

SUMÁRIO EXECUTIVO

Este relatório, *Desenvolvimento da Convenção de Minamata sobre Avaliação Inicial de Mercúrio: Inventário de Emissões e Liberações de Mercúrio da Mineração Artesanal em Pequena Escala de Ouro (MAPEO) no Brasil*, descreve as emissões e liberações de mercúrio com base no balanço metalúrgico de mercúrio, considerando os múltiplos processos minerais e os controles ambientais disponíveis na mineração de ouro de pequena e média escala no Brasil, associada a cenários razoáveis de produção nacional de ouro. Esta pesquisa foi realizada pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), com a colaboração das diversas instituições nacionais, sob a coordenação geral do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Os principais resultados são vitais para atender aos compromissos da Convenção de Minamata (CM), em especial para subsidiar o Plano Nacional de Ação para MAPEO (CM artigo 7). Deve-se destacar que este trabalho é um esforço inicial para compilar informações primárias sobre a quantidade de mercúrio perdido para o meio ambiente pela MAPEO e podem ser esperadas melhorias. O inventário de mercúrio (IM) da MAPEO é uma compilação dos dados espaciais legais existentes na MAPEO; dados de diferentes partes interessadas; protocolos utilizados para avaliar dados; vários relatórios dos dados de campo e análises produzidas para apresentar os resultados, conclusões e recomendações de ações. A MAPEO é considerada uma fonte antropogênica que perde Hg o meio ambiente ao longo do processo produtivo. Segundo o Programa de Acompanhamento e Avaliação do Ártico AMAP/UNEP, 2013, o Hg perdido para o meio ambiente pode ser entendido como sendo emitido para a atmosfera ou liberado para solos, águas e/ou rejeitos, e a partir daí, pode ser re-emitido para atmosfera. Os compartimentos ambientais contaminados são considerados como fontes de re-emissão de Hg e podem permanecer por longo prazo nesta situação. Portanto, decrescer a fonte de re-emissão de Hg requer a redução das fontes antropogênicas de Hg e por meio de ações que possam impedir as condições ambientais que promovem as re-emissões

O CETEM produziu este relatório para o MMA em três volumes:

Volume 1: Este volume tem como objetivo realizar a caracterização qualitativa e quantitativa da ASGM brasileira, para apresentar uma perspectiva dessa atividade econômica no país e é a base das etapas subsequentes desta pesquisa.

O Volume 1 apresenta aspectos gerais da ASGM, conforme mostrado abaixo:

- (i) Resumo da história da MAPEO brasileira;
- (ii) Ciclo biogeoquímico ambiental e ecológico de Hg e riscos para a saúde humana;
- (iii) Exposição ocupacional e / ou ambiental ao mercúrio e riscos para a saúde humana;
- (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

Volume 2: Este volume apresenta os principais resultados obtidos no trabalho de campo em visitas técnicas às áreas de MAPEO, localizadas em distintos biomas (semi-árido, cerrado e floresta amazônica), nos estados do Mato Grosso, Pará, Amapá e Bahia. . O estudo concentrou-se no balanço metalúrgico de mercúrio no processamento mineral ASGM e na perda potencial de Hg para o meio ambiente. Os níveis de mercúrio na atmosfera também foram medidos.

O volume 2 apresenta:

- i. Instituições-chave visitadas/contatadas a nível Federal, Estadual e Municipal;
- ii. Dados obtidos durante as visitas técnicas às áreas de MAPEO nos estados do Mato Grosso, Pará (primeira fase), Amapá, Bahia e Pará (segunda fase) abordando:
 - As diferentes técnicas utilizadas nos processos produtivos;
 - A quantidade de mercúrio utilizada nos processos produtivos;
 - O uso de equipamentos de controle ambiental empregados nos processos produtivos e sua eficiência no abatimento de mercúrio; e
 - A gestão dos resíduos e dos efluentes contaminados com mercúrio.
- iii. Estudos/estimativas da eficiência de equipamentos de controle ambiental utilizados em MAPEO para, finalmente;
- iv. Estimativa das perdas de mercúrio para a atmosfera a partir do conhecimento adquirido nas áreas visitadas, como base para a proposição de um fator de emissão de mercúrio pela MAPEO brasileira e,
- v. Concentrações de mercúrio na atmosfera durante o processamento mineral, amalgamação e decomposição térmica do amálgama, nas áreas de MAPEO.

Volume 3: Este relatório final integra dados de volumes anteriores e apresenta as emissões estimadas de mercúrio e liberações da MAPEO no Brasil com base em cenários distintos. Além disso, o “Toolkit” (PNUMA) foi utilizado, tentando estimar a perda de mercúrio; Uma análise crítica foi feita e recomendações foram propostas.

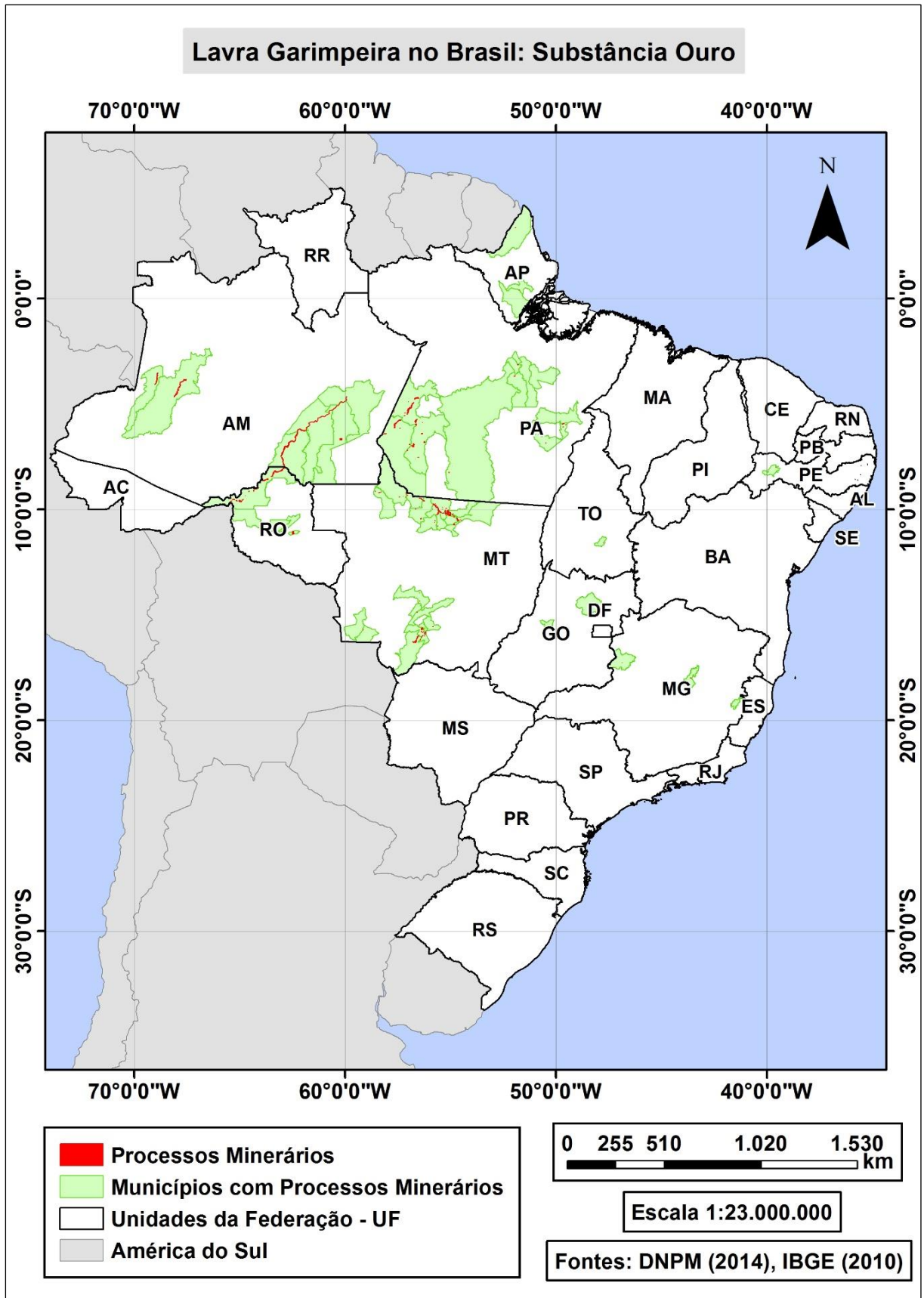
Resultados

A pequena mineração de ouro no Brasil é um setor extremamente heterogêneo, mesmo abrigado sob uma mesma denominação. Apresenta-se múltiplo e díspar não permitindo

simplificações. Varia desde o aspecto de legalidade (pela permissão de lavra e/ou recebimento de áreas com concessão de lavra), no tamanho das áreas, na presença ou não de cooperativas, no número de cooperados associados e grau de maturidade das mesmas, nas relações laborais, na forma de atuação dos gestores de áreas de cooperativas ou dos detentores de permissão de lavra, na escala de produção, no tipo de minério, no tipo de equipamentos, em sua eficiência e qualidade, no nível de manutenção destes equipamentos, etc. Ainda, o distinto grau de clareza nas orientações fornecidas por instituições governamentais e da sua atuação na fiscalização, incrementam as facetas do setor. Um aspecto geral, entretanto, é o uso de mercúrio na amalgamação do ouro.

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, variando uma ordem de grandeza, de aproximadamente 80.000 a 800.000, dependendo da fonte de informação.

A seleção das áreas de MAPEO para as visitas técnicas foi realizada a partir da organização de dados e da interpretação das informações então disponíveis. Portanto, primeiramente, foram identificadas as unidades da federação mais importantes produtoras de ouro em áreas legalizadas e/ou com potencialidade. A estratégia foi integrar os registros do Departamento Nacional de produção Mineral (DNPM) com as bases do Instituto Brasileiro de geografia e Estatística (IBGE), em banco de dados em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), desenvolvido especialmente para esta análise. Os resultados mostraram que existem atualmente (até julho/2017) 1.515 processos em fase de Permissão de Lavra Garimpeira (PLG) de ouro no Brasil. Atingem uma área de aproximadamente 500.000ha distribuídos 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, dos quais 191 são Pessoas Físicas - PF e 44 são Pessoas Jurídicas – PJ. Destas, 28 são cooperativas. As Pessoas Jurídicas detêm uma área que equivale a 88% do total das áreas de PLG. As 10 maiores áreas são cooperativas e suas áreas representam 95% das áreas requeridas por PJ. Localizam-se em quatro estados: AM, PA, RO e MT. Uma única cooperativa é responsável por quase 30% de toda a área de PLG brasileira; suas áreas estão localizadas nos estados do PA, AM e RO. Os 10 maiores requerentes Pessoa Física detêm 6% da área de PLG em território nacional e localizam-se em 2 estados: MT e PA. Um único requerente PF, com 162 áreas de PLG, todas localizadas no estado do PA, detêm 2% da área de PLG no Brasil. Este quadro demonstra a concentração de grandes áreas de MAPEO vinculadas a um pequeno número de requerentes, seja PF ou PJ (cooperativas).



Mapa1. Localização dos processos PLG de ouro no Brasil (ano base 2014)

Em seguida, foram consideradas as condições de apoio das instituições locais e de logística e, finalmente, de receptividade pelo setor produtivo. Por estas razões, os estados pré-selecionados foram: AP, BA, MT, PA e RO, sendo que em RO, a visita técnica foi cancelada em função da ocorrência de violentos conflitos entre instituições governamentais e a pequena mineração de ouro e madeiras.

As visitas técnicas tiveram como foco principal obter informações e realizar o balanço de massas do mercúrio durante o processamento mineral, para quantificar sua perda para o meio ambiente. Informações sobre a produção de ouro e o uso de mercúrio são questões sensíveis e apenas perguntar diretamente sobre isso poderia não produzir resultados confiáveis. Adicionalmente, foram realizadas também perguntas indiretas para confirmação das respostas obtidas para tais questões. As perguntas indiretas abrangem salário dos trabalhadores, número de trabalhadores, renda diária ou semanal obtida, custos de operação, etc. Um questionário semi-estruturado foi desenvolvido e aplicado aos gestores de áreas e garimpeiros nas áreas visitadas. A triangulação das informações foi obtida com a análise qualitativa da similaridade ou aderência entre os resultados do experimento e as respostas obtidas às perguntas diretas e indiretas do questionário.

Vinte e seis (26) áreas de MAPEO foram estudadas: sete (7) no estado do Pará (sendo seis na primeira fase e uma na segunda fase), dez (10) no estado do Mato Grosso, cinco (5) no estado do Amapá, três (3) no estado da Bahia e um (1) em no estado de Rondônia. Deste total, dezessete (17) áreas foram visitadas, e em catorze (14) áreas foram realizados também os experimentos de balanço metalúrgico, sendo que em doze (12) áreas foi possível realizar os experimentos completos do balanço metalúrgico de uso e perda de Hg (ou balanço de massas de mercúrio nos processos produtivos da MAPEO) e em duas áreas foram realizados experimentos parciais. Das catorze (14) áreas onde foram realizados os experimentos, seis (6) exploram o minério secundário, uma (1), o rejeito do minério secundário, e sete (7), o minério primário.

Em relação à procedência do Hg utilizado nas MAPEO, a grande maioria relatou a compra de Hg sem nota fiscal. Segundo eles, a aquisição de Hg legalizado é muito difícil, pois não há mercado formal do produto enquanto a ilegal é bastante fácil. Conforme informações recebidas, o preço do Hg varia nos estados brasileiros, de R\$ 600,00/kg a até R\$ 1.200,00/kg. Comprovou-se a facilidade de aquisição de Hg em sites da internet.

A massa total de Hg perdida para o meio ambiente pela MAPEO compreende: 1) a massa perdida para solos, águas, sedimentos ou rejeitos (contidos ou não em bacias de contenção de rejeitos) e, 2) a massa perdida diretamente para a atmosfera.

Os principais fatores que influenciam as emissões (diretamente para a atmosfera) de Hg por MAPEO são: a quantidade de Hg presente no amálgama, a produção de ouro e a aplicação de sistemas de abatimento destas emissões diretas (retortas, capelas, etc). Os principais fatores que influenciam as liberações (perdas para solos, águas e/ou rejeitos) de Hg por MAPEO são: a quantidade de mercúrio usado por ouro produzido, a quantidade de ouro produzida e a existência de sistemas de controles ambientais (filtração, bacias de contenção de rejeitos, gestão de resíduos, etc). É sabido que o Hg

liberado para os rejeitos, solos e rios podem ser re-emitidos, mas a estimativa de emissão para a atmosfera a partir dos rejeitos, solos e rios, não é objeto deste projeto de pesquisa.

Do experimento de balanço de massas de mercúrio foram calculadas: (i) as proporções de mercúrio utilizado por grama de ouro produzido em função das diferentes matérias primas e dos processos produtivos e; (iii) a proporção de mercúrio recuperado e de mercúrio perdido para o ambiente, em função também dos equipamentos de controle ambiental disponíveis e/ou utilizados. Posteriormente, tais processos foram associados às medidas de teores de mercúrio na atmosfera, quando possível.

A relação média $Hg_{\text{usado}}: Au_{\text{produzido}}$ foi similar na amostragem geral e nos experimentos, e resultou em torno de 5:1. Nos experimentos, a diferença nesta relação em função do tipo de minério se mostrou mais clara e acentuada: o minério primário consome cerca de quatro vezes mais Hg do que o minério secundário.

A prática da filtragem é rotineira no Brasil. Em termos gerais, 70% da massa de Hg inicial é recuperada pela filtragem e pelo uso de controles para abatimento da emissão de mercúrio para a atmosfera (como as capelas e retortas). As perdas, em média, são de 30% da massa de Hg inicial, sendo 15% liberado para solos, águas e sedimentos e para rejeitos e 15% emitida diretamente para a atmosfera.

As variações observadas destes percentuais entre as diferentes MAPEO visitadas indicam que a perda de Hg mostra-se distinta em função do tipo de minério, da escala de produção e possivelmente, como consequência também das orientações recebidas e/ou da intensidade de fiscalização do governo, que por sua vez é impactada, entre outros fatores, pela acessibilidade às MAPEO.

A quantidade de Hg utilizado por unidade de ouro produzido variou de 2:1 para minério secundário com uma perda média de 10% e 8:1 para minério primário com uma perda média de 45%. A maior parte da produção de ouro por MAPEO no Brasil é oriunda de minério secundário. Por isto, para os cenários, será assumido que 80% da produção sejam de minério secundário concentrado (relação de 2:1) e que os 20% restante sejam de minério primário, concentrado ou não concentrado (relação de 8:1).

Deve-se considerar que a produção total de ouro pela MAPEO se relaciona ao somatório da produção legalizada e declarada e da produção ilegal, que pode ser a produção não declarada de áreas legalizadas e da produção em áreas não legalizadas (oriunda de áreas sem licença ambiental, sem PLG ou concessão de lavra, em terras indígenas, em áreas de proteção ambiental, etc). A produção legal de ouro pela MAPEO é rastreada pelo pagamento de Imposto de sobre Operações Financeiras (IOF). Em 2016, foi de aproximadamente 25 toneladas de ouro. A quantificação da produção ilegal não é tarefa trivial.

Na Tabela 1 são mostradas as estimativas de produção total de ouro pela MAPEO brasileira em 2016, a partir das relações sugeridas pela literatura e pelas informações obtidas durante o trabalho de campo.

Tabela 1. Produção de ouro (toneladas) pela MAPEO brasileira, em 2016 e estimativas da produção total (declarada e ilegal).

Oficial	Oficial +10%	Oficial +30%	Oficial +50%	Oficial +80%*	Oficial +100%**	Oficial + 3x	Oficial + 8x
DNPM	GIATOC, 2016	De Acevedo (2014)	***Com. pessoal	***Com. pessoal	***Com. pessoal	Seccatore et al, 2014	Seccatore et al, 2014
25	27,5	32,5	37,5	45	50	75	200

* 60% não declarada e mais 30% de produção ilegal; **baseada em comentários de que uma pequena parte é declarada e que a maior parte do ouro produzido não é declarado e é enviado como contrabando para os países vizinhos; ***Com. Pessoal=comunicação pessoal

Assim, a estimativa da produção anual pode variar uma ordem de grandeza.

Há informação de que mais de 80% da produção declarada de ouro, em 2016, foi realizada nos estados do PA e MT. Por isto, os dados oriundos das MAPEO visitadas no PA e no MT podem representar mais de 80% da produção nacional anual de ouro por MAPEO. Por esta razão, assumimos a premissa de que a produção do ouro por MAPEO no Brasil está significativamente representada pela realidade das MAPEO localizadas no PA e no MT. Estes dois estados (juntamente com RR e RO) foram citados também como os maiores produtores de ouro ilegal.

Como mencionado, diversas premissas foram assumidas neste documento. Parte delas tem como base revisão bibliográfica, a experiência da equipe técnica e os resultados das reuniões com as diferentes instituições que se relacionam com o setor da MAPEO e outra parte é baseada nos resultados obtidos dos experimentos de balanço de massas de Hg e na vivência da equipe durante a realização dos trabalhos de campo.

Os cenários hipotéticos levaram em consideração as incertezas e variações nos parâmetros dos cálculos, principalmente no que tange às informações de produção de ouro e a percentagem de liberação e de emissão de mercúrio resultantes dos dados experimentais observados nas visitas técnicas à MAPEO. A incerteza dos dados de produção de ouro é mais afeita à ilegalidade e/ou produção legal não declarada. E as variações nos fatores de perda são consequência de distintos parâmetros, como tipo de minério, tecnologias utilizadas, escala de produção, etc.

Com base nos cenários apresentados na tabela 2, a emissão de Hg, diretamente para a atmosfera, por MAPEO no Brasil, para o ano de 2016, varia de 11 toneladas a 161 toneladas, considerando a produção legalizada e ilegal de ouro, os distintos processos minerais e os percentuais de uso de controles de emissão.

Tabela 2. Estimativas de emissões de Hg diretamente para a atmosfera e de potenciais liberações para solos, águas e/ou rejeitos (contidos ou não) e de fatores de distribuição da perda de Hg para a atmosfera e solos, águas e/ou rejeitos.

C	Au p	Condição de legalidade	Tipo minério	% de aplicação	Hgu:Aup	MHgi	MHgi total	Rec 1	ΣHg Rec 1 + Hg amal	Hg Lib.*	Hg total Lib.*	Queima de amalgama	% de aplicação	Hg emitido	Hg total emit.**	Hg total Emit. legal+ilegal	Hg total perdido: Σliberado +emitido	Fator atm. (%)	Fator solo (%)
25	25	100% legal	Secundário	90	2:1	45	65	32,5	57,5	7,5	7,5	Com Controle	80	6	11	11	18,5	59	41
		0% ilegal	Primário	10	8:1	20						Sem Controle	20	5					
27.5	2.5		Secundário	90	2:1	4.5	6.5	3,25	5,75	0,75	8.25	Com Controle	20	0,15	2,15	13,15	21,4	61	39
		10% ilegal	Primário	10	8:1	2						Sem Controle	80	2					
32.5	7.5		Secundário	90	2:1	13.5	19.5	9,75	17,25	2,25	9.75	Com Controle	20	0,45	6,45	17,45	27,2	64	36
		30% ilegal	Primário	10	8:1	6						Sem Controle	80	6					
37.5	12.5		Secundário	90	2:1	22.5	32.5	16,25	28,75	3,75	11.25	Com Controle	20	0,75	10,75	21,75	33	66	34
		50% ilegal	Primário	10	8:1	10						Sem Controle	80	10					
45	20		Secundário	90	2:1	36	52	26	46	6	13.5	Com Controle	20	1,2	17,2	28,2	41,7	68	32
		80% ilegal	Primário	10	8:1	16						Sem Controle	80	16					
50	25		Secundário	90	2:1	45	65	32,5	57,5	7,5	15	Com Controle	20	1,5	21,5	32,5	47,5	68	32
		1x mais ilegal	Primário	10	8:1	20						Sem Controle	80	20					
75	50		Secundário	90	2:1	90	130	65	115	15	22.5	Com Controle	20	3	43	54	76,5	71	29
		2x mais ilegal	Primário	10	8:1	40						Sem Controle	80	40					
200	175		Secundário	90	2:1	315	455	227,5	402,5	52,5	60	Com Controle	20	10,5	150,5	161,5	221,5	73	27
		8x mais ilegal	Primário	10	8:1	140						Sem Controle	80	140					

C= Cenários de produção de ouro; Aup = Ouro produzido; % aplicação: percentual de MAPEO que trabalham na condição indicada; MHgi= Massa inicial de Hg; MHgitotal= Massa de Hg inicial total; Rec 1= Massa de Hg recuperada na filtragem; ΣHg Rec 1+ Hg amal= Massa de Hg recuperada somada à massa potencialmente existente no amálgama; Hg lib.*= Hg liberado ou perdido para solos, águas e rejeitos; MHgi- (ΣHg Rec 1+ Hg amal); Hg emit.** = Hg emitido diretamente para a atmosfera; Hgu:Aup= relação Hg usado: Au produzido.

Sabe-se que a qualidade das estimativas é consequência da validade destas várias premissas assumidas. Quanto maior consenso for obtido sobre dados chave para as estimativas, maior sua acuracidade. A escolha de cenário que melhor represente a realidade da MAPEO brasileira é o caminho para decrescer as incertezas das estimativas.

Embora as perdas diretas para a atmosfera tenham sido calculadas em menos do que 15% da massa inicial, teores de mercúrio acima de $220 \mu\text{g m}^{-3}$ na atmosfera foram observados durante a decomposição do amálgama, mesmo com a utilização de retortas ou de capelas, Ainda que tais teores sejam intermitentes, sugere-se que o monitoramento seja realizado, com alta frequência temporal. Adicionalmente, em algumas áreas, os gestores ou as pessoas que realizam a decomposição térmica do amálgama utilizaram máscaras não apropriadas. É indispensável conhecer o padrão de exposição desta população de garimpeiros e/ou de seus familiares e fornecer orientações protetoras, passíveis de serem adotadas. Alternativas tecnológicas de processamento mineral e controle ambiental devem ser desenvolvidas e apresentadas ao setor.

Os teores de mercúrio na atmosfera observados nas casas de compra de ouro variaram ordens de grandeza, indicando a diversidade desta potencial fonte de emissão de mercúrio. Mesmo se tratando de fundir o ouro *doré*, com cerca de 1 a 5% de Hg remanescente, a casa de compra de ouro realiza dezenas a centenas de fusões por dia e há casos em que os garimpeiros fundem diretamente o amálgama na casa de compra de ouro, o que pode acarretar em uma carga final considerável de Hg emitido. Portanto, é importante que as casa de compra de ouro sejam também consideradas como significativas no computo geral das emissões de Hg por MAPEO e na potencial exposição humana ambiental e ocupacional.

Foram encontradas dificuldades para utilização do Toolkit para as estimativas de emissão e liberação de Hg pela MAPEO no Brasil, uma vez que a ferramenta classifica a produção de ouro em três processos e as MAPEO visitadas apresentaram cenários diferentes não previstos na planilha do Toolkit. Além disto, foram encontradas diferentes proporções de $\text{Hg}_{\text{usado}}:\text{Au}_{\text{produzido}}$ quanto ao processamento do minério primário e minério secundário e os fatores de entrada apresentados no Toolkit não corresponderam aos encontrados nos experimentos. A análise dos resultados dos experimentos realizados e as informações recebidas na presente pesquisa, no Brasil mostrou que a relação Hg:Au no amálgama foi constante e em média, 1:1. Esta parece ser uma divergência importante das premissas assumidas no “Toolkit”, de que pode haver grande variação nos teores de Hg em amálgamas. Esta relação é essencial pois é a base para a estimativa de emissão de Hg direta para a atmosfera, podendo ou não haver abatimento pelo uso de sistemas de controles (retortas e/ou capelas ou outros).

O presente inventário se caracteriza como uma iniciativa pioneira nos marcos da Convenção de Minamata sobre Mercúrio. Dessa forma, ao longo de sua implementação será necessário empregar maiores esforços para que os resultados encontrados possam ser refinados e complementados. Contudo, as informações são vitais para subsidiar as discussões referentes à elaboração do Plano de Ação Nacional para a MAPEO, conforme preconizado pelo Artigo 7 da Convenção.