de ouro, oficialmente declaradas, no ano de 2016.

c) Programas de incentivo para formalização da MAPEO

Há diversas iniciativas de formalização da MAPEO, incluindo o Programa de Desenvolvimento do Agronegócio - PRODEAGRO, que foi uma iniciativa de desenvolvimento financiada pelo Banco Mundial, implementada entre os anos de 1992 e 1994. O tópico B2 deste programa, que estabeleceu "Regularização e racionalização de atividades garimpeiras" foi conduzido pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Mato Grosso - SEMA/MT em parceria com o DNPM, a Companhia Mato-grossense de Mineração - METAMAT, a Organização de Mineração Artesanal em Pequena Escala de Poconé – OMAPE Poconé e a Câmara Municipal de Poconé. Este programa teve como resultado o lançamento da primeira LO (Licença de Operação) no ano de 1995 (BARROS, 2016).

O mesmo modelo foi encadeado em outras regiões do estado e foi implementado em Peixoto de Azevedo. Outras iniciativas identificadas neste estudo, porém que não tiveram continuidade, foram:

- Programa CAMGA-Tapajós: em 1994, o Governo do Pará, por meio do Programa de Controle Ambiental da Garimpagem no Rio Tapajós, tentou implantar um Mercado Regional de Ouro Secundário, em Itaituba. A força-tarefa teve a colaboração de muitas instituições e foi liderada pelo Banco Central do Brasil.
- Programa Mercúrio – PROMER: um programa de controle e monitoramento dos níveis de mercúrio na Amazônia e no Pantanal, que deu atenção à atividade de mineração de ouro e que pretendia propor medidas de recuperação para áreas degradadas. Com direção do IBAMA e a colaboração do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, da Organização Pan-Americana da Saúde - OPAS, do Fundo Nacional do Meio Ambiente - FNMA, Agência Nacional de Águas - ANA, da ELETROBRAS, da ELETRONORTE, de universidades e de centros de pesquisa (VILLAS BÔAS; BEINHOFF; SILVA, 2001).

Por fim, existe uma assistência nacional da Organização Nacional de Cooperativas – OCB, com um setor dedicado exclusivamente aos garimpeiros. Há também algumas microempresas que atuam como consultoras de garimpeiros e cooperativas, que fornecem orientação sobre documentação e procedimentos para a obtenção das licenças necessárias para legalizar a atividade.

d) Visão geral da legislação relevante para MAPEO

A legislação, as políticas e o quadro jurídico da mineração da MAPEO são uma questão complexa no Brasil. Ainda, há possibilidade de novas mudanças pela revisão nacional da regulamentação da mineração ("Marco Regulatório da Mineração") que está sendo avaliada no Congresso Nacional.

Atualmente, a legislação relevante para a MAPEO é apoiada por três pilares: o Código de Minas de 1967 (BRASIL, 1967a); Lei 7805/89, que estabelece o regime de licenças Lavra Garimpeira (BRASIL, 1989a); e a Lei 11.685/08 – Estatuto do Garimpeiro (BRASIL, 2008). A ilegalidade da mineração de ouro foi parcialmente resolvida com a Lei 7.805/89 (BRASIL, 2009), em que o regime de Licença de Lavra Garimpeira é tratado como um sistema que

depende da permissão do Diretor Geral do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM (art. 2).

A PLG pode ser obtida tanto por pessoas físicas quanto jurídicas. As pessoas físicas podem solicitar até 50 hectares de área por processo por um período de 5 anos, enquanto que as pessoas jurídicas (e consequentemente as cooperativas) podem solicitar 10.000 hectares em cada processo submetido.

A Lei 7.805/89 veio incentivar a formação de cooperativas como forma de legalizar e promover a atividade de mineração já alicerçada pela Constituição de 1988. Como resultado, nota-se, a partir de 1989, um número expressivo de novas cooperativas de garimpeiros (MATHIS, 1995).

O funcionamento das cooperativas varia. Existem algumas cooperativas que contratam funcionários e outras que têm apenas parceiros como membros associados. Alguns membros cooperativados, também chamados de gestores de área, contratam empregados, independentemente da participação na cooperativa. Um "garimpeiro" não pode ser um MEI (micro empresário individual) e por isto o quadro jurídico cooperativo parece ser o mais adequado para organizar esta categoria de trabalhadores. Os membros associados são responsáveis por pagar seus impostos devidos diretamente ao Estado.

As cooperativas também podem ter empregados que devem ser contratados por meio de um contrato de trabalho formal. De acordo com a lei de trabalho brasileira vigente, um trabalhador brasileiro tem, geralmente, o direito de: (i) trabalhar 40 horas / semana; (ii) ser pago o salário mínimo / mês; (iii) ter fins de semana de descanso; (iv) ter um mês de férias pagas / ano; (v) receber o 13º salário; e (vi) ter os impostos para a aposentadoria pagos diretamente pelo empregador para o Estado.

Em termos de salário, a remuneração dos garimpeiros empregados diretamente nas frentes de trabalho é cerca de 1 a 2% (cada) do total da produção, o que atinge, às vezes, um total de cerca de 30%, a ser dividido entre todos. Geralmente 70% da produção permanecem com o proprietário da frente de trabalho, responsável pelos pagamentos aos empregados, empreiteiros e os custos do diesel, manutenção de máquinas, alimentos, etc.

As questões de saúde e de segurança na mineração são discutidas na Norma Regulatória do Ministério do Trabalho e Emprego - MTE, NR-22, originalmente de 1978, que é constantemente atualizada (a última alteração foi a Portaria nº. 732/2014). Entretanto, não é claro se a MAPEO deve seguir esta normativa.

O licenciamento ambiental é uma obrigação legal antes da instalação de qualquer atividade da empresa potencialmente poluente ou degradante do meio ambiente. Esta obrigação é compartilhada pelos órgãos estaduais de meio ambiente — OEMA — e pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente — IBAMA, como partes integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente — SISNAMA. Também pode ser obrigatória a nível municipal, dependendo da Unidade (Estado) da Federação, do tamanho e da localização do PLG e do tipo de PLG, se individual ou se de cooperativa. Quando os empreendimentos de riscos ambientais significativos tiverem possibilidade de afetar áreas protegidas federais ou suas zonas

tampão, o Instituto Chico Mendes deve ser consultado para analisar tecnicamente o processo de licenciamento.

As principais diretrizes para a implementação do licenciamento ambiental são expressas na Política Nacional de Meio Ambiente, na Lei 6.938/81 (BRASIL, 1981) e na Resolução CONAMA nº 001/86, que estabeleceu o Relatório de Impacto Ambiental e Ambiental - EIA/RIMA (BRASIL, 1986), completada pela Resolução nº 237/97. Recentemente, foram publicadas a Lei Complementar nº 140/2011 (BRASIL, 2011) que discute a jurisdição estadual e federal para o licenciamento, e é baseada na localização do empreendimento; e a Instrução Normativa ICMBio (IN 07/2014) que estabelece os procedimentos do ICMBio em processos de licenciamento ambiental. Além disso, a Portaria nº 55/2014 do MMA estabelece procedimentos entre o ICMBio e o IBAMA relacionados à resolução nº 428/2010, do CONAMA e dá outras provisões sob o licenciamento ambiental federal.

Relativamente à MAPEO, o IBAMA opera, principalmente, no licenciamento ambiental de atividades localizadas ou desenvolvidas em dois ou mais estados, ou em unidades de conservação estabelecidas pela União, exceto nas Áreas de Proteção Ambiental - APAs e/ou em áreas localizadas em fronteira do Brasil com país vizinho. Existe o manual do Sistema Federal de Registro Técnico no site do IBAMA - "Serviços Online/Manual do Sistema" que deve ser lido e seguido, e um formulário disponível também *on-line*, que deve ser completado pelo minerador. Os departamentos ambientais estaduais e locais também editam instruções normativas.

A Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Estado do Pará - SEMA/PA publicou no Boletim Oficial do Estado a Normativa nº 006/2013, que estabelece o licenciamento de mineração de ouro em pequena escala no Pará. Este documento estabelece que a atividade de mineração só pode ser exercida com licença de operação (LO), sendo válida por até dois anos. Após a obtenção da licença ambiental, o minerador também deve receber treinamento da SEMA e participar de palestras sobre saúde, segurança, gestão ambiental e educação, obrigatorias para o licenciamento de mineração. Entre os documentos exigidos para a obtenção do licenciamento por pessoa jurídica estão: (i) a Declaração de Informação Ambiental – DIA; (ii) a manifestação da prefeitura sobre uso e ocupação do solo; (iii) a declaração do DNPM sobre a exploração do recurso mineral; entre outros requisitos.

Quanto à capacidade técnica, são necessários estudos ambientais submetidos para análise técnica e Registro de Técnicos de Atividades de Defesa Ambiental - CTDAM. A publicação afirma ainda que: (i) a mineração deve respeitar a distância mínima das áreas de preservação permanente, de acordo com o Código Florestal Brasileiro; (ii) deve ser realizada a reflorestação total da área acordo com o Plano de Recuperação da Área Degrada – PRAD; (iii) deve ser respeitada a distância mínima de 100 m da margem dos rios; e (iv) os flutuadores precisam ter identificação com informações sobre o processo de licenciamento através de placas postadas em locais visíveis e sinalização noturna. O uso de produto químico na atividade de mineração em pequena escala só é permitido através de prova de origem e com Registro Técnico Federal - RTF. Os documentos originais para a aquisição de equipamentos de mineração e registro adequado nas agências ambientais do município, entre outros requisitos, também devem ser apresentados.

No estado do Mato Grosso, a SEMA editou um "Manual de Procedimentos para Licenciamento de Atividades Mineradoras" (Manual de Procedimentos para Atividades de Mineração de Licenciamento), com 158 páginas, porém este documento não está disponível na internet.

e) Comercialização de ouro

O uso de recursos minerais é considerado uma atividade econômica e, portanto, há regras e procedimentos que regem a atividade. A Compensação Financeira para Exploração de Recursos Minerais - CFEM é citada na Constituição de 1988 - art. 20, parágrafo único, e na Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989, que estabelece a compensação financeira pela exploração de recursos minerais a favor da União, estados e municípios. No entanto, a mineração em pequena escala está isenta de pagamento da CFEM, que é cobrada do primeiro comprador de ouro proveniente de uma PLG. Há documentos que indicam que o valor a ser cobrado seria de 1% para ouro, incluindo o de garimpos, mas a Lei nº 8.001 de 13/03/90 indica 0,2%.

A Lei 12.844, de julho de 2013, regula a compra, venda e transporte de ouro e a Portaria 361 de 10 de setembro de 2014, regula os documentos comprobatórios, os gabaritos de recebimento e o registro. O ouro depois de extraído (pela pequena ou grande mineração), de acordo com os termos da Lei 7.766/89, pode ser transformado em ativo financeiro mediante o pagamento de imposto sobre operações financeiras (IOF). O pagamento de IOF é feito no momento em que o garimpeiro faz a venda de minério a uma instituição autorizada pelo Banco Central do Brasil - BACEN. A Receita Federal (SRF) estabeleceu os modelos de Notas de Negociação de Ouro (SRF 49/200, Artigo 3) de uso obrigatório pelas instituições do Sistema Financeiro Nacional (SFN) que operam com o metal no OTC Market. O ouro proveniente da pequena mineração (ou da indústria) quando entra no Sistema Financeiro Nacional segue contrato de compra ou venda de ouro na Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM & F). E é por meio do valor arrecadado de IOF que o DNPM estima a produção de ouro oriunda de PLGs.

Os garimpeiros vendem o ouro bruto para as Distribuidoras de Títulos e Valores Mobiliários - DTVMs, instituições do Sistema Financeiro Nacional – SFN, devidamente autorizadas a funcionar pelo Banco Central do Brasil, por intermédio dos seus Postos de Compra de Ouro – PCO localizados nas regiões de garimpo (COSIF, 2015). A compra de ouro pelas DTVMs é realizada com a identificação e o registro dos garimpeiros ou identificação/registro de indivíduos detentores de PLG. A alíquota do IOF é de 1% sobre o preço de aquisição, sendo 30% da receita gerada pela arrecadação deste imposto destinada ao estado e, os restantes 70%, ao município de origem (PERFIL, 2010). A venda de ouro às joalherias nacionais é realizada através das DTVM's. O imposto a pagar por esta transação de mercado (ICMS) é, em geral, 17%, mas pode variar dependendo do estado brasileiro em que a transação ocorre. Para vender ouro na Bolsa, primeiramente o ouro tem que passar pelo fundidor e posteriormente ser depositado em custódia. As barras de ouro são produzidas por empresas de fundição também credenciadas pela BM & F, seguindo o padrão do mercado de ações, com 999 de pureza e peso 250 g. A lista de custodiantes e fundidores credenciados pelo BM&F BOVESPA pode ser vista no Quadro 1. Algumas empresas compram e vendem ouro físico, como é o caso da Ouroinvest.

Quadro 1. Custodiantes e fundidores credenciados pelo BM&FBOVESPA

Bancos Custodiantes	Fundidores
Banco do Brasil S/A	AngloGoldAshanti Córrego do Sítio Mineração S/A
Banco do Brasil S/A - SP	Casa da Moeda do Brasil
Banco Safra S/A	Marsam Metais S/A - Mineração Comércio e Exportação
Banco Santander (Brasil) S.A.	UBRO -União Brasileira de Refinadores Ltda.
Brink's Segurança e Transporte de Valores Ltda. -SP	Umicore Brasil Ltda.
Casa da Moeda do Brasil	
Citibank N.A.	

Fonte: BM&FBOVESPA (2015)

Segundo o Anuário Mineral Brasileiro (DNPM, 2010), o mercado consumidor de ouro, como produto bruto, independente se oriundo de empresas ou de garimpos, é composto principalmente pelo setor de bijuterias (65,9%), seguido pela extração e beneficiamento de minerais (34,08%) e pela joalheria (0,02%). Já para o produto beneficiado, o principal setor consumidor é o mercado externo (70,6%) e o restante não é informado (25,76%). A maior parte deste material (67,34%) é ativo financeiro e em um setor não informado (25,76%). Portanto, no Brasil, o ouro bruto tem nas bijuterias o setor mais demandante, enquanto que o ouro beneficiado tem no mercado externo e no setor financeiro a maior demanda.

A comercialização de ouro originada da MAPEO em áreas visitadas pelo CETEM nos anos de 2015-2016 não difere (CASTILHOS e colaboradores, 2016).

As cooperativas contatadas e visitadas pelo CETEM em 2015 e 2016, nos estados de Mato Grosso, Pará e Amapá, não têm experiência na exportação de ouro. O Governo Federal apoia a exportação de produtos primários ou semi-industrializados através da Lei Kandir (BRASIL, 1996) uma vez que os isenta de pagamento de ICMS. De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM, entre os minerais exportados do Brasil, o ouro é o segundo na lista. Há informações de que as exportações geralmente ocorrem pelo Estado de São Paulo, que não é produtor de ouro, mas onde as agências especializadas operam o procedimento.

f) Identificação da quantidade de ouro produzido pela atividade

Em 2014, o Brasil produziu aproximadamente 80 toneladas de ouro (DNPM, 2014); cerca de 90% foram produzidos por grupos industriais, sendo duas empresas multinacionais (Kinross e AngloGold), localizadas no Estado de Minas Gerais, as responsáveis por cerca de 50% desta produção. Em torno de 10% da produção total foi oriunda dos garimpos de ouro, localizados principalmente na Amazônia Brasileira (ALAMINO; SILVA; CASTILHOS, 2016). Em 2015, a proporção se manteve, sendo que a MAPEO produziu mais de 13 toneladas de ouro. A produção de ouro a partir de garimpos em 2016 (HEIDER, 2017) foi de aproximadamente 24 toneladas (23.625 kg), ou seja, praticamente dobrou a produção, pois cresceu 10 toneladas em relação à produção em 2015. Estes são dados oficiais que consideram a produção e o comércio legalizados, inclusive dos garimpos. Entretanto, é reconhecida a não declaração de produção, a alta informalidade e mesmo a produção ilegal dos garimpos de ouro (KOLEN *et al.*, 2013).

3. Espacialização da ocorrência da atividade

O resultado da compilação dos registros do DNPM (ano-base 2014) e de bases do IBGE, integrados em banco de dados em um sistema de informação geográfica — SIG, desenvolvido especialmente para esta análise e aqui, atualizada para julho/2017, mostrou que existem atualmente 1.515 processos em fase de Permissão de Lavra Garimpeira, e estes atingem uma área de 484.842,31 ha em 10 estados: Amazonas/AM; Amapá/AP; Bahia/BA; Goiás/GO; Minas Gerais/MG; Mato Grosso/MT; Pará/PA; Pernambuco/PE; Rondônia/RO e Tocantins/TO. Estas áreas foram solicitadas por 235 requerentes, subdivididos em 191 Pessoas Físicas - PF e 44 Pessoas Jurídicas – PJ (sendo que destas, 28 são cooperativas).

As Pessoas Jurídicas têm, ao todo, 428.815,49 ha, e, levando em consideração apenas as cooperativas, tem-se uma área de 425.903,43 ha, o que equivale a 88% do total das áreas de PLG, enquanto as Pessoas Físicas detêm 56.026,82 ha de área ou 12% de todas as áreas de PLG no Brasil.

As 10 maiores áreas pertencentes a Pessoas Jurídicas são todas cooperativas. Elas ocupam uma área de 405.445,85 ha ou 84% do total de PLG (ou ainda 95% das áreas requeridas por PJ) e localizam-se em 4 estados: AM, PA, RO e MT. A título de comparação, uma única cooperativa, que soma 28 processos, é responsável pela maior detenção da área (localizada nos estados do PA, MA e RO): 33% de toda a área requerida por pessoa jurídica ou ainda 29% da área de PLG brasileira.

Os 10 maiores requerentes Pessoa Física somam 30.335,74 ha de área, ou seja, 54% da área total de PF ou ainda 6% das PLG em território nacional, e localizam-se em 2 estados: MT e PA. Um requerente, com 162 áreas de PLG, todas no estado do PA, é responsável por 14% do total de áreas de PF ou 2% da área de PLG no Brasil.

A Tabela 2 sintetiza a espacialização territorial legalizada da MAPEO no Brasil e o Mapa 1 ilustra a localização das PLGs de ouro para o ano-base 2014.

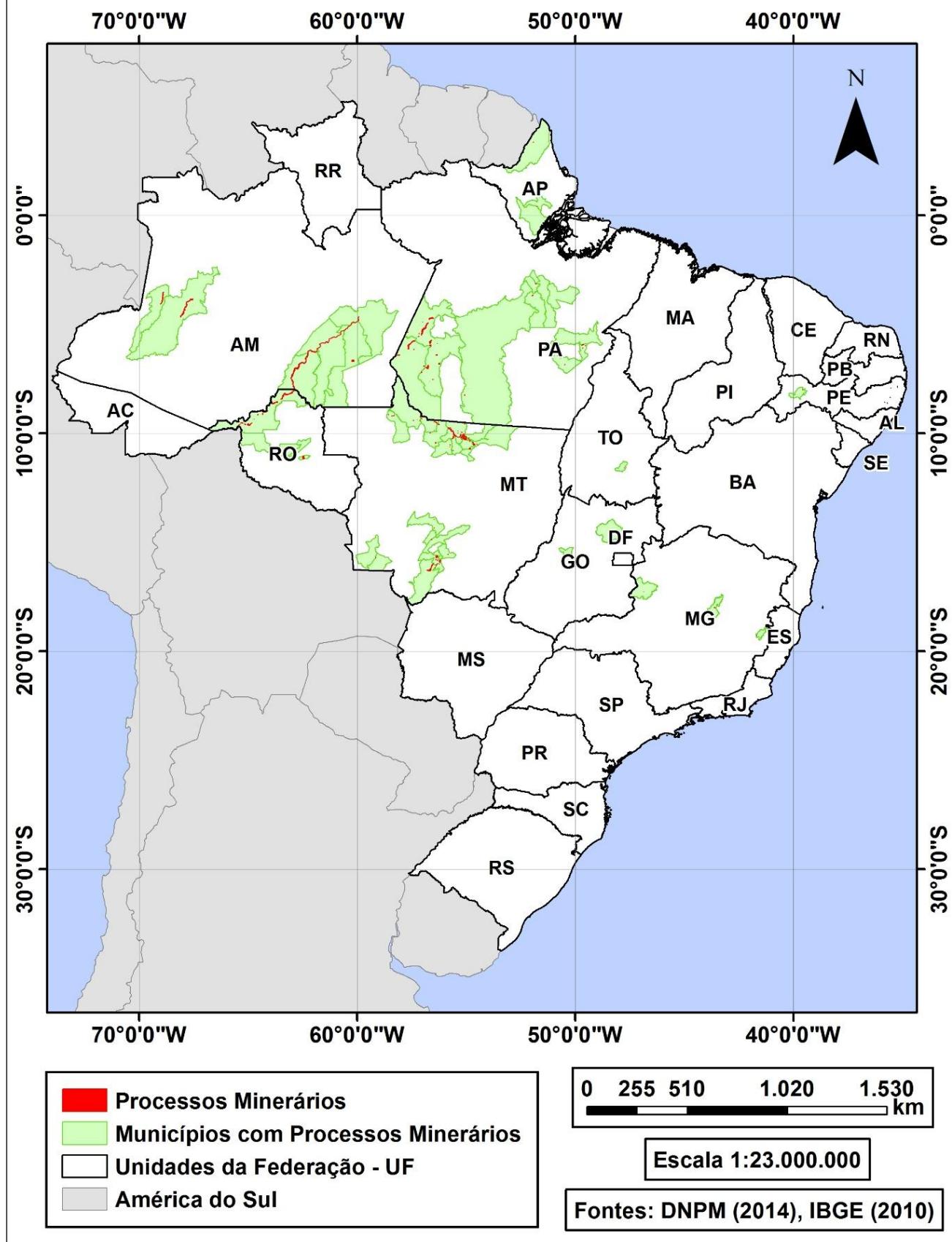
Tabela 2. Resumo da espacialização territorial legalizada da MAPEO no Brasil

ÁREA (ha)		ÁREA (%)		Nº Requerentes	Nº PLGs
S_{PLG Au} total	484.842,31	S / S total	S / S_{PLG Au}	235	1.515
Pessoa Jurídica					
S_{PJ} total	428.815,49	100%	88%	44	298
S_{PJ} cooperativas	425.903,43	99%	88%	28	235
S_{PJ} 10>	405.445,85	95%	84%	10	202
S_{PJ} >	139.619,19	33%	29%	1	28
S_{PJ} 10<	411,76	0%	0%	10	10
S_{PJ} <	24,18	0%	0%	1	1
Pessoa Física					
S_{PF} total	56.026,82	100%	12%	191	1.217
S_{PF} 10>	30.335,74	54%	6%	10	625
S_{PF} >	8.097,98	14%	2%	1	162
S_{PF} 10<	29,35	0%	0%	10	11
S_{PF} <	0,77	0%	0%	1	1

Onde: S = área (ha); PJ = pessoa jurídica; PF = pessoa física; 10> = 10 maiores áreas; 10< = 10 menores áreas.
Fonte: DNPM (2017)

Este panorama mostra a concentração de extensas áreas de PLG de ouro para as cooperativas e a potencial diversidade de escalas de produção. Deve-se ressaltar também que as práticas de mineração provavelmente são diversas, mesmo que relativas aos cooperados de uma mesma cooperativa.

Lavra Garimpeira no Brasil: Substância Ouro



a) As 10 maiores áreas de Permissão de Lavra Garimpeira

As 10 maiores lavras garimpeiras encontram-se em 4 Estados (Amazonas - AM, Pará - PA, Rondônia - RO e Mato Grosso - MT). O requerente, o nome de fantasia, a área e o número de processos podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização das 10 maiores áreas de PLG de ouro no Brasil

Requerentes	Nome Fantasia	Área (ha)	Proc.	UF
Cooperativa dos Garimpeiros da Amazônia	COOGAM	139.619,19	28	AM PA RO
Cooperativa dos Garimpeiros do Vale do Rio Peixoto	COOGAVEPE	107.961,18	109	MT PA
Cooperativa dos Garimpeiros, Mineração e Agroflorestal	MINACOOP	38.552,56	5	RO
Cooperativa de Pequenos Mineradores de Ouro e Pedras Preciosas de Alta Floresta	COOPERALFA	29.972,95	18	MT
Cooperativa de Extração Mineral do Vale do Tapajós	COOPEMVAT	26.126,70	6	PA
Cooperativa Mineradora dos Garimpeiros de Ariquemes	COOMIGA	18.298,44	2	RO
Cooperativa dos Extrativistas Minerais Familiares de Manicoré	COEMFAM	14.812,93	2	AM
Cooperativa dos Garimpeiros do Rio Madeira	COOGARIMA	10.744,11	30	RO
Cooperativa Extrativista Mineral Familiar Rio Juma	COOPERJUMA	10.000,00	1	AM
Cooperativa dos Extrativista Minerais Familiar de Humaitá	COOPEMFAH	9.357,79	1	AM

Proc. = número de processos; UF = Unidade Federativa

b) As 10 menores áreas de Permissão de Lavra Garimpeira

As 10 menores lavras garimpeiras encontram-se todas em Mato Grosso - MT. O requerente, a área, o número de processos e sua localização podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4. Caracterização das 10 menores áreas de PLG de ouro no Brasil

Requerentes	Área (ha)	Proc.	UF
01	7,03	1	MT
02	4,88	1	MT
03	4,28	2	MT
04	3,59	1	MT
05	2,09	1	MT
06	1,82	1	MT
07	1,79	1	MT
08	1,74	1	MT
09	1,36	1	MT
10	0,77	1	MT

4. Descrição geral dos diferentes processos produtivos e das técnicas utilizadas na obtenção do ouro

Os processos de exploração de ouro em áreas de garimpo no Brasil dependem do tipo de minério, se primário ou secundário. Quando presente nos veios da rocha matriz é chamado de ouro primário (ou filão). Devido aos processos de intemperização, o ouro primário se liberta da ganga silicatada. Nesta forma é comumente chamado de ouro secundário, sendo facilmente concentrado por processos gravíticos. O ouro secundário é classificado em: coluvionar, eluvionar ou aluvionar: (i) O colúvio pode ser designado como solo ou fragmento rochoso que é transportado ao longo das encostas de morros devido à ação combinada da gravidade e de carreamento por águas, possuindo características diferentes das rochas subjacentes; (ii) o eluvião é um depósito detritíco, ou simples capa de detritos, resultante da desintegração da rocha matriz, permanecendo no local de formação; e (iii) o aluvião engloba os depósitos de origem fluvial ou lacustre constituídos de cascalhos, areias, siltos e argilas das planícies de inundação e do sopé dos montes e das escarpas (Figura 2) (MINEROPAR, 2001). A Figura 3 mostra a localização e a classificação do ouro em uma dada depressão.

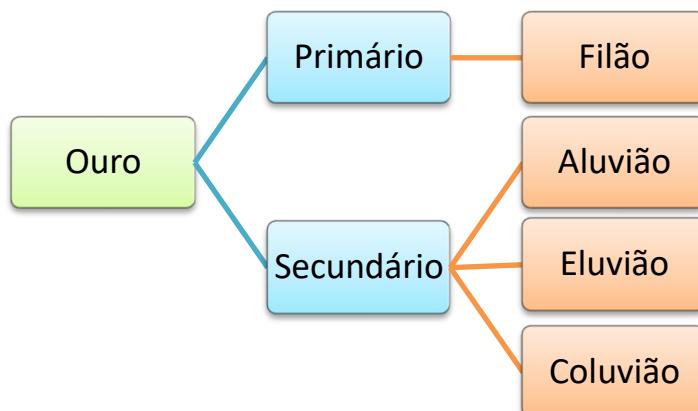


Figura 2. Classificação dos tipos de ouro



Figura 3. Localização e classificação do ouro em uma depressão
Fonte: Adaptado de ASHLEY (2009).

Os processos de extração do minério de ouro de depósitos primários e secundários em garimpos no Brasil são distintos, porém, a utilização de mercúrio para seu beneficiamento é um ponto comum e frequente em ambos os casos.

a) Métodos de extração e beneficiamento

Normalmente o ouro produzido pela MAPEO no Brasil segue as etapas descritas segundo o esquema da Figura 4.

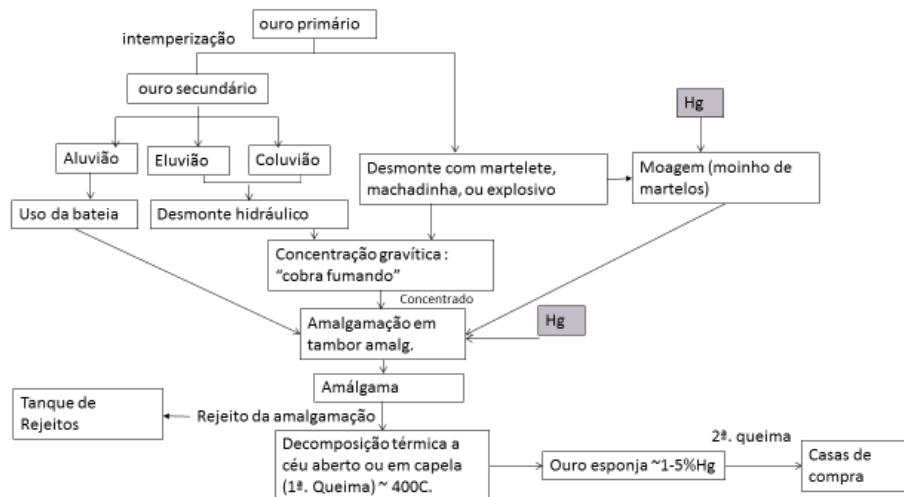


Figura 4. Etapas de extração e beneficiamento de ouro
Fonte: ARAUJO (2017).

Ouro primário: lavra e processamento mineral

O processo de exploração do ouro primário (filão) consiste na retirada do minério bruto (ROM - *Run of Mine*) que está presente no subsolo, podendo também ser realizado a céu aberto. Em algumas áreas garimpeiras este procedimento é realizado no interior de poços (*shafts* - Figura 5) com profundidade que pode variar de 40 a 90 m (CASTILHOS *et al.*, 2015) ou mesmo mais profundos, chegando a mais de 100 m.

Alguns *shafts* têm suas paredes escoradas com madeira para evitar desabamentos, além de escadas de acesso ao interior do poço. Em outros locais não há o escoramento das paredes e a descida do trabalhador no poço é realizada com o auxílio de cordas presas à cintura, movimentadas por roldanas.



Figura 5. *Shaft* escorado com madeira utilizado no processo de extração de ouro primário

Neste local, anteriormente visitado por pesquisadores desta equipe, o minério é retirado de forma rudimentar, com auxílio de picaretas ou martelete, e levado para a superfície por meio de baldes içados por guinchos. Há localidades em que a extração do minério primário é realizada a céu aberto e mecanizada, com a utilização de escavadoras, caminhões e equipamentos robustos, o que propicia um maior volume de produção (CASTILHOS *et al.*, 2015). Em alguns casos, o desmonte é realizado com utilização de explosivos. O minério, depois de extraído, é transportado para ser britado e normalmente cominuído com a utilização de moinhos de martelos.

Ouro secundário: lavra e processamento mineral

A exploração do ouro secundário é realizada, na maioria das vezes, por meio de desmonte hidráulico com a utilização de jatos de água, de alta pressão, que permitem a “fluidização” do minério (TRINDADE, 2002). Após o desmonte, a massa fluidizada é transportada por caminhões basculantes até o local onde o minério será concentrado. Em alguns casos, esta polpa do minério é bombeada diretamente para uma calha concentradora.

O minério aluvionar, que se encontra em rios, além de ser extraído por meio de bateias, em garimpagem manual, também pode ser extraído por dragagem, com a utilização de bombas de 5 a 12 polegadas de diâmetro, que sugam o cascalho a uma profundidade de até 30 m (TRINDADE, 2002), ou com a utilização de balsas, que usam sugadores de sedimentos fluviais.

Em geral, a concentração do minério secundário é realizada em calhas concentradoras, cuja estrutura é feita de madeira, e que possui canaletas inclinadas (4 - 5%) com aletas transversais que possibilitam a retenção do ouro (TRINDADE, 2002). Sobre as calhas é colocado um carpete que também promove a retenção de partículas finas pesadas, que não são contidas entre as aletas (CASTILHOS *et al.*, 2015). Este tapete é retirado após alguns

ciclos de passagem do minério pela calha e lavado em um recipiente com água para retirada do ouro ali retido. Na base das calhas concentradoras há uma caixa que armazena o minério concentrado, que será amalgamado com mercúrio na etapa seguinte (Figura 6). O processo de concentração gravítica se dá com o consumo de grandes quantidades de água formando polpas que vão de 20 a 40% de sólidos em peso (FARID *et al.*, 1991).



Figura 6. (a) calha e caixa concentradoras; (b) carpete sob aletas para retenção do ouro

Na mineração realizada através de dragagem nos rios, a concentração gravítica é realizada a bordo das balsas, com o uso de dragas ou sugadores e com a utilização de calhas concentradoras providas de carpete cuja recuperação do ouro é inferior a 50% (TRINDADE, 2002).

O mercúrio é utilizado em garimpos de ouro para formar uma liga metálica com o ouro, separando-o, assim, da ganga mineral, em um procedimento conhecido como amalgamação.

b) Amalgamação

Em relação ao uso de mercúrio, as opções de técnicas de amalgamação são ligadas ao tipo de minério e escala de produção. Em geral, as técnicas utilizadas nos garimpos de ouro primário ou secundário são: (i) o minério primário é moído juntamente com o mercúrio; (ii) o minério (primário e/ou secundário) é concentrado (por diversas técnicas, como por exemplo, segue para centrífugas após a moagem, com a finalidade de se produzir um concentrado

gravítico rico em ouro; ou segue diretamente dos moinhos para os tambores ou ainda, no caso do minério secundário, utilizam-se as caixas concentradoras, etc.) para só depois ser amalgamado em tambores ou em recipientes abertos, como caixa d'água. O mercúrio é adicionado a estes recipientes e misturado ao minério; o amálgama é separado da parte mineral por bateamento em caixa d'água e o excesso de mercúrio é retirado através da torção do amálgama, em panos de algodão.

Em garimpos semimecanizados, este processo é realizado em tambores amalgamadores, que são barris rotativos, onde o concentrado de minério é adicionado juntamente com o mercúrio em proporções que variam de uma parte de mercúrio para 70 a 100 partes de concentrado (TRINDADE, 2002). Ressalta-se que esta proporção é variável dependendo do garimpo. O tempo de contato para a formação do amálgama varia de 1 a 2 horas, todavia, em algumas localidades, o processo não dura mais do que 30 minutos (FARID *et al.*, 1991).

Quando realizado em bateia, o mercúrio é adicionado diretamente neste meio formando o amálgama.

Uma vez amalgamado, o composto formado é queimado com o auxílio de maçaricos, o que promove a transformação do mercúrio elementar em mercúrio gasoso, ocorrendo então a liberação do ouro. Esta queima é realizada em capelas com exaustão, ao ar livre ou com o auxílio de retortas, dependendo da localidade. No estado de Mato Grosso, por exemplo, para a obtenção da Licença de Operação, o processo de amalgamação tem que ser realizado em locais próprios para este fim, denominados “centrais de amalgamação”. A queima deve ser realizada em capelas com exaustão e devem ainda ser utilizadas retortas para o abatimento dos vapores do mercúrio para o ambiente.

Como o produto da queima, denominado “*bullion*”, ainda possui de 2 a 5% de mercúrio, uma segunda queima é realizada, desta vez com temperatura de chama mais elevada, por meio de uma mistura de gases. Esta segunda queima pode ser realizada nos garimpos, caso haja estrutura para tal, ou nas casas compradoras de ouro. Nesta etapa, o ouro é fundido e moldado em barras nas casas de compra de responsabilidade de DTVMs.

5. Desafios na estimativa da quantificação de mercúrio utilizado na MAPEO

Para estimar as liberações ambientais de mercúrio advindas da pequena mineração de ouro, há ainda que se considerar as informações sobre a quantidade de mercúrio utilizada, recuperada e efetivamente perdida para o meio ambiente. Outra importante fonte de incerteza nos cálculos da utilização (e da perda) de mercúrio para o meio ambiente está relacionada às estimativas do seu uso com base em documentos oficiais de produção de ouro, visto que há informações, especialmente de artigos científicos e de jornais, que afirmam que a maior parte do ouro produzido não é declarada oficialmente. Pfeiffer & Lacerda (1988) reportam que provavelmente 80% do ouro produzido não é declarado às autoridades. Artigos de jornais e conversas informais indicam que em torno de 60% do ouro produzido é comercializado legalmente no país. Por esta razão, em um cenário realista poderia se considerar uma produção de 50% acima da oficial.

O minério secundário, em geral, possui menor teor de ouro do que o minério primário (que em geral é explotado por grandes empresas após apropriação prospecção mineral). A pequena mineração, no Brasil, é definida, legalmente, por não realizar prospecção mineral antes da lavra. Entretanto, este fato tem sido apontado como um fator de insegurança para o garimpeiro que, desconhecendo o teor do ouro no minério, utiliza grande quantidade de mercúrio no intuito de recuperar uma maior quantidade do metal.

Farid *et al.* (1991) realizaram um balanço metalúrgico na região de Poconé – MT, em lavra de ouro primário e secundário. Segundo os autores, garimpos que recuperam mercúrio com emprego de retorta recuperam de 89,6 a 99,1% em relação ao Hg adicionado no início da amalgamação, sendo a perda para o ambiente de 2,9 a 10,2%. Já onde não há o uso da retorta a perda varia de 1 a 49%.

Em trabalho publicado por Trivelato (1991) é apontado que o uso correto da retorta permite uma exposição ocupacional abaixo do máximo permitido para mercúrio vapor ao trabalhador, mantendo-se na faixa de $32 \mu\text{gm}^{-3}$. Entretanto, Oliveira *et al.* (2004), investigando as emissões em 9 garimpos em Poconé – MT, ressaltam que, mesmo com o uso de retorta, as concentrações de Hg na atmosfera, no local da queima, apresentaram valores elevados (15 a $> 999 \mu\text{gm}^{-3}$) representando riscos à saúde dos trabalhadores que efetuam a decomposição térmica do amálgama. Assim, demonstraram emissões importantes de Hg para a atmosfera, mesmo com o uso de retortas.

Souza & Castilhos (2016) avaliaram a eficiência de retorta utilizando a metodologia de balanço de massas. A recuperação do mercúrio com o uso da retorta atingiu 89% da massa de mercúrio no amálgama (de mercúrio e prata). Entretanto, os teores de mercúrio na atmosfera durante a decomposição térmica do amálgama atingiram teores elevados com média de $13 \mu\text{gm}^{-3}$. Considerando-se que tais medidas foram realizadas em capela com exaustão, em condições controladas de laboratório, pode-se estimar que os teores de Hg na atmosfera sejam significativamente maiores quando realizados em sistemas de exaustão menos eficientes. Estes dados indicam a aguda emissão de mercúrio para a atmosfera mesmo com o uso de retortas.

De modo geral, os garimpos que operam com o processo de concentração do minério antes da adição do Hg tendem a perder menor quantidade de Hg para o ambiente, pois possuem um maior controle no processo, e a gerar uma quantidade menor de rejeitos potencialmente contaminados, o que facilita a gestão deste material.

a) Estabelecimento da proporção “mercúrio utilizado x quantidade de ouro produzido” tendo como base as diferentes matérias primas, processos produtivos e equipamentos de controle ambiental utilizados/empregados

Grande parte dos estudos realizados em garimpos artesanais e de pequena escala no Brasil data das décadas de 80 e 90 e apontam uma relação entre a quantidade, em gramas (g), de mercúrio utilizada para cada grama de ouro produzido, variando de 0,6:1 a 166:1 (MALLAS; BENEDICTO, 1986; PFEIFFER & LACERDA, 1988; FARID *et al.* 1991). Esta ampla variação, que atinge duas ordens de grandeza, expressa a heterogeneidade inerente aos processos de produção de ouro na pequena mineração.

A Tabela 5 apresenta uma compilação da proporção de $\text{Hg}_{(\text{utilizado})} : \text{Au}_{(\text{produzido})}$ realizados em garimpos no Brasil, tendo sido fixada a quantidade de ouro = 1 g. Nesta tabela é possível verificar que a recuperação do mercúrio é indicada entre 70 e 100%, enquanto que, em outros estudos, a perda é estimada entre 1 e 49%. O processo mais importante na recuperação do mercúrio é a filtragem, recuperando de 51 a 99,8%, seguido do uso de retorta, que recupera de 0,3% a 15,9%. Embora a recuperação do mercúrio com o uso da retorta, quando comparado à filtragem, seja percentualmente menor, é preciso ressaltar que tal redução se dá diretamente sobre as emissões de mercúrio para a atmosfera. Finalmente, a fusão do ouro é um processo térmico sobre o ouro esponja, que objetiva eliminar impurezas minerais associadas e o mercúrio remanescente, o qual é emitido para a atmosfera na ausência de sistemas de controle eficientes.

Tabela 5. Compilação da proporção de Hg_(utilizado) : Au_(produzido) de alguns garimpos no Brasil

Local do estudo	Ano do estudo	Hg inicial (g)	Produção Au (g)	Hg _() : Au _(produzido) (kg)		% Hg recuperado			% Hg perda	
				(Utilizado)	(Perda)	Filtragem	Retorta	TOTAL	Fusão	TOTAL
A Poconé – MT	Final da década 1980	1000	151	6,6:1	0,2	90,5	6,6	97,1	0,6	2,9
B Poconé – MT	Final da década 1980	1000	429	2,3:1	0,2	74,6	15,3	89,9	2,5	10,2
C Poconé – MT	Final da década 1980	1000	118,3	8,5:1	0,9	99,8	0,3	100	0,4	10,1
D Poconé – MT	Final da década 1980	1000	288,5	3,5:1	0,5	85,4	12,5	97,9	0,7	14,7
E Poconé – MT	Final da década 1980	-	17,8	-	14,7	73,7	15,9	89,6	3,8	26,1
F Poconé – MT	Final da década 1980	1000	40,2	25:1	5,9	78	-	-	0,5	23,9
G Poconé – MT	Final da década 1980	1000	5,8	166:1	1,6	99,1	-	-	0,05	0,9
H Poconé – MT	Final da década 1980	-	15,8		31,0	51	-	-	3,1	49,0
Região Amazônica (RR, AM, PA, RO)	1988	-	1000	~4:1 (6:1 a 10:1)	1,32	70	-	70	-	30,0
Carajás – PA			-	-	1,7	-	-	-	-	-
MG	1980 a 1988	-	-	-	1,5	-	-	-	-	-
Pará	1980 a 1988	-	-	0,8:1	-	-	-	-	-	-
Mato Grosso	1980 a 1988	-	-	0,9:1	-	-	-	-	-	-
Rondônia	1980 a 1988	-	-	1,3:1	-	-	-	-	-	-
Roraima	1980 a 1988	-	-	0,6:1	-	-	-	-	-	-
Outros estados	1980 a 1988	-	-	1,3:1	-	-	-	-	-	-
Bacia Amazônica	1984	1000 – 10.000		2:1 a 10:1	-	-	-	-	-	-

b) Controle ambiental dos processos produtivos da MAPEO - características e gestão dos resíduos e efluentes contaminados com mercúrio

O Brasil possui uma sofisticada legislação ambiental. A Constituição Federal Brasileira determina que é obrigatório o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para o processo de licenciamento ambiental. O artigo 225, § 1º, determina que cabe ao poder público (no caso, o órgão licenciador) *"exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente degradadora do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade"*. Este licenciamento ambiental somente cabe quando o empreendimento é potencialmente degradador do meio ambiente, caso da mineração (incluindo a artesanal e de pequena escala). Contudo, a maioria dos órgãos licenciadores vem abolindo o EIA no processo de licenciamento ambiental de empreendimentos de menor porte, a título de uma "simplificação do processo", conforme previsto no artigo 12, §1º da CONAMA 237/1997. Esta simplificação tem sido justificada pelo fato de muitos destes empreendimentos apresentarem pequeno potencial impactante e/ou por serem localizados em áreas sem grande relevância ambiental, o que muitas vezes não se aplica à pequena mineração. Ademais, alguns dos estudos solicitados simplificados de licenciamento ambiental se equivalem ao EIA, contudo, sem necessariamente ser um processo complexo, com estudos longos e documentos volumosos. Em geral, estes documentos apresentam as mesmas características de um estudo de impacto ambiental, sendo simplificações dos termos de referência dos EIAs (MMA, 2001).

No caso de empreendimentos de extração mineral, por menor que seja o empreendimento, sempre haverá o potencial de degradação do meio ambiente. Este fato é caracterizado na Constituição Federal, no mesmo artigo 225, no § 2º que determina que *"Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei"*, ou seja, a extração mineral degrada o meio ambiente, sendo possível sua realização mediante a posterior recuperação do meio ambiente (MMA, 2001).

Em relação ao garimpo, em sua forma tradicional, este tornou-se ilegal a partir da constituição de 1988 e de leis complementares correspondentes. Com base na constituição e na lei 7.805 de 18/07/89, a lavra garimpeira somente pode ser realizada em "áreas de garimpagem", assim instituídas pelo DNPM após avaliação prévia dos Estudos de Impacto Ambiental pelo IBAMA. A garimpagem fora destas áreas é considerada criminosa pela referida lei, sujeitando o infrator a pena de reclusão (MMA, 2001).

Além da mudança na paisagem um dos principais impactos dos garimpos é a contaminação do meio ambiente e da biota devido ao uso indiscriminado de mercúrio metálico o qual acaba por contaminar solos, rios, água, ar, peixes, etc.

A Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto nº 97.634, de 10 de abril de 1989 atribui ao Ibama o controle do comércio, da produção e da importação de mercúrio metálico. Ademais, o Decreto nº 97.507/89 veda o uso de mercúrio na atividade de extração de ouro, exceto em atividade licenciada pelo órgão ambiental competente.

Uma das premissas a ser cumprida no licenciamento do uso de mercúrio metálico em atividade de mineração é o cuidado quanto ao armazenamento e à destinação final da

substância que deve atender as determinações da Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos), em conjunto com a Norma ABNT 10004/2004. Os recipientes que armazenam a substância devem estar bem lacrados, em lugar de acesso controlado, manipulados com os Equipamentos de Proteção Individual – EPIs, aplicados ao manuseio de substâncias perigosas. Os recipientes contendo resíduos do produto devem ser encaminhados às empresas de reciclagem ou deposição de resíduos tóxicos que sejam autorizadas pelos órgãos ambientais locais. No caso de disposição final ambientalmente adequada, por ser considerado resíduo perigoso, deve ser disposto em Aterro Classe I, conforme a ABNT NBR 10004.

Pelo fato de os garimpos artesanais e a pequena mineração de ouro serem empreendimentos de pequeno porte, o licenciamento ambiental e a fiscalização destas atividades estão a cargo das secretarias de meio ambiente nas esferas estadual e/ou municipal, quando cabível.

Nos estados de Amapá (AP), Amazonas (AM), Mato Grosso (MT) e Rondônia (RO) as secretarias estaduais são os órgãos responsáveis pelo licenciamento e controle ambiental. O estado do Pará (PA), por outro lado, apresenta um sistema diferenciado com uma descentralização, onde parte das licenças é emitida pelo estado (quando o município sede não possui secretaria do meio ambiente apta a executar o licenciamento ambiental). Quando há secretarias municipais, estas são responsáveis pelos processos de licenciamento e de fiscalização, como por exemplo, em Itaituba.

Os estados do Amazonas, Mato Grosso e Pará possuem normas específicas ao garimpo que determinam os mecanismos de controle obrigatórios ao empreendimento para mitigação dos impactos ambientais desta atividade. A Tabela 6 ilustra as diferentes exigências dos estados para a obtenção do licenciamento ambiental.

No estado do Pará, a lavra a céu aberto, como é o caso de grande parte das pequenas minerações de ouro, deve ser desenvolvida em tiras “*strip mine*”, cujas dimensões de tiras deverão ser viabilizadas de modo a permitir a recomposição da área explorada concomitantemente com a nova tira a ser lavrada. Além disso, também prevê a retirada e a reutilização da camada de solo orgânico nas atividades de recuperação da área degradada.

Tabela 6. Resumo das exigências das normas que regem o licenciamento em cada Unidade da Federação (UF).

UF	Exigências (resumo)	Sistema/equipamentos de controle ambiental	Referências
Mato Grosso – MT	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimento junto a FEMA; • Comprovante do pagamento de taxas; • Exigência de Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) pelo projeto de mineração artesanal; • Declaração de prioridade junto ao DNPM; • PCA; • PMA; • PRAD 	<p>Sistema de retenção de rejeitos com reaproveitamento de água; Efluente eventualmente liberado do sistema de rejeito para drenagem mediante enquadramento nos padrões do CONAMA 430/2011;</p> <p>Sistema de captação de água deve reaproveitar a água; Central de amalgamação com sistema de reaproveitamento de água utilizada no processo. Rejeitos contendo Hg devem ser mantidos em tanques cobertos, tambor amalgamador;</p> <p>Equipamentos exigidos: tambor amalgamador ou similar, tanque de bateamento e retorta;</p> <p>Queima obrigatória em retorta;</p> <p>Capelas com exaustão quando realizar purificação do ouro</p>	Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEMA)
Amapá – AP	<i>Aguardando resposta da secretaria</i>		
Pará – PA (Estadual e/ou municipal)	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimento junto ao órgão ambiental; • Comprovante do pagamento de taxas; • Exigência de Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) pelo projeto de mineração artesanal; • Declaração de prioridade junto ao DNPM; • Relatório de Controle Ambiental - RCA • PRAD 	<p>A destinação dos rejeitos e resíduos decorrentes da atividade deverá atender a adequação em conformidade com o estabelecido pelo setor técnico competente, nos termos das normas técnicas e legais;</p> <p>Obrigatório o uso de sistema para contenção de sedimentos;</p> <p>Da lavra garimpeira em leito de rio com utilização de equipamentos flutuantes: as bombas utilizadas no equipamento deverão possuir no máximo especificação de 16 polegadas;</p> <p>Obrigatório o reflorestamento da área total do barranco explorado;</p> <p>O uso e o reaproveitamento de substâncias químicas deverão ocorrer em sistema de circuito fechado, com uso obrigatório da retorta.</p>	Instrução Normativa 006/2013 SEEMA
Amazonas – AM		Fica proibida a atividade de lavra garimpeira de ouro com o uso do mercúrio em sistemas aquáticos com pH < 5;	
Rondônia - RO	<i>Aguardando resposta da secretaria</i>		

Cadinho = um modelo de retorta

c) A importação de mercúrio de acordo com a atividade fim

A autorização de importação de mercúrio e a regularidade de produção, da venda e do uso do mercúrio são concedidas pelo Ibama, mediante: (i) a licença de importação; (ii) a vigência da licença ambiental para o exercício da atividade; (iii) a declaração de informações previstas nos Relatórios da Lei nº 10.165/2000; e (iv) o pagamento do boleto.

Todo reciclagem, comerciante e usuário de mercúrio metálico deve declarar informações sobre as atividades exercidas com o metal, sejam elas classificadas como potencialmente poluidoras ou não, sendo ainda responsáveis pelo gerenciamento e a destinação ambientalmente adequada do mercúrio metálico.

Caso as atividades exercidas sejam consideradas potencialmente poluidoras, deverão ainda ser declarados em Cadastro Técnico Federal todo seu comércio e/ou transporte, bem como as emissões atmosféricas, os resíduos sólidos e qualquer outro dado referente ao impacto ambiental gerado.

Em uma rápida consulta a sites de leilões na internet, é possível ver a comercialização irrestrita do mercúrio e a facilidade que se tem de comprar o metal (Figura 7). Utilizando os termos “mercúrio metálico líquido” a busca retornou 113 resultados.

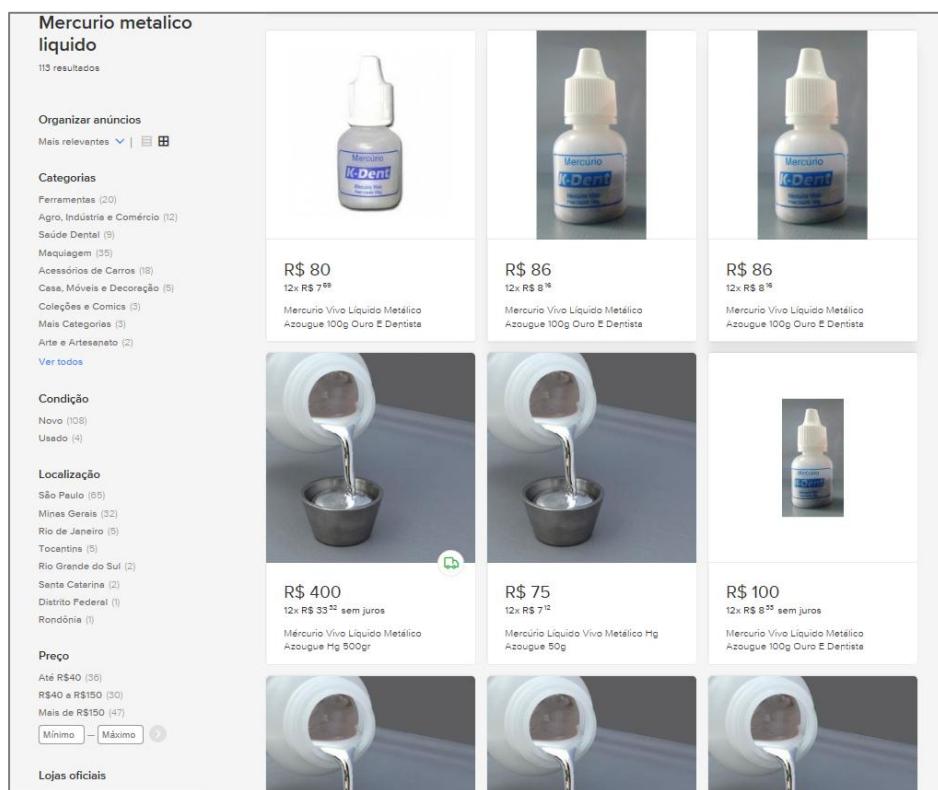


Figura 7. Consulta sobre a compra de mercúrio metálico líquido em sites da internet.

Dos 113 resultados, 43 ofertas correspondiam ao produto buscado, as outras ofertas estavam distribuídas entre cosméticos, tintura automotiva e bulbo de lâmpadas. As 43 ofertas válidas foram comercializadas 737 vezes, totalizando 93,1 kg ou 77% do mercúrio destinado aos garimpos ou ainda 3% de todo mercúrio metálico comercializado no ano de 2015 (Tabela 7).

Finalmente, o preço médio do quilograma de mercúrio em algumas áreas de garimpo é em torno de R\$ 700,00 (setecentos reais). Apesar da aquisição regular de mercúrio ser rígida e controlada, a aquisição ilegal é descomplicada, fato confirmado nas palavras de um garimpeiro: “*se quiser comprar mercúrio com nota fiscal não tem para vender, mas, sem nota, pode-se encontrar em qualquer esquina*”.

Tabela 7. Resultado de vendas de mercúrio líquido em sites da internet, em consulta realizada em jul. / 2017

Oferta	Vendas	Preço	Peso (g)	Peso (g) vendido	Procedência	OBS
1	608	R\$ 80,00	100	60.800	MG	
2	2	R\$ 86,00	100	200	MG	
3	14	R\$ 86,00	100	1.400	MG	
4	21	R\$ 400,00	500	10.500	MG	
5	3	R\$ 75,00	50	150	MG	
6	0	R\$ 100,00	100	0	MG	
7	59	R\$ 159,00	100	5.900	MG	
8	0	R\$ 113,00	50	0	MG	
9	0	R\$ 148,00	100	0	MG	
10	1	R\$ 128,00	100	100	MG	
11	5	R\$ 65,00	50	250	MG	
12	0	R\$ 500,00	1.000	0	RO	
13	0	R\$ 100,00	100	0	MG	
14	0	R\$ 1.393,00	100	0	MG	com recuperador de Hg
15	6	R\$ 1.400,00	2.000	12.000	TO	
16	6	R\$ 375,00	100	600	MG	com bateia
17	0	R\$ 650,00	1.000	0	TO	
18	0	R\$ 3.225,00	5.000	0	TO	
19	1	R\$ 275,00	100	100	MG	
20	4	R\$ 281,00	100	400	MG	com bateia
21	0	R\$ 2.300,00	3.000	0	SP	usado
22	0	R\$ 481,00	100	0	MG	com carpete vinil
23	0	R\$ 3.225,00	5.000	0	TO	
24	0	R\$ 325,00	100	0	MG	
25	0	R\$ 3.250,00	5.000	0	TO	
26	0	R\$ 285,00	400	0	RJ	
27	0	R\$ 1.046,00	100	0	MG	com recuperador de Hg
28	1	R\$ 150,00	100	100	SP	
29	0	R\$ 1.070,00	1.000	0	SP	
30	0	R\$ 206,00	100	0	MG	com cuia
31	1	R\$ 234,00	100	100	MG	
32	1	R\$ 244,00	100	100	MG	
33	0	R\$ 361,00	100	0	MG	
34	0	R\$ 272,00	100	0	MG	
35	0	R\$ 800,00	972	0	SP	
36	4	R\$ 157,00	100	400	SP	
37	0	R\$ 250,00	100	0	SP	
38	0	R\$ 309,00	100	0	MG	
39	0	R\$ 1.074,00	100	0	MG	com recuperador de Hg
40	0	R\$ 389,00	100	0	MG	com cuia
41	0	R\$ 2.800,00	5.000	0	SP	usado
42	0	R\$ 190,00	270	0	MG	
43	0	R\$ 4.500,00	10.000	0	SP	
Totais	737	R\$ 33.557,00	42.892	93.100		

6. Características do mercúrio e riscos à saúde e ao meio ambiente

a) Formas químicas e propriedades físico-químicas

O estudo e o controle da utilização do mercúrio a nível mundial devem-se aos efeitos tóxicos que este metal, em suas diversas formas químicas, pode causar aos seres humanos e ao meio ambiente.

O mercúrio é um metal pesado de aspecto argênteo, inodoro, cujo símbolo Hg deriva do latim *hydrargyrum*. As formas naturais mais comuns de mercúrio encontradas no ambiente são mercúrio metálico (Hg^0), sulfeto mercúrico, HgS (minério de cinábrio), cloreto mercúrico ($HgCl_2$) e metil mercúrio (CH_3Hg^+), este formado pela ação de alguns microrganismos (bactérias e fungos) sobre outras formas químicas.

O mercúrio ocorre em três formas químicas: (i) mercúrio metálico Hg^0 , (ou mercúrio elementar, vapor ou líquido, que é a forma pura do mercúrio, sem combinação com outros elementos); (ii) mercúrio inorgânico, em suas formas oxidadas Hg_2^{+2} (íon mercuroso) e Hg^{+2} (íon mercúrico) formando sais, quando o mercúrio está combinado com elementos como cloro, enxofre ou oxigênio; e (iii) mercúrio orgânico, incluindo o metilmercúrio (CH_3Hg^+), o dimetilmercúrio $[(CH_3)_2Hg]$ (em ligações com o carbono), e também o etilmercúrio, merbromina (mercurocromo), mertiolato (timerosal) e os sais fenilmercúricos. Os sais inorgânicos incluem o cloreto mercúrico, o iodeto mercúrico, o óxido mercúrico, o sulfureto mercúrico e cloreto mercuroso (ATSDR, 1999; GRAEME & POLLACK, 1998).

Em relação às características físico-químicas, os compostos de mercúrio são divididos em: (i) voláteis [Hg^0 e $(CH_3)_2Hg$]; (ii) espécies reativas solúveis em água (Hg^{+2} , HgX_2 , HgX^3- , HgX_4^{2-} , onde $X=OH^-$, Cl^- ou Br^-), HgO em partículas aerossóis, e complexos de Hg^{+2} com ácidos orgânicos; (iii) espécies não reativas: CH_3Hg^+ , CH_3HgCl , CH_3HgOH ; e (iv) outros compostos organomercuriais, como $Hg(CN)_2$, HgS e Hg^{+2} ligados ao enxofre em fragmentos de matéria húmica (LINDQVIST *et al.*, 1984 *apud* WHO, 1991).

As formas nas quais o mercúrio irá se apresentar nos compartimentos ambientais (ou sua prevalência) têm uma relação direta com sua forma química emitida da fonte, embora a partir desta, possa ciclar e interconverter no meio ambiente, em conformidade com seu ciclo biogeoquímico e com as condicionantes ambientais.

A MAPEO é considerada uma atividade cuja emissão é intencional, visto que a utilização do mercúrio é propositada (UNEP, 2013). E, nesta atividade, o mercúrio é utilizado em sua forma elementar (Hg^0) quando adicionado ao minério concentrado (ou não) de ouro para a formação de amálgama, um composto intermetálico, que possibilita sua separação da ganga mineral. Os rejeitos contêm determinada quantidade do mercúrio que foi perdida neste processo. Posteriormente, o amálgama é queimado para a liberação do ouro e os vapores de mercúrio são disponibilizados para a atmosfera.

Uma vez liberado para o ambiente, o mercúrio dá início a um ciclo de extrema complexidade, que é o resultado das interrelações entre os sistemas atmosférico, aquático e terrestre. Cada um destes compartimentos possui características particulares, e neles, a forma e velocidade com que o mercúrio irá se transportar e se distribuir dependerá de diversos fatores, principalmente das reações de conversão entre as espécies químicas e fatores ambientais. As reações de oxidação/redução e de metilação/demetilação são os principais mecanismos que governam o ciclo

biogeoquímico do mercúrio. Estas reações podem ocorrer de forma parcial ou integralmente na atmosfera e/ou na superfície terrestre e nas águas naturais (JOHNSON & LINDBERG, 1995).

O mercúrio elementar gasoso (Hg^0) é a forma predominante do mercúrio na atmosfera, em torno de 98%, e devido à sua elevada pressão de vapor, mantém-se nesta forma no ar ambiente, diferentemente de outros metais normalmente encontrados na atmosfera, que se apresentam associados a partículas em suspensão. Outra característica importante é sua facilidade de ser reemitido para atmosfera após a deposição nas superfícies. Na fase de vapor, o mercúrio possui um tempo de residência na ordem de um ano na atmosfera (podendo chegar até dois anos), o que lhe confere o conceito de poluente global (SCHROEDER & MUNTHES, 1998; SLEMR *et.al.* 1985; LINDQVIST & RODHE, 1985).

Na atmosfera, o mercúrio se apresenta nas formas particulada (Hgp) e gasosa, em três possíveis estados de oxidação: Hg^0 , Hg^{+1} , Hg^{+2} . Há também uma classificação utilizada pela bibliografia que trata das formas de mercúrio presentes na atmosfera: TGM (mercúrio total gasoso, que é o somatório de todos os compostos gasosos de Hg e do mercúrio elementar gasoso, Hg^0); GEM (mercúrio gasoso elementar na fase gasosa Hg^0); RGM (mercúrio gasoso reativo na fase gasosa, Hg^{+2}); Hgp (mercúrio particulado, Hg^0 e Hg^{+2} em partículas atmosféricas) (SCHROEDER & MUNTHE, 1998).

O mercúrio elementar gasoso, sendo a espécie que se apresenta em maior abundância na atmosfera, será, em parte, transportada a longas distâncias, por um longo período até sofrer reações que a transformará em espécies quimicamente solúveis, ou se ligará a partículas de aerossol atmosférico. A oxidação ocorre pela ação do ozônio ou de outros oxidantes (peróxido de hidrogênio, hipocloritos ou radicais organoperóxidos, brometo), com a formação de compostos de mercúrio divalente solúvel (Hg^{+2}), que, por sua vez, são removidos da atmosfera por precipitação seca e úmida (BROSSET & LORD, 1991; IVERFELDT, 1991; KIM *et al.*, 2006; LINDBERG *et al.*, 2007; SCHROEDER *et al.*, 1991; SCHROEDER & MUNTHES, 1998, CALVERT & LINDBERG, 2005; DONOHOUUE *et al.*, 2006).

O mercúrio elementar gasoso oxidado a Hg (II) e depositado nos solos por deposição seca e úmida, quando reduzido novamente retorna rapidamente à atmosfera (SELIN, 2008) e a parte restante sofre diversas reações químicas e biológicas, podendo formar compostos inorgânicos tais como: $HgCl$, $Hg(OH)$ e compostos inorgânicos de Hg(II) complexados com ânions orgânicos (SELIN, 2009). A formação de complexos de Hg(II) com matéria orgânica presente no solo (principalmente ácidos húmicos e fúlvicos), devido à sua afinidade por grupamentos funcionais contendo enxofre (ácidos fúlvicos) limita a mobilidade do mercúrio para camadas profundas do solo. O mercúrio inorgânico e complexado pode se transferir para os corpos hídricos através dos processos de lixiviação e erosão dos solos (USEPA, 1997).

Estima-se que de 1 a 3% do mercúrio total presente no solo superficial seja metilmercúrio, formado por diversos processos microbianos, e que os outros 97 - 99%, sejam considerados, em grande parte, complexos de Hg (II). Tanto estes complexos quanto o metilmercúrio presentes no solo, estão, teoricamente, disponíveis para captação pelas plantas. Todavia, não se espera que a vida terrestre represente uma exposição

significativa de mercúrio em comparação à biota aquática, dulcícola e marinha (USEPA, 1997).

Os teores referenciais, de prevenção e de intervenção agrícola, residencial e industrial propostos pela CETESB (2005) serviram de base para a criação de valores orientadores nacionais (BRASIL, 2009). Os valores para mercúrio permaneceram inalterados entre as duas referências. Porém, na atualização dos valores da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2014) os valores de intervenção tornaram-se mais restritivos (Tabela 8).

Tabela 8. Valores de referências para solos e água subterrânea

	Solo (mg/kg) de peso seco			Água (µg/L)	
	VQR	VP	Valor de Investigação/Intervenção - VI		
			Agrícola	Residencial	Industrial
CETESB (2014)	0,05	0,5	1,2	0,9	7
CONAMA (2009)	E	0,5	12	36	70

Onde: VQR = Valores de Referência de Qualidade; VP = Valor de Prevenção; E = valor estipulado por cada estado

A absorção do mercúrio para a planta via solo é bastante baixa, sendo que a absorção via estômatos (folha) é mais significativa. As plantas terrestres próximas de depósitos de Hg apresentam níveis de 200 - 30.000 µg/kg (peso úmido). O mercúrio e seus compostos estão naturalmente presentes, na forma de traços inferiores a 500 µg/kg, em plantas que crescem em solos com baixas concentrações de Hg (OECD, 1974; HSDB, 2000). Huckabee *et al.* (1983) *apud* Boeing (2000) realizaram um estudo em plantas, nas proximidades de uma mina de mercúrio na Espanha, e as concentrações de mercúrio total na vegetação variaram de 100 mg/kg, a menos de 500 m da mina, até 0,20 mg/kg a 20 km.

O ciclo do mercúrio nos sistemas aquáticos é de fundamental importância para a abordagem da exposição humana e de outros animais, uma vez que o consumo de peixes e de frutos do mar é a principal via de entrada do mercúrio no organismo, na sua forma química mais tóxica, o metilmercúrio.

A conversão de mercúrio inorgânico em orgânico pode ocorrer sob condições aeróbias ou anaeróbias, por meio de processos biológicos ou químicos. Acredita-se que as bactérias redutoras de sulfato sejam os principais agentes metiladores no processo de metilação biótica (COMPEAU & BARTHA, 1985), com a mediação enzimática da metilcobalamina, que é uma coenzima produzida pelas bactérias aeróbias e anaeróbias presentes em quantidades significativas no ambiente.

Uma vez produzido pelos microrganismos, o metilmercúrio entra na cadeia alimentar incorporado a quase todas as espécies aquáticas, incluindo o plâncton, os peixes herbívoros e os carnívoros (BRASIL, 2013), atingindo sua maior concentração nos tecidos de peixes no topo da cadeia alimentar aquática (BERNHARD *et al.*, 1982 *apud* WHO, 1990). A razão dos teores de metilmercúrio em peixes e de sua concentração média nas águas pode chegar a 10^6 por conta do processo de biomagnificação do mercúrio orgânico na cadeia trófica aquática. Nos peixes, o metilmercúrio encontra-se em maior concentração nos tecidos musculares, devido à sua afinidade por grupamentos sulfidrila, e desta forma, as concentrações mais elevadas são encontradas em peixes de topo de cadeia (carnívoros), e consequentemente, em populações animais e humana que

consomem tais peixes regularmente (MASON *et al.*, 1994; LACERDA & SALOMONS, 1998).

Assim sendo, a emissão do mercúrio para a atmosfera desencadeia uma série de complexas reações comprometendo a vida presente nos diversos compartimentos ambientais e a saúde humana.

b) Aspectos Toxicológicos

Aspectos gerais toxicocinéticos, toxicológicos, sinais e sintomas clínicos da exposição ocupacional e/ou ambiental ao mercúrio

Como mencionado, o mercúrio se apresenta em três formas químicas na natureza: (i) mercúrio inorgânico elementar; (ii) sais ou minerais mercuriais inorgânicos; e (iii) sais ou minerais mercuriais orgânicos. Todas estas formas químicas podem se interconverter no meio ambiente, e o contato com qualquer uma delas pode produzir diferentes efeitos tóxicos. Importantes publicações (WHO, 1999; ATSDR, 1998; UNIDO, 2003; US EPA, 1997) versam sobre os diferentes efeitos nocivos causados pelas distintas formas químicas do mercúrio. Portanto, deve-se ter em mente que é fundamental conhecer não só as formas químicas do mercúrio as quais a população pode estar exposta, como também a população a ser estudada e o tipo de exposição que se deve considerar, em especial, se aguda ou crônica.

Todas as formas químicas do mercúrio são absorvidas e distribuem-se pelo sangue, de onde atingirão os órgãos-alvo. As vias de exposição dependem da forma química. Por exemplo, para o mercúrio elementar vapor, a principal via é a inalatória. Já a excreção, que também depende da forma química, é realizada, predominantemente, através da urina, no caso do mercúrio elementar vapor. Assim, o mercúrio urinário é bastante representativo da absorção inalatória de mercúrio elementar. Outras vias de excreção, como o cabelo, estão mais relacionadas à excreção do mercúrio orgânico, para o qual as pessoas em geral estão expostas via oral, por ingestão de peixes contaminados.

De uma forma geral, pode-se dizer que os principais alvos das diferentes formas químicas do mercúrio, em exposição aguda ou crônica, são: o sistema nervoso, o sistema renal e o desenvolvimento do embrião. Entretanto, outros sistemas também podem ser afetados, como o respiratório, cardiovascular, gastrointestinal, hematológico, sistema imune e sistema reprodutivo (USEPA, 1997).

A forma química do mercúrio elementar vapor é de grande interesse quando se consideram exposição potencial de garimpeiros de ouro. Segundo WHO (EHC 118, 1991), o Sistema Nervoso Central - SNC é o órgão crítico para a exposição ao mercúrio elementar vapor. A inalação representa a via de captação mais importante para o mercúrio elementar, onde cerca de 80% dos vapores inalados são retidos, quase que inteiramente, nos alvéolos pulmonares. Isso se deve a sua alta difusibilidade e expressiva lipossolubilidade. A absorção no sangue, do vapor de mercúrio inspirado, depende de sua dissolução quando passa pela circulação pulmonar. O vapor dissolvido é oxidado a Hg^{+2} , sob influência da enzima catalase, parte nos glóbulos vermelhos e parte em outros tecidos após difusão (WHO, 1991). Via oral, a ingestão de mercúrio elementar é praticamente desprezível, indicando, em ratos, uma absorção menor do que 0,01%

(WHO, 1976). Na pele, o vapor de mercúrio elementar é absorvido a uma taxa média de 0,024 $\mu\text{g}_{\text{Hg}}/\text{cm}^2$ (pele) para cada mg/m^3 no ar, o que equivale a menos de 3% da quantidade total absorvida (USEPA, 1997).

O mercúrio elementar vapor é distribuído por todo o corpo após a exposição por inalação, podendo atravessar facilmente as barreiras hematoencefálicas e placentárias devido à sua elevada lipofilicidade, obtendo maior retenção no cérebro (ASTDR, 1999). A partir do sangue, o mercúrio se distribui para o fígado, mas, o rim, é o órgão preferencial de deposição, apresentando concentrações de ordens de magnitude mais elevadas do que em outros tecidos (ASTRD, 1999), podendo representar até 90% da carga corporal total (USEPA, 1997).

A eliminação do mercúrio metálico ocorre através da urina (~80%), fezes e ar expirado. O vapor de mercúrio presente no sangue pode ser exalado, e a meia-vida para a excreção, através dos pulmões, é de aproximadamente 18 horas (USEPA, 1997).

A intoxicação por exposição a vapores de mercúrio é denominada hidrargirismo (ou mercurialismo) e inclui uma série de manifestações clínicas. O mercurialismo metálico crônico ocupacional pode ocorrer de forma aguda ou crônica, dependendo do tempo e da intensidade de exposição. A forma aguda ocorre quando há exposição a concentrações altas de mercúrio em ambientes confinados enquanto a crônica ocorre ao longo do tempo e pode se subdividir em duas formas: aquelas cujos sintomas se manifestam no transcorrer da exposição, e aquelas em que os sintomas persistem após cessar a exposição (FARIA, 2003).

Em exposições agudas podem ocorrer comprometimentos nos sistemas nervoso, digestivo, respiratório e renal (WHO, 1991). Os sintomas incluem fadiga, febre e tremores, pneumonia química, dores torácicas, e, em casos mais graves, edema pulmonar. Esses efeitos são observados para uma exposição na faixa de concentração de 1,1 a 44 mg/m^3 de vapor de mercúrio de 4 a 8 horas (WHO, 1991). Acredita-se que a exposição a 1,2 mg/m^3 por algumas horas pode causar bronquite química e, logo depois, fibrose pulmonar (SIGEYUKI *et al.*, 2000).

Em exposições crônicas podem ser observados os seguintes sintomas: tosse, gengivas inchadas e com sangramento, dificuldade de respirar e vômito (WHO, 1991). Mais importantes são os sintomas associados a efeitos sobre o sistema nervoso central, como irritabilidade, ansiedade, mudanças de comportamento, apatia, perda da autoestima e de memória, depressão, insônia, delírio, cefaleia, dores musculares e tremores, que determinam o eretismo (ou síndrome neuropsíquica). Estes sintomas são observados no transcorrer da exposição, e quando esta cessa, após o afastamento do trabalhador, as manifestações de tremores e gengivite são reduzidas, mas os sintomas relacionados à cognição e às alterações psíquicas podem permanecer, e por vezes, até se acentuar (FARIA, 2003).

Um agravante importante é a possibilidade de desenvolvimento de insuficiência renal, podendo ser mediada por doença autoimune consequente à exposição (SCHOENY, 1996), a qual não reverte mesmo com a interrupção da exposição e o consequente decréscimo dos teores de mercúrio no organismo (IRIS USEPA, 2017). Lesões tubulares renais podem levar a proteinúria, ou seja, a perda de proteínas na urina.

Alguns trabalhos mostram que exposições agudas têm aumentado reações psicóticas, as quais são caracterizadas por delírio, alucinações e tendências suicidas. Exposições ocupacionais têm resultado em eretismo, terminologia médica com o significado de “*estado de excessiva irritabilidade, extrema e intensa reatividade e habilidade emocional, envolvendo sinais de depressão e introspecção exacerbada*”. Portanto, entre os sintomas, distinguem-se a irritabilidade, as alterações frequentes do humor, a labilidade emocional, a timidez excessiva, a insegurança, o desânimo, o medo de ser criticado, a insônia, a perda de memória recente, a desatenção, a dificuldade de concentração, a melancolia e a depressão. Dependendo da intensidade e do tempo de exposição, o paciente pode apresentar sintomas de grau leve, indefinidos, como sensação de que “algo está errado” com sua mente e com o seu comportamento, até graus mais graves, quando as alterações de humor, a labilidade emocional e a depressão predominam. Uma manifestação comum de exposição crônica para níveis excessivos de vapor de mercúrio é a sensação de gosto metálico na boca, a inflamação nas gengivas (e a formação de uma linha azul em torno das mesmas), estomatite grave, fraqueza e neuropatia periférica com formigamentos nas extremidades.

O micromercurialismo pode ser definido como um conjunto mínimo de sinais e de sintomas que ocorrem no mercurialismo crônico e que pode caracterizar um quadro de intoxicação leve em trabalhadores expostos cronicamente a concentrações de mercúrio inferiores a $100\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tais sinais e sintomas resumem-se basicamente em perda do apetite (anorexia) e perda de peso em decorrência da anorexia, alguns dos sintomas de eretismo e a presença de tremores finos discretos. Exposições a concentrações entre 10 e $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ dificilmente causam perda de apetite e de peso. Ainda, as exposições ocupacionais agudas a mercúrio elementar vapor também têm sido associadas ao comprometimento do sistema respiratório e as evidências de pneumonite intersticial, com sintomas que incluem dores no peito, dispneia (falta de ar), tosse, etc.

A maior parte do mercúrio encontrado na atmosfera é o mercúrio elementar na forma de vapor o qual é rapidamente e eficientemente absorvido pelo organismo humano nas estruturas pulmonares, sendo dirigido diretamente ao Sistema Nervoso Central e pode ser distribuído por todo o organismo. O amálgama dentário pode ser uma fonte importante de mercúrio vapor (CLARKSON *et al.*, 1988).

A exposição ocupacional humana a mercúrio elementar indica que efeitos neurotóxicos provavelmente ocorrem em baixas doses, geralmente sendo reversíveis pela interrupção na exposição. O mercúrio elementar é classificado como pertencente ao Grupo D, ou seja, não cancerígeno (USEPA, 1986). Estudos com voluntários indicaram que a captação via dérmica - através da pele - é somente cerca de 1% da captação pulmonar e que a absorção gastrointestinal de mercúrio elementar é menor do que 1%.

Bioindicadores biológicos de exposição ao mercúrio elementar vapor

Alguns institutos e órgãos internacionais adotam limites de exposição para as várias formas de mercúrio que podem estar presentes no ambiente ocupacional. Em seres humanos, a avaliação da exposição pode ser realizada por meio do monitoramento biológico, que consiste em se determinar as concentrações de substâncias químicas presentes em indicadores ou biomarcadores de exposição - IBE, para posterior comparação do resultado obtido com os limites biológicos de exposição, ou, índice

biológico máximo permitido – IBMP, segundo a Norma Regulamentadora 7 - NR 7, publicada pela Portaria nº 3.214/78 (BRASIL, 1978).

O biomarcador de exposição é um parâmetro medido nos fluidos biológicos que indica a quantidade do agente químico interpretado em termos de absorção e de excreção, podendo ser associado à probabilidade de presença de efeito tóxico e/ou de sintomas clínicos.

O IBE utilizado para se aferir a exposição ao mercúrio e ao metilmercúrio são suas próprias determinações em diferentes constituintes do organismo, mais frequentemente, sangue, cabelo e urina (FRIBERG, 1985). O IBE a ser escolhido para adoção em programas de toxicovigilância da exposição ao mercúrio depende do tipo de exposição (ocupacional, ambiental, acidental ou outra) e da forma química do mercúrio a que se está exposto.

Abaixo encontram-se os três tipos de IBE utilizados para o monitoramento biológico de exposição ao mercúrio com suas especificidades:

- Urina: Especialmente utilizado para exposições a mercúrio inorgânico ou ao elementar (vapores), tendo boa aplicação na vigilância da exposição ocupacional recente a ambos;
- Cabelo: Utilizado como indicador para exposições de longo tempo em contaminação por metilmercúrio, que se dá particularmente por meio da ingestão de peixes e de frutos do mar contaminados;
- Sangue: Indicador para exposições recentes, particularmente a exposição de vapores de mercúrio ou ingestão de grandes quantidades de peixes contaminados.

Enquanto a avaliação de mercúrio na urina está relacionada com uma exposição por um longo período, a análise dos teores de Hg no sangue fornece um quadro combinado de ambas as contaminações, por mercúrio metálico e por metilmercúrio.

Como a concentração de mercúrio na urina também varia com a taxa de excreção faz-se necessário corrigi-la com a concentração de creatinina presente na amostra.

No Brasil, segundo a NR-15 da Portaria nº 3.214 (BRASIL, 1978) que trata de atividades e operações insalubres, preconiza que para todas as formas de mercúrio, exceto as orgânicas, o limite de exposição ocupacional (LEO) é de 0,04 mg/m³ por 48 horas semanais. E, a NR-7 estabelece, por meio da Portaria SSST nº 24, de 29 de dezembro de 1994, o valor de referência (VR²) de até 5 ug/g de creatinina e de no máximo 35 ug/g de creatinina (IBMP³) para exposição a vapores de mercúrio inorgânico avaliados na urina.

A OMS obteve uma interessante e útil relação (Equação 1) entre os teores de mercúrio na urina corrigido pela excreção de creatinina (em ug/g de creatinina urinária ou ug/gC) e a concentração de mercúrio na atmosfera (em ug/m³) quando a exposição excede o período de um ano:

² Valor de Referência da Normalidade: valor possível de ser encontrado em populações não-expostas ocupacionalmente.

³ Índice Biológico Máximo Permitido: valor máximo do indicador biológico para o qual se supõe que a maioria das pessoas ocupacionalmente expostas não corre risco de danos à saúde. A ultrapassagem deste valor significa exposição excessiva.

$$U = 10,2 + 1,01A$$

Equação 1. Relação entre teores de mercúrio na urina e na atmosfera. U= teor de Hg na urina; A= teor de Hg na atmosfera

Considerando apenas esta via de exposição, tem-se que:

- $Hg_{(atmosfera)} < 10 \mu\text{g}/\text{m}^3 \rightarrow Hg_{(urina)}$ em níveis referenciais;
- $Hg_{(atmosfera)} = 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (conforme NR-15) $\rightarrow Hg_{(urina)} 50 \mu\text{g}/\text{gC}$;
- $Hg_{(atmosfera)} = 24,5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \rightarrow Hg_{(urina)} 35 \mu\text{g}/\text{gC}$ (IBMP)

Outros estudos, especificamente para baixos níveis de mercúrio no ar, na faixa de interesse para exposições ambientais e de saúde pública, também têm demonstrado uma forte correlação entre os níveis de mercúrio na urina e os níveis de mercúrio elementar no ar ($< 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ até $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). A concentração de *background* de mercúrio na urina tem sido reportada como sendo cerca de $4 \mu\text{g}/\text{L}$, com um limite superior de $20 \mu\text{g}/\text{L}$, embora existam pesquisas que demonstrem valores menores em populações sem exposição, normalmente em crianças (TSUJI, 2003).

Schulz *et al.* 2007 indicaram que os níveis de mercúrio na urina da população alemã seguiam os seguintes referenciais de comparação: um nível considerado seguro de no máximo até $7 \mu\text{g}/\text{L}$ e um segundo nível, de $25 \mu\text{g}/\text{L}$, considerado nível para ações preventivas. Considera-se que não apenas os teores de mercúrio na urina, mas sua associação a sinais e sintomas deve ser avaliada. Tais níveis tem sido utilizado para comparações com populações garimpeiras de ouro (CASTILHOS *et al.*, 2015).

O cabelo é a matriz biológica de escolha quando se pretende avaliar a exposição pregressa ao metilmercúrio e, por isso mesmo, é a matriz particularmente empregada nas pesquisas de avaliação da exposição ambiental da população, em geral, representada por pessoas sem histórico de contato profissional com o mercúrio. É também útil para o levantamento do grau de exposição ao metilmercúrio vinculado aos alimentos por ele contaminados. A concentração de mercúrio no cabelo de $6 \mu\text{g}/\text{g}$ corresponde à ingestão semanal de metilmercúrio estabelecida, provisoriamente, como tolerável pela OMS (FRIBERG *et al.*, 1979; RAHMAN *et al.*, 2000; WHO, 1991).

No sangue, a concentração normal de mercúrio total varia de $5 - 10 \mu\text{g}/\text{L}$ (em indivíduos que não consomem peixes com altas concentrações de metilmercúrio). A OMS estabelece o valor de $8 \text{ ng}/\text{mL}$ como limite de normalidade e o valor de $30 \text{ ng}/\text{mL}$ como limite de tolerância biológica para amostras de sangue.

No Quadro 2 é possível ver um resumo dos dados sobre toxicocinética, sinais e sintomas e valores indicadores de risco à saúde humana por exposição a mercúrio elementar vapor.

Quadro 2. Resumo dos dados sobre toxicocinética, sinais e sintomas e valores indicadores de risco à saúde humana por exposição a mercúrio elementar vapor

Parâmetros		
Vias de exposição	Inalação	
Distribuição tecidual preferencial	SNC Rins	
Excreção predominante	Renal/urina	
Sinais e Sintomas		
SNC	Tremor + eretismo	
Aparelho respiratório	Pneumonite química	
Rins	Insuficiência renal crônica	
Bioindicadores		
Hg urina (base creatinina)	< 4µg/L < 5µg/gC 20 µg/gC > 35 µg/gC 150 µg/gC	Valor de referência (TSUJI, 2003) Valor de referência (NR-7) Alerta (Drash-GEF) IBMP-NR 7 Podem haver manifestações clínicas
Hg sangue	2 µg/L 5 a 10 µg/L 8 ng/mL (ou µg/L) 30µg/L	Valor referencial Teores normais (OMS) Limite Limite de tolerância (OMS)
Hg cabelo	1 a 2 µg/g 6 µg/g	Limite de normalidade Limite de tolerância (mais importante para MeHg)
Hg atmosfera	0,04 mg/m ³ 0,01 mg/ m ³ 0,0003 mg/m ³	NR-15 Valor referencial (IRIS) valor referencial ambiental

Exposição ocupacional x exposição ambiental

Na MAPEO os trabalhadores estão diretamente expostos aos vapores de mercúrio provenientes da queima do amálgama e da manipulação do metal líquido, uma vez que vaporiza, em função de sua alta pressão de vapor, em temperatura ambiente e, ainda mais, em temperaturas elevadas e em ambientes ensolarados, comuns na região Amazônica.

Há diferenças fundamentais entre a exposição ocupacional e a exposição ambiental. A exposição ocupacional trata da exposição dos trabalhadores no ambiente de trabalho, onde deveriam ser utilizados equipamentos de proteção individual e/ou de controle de emissão de contaminantes localmente, influenciando diretamente nos teores dos contaminantes no meio ambiente. As doses de exposição são, em geral, elevadas e o tempo de exposição segue o admitido pela legislação trabalhista de cada país. Já a exposição ambiental considera a população em geral, incluindo as subpopulações mais sensíveis - crianças, idosos, mulheres grávidas -, o ambiente fora dos espaços do trabalho e, normalmente, as doses são baixas e crônicas, todos os dias, por toda a vida, ou seja, 365 dias do ano, por 70 anos.

A maior parte dos estudos que gerou conhecimento sobre a toxicidade de contaminantes é oriunda da área ocupacional, enquanto os estudos epidemiológicos são fundamentais para entender a resposta da população à exposição ambiental a determinado contaminante ou a misturas de contaminantes, via exposição simultânea.

O Decreto nº 3.048/99 (BRASIL, 1999) que aprova o regulamento da Previdência Social, reconhece o mercúrio como agente patogênico, causador de doença profissional ou do trabalho àquele que se dedica ao “tratamento a quente de amálgamas de ouro e prata para a recuperação destes metais” no Anexo II (XVI-10). E no mesmo decreto, há a relação de doenças (LISTA A) causalmente relacionadas com os respectivos agentes ou fatores de risco denominadas e codificadas segundo a CID-10 (Classificação Internacional de Doenças).

Como já mencionado, o limite de tolerância para exposição ocupacional, segundo a NR-15 (BRASIL, 1978) é de 0,04 mg/m³ (excetuando as formas orgânicas) para jornadas de até 48 horas semanais, previsto no Anexo 11. A Norma Regulamentadora 9 (NR-9) - Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), regulamentada em 1994 adotou o “Nível de Ação” para substâncias químicas, que é um valor acima do qual ações de prevenção devem ser iniciadas afim de evitar que os limites de exposição sejam ultrapassados (BRASIL, 1994). Tal limite foi estabelecido como sendo a metade do limite de tolerância da NR-15, ou seja, 0,02 mg/m³.

Nos EUA, há diferentes valores para os limites de exposição, dependendo da instituição que os regula. A *Occupational Safety and Health Administration* – OSHA admite níveis de exposição no ambiente laboral de 0,1 mg/m³, não podendo ser excedido em momento algum. Já a *American Conference of Industrial Hygienists* - ACGIH e o *National Institute for Occupational Safety and Health* - NIOSH, indicam que o limite de exposição diária para uma jornada de 8 h de trabalho é de 0,05 mg/m³ TWA⁴.

Para a exposição ambiental, a Agência de Proteção Ambiental Americana - USEPA derivou a concentração de referência (RfC) para Hg⁰ na atmosfera de 300 ng/m³ (0,0003 mg/m³ de Hg⁰) para população em geral exposta a esse elemento por toda vida (USEPA, 1997).

Em ambiente de MAPEO há situações em que a exposição ocupacional e a exposição ambiental se sobrepõem. Muitas vezes os garimpeiros vivem na mesma área onde trabalham (em pequenas vilas ou em alojamentos) ou em áreas próximas. Ademais, atualmente, diferente do passado, em que a atividade contava com a presença exclusiva de homens, podem ser identificados grupos familiares que residem na área garimpeira. Outra situação comum, que reforça esta sobreposição de exposição, é a existência de dormitórios e refeitórios próximos à área de beneficiamento do minério de ouro, onde, via de regra, o mercúrio faz parte do processo. Ou seja, além da exposição ocupacional, com respeito aos limites estabelecidos por normas trabalhistas, ocorre a exposição continuada durante as refeições e nas horas de sono.

⁴ Time Weighted Average é a concentração média ponderada pelo tempo para uma jornada normal de 8 horas diárias e 40 horas semanais, à qual a maioria dos trabalhadores pode estar repetidamente exposta, dia após dia, sem sofrer efeitos adversos à saúde.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAMINO, R. C. J.; SILVA, R. S. V.; CASTILHOS, Z. C. Panorama da pequena mineração de ouro legalizada no Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, Ouro Preto, 2016.
- ARAUJO, P. C. Avaliação de teores de mercúrio na atmosfera em área de garimpo no Brasil. (Mestrado profissional). UFRRJ: Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro, 2017 (em andamento).
- ARAÚJO, R. V. V.; RIBEIRO, R. A. Avaliação de retorta destinada à recuperação de mercúrio contido em amálgamas de metais preciosos. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1996. (Relatório Técnico).
- ASHLEY, T. A basic introduction to small scale mining. 2009. Disponível em: <file:///C:/Users/r_ala/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/LIVROguide%20to%20small%20scale%20mining.pdf>.
- ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Public health assessment: Grand Street Mercury Site, Hoboken, Hudson County, New Jersey. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/pha/grand/gsm_toc.html>. 1998.
- _____. Toxicological profile for mercury. Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA. 1999.
- AZEVEDO, A. M. M.; DELGADO, C. C. Mineração, Meio Ambiente e Mobilidade Populacional: um levantamento nos estados do Centro-Oeste expandido. In: XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais. Anais... Ouro Preto - MG, 4 a 8 de novembro de 2002.
- BACEN, Banco Central do Brasil. Manual de organização do sistema financeiro. Sisorf nº 81, de 28 ago. 2013. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/manuais/sisorf/externo/Manual>>. Acesso em: set. 2015.
- BARRETO, M. L. Uma abordagem crítica da legislação garimpeira: 1967-1989. Série Estudos e Documentos, n.19. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1993. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/series/serie-estudos-e-documentos/item/download/245_97afb0a6f9b712b5edfce969c68014d2>. Acesso em: set. 2015.
- BARROS, A. J. P. Pontos relevantes para entendimento da questão garimpeira. Palestra transcrita, 2016. 7 pp.
- BEADELL RESOURCES. Projeto Tartaruga Amapá. Disponível em: <<http://www.beadellresources.com.au/view/brazil-projects/tartaruga/>>. Acesso em: 05 mar. 2009.
- BM&FBOVESPA, Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros. Mercado de ouro - como investir no mercado a vista. Folheto. Publicação de ago. 2012. Disponível em: <<http://www.bmfbovespa.com.br/pt-br/a-bmfbovespa/download/Folheto-Ouro.pdf>>. Acesso em: out. 2015.
- BOENING, D. W. Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review. *Chemosphere*. 2000 Jun; 40(12):1335-51.
- BRAGA, P.F.A. Boas práticas na pequena mineração de ouro. Palestra em evento. In: FIO 2014. FEIRA INTERNACIONAL DO OIAPOQUE. Oiapoque, AP: 2014.
- BRASIL. Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. 1967a.[DOU] 28 fev. 1967. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del0227.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Decreto nº 62.934/1968, de 2 de julho de 1968. [DOU] 2 jul. 1968, retificado 21 ago. 1968. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1950-1969/D62934.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Ministério do Trabalho. Portaria 3.214, de 08 de junho de 1978. [DOU] 06 jul. 1978. NR 7 – Programa de controle médico de saúde ocupacional.

_____. Ministério do Trabalho. Portaria 3.214, de 08 de junho de 1978. [DOU] 06 jul. 1978. NR 15 – Atividades e operações insalubres.

_____. Ministério do Trabalho. Portaria 3.214, de 08 de junho de 1978. [DOU] 06 jul. 1978. NR 22 - Segurança e saúde ocupacional na mineração.

_____. Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981. [DOU] 28 abr. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6902.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Ministério de Minas e Energia. Projeto Radambrasil. Projeto Iratapuru - Área Cupixi: Geologia Regional. Relatório final. Belém, PA: GEBAM-RADAMBRASIL, 1984. v. 1.

_____. Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. [DOU] 17 fev. 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: set. 2015.

_____. Resolução CONAMA nº 9, de 3 de dezembro de 1987. [DOU] 5 jul. 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=60>>. Acesso em: set. 2015.

_____. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. [DOU] 5 out. 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Decreto nº 97.507, de 13 de fevereiro de 1989. [DOU] 14 fev. 1989. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1989/decreto-97507-13-fevereiro-1989-448256-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: set. 2015.

_____. Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989. [DOU] 12 abr. 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97632.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989. 1989a. [DOU] 20 jul. 1989 retificado 11 out. 1989. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7805.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. 1989b. [DOU] 29 dez. 1989. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1989/lei-7990-28-dezembro-1989-372285-normaactualizada-pl.html>>. Acesso em: set. 2015.

_____. Lei nº 7.766, de 11 de maio de 1989. 1989c. [DOU] 12 maio. 1989. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1989/decreto-97507-13-fevereiro-1989-448256-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: set. 2015.

_____. Instrução Normativa SRF nº 108 de 24 de outubro de 1989 (1989d). [DOU] 24 out. 1989.

_____. Ministério da Fazenda. Receita Federal. Instrução Normativa SRF 108 de 24 out. 1989.

BRASIL. Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990. [DOU] 14 mar. 1990. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8001.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990. [DOU] 7 jun. 1990. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d99274.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Resolução CONAMA nº 9 de 06 de dezembro de 1990. [DOU] 28 dez. 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0990.html>>. Acesso em: set. 2015.

_____. Resolução CONAMA nº 10, de 6 de dezembro de 1990. [DOU] 28 dez. 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=107>>. Acesso em: set. 2015.

_____. Portaria SSST nº 25, de 29 de dezembro de 1994. 30/12/94 NR 9 - Programa de prevenção de riscos ambientais.

_____. Lei nº 87, de 13 de setembro de 1996 [DOU] 16 set. 1996. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/Lcp87.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. [DOU] 22 dez. 1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em: set. 2015.

_____. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. [DOU] 19 jul. 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCivil_03/leis/L9985.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Ministério da Fazenda. Receita Federal. Instrução Normativa SRF nº 49, de 02 de maio de 2001. [DOU] 07 maio 2001. Disponível em: <<http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?visao=anotado&idAto=13854>>. Acesso em: set. 2015.

_____. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Institui o Código Civil. Novo Código Civil – Lei nº 10.406/2002 [DOU] 11 jan. 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10406.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002. [DOU] 23 ago. 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4340.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. Diretoria de Qualidade Ambiental na Indústria. Monção Conama nº85. 27 jun. 2007. Disponível em:<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/6AC6BB8C/ApresentMercurio_S_MCQ.pdf>. Acesso em: 29 fev. 2016.

_____. Lei nº 11.685, de 2 de junho de 2008. Institui o Estatuto do Garimpeiro e dá outras providências. [DOU] 3 jun. 2008. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Lei/L11685.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Perfil do ouro. Ago. 2009. (Relatório Técnico 28). Disponível em:<http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P19_RT28_Perfil_do_Ouro.pdf/9628eb10-525b-4c31-83bb-124160792bac>. Acesso em: 2015.

_____. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. [DOU] 3 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Ministério da Fazenda. Receita Federal. Instrução Normativa RFB nº 1.083, de 8 de novembro de 2010. [DOU] 09 nov. 2010. Disponível em: <<https://www.receita.fazenda.gov.br/Legislacao/ins/2010/in10832010.htm>>. Acesso em: set. 2015.

_____. Lei complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011. [DOU] 9 dez. 2011 retificado 12 dez. 2011. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LCP/Lcp140.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. [DOU] 28 maio 2012. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Lei nº 12.844, de 19 de julho de 2013. [DOU] 19 jul. 2013. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/12844.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Diagnóstico preliminar sobre o mercúrio no Brasil. Brasília: MMA. 2011. 107 p.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 55, de 17 de fevereiro de 2014. [DOU] 18 fev. 2014.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria Nº 732 de 22 de maio de 2014. [DOU] 26 maio 2014.

_____. Portaria nº 361 de 10 de setembro de 2014. [DOU] 15 set. 2014. Disponível em: <http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/Port_361_14.htm>. Acesso em: set. 2015.

_____. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Instrução normativa nº 7 de 5 de novembro de 2014.

BRAZ, E. BRAZ, E. Relatório Técnico 78: análise-síntese da mineração brasileira. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256652/P53_RT78_Análise-síntese_da_mineráxo_brasileira.pdf/8d5bddee-41a1-4c03-b1fe-31b453713ed5>. Acesso em: 29 fev. 2016.

BROSSET, C. & LORD, E. Mercury in precipitation and ambient air a new scenario. Water, Air, and Soil Pollution, 56: 493. 1991. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF00342294>>.

CALVERT, J. G. & LINDBERG, S. E. Mechanisms of mercury removal by O₃ and OH in the atmosphere, Atmos. Environ., 139, 3355 – 3367, 2005.

CARVALHO, J. M. A.; SILVA NETO, C. S.; KLEIN, E. L.; FARACO, M. T. L. Características das principais mineralizações auríferas no Pará e Amapá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 1994, Camboriú. Anais... Camboriú: SBG, 1994.

CASTILHOS, Z. C.; CASTRO, N. F. Mulheres na mineração: *restitutio quae sera tamen*. In: CASTILHOS, Z.C.; LIMA, M.H.R.L.; CASTRO, N. F. (Orgs.) Gênero e trabalho infantil na pequena mineração: Brasil, Peru, Argentina, Bolívia. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro: CETEM/CNPQ, 2006. 41 - 64 p.

CASTILHOS, Z. C. *et al.* Human exposure and risk assessment associated with mercury contamination in artisanal gold mining areas in the Brazilian Amazon. Environmental Science and Pollution Research, v. 22, n. 15, p. 11255-11264, 2015.

CASTILHOS, Z. C. (Coord.) *et al.* Prospective study of artisanal and small scale gold mining in Brazil. Final Report. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2016. (RRT00090016)

CLARKSON, TH. W., FRIBERG, L., NORDBERG, G. F., SAGER, P. R. (Eds.). Biological monitoring of toxic metals. Springer US, 698 p. 1998.

COMPEAU G. C. & BARTHA, R. Sulfate-reducing bacteria: principal methylators of mercury in anoxic estuarine sediment. Appl. Environ. Microbiol. 1985, 50(2):498.

COSIF. Operações com ouro. Disponível em: <<http://cosif.com.br/mostra.asp?arquivo=curso2-02extrac>>. Acesso em: set. 2015.

COSTA, L. Homens de ouro: o métier de garimpeiro e os garimpos em Minas Gerais. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE SOCIOLOGIA, 2007, UFPE, Recife (PE). Anais... Recife, 2007.

DEL MAR, A., 1902. A History of the Precious Metals. Reprinted by A.M. Kelley, New York, 1969.

DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. Anuário mineral brasileiro 2010. Brasília: DNPM, 2010. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assuntos/ao-publico/anuario-mineral/arquivos/ANUARIO_MINERAL_2010.pdf>. Acesso em: set. 2015.

_____. Atividade garimpeira de ouro na Amazônia Brasileira: instruções e procedimentos aplicados à queima de mercúrio nas casas compradoras de ouro. Brasília: DNPM, 1995. 59 p. (Série Difusão Tecnológica, n. 3).

_____. Bússola Mineral. O cooperativismo mineral no Brasil: o caminho das pedras, passo a passo. (Série Bússola Mineral). Brasília: DNPM/DIDEM, 2008. 132p. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/bussola-mineral-o-cooperativismo-mineral-no-brasil>>. Acesso em: set. 2015.

_____. Inventário socioeconômico das regiões auríferas do Território Federal do Amapá. Fase I: Lourenço, Cassiporé e Vila Nova. Belém, 1986. 40 p. Relatório Técnico

_____. Sumário Mineral 2014. Brasília: DNPM, 2014. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>>. Acesso em: fev. 2016.

DONOHOUE, D. L., BAUER, D., COSSAIRT, B., AND HYNES, A. J. Temperature and pressure dependent rate coefficients for the reaction of Hg with Br and the reaction of Br with Br: A pulsed laser photolysis-pulsed laser induced fluorescence study, *J. Phys. Chem. A*, 110(21), 6623–6632, 2006.

DUARTE, E. C.; FONTES, C. J. F. Associação entre a produção anual de ouro em garimpos e incidência de malária em Mato Grosso - Brasil, 1985-1996. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 35(6):665-668, nov-dez, 2002.

ESCHEWEGE, W.L.VON. *Pluto brasiliensis*. Brasília: Senado Federal, Conselho editorial, 2011.

FARACO, M. T. L.; CARVALHO, J. M. A. A metalogenia preliminar nos estados do Pará e Amapá. In: *SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 4., 1994, Belém. Anais... Belém: SBG - Núcleo Norte, 1994.

FARACO, M. T. L.; MARINHO, P. A. C.; VALE, A. G. Metallogenic Map of the Amapá/ NW Para State integrated to JERS-1 Radar Image. 1:750.000. Belém, PA: CPRM, 2000.

FARIA, M. A. M. Mercurialismo metálico crônico ocupacional. *Rev. Saúde Pública*. 2003 fev; 37(1): 116-27.

FARID, L. H.; MACHADO, J. E. B.; SILVA, A. O. Controle da emissão e recuperação de mercúrio em Rejeitos de Garimpo. In: VEIGA, M. M. & FERNANDES, F. R. C. (Eds.). Poconé: um campo de estudos do impacto ambiental do garimpo. Série Tecnologia Ambiental nº 1, Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1991.

FEMA, Fundação estadual do Meio Ambiente. Manual de procedimentos para licenciamento de atividades mineradoras, Cuiabá, 1997, 167 pp.

FERNANDES, C. J.; MIRANDA, J. G. Províncias e Distritos Auríferos de Mato Grosso: produção garimpeira e industrial. In: FERNANDES, C. J.; VIANA, R. R. Províncias e Distritos Auríferos de Mato Grosso. Cuiabá: Ed. UFMT. (Coletânea Geológica de Mato Grosso). v. 2. 2006.

FERNANDES, F. R. C.; ALAMINO, R. C. J.; ARAUJO, E. R. (Eds.). Recursos minerais e comunidade: impactos humanos, socioambientais, econômicos. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. 379 p. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/handle/cetem/1729/Livro_Recursos_Minerais_E_Comunidade_FormatoA4_em14_outubro_2014.pdf?sequence=1>. Acesso em: set. 2015.

FERREIRA, L. G. As relações sociais no garimpo de Lourenço: um estudo de caso. 1990. 45 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal do Pará, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Belém.

FERREIRA, R. C. H.; APPEL, L. E. Fontes e usos de mercúrio no Brasil. Série de Estudos e Documentos nº 13, Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1991.

_____. Mercúrio: fontes e usos. Resumos técnicos do projeto desenvolvimento de tecnologia ambiental no garimpo de ouro de Poconé. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq. 1990.

FRIBERG, L. T. The rationale of biological monitoring of chemicals—with special reference metals. The American Industrial Hygiene Association Journal, v. 46, n. 11, p. 633-642, 1985.

FRIBERG, L. T. et al. Handbook on the toxicology of metals. Handbook on the toxicology of metals., 1979.

GEOMIN. Diagnóstico do setor mineral de Mato Grosso. Convênio de Cooperação Técnica e Financeira. MME, SICM-MT. mar. 2002. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732815/Diagn%C3%A3stico+do+Setor+Mineral+do+Estado+de+Mato+Grosso/310e78ce-85db-438a-8a18-b82ccddcaf8d;jsessionid=157C520404F7487BEE16B2327913A03C.srv154>>. Acesso em: fev. 2016.

GOMES, M. A. V. Zoneamento sócio-econômico-ecológico: diagnóstico sócio- econômico-ecológico do estado de Mato Grosso e assistência técnica na formulação da 2ª aproximação. Áreas com atividades minero-industriais existentes e potencial para exploração. Cuiabá: Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN), 2000. 127p.

GRAEME, K.A.; POLLACK, C. Heavy metal toxicity, part I: arsenic and mercury. J Emerg. Med., v.16, n. 1, p. 45-56, 1998.

HEIDER, M. Dez anos da evolução do ouro no Brasil. In the mine. São Paulo, 15 abr.2014. Disponível em: <<http://inthemine.com.br/site/index.php/evolucao-da-mineracao-de-ouro-no-brasil-2001-2012/>>. Acesso em: 22 fev. 2016.

_____. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <zcastilhos@cetem.gov.br>. Jul.2017.

HSDB, Hazardous Substances Data Bank. Toxicology Data Network. Disponível em: <<https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB>>.

INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 006/2013 Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará. Dispõe sobre o licenciamento para a atividade de lavra garimpeira de ouro no Estado do Pará. Data da publicação: 3 de julho de 2013.

INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 001/2015. Secretaria municipal de Meio Ambiente de Itaituba – PA. Data publicação: 10 de agosto de 2015.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Objetivos de Desenvolvimento do Milênio: Relatório nacional de acompanhamento. Brasília: IPEA, 2014. 280p. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/Docs/5_RelatorioNacionalAcompanhamentoODM.pdf>. Acesso em: out. 2015.

IRIS, Integrated Risk Information System. United States Environmental Protection Agency. 2017. Disponível em: <<http://www.epa.gov/iris>>.

ISEA, Institute of Social and Ethical Accountability. AA1000 1999. Disponível em: <<http://www.accountability21.net/uploadedFiles/publications/AA1000APS-2008-PT.pdf>> Acesso em: set. 2015.

IVERFELDT, Å. Occurrence and turnover of atmospheric mercury over the Nordic countries. *Water, Air, Soil Pollut.* 56, 251-265. 1991.

JOHNSON, D. W.; LINDBERG, S. E. The biogeochemical cycling of Hg in forests: Alternative methods for quantifying total deposition and soil emission, *Water Air Soil Pollut.*, 80, 1069 - 1077. 1995.

KIM, E. H.; KIM, I. K.; KWON, J. Y.; KIM, S. W.; PARK, Y. W. The effect of fish consumption on blood mercury levels of pregnant women. *Yonsei Med J* Vol. 47, No. 5, 2006.

KOLEN, J.; THEIJE, M.; MATHIS, A. Formalizing small-scale gold mining in the Brazilian Amazon: an activity surrounded by informality. In: CREMERS, L.; KOLEN, J.; THEIJE, M. (Eds.). *Small-scale gold mining in the Amazon: the cases of Bolivia, Brazil, Colombia, Peru and Suriname*. Cuadernos del CEDLA. Amsterdã: HAVEKA. pp. 31-45, 2013.

LACERDA, L. D. Monitoramento de mercúrio na área do projeto Carajás. Seminário Nacional Riscos e Consequências do uso do mercúrio. Rio de Janeiro: FINEP/CNPQ, 1990.

LACERDA, L. D.; SALOMONS, W. Mercúrio na Amazônia: uma bomba relógio química? Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1992.

LIMA, M. H. R; PEREIRA FILHO, S. R; SIROTHEAU, G. J; SCHNELLRATH, J.; VILLAS BÔAS, R. C. Garimpo e inclusão social no Brasil: dois estudos de caso. In: III SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOCIEDADE INCLUSIVA PUC MINAS - Ações Inclusivas de Sucesso. Anais... Belo Horizonte: PUC Minas, 24-28 maio. 2004. Disponível em: <http://proex.pucminas.br/sociedadeinclusiva/sem3/maria_helena_rocha_lima.pdf>. Acesso em: set. 2015.

LINDBERG S., BULLOCK R, EBINGHAUS R, ENGSTROM D, FENG X, FITZGERALD W, PIRRONE N, PRESTBO E, SEIGNEUR C. A synthesis of progress and uncertainties in attributing the sources of mercury in deposition. *Ambio*. 2007 Feb; 36(1): 19-32.

LINDQVIST, O.; RODHE, H. Atmospheric mercury - a review. *Tellus B*, Volume 37 B, Issue 3, pages 136–159, July 1985.

LINS, F. A. F.; FARID, L. H. Concentração gravítica. In: LINS, F. A. F. Aspectos diversos da garimpagem de ouro. 1ed. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1992. 97p.

LOPES, M. V. Isto é Amapá. Goiania: Kelps, 1998. 99 p.

MALLAS, J.; BENEDICTO, N. 1986. Mercury and gold mining in the Brazilian Amazon. *AMBIO*, 15(4).

MASON, R. P.; FITZGERALD, W. F., MOREL, F. M. M. The biogeochemical cycling of elemental mercury - anthropogenic influences. *Geochim Cosmochim Acta*. 1994; 58: 3191 - 3198.

MATHIS, A. Garimpos de ouro na Amazônia: fatores sociais, relações de trabalho e condições de vida. Papers do NAEA. n. 37. Belém: UFPA, abr. 1995.

_____. Rompendo barreiras: possibilidades e limites da intervenção na garimpagem de ouro no Tapajós. In: VILLAS-BÔAS, R.C. et al. *Mercury in the Tapajos Basin*. 1ed. Rio de Janeiro: CNPq/CYTED, 2001. pp. 159-173.

MELFI, A. J.; FORTI, M. C. Estudo do ciclo do mercúrio no ecossistema da Floresta Amazônica: Avaliação do impacto da mineração (garimpo) de ouro com a utilização de mercúrio: Relatório Final. [S.I. s.n], 1997. 206 p. PADCT/CIAMB – CNPQ Nº 620375/92.2.

MINEROPAR, Minerais do Paraná S/A. Atlas geológico do estado do Paraná. Curitiba: MINEROPAR, 2001. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/MapasPDF/atlasgeo.pdf>>.

MIRANDA, J. G. A produção de ouro no Estado de Mato Grosso. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. 1997. 106 p.

MME, Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Perfil do Ouro. Relatório Técnico 28. Ago. 2009. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P19_RT28_Perfil_do_Ouro.pdf/9628eb10-525b-4c31-83bb-124160792bac>.

MONTE, M. B. M. et al. Ouro – Rio Paracatu Mineração – RPM. In: SAMPAIO, J. A. et al. Usinas de beneficiamento de minérios do Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT/CTEC, 2002. p. 317-325.

MORAES, E. F.; ALVES, J. M. C. B.; SOUZA, M. J. F.; CABRAL, I. E.; MARTINS, A. X. Um modelo de programação matemática para otimizar a composição de lotes de minério de ferro da mina Cauê da CVRD. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 59, n. 3, p.299-306, set. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672006000300008&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 2015.

MORAES, P. B. Flotação. Centro Superior de Educação Tecnológica, Universidade Estadual de Campinas - CESET/UNICAMP. Notas da disciplina Tratamento Biológico de Efluentes Líquidos. 2008[?]. Disponível em: <<http://webensino.unicamp.br/disciplinas/ST502-293205/apoio/8/flotacao.pdf>>. Acesso em: 2015.

MORAIS, P. D.; MORAIS, J. O Amapá em perspectiva: uma abordagem histórica - geográfica. Macapá: Gráfica JM, 2005.

OBSERVATÓRIO ECO. Falta uma lei moderna e sustentável para o garimpo no Brasil. 22 jan. 2013. Disponível em: <<http://www.observatorioeco.com.br/index.php/2013/01/falta-uma-lei-moderna-e-sustentavel-para-o-garimpo-no-brasil/>>. Acesso em: 24 fev. 2016.

OECD, Organization for Economic Co-operation and Development. Mercury in the Environment. Paris. 1974.

OLIVEIRA, C. C.; ALBUQUERQUE, M. C. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. Projeto província mineral de Alta Floresta (PROMIN Alta Floresta). Geologia e Recursos Minerais da Folha Alta Floresta-SC. 21-Z-X-C. Brasília: CPRM, 2003.

OLIVEIRA, L. J., HYLANDER, L. D., SILVA, E. C. Mercury behaviour in a tropical environment: the case of small-scale gold mining in Poconé, Brazil Environmental Practise 6 (2). 2004.

OLIVEIRA, J. C. Reportagem especial traça panorama do garimpo no Brasil - Câmara Notícias - Portal da Câmara dos Deputados. Publicado em: 22 jan. 2013. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/ECONOMIA/434390-REPORTAGEM-ESPECIAL-TRACA-PANORAMA-DO-GARIMPO-NO-BRASIL.html>>. Acesso em: 2 mar. 2016.

PAJANOTI, B. J. O depósito de ouro Zé Vermelho da Província Aurífera Alta Floresta: uma tipologia de depósito de preenchimento de zona de falha. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Cuiabá, 2013. 54p.

PERFIL. Planejamento Contábil e Fiscal. IOF - Ouro ativo financeiro ou instrumento cambial. 2010. In: Boletim IOB. Disponível em: <http://www.perfilcontabil.com.br/artigos_ver.php?id=1259>. Acesso em: set. 2015.

PFEIFFER, W. C.; LACERDA, L. D. 1988. Mercury inputs into the Amazon Region, Brazil. Environmental Technology Letter, 9, 325-33.

RAHMAN, L. *et al.* Determination of mercury, selenium, bismuth, arsenic and antimony in human hair by microwave digestion atomic fluorescence spectrometry. *Talanta*, v. 52, n. 5, p. 833-843, 2000.

Resolução CEMAAM Nº 14/2012. Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Amazonas. Data Publicação no Diário Oficial do Estado (DOE) em 22 outubro. 2012

RIBEIRO-DUTHIE, A. C. & CASTILHOS, Z. C. Relações entre a grande e a pequena mineração de ouro no Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, Ouro Preto, 2016.

RODRIGUES, E. O Estado e sua história. República do Cunani. Disponível em: <http://www4.ap.gov.br/Portal_Gea/historia/dadosestado-cunani.htm>. Acesso em: 30 set. 2009.

RODRIGUES, R. M.; MASCARENHAS, A. F. S.; ICHIHARA, A. H.; SOUZA, T. M. C.; BIDONE, E. D.; BELLIA, V.; HAGON, S.; SILVA, A. R. B.; BRAGA, J. B. P.; STILIANIDI FILHO, B. Estudo dos impactos ambientais decorrentes do extrativismo mineral e poluição mercurial no Tapajós – pré-diagnóstico. Série Tecnologia Ambiental, 4. Rio de Janeiro: Cetem/CNPq, 1994. 220p. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_sta/sta-04.pdf>. Acesso em: 10 set. 2012.

SAMPAIO, J. A.; SANTOS, R. L. C. Orientação técnica ao pequeno minerador de ouro: amalgamação/queima de mercúrio e descontaminação de rejeitos. In: BRANQUINHO, C. L. Cetem 35 anos -criatividade e inovação. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. p.77-83.

SANT'ANNA, A.R.; ALMEIDA, L.M.; XAVIER, R.; CHAVES, W. Ouro: sua história, seus encantos, seu valor. Rio de Janeiro (Brasil): Salamandra, 1989.

SANTOS, R. L. C. Protótipo para operações ambiental e ocupacionalmente seguras em casas compradoras de ouro em regiões garimpeiras. In: BRANQUINHO, C. L. Cetem 35 anos - criatividade e inovação. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. p. 96-101.

SECCATORE *et al.* An estimation of the artisanal small-scale production of gold in the world. *Science of the Total Environment*, 496 (2014) 662–667.

SCHOENY, R. Use of genetic toxicology data in U.S. EPA risk assessment: the mercury study report as an example. *Environ Health Perspect*. 1996 May;104 Suppl 3:663-73.

SELIN, N. E. Global biogeochemical cycling of mercury: a review. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2009;34:43–63.

SELIN, N.E.; JACOB, D. J. Seasonal and spatial patterns of mercury wet deposition in the United States: Constraints on the contribution from North American anthropogenic sources *Atmospheric Environment*. 42: 5193-5204. 2008.

SIGEYUKI, A. *et al.* Acute inorganic mercury vapor inhalation poisoning. *Pathology International*. 50: 169-174. 2000

SILVA, A. S. *et al* Avaliação da poluição por mercúrio nos garimpos de Paracatu/MG. Seminário riscos e consequências do uso do mercúrio. Rio de Janeiro FINEP/CNPq. 1988.

SILVA, R. S. V.; STRAUCH, J. C. M.; CASTRO, S. M. Modelagem da base de dados geográficos do projeto da Ecorregião Aquática Xingu-Tapajós. In: CASTILHOS, Z. C.; BUCKUP, P. A. (Eds.). Ecorregião Aquática Xingu-Tapajós. Rio de Janeiro: CETEM, 2011. 246 p.

SIVEP, Sistema de Vigilância Epidemiológica. Notificação de casos. 2010. Disponível em: <http://portalweb4.saude.gov.br/sivep_malaria>. Acesso em: fev. 2016.

SOBRAL, L. G. S. Garimpos de ouro. Rio de Janeiro, CETEM, 10 abr. 2014. Entrevista concedida à Julia Souza.

SOUZA, J. N & CASTILHOS, Z. C. Avaliação das perdas de mercúrio durante a decomposição térmica de amálgama de prata com uso de retorta. In: XXIV Jornada de Iniciação Científica do CETEM, 2016. p. 211-215.

SPIER, C. A.; FERREIRA FILHO, C. F. Geologia, estratigrafia e depósitos minerais do Grupo Vila Nova, Escudo das Guianas, Amapá, Brasil. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 173-178, 1999.

SCHROEDER, W. H.; YARWOOD, G.; NIKI, H. Transformation processes involving mercury species in the atmosphere - results from a literature survey. Water, Air, & Soil Pollution, v. 56, n. 1, p. 653-666, 1991.

SCHROEDER, W. H. & MUNTHE, J. Atmospheric Mercury – An Overview, Atmos. Environ., 32, 809–822, 1998.

SILVA, A. P.; SILVA, E. C.; OLIVEIRA, E. F.; SILVA, G. D.; PADUA, H. B.; PEDROSO, L. R. M.; VEIGA, M. M. Estudos Biogeoquímicos Sobre o Mercúrio em Ambientes Aquáticos de Poconé (Silva, A. P., ed.). Rio de Janeiro: Desenvolvimento de Tecnologia Ambiental. CETEM/CNPq. 1991.

SLEMR, F.; SCHUSTER, G.; SEILER, W. Distribution, speciation, and budget of atmospheric mercury. Journal of atmospheric chemistry, v. 3, n. 4, p. 407 - 434, 1985.

STA, Série Tecnologia Ambiental. Rio de Janeiro: CETEM. ISSN: 0103-7374. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/series/serie-tecnologia-ambiental>>.

STM, Série Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro: CETEM. ISSN:0103-7382. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/series/serie-tecnologia-mineral>>.

TSUJI, J. S.; WILLIAMS, P. R. D.; EDWARDS, M. R.; ALLAMNENI, K. P.; KELSH, M. A.; PAUSTENBACH, D. J.; SHEEHAN, P. J. Evaluation of mercury in urine as an indicator of exposure to low levels of mercury vapor. Environ. Health Perspect. 111:623-630. 2003.

TRINDADE, R. B. E. & BARBOSA FILHO, O. Extração de ouro - princípios, tecnologia e meio ambiente. ISBN 85-7227-150-3. CETEM/MCT & PUC-RJ 322 p. 2002.

TRIVELATO, G.C. Avaliação da exposição a mercúrio em atividades de garimpo em Poconé (MT). São Paulo: Fundacentro, 1991 (Relatório técnico não publicado).

_____. Avaliação da eficácia da Retorta Ourolimpo® no controle da exposição ocupacional a vapores de mercúrio na recuperação de mercúrio metálico em amálgamas e resíduos. 2002. Disponível em: <www.segurancaetrabalho.com.br/download/mercurio-retorta.doc>. Acesso em: 2015.

UNIDO, United Nations Industrial Development Organization. Protocols for Environmental and Health Assessment of Mercury Released by Artisanal and Small-Scale Gold Miners. Vienna: UNIDO, 2003.

UNEP, United Nations Environment Programme. Minamata Convention on Mercury. Text and annexes. 2013. Disponível em: <www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Booklets/Minamata%20Convention%20on%20Mercury_booklet_English.pdf>. Acesso em: out. 2015.

USEPA, U.S., Environmental Protection Agency. Guidelines for carcinogen risk assessment. 1986.

_____. Mercury Study Report to Congress. Volume V: Health Effects of Mercury and Mercury Compounds. Office of Air Quality Planning and Standards, Office of Research and Development. 1997.

VEIGA, M. M.; SILVA, A. R. B.; HINTON, J. J. O garimpo de ouro na Amazônia: aspectos tecnológicos, ambientais e sociais. In: TRINDADE, R. B. E., BARBOSA FILHO, O. (Eds.). Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. 322p.

VEIGA, M. M.; FERNANDES, F. R. C. Poconé: um campo de estudos do impacto ambiental do garimpo. Série Tecnologia Ambiental. Rio de Janeiro: CETEM, 1991. 133 p. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/series/serie-tecnologia-ambiental/item/download/148_2437a5836d70c47898b19b8401c9fbe5>.

VILLAS-BÔAS, R. C.; BEINHOFF, C.; SILVA, A. R. Mercúrio na Bacia de Tapajós. Rio de Janeiro: CETEM, 2001.

WHO, World Health Organization. Environmental Health Criteria 1 – Mercury. International Programme on Chemical Safety., Geneva: WHO, 1976.

_____. Environmental Health Criteria 101 – Methylmercury. International Programme on Chemical Safety., Geneva: WHO, 1990.

_____. Environmental Health Criteria 118 – Inorganic Mercury. International Programme on Chemical Safety., Geneva: WHO, 1991.

_____. Report of a Joint FAO/NACA/WHO Study Group on Food Safety Issue Associated with Products from Aquaculture. WHO Technical Report Series 883, Geneva: WHO, 1999.