

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PROGRAMA MULTI-INSTITUCIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
BIOTECNOLOGIA**



RENATO BARBOSA DA SILVA

**MINERAÇÃO ARTESANAL NA AMAZÔNIA LEGAL: LEGISLAÇÃO E PRODUTOS
BIOTECNOLÓGICOS**

MANAUS

2022

RENATO BARBOSA DA SILVA



MINERAÇÃO ARTESANAL NA AMAZÔNIA LEGAL: LEGISLAÇÃO E PRODUTOS BIOTECNOLÓGICOS

Tese apresentado ao Programa de Pós-Graduação Multi-Instucional em Biotecnologia – PPGBIOTEC da Universidade Federal do Amazonas como requisito para obtenção do Título de Doutor em Biotecnologia

Orientador: Professor Dr. João Lúcio de Azevedo

MANAUS

2022

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586m Silva, Renato Barboza da
Mineração artesanal na Amazônia legal : legislação e produtos biotecnológicos / Renato Barboza da Silva . 2022
92 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: João Lúcio de Azevedo
Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Mineração artesanal . 2. Carvão ativado. 3. Ouro. 4. Garimpo. I. Azevedo, João Lúcio de. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

RENATO BARBOSA DA SILVA

MINERAÇÃO ARTESANAL NA AMAZÔNIA LEGAL: LEGISLAÇÃO E PRODUTOS BIOTECNOLÓGICOS

Tese apresentado ao Programa de Pós-Graduação Multi-Instucional em Biotecnologia – PPGBIOTEC da Universidade Federal do Amazonas como requisito para obtenção do Título de Doutor em Biotecnologia

Orientador: Professor Dr. João Lúcio de Azevedo

Aprovado em: 08/12/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof(a). Dr(a). João Lucio de Azevedo (Presidente)

Prof(a). Dr(a). Rodrigo Gonçalves de Lima (Membro)

Prof(a). Dr(a). Pedro de Queiroz Costa Neto (Membro)

Prof(a). Dr(a). Vera Lucia Imbiriba Bentes (Membro)

Prof(a). Dr(a). Maria do Carmo Silva Barreto (Membro)

Ao meu pai Raimundo da Silva Neto (in memoriam),
Ao amigo Fander Gisbert Andrade (in memoriam),
E à minha mãe, Isabel Melquiades
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, pela formação científica e acadêmica.

A coordenadora do Programa de Pós-Graduação Dra. Rosany Piccolloto Carvalho

Ao meu orientador: Dr. João Lucio de Azevedo

A FAPEAM e à CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

A minha família pelo apoio e compreensão

Aparecida, Tata, Nuanne, Fêca e Miguel.

Aos colegas da pós-graduação.

A todos os demais que contribuíram de alguma forma para desenvolvimento deste trabalho.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

A mineração artesanal de ouro na Amazônia é alvo constante de debates quanto ao seu potencial degradador socioambiental. Tais debates, por vezes, minimizam a relevância da atividade para desenvolvimento social, econômico e equilíbrio ambiental de comunidades por meio de seu potencial de geração de ocupação e renda, chegando a números próximos a um milhão de pessoas direta ou indiretamente envolvidas na atividade de mineração artesanal nas décadas de 80 e 90 na Amazônia. O exercício desordenado da atividade evidencia seu alto potencial degradador, diante disto, torna-se imperativo investigações quanto à eficiência da legislação na regulação da atividade e, o incentivo ao devido emprego de produtos e ferramentas biotecnológicas para que a atividade seja desenvolvida dentro dos padrões de qualidade ambiental, e que garantam o desenvolvimento socioeconômico das comunidades em sua área de influência. Com tudo, os resultados obtidos nesta pesquisa, sobre a atuação do Estado por meio das legislações para alcançar o desenvolvimento socioambiental da atividade se apresentaram insatisfatórios. Destacando-se que são conhecidos pela Agência Nacional de Mineração apenas o número de Permissão de Lavras Garimpeiras – PLG ativas, no entanto, a dicotomia na outorga da atividade torna a curadoria destas informações praticamente inexistente, uma vez que, a permissão de lavra é apenas uma fase do processo à autorização para minerar, a segunda fase, a licença ambiental é gerida por Estados e Municípios, assim, não é sabido quantas PLG's estão de fato em operação, muito menos o número de garimpeiros atuando diretamente na sua exploração. (falar um parágrafo sobre o problema do uso de extrator tradicional-Hg e seus possíveis danos). Em contraponto à baixa eficiência das legislações brasileira para a formalização e adequação da mineração artesanal aos padrões de desenvolvimento sustentáveis, os produtos biotecnológicos a partir de matéria prima amazônica, apresentam-se viáveis e com potencial ao emprego na atividade, com capacidade de atendimento das demandas do segmento de mineração artesanal na Amazônia. O produto biotecnológico Carvões Ativados (CA's) produzidos a partir sementes amazônicas, de açaí e de tucumã apresentaram eficiência similares aos carvões comercializados para à adsorção de ouro lixiviado por cianeto de sódio, os testes foram realizados nos intervalos de 12, 24 e 48h, foram analisadas amostras de minério de ouro de duas minas distintas, os carvões ativados de Açaí e Tucumã tiveram sua eficiência de adsorção comparados com o carvão ativado comercial (produzido a partir de fibra de coco). Na Mina 1, os valores de adsorção foram: Carvão de Açaí 100%, Carvão de Tucumã 90%, Carvão Comercial 95%. Na Mina 2, os valores de adsorção foram: Carvão de Açaí 97%, Carvão de Tucumã 90%, Carvão Comercial 95%. Os valores expressam alto potencial de aplicação dos carvões testados para a mineração de ouro lixiviado. Os valores foram obtidos a partir de leituras com aparelho de Absorção Atômica, foram lidas as concentrações iniciais de ouro nas amostras coletadas em cada mina, as leituras foram repetidas em 12, 24 e 48h, considerando-se a porcentagem de ouro adsorvido em cada leitura.

Palavras -chave: mineração artesanal; carvão ativado; ouro; garimpo.

ABSTRACT

Artisanal gold mining in the Amazon is a constant subject of debate regarding its socio-environmental degrading potential. Such debates, sometimes, minimize the relevance of the activity for the social, economic development and environmental balance of communities through its potential to generate employment and income, reaching numbers close to one million people directly or indirectly involved in the mining activity. handmade in the 80s and 90s in the Amazon. The disorderly exercise of the activity shows its high degrading potential, in view of this, it becomes imperative to investigate the efficiency of the legislation in regulating the activity and, the incentive for the proper use of biotechnological products and tools so that the activity is developed within the standards of environmental quality, and that guarantee the socioeconomic development of the communities in their area of influence. However, the results obtained in this research, on the State's performance through legislation to achieve the socio-environmental development of the activity, were unsatisfactory. It should be noted that the National Mining Agency only knows the number of active Mining Permissions - PLG, however, the dichotomy in granting the activity makes the curation of this information practically non-existent, since the mining permission is only one phase of the process to authorization to mine, the second phase, the environmental license is managed by States and Municipalities, so it is not known how many PLG's are actually in operation, much less the number of miners working directly in their exploration. a paragraph about the problem of using a traditional-Hg extractor and its possible harm). In contrast to the low efficiency of Brazilian legislation for formalizing and adapting artisanal mining to sustainable development standards, biotechnological products based on Amazonian raw materials are viable and have potential for use in the activity, with the ability to meet the demands of the artisanal mining segment in the Amazon. The biotechnological product Activated Charcoals (CA's) produced from Amazonian, Açaí and Tucumã seeds showed similar efficiency to commercialized charcoal for the adsorption of gold leached by sodium cyanide, the tests were carried out at intervals of 12, 24 and 48 hours, were When samples of gold ore from two different mines were analyzed, activated carbon from Açaí and Tucumã had their adsorption efficiency compared with commercial activated carbon (produced from coconut fiber). In Mine 1, the adsorption values were: Coal from Açaí 100%, Coal from Tucumã 90%, Commercial Coal 95%. In Mine 2, the adsorption values were: Coal from Açaí 97%, Coal from Tucumã 90%, Commercial Coal 95%. The values express the high potential of application of the coals tested for the mining of leachate gold. The values were obtained from readings with an Atomic Absorption device, the initial concentrations of gold in the samples collected in each mine were read, the readings were repeated at 12, 24 and 48 hours, considering the percentage of gold adsorbed in each reading.

Keywords: artisanal mining; activated charcoal; gold; garimpo.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1 - Mapa gerado a partir de um conjunto de dados geológicos de referência, estruturado em bancos de dados digitais, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Banco de Dados 2003, nas escalas de 1:1.000.000 e 1:250.000. Os pontos coloridos representam a localização geográfica onde instituições públicas e privadas de pesquisa fizeram suas coletas (amostragens) para estudos geológicos.....	30
Figura 2 - Mapa gerado a partir do conjunto de dados geológicos de referência, estruturado em bancos de dados digitais, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Base de Dados 2019, nas escalas de 1:1 000 000 e 1:250 000. Ela representa a distribuição geográfica dos tipos de depósitos identificados a partir de coleções geológicas e estudos realizados por diversas instituições públicas e privadas de pesquisa na Amazônia Legal.....	31
Figura 3 - Mapa gerado a partir de um conjunto de dados geológicos de referência, estruturado em bancos de dados digitais, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Base de Dados 2019, nas escalas de 1:1000 000 e 1:250 000. A figura mostra a distribuição geográfica de depósitos com potencial de exploração pela mineração artesanal.....	32
Figura 4 - Mapa gerado pela Agência Nacional de Mineração - ANM Sistema de Informação Geográfica Aberto de Dados sobre Mineração, Base de Dados 2022, nas escalas 1:1.000.000 e 1:250.000 Distribuição do total de registros de mineração artesanal (não restrito à mineração artesanal de ouro) ativa na Agência Nacional de Mineração em cada estado da Amazônia Legal.	44
Figura 5 - Dados da ANM sobre o número total de registros de mineração de ouro e PLG e a área total (ha) ocupada pela atividade.....	45
Figura 6 - Mapa gerado a partir do Sistema de Dados Abertos de Informações Geográficas sobre Mineração da Agência Nacional de Mineração - ANM, Base de Dados 2022, nas escalas 1:1 000 000 e 1:250 000. Disposição geográfica das Reservas Garimpeiras nos estados brasileiros que compõem a Amazônia Legal.	46
Figura 7 - Comparação histórica das áreas ocupadas pela mineração artesanal de ouro de acordo com Silva (2001) x ANM 2022.....	50

CAPÍTULO II

Figura 1 - Esquema representativo de como ocorre a ativação química. Fonte: Gregg; SING, 1982)	64
Figura Cap II 2 - Esquema apresentando poros com diferentes tamanhos, formas e tipos: (F)poros fechados; (A) poro aberto; (G) poro tipo gaiola e (T) poros abertos interconectados de transporte.	65
Figura Cap II 3 - Classificação de diâmetro de acordo com faixa de tamanho do poro.....	66
Figura 4- Estados da Amazônia Legal com 2176 PLG ativas, 1834 são de mineração de ouro e sua maior concentração de PLG de extração de ouro no Estado do Mato Grosso. Fonte: Silva (2022).	68

Figura 5 – localização e área de influência da Reserva Garimpeira Peixoto de Azevedo – Mato Grosso. Fonte: Autor	70
Figura 6- Resíduos de frutos secos e processado por moagem das biomassas de caroço de açaí e endocarpo de tucumã. Fonte: autor.....	71
Figura 7 -. Esquema de preparação dos carvões ativados de caroço de açaí e do endocarpo do tucumã utilizando o H ₃ PO ₄ como agente ativante. Fonte: Silva (2022)	72
Figura 8 Sistema de lavagem do carvão após calcinação em mufla. Fonte: Silva (2022).	73
Figura 9 - Carvão ativado de caroço de açaí e endocarpo de tucumã. Fonte: Silva (2022)	73
Figura 10 - Processo de cianetação utilizado em minas de extração de ouro em Peixoto de Azevedo – Mato Grosso. Fonte: Lima et. al (2022).	74
Figura 11 - Esquema do processo de adsorção de ouro em carvão ativado. Fonte: Silva 2022... ..	75
Figura 12 - Bateamento em garimpo de minas de extração artesanal de ouro na Reserva Garimpeira Peixoto de Azevedo. Fonte: Lima et. al (2022).....	76
Figura 13 – Fluxo esquemático de dessorção do ouro carregado no carvão. Fonte: Silva (2022)	81

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 - Principais diplomas legais para a regulamentação da atividade minerária brasileira ..	37
Tabela 2 - Nome da área destinada à reserva garimpeira e o documento que determinou esta classificação.....	46
Tabela 3 - Questionário analítico sobre o desenvolvimento da atividade de mineração artesanal na Amazônia Legal.....	47

CAPÍTULO II

Tabela Cap II 1 Classificação dos poros de acordo com seu tamanho, segundo a IUPAC.....	65
Tabela 2 - Estão apresentados os resultados das concentrações médias dos elementos metálicos determinadas nas amostras de solos coletados na área de mineração em garimpo em Guarantã do Norte/Peixoto de Azevedo.....	77
Tabela 3 - Área superficial e volume de poros das amostras de carvão ativado	78
Tabela 4 - Total em % de adsorção de ouro em carvão ativado	79

LISTA DE ABREVIATURAS

AGM –	Mineração Artesanal de Ouro
ANM –	Agência Nacional de Mineração
ANTT –	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ASM –	Mineração Artesanal e de Pequena Escala
Au –	Ouro
AuCN –	Cianeto de Ouro
CN –	Cianeto
CO ₂ –	Carbono
DNPM –	Departamento Nacional de Produção Mineral
H ₂ O –	Água
H ₃ PO ₄ –	Ácido Fosfórico
Ha –	Hectare
Hg –	Mercúrio
IBAMA –	Instituto Brasileiro de Recursos Naturais Renováveis
IBGE –	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IUPAC –	União Internacional de Química Pura e Aplicada
NO ₄ OH –	Hidroxido de Amônia
PLG –	Permissão de Lavra Garimpeira
RG –	Reserva Garimpeira
UNEP –	Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xi
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
JUSTIFICATIVA	18
OBJETIVO GERAL.....	19
OBJETIVOS CAPÍTULO I.....	19
OBJETIVOS CAPÍTULO II	19
REFERÊNCIAS	20
CAPÍTULO I	26
RESUMO	26
INTRODUÇÃO.....	26
MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
Local de estudo e vocação ambiental para a ASM e AGM.....	29
Mineração artesanal e de pequena escala	33
Uso de mercúrio na mineração artesanal e de pequena escala	34
Marco legal para a formalização da ASM e controle de Hg nos países amazônicos	36
A dinâmica da legislação de mineração na ASM e AGM no Brasil	40
Números oficiais das licenças de mineração na Amazônia Legal.....	43
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS	53
RESUMO	58
INTRODUÇÃO.....	59
Biotecnologia e Hg na Mineração Artesanal de Ouro na Amazônia Legal.....	61
Produtos biotecnológicos: carvão ativado	63
Propriedades do carvão ativado.....	64
Aplicação	66

Áreas de especial interesse da atividade de mineração artesanal na Amazônia Legal.....	67
Emprego biotecnológico do carvão ativado	68
MATERIAL E MÉTODOS.....	70
Preparo dos Carvões ativados.....	70
Cianetação para recuperação do ouro por Lixiviação	74
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	76
Conclusões.....	79
CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	82
TRABALHOS FUTUROS.....	82
REFERÊNCIAS	83

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A mineração de ouro na Amazônia Legal teve seu episódio histórico mais marcante durante a exploração do depósito de Serra Pelada, influenciando inclusive na nomeações de municípios da região, (exemplo Eldorado dos Carajás, Ourilândia) (Cleary and Cleary, 1990). Intrínseco à verdadeira corrida do ouro na Amazônia, deu-se início a eventos socioambientais danosos, a busca desordenada pelo Eldorado Amazônico, trouxe também, a ocupação desordenada do solo, aglomeração de pessoas em âmbitos ausentes de saneamento básico e sujeitos a contaminação por emissão e lançamento de Mercúrio, um vez que, o Mercúrio foi ator principal no tipo de mineração exercida na Amazônia, a mineração artesanal por amalgama de Mercúrio (Veiga et al., 2002). São efeitos do emprego de Mercúrio na mineração artesanal na Amazônia, a contaminação do solo por lançamento direto ou precipitação de Mercúrio emitido, esse metal quando oxidado, torna-se metilmercúrio, elemento químico bioacumulável e com potenciais danos à saúde de animais e humanos, os principais danos são: roseamento e descamação da pele; insuficiência renal e danos ao sistema nervoso central (Seccatore and de Theije, 2017)

A problemática da contaminação por Mercúrio (Hg) oriundo da mineração de Ouro (Au) na Amazônia tem embasado inúmeros debates socioambientais (Guedron *et al.*, 2011). Imersa a estes debates, a Amazonia brasileira compreende aproximadamente 5 milhões de km² (IBGE, 2020; Nogueira et al., 2008; Ramankutty et al., 2007) dos aproximados 7 milhões de km² da Pan-Amazônia, que engloba 9 países que detêm bioma de característica Amazônico (Alves, 2013).

Os danos causados por Hg na Amazônia brasileira tem sido uma preocupação pública há pelo menos 40 anos, desde que o Dr. Jacques Cousteau destacou os perigos do uso indiscriminado de Hg na Mineração Artesanal e de Pequena Escala (ASM sigla em inglês) em sua visita a Serra Pelada na região sul do Estado do Pará-Brasil, onde era explícito o uso irresponsável do Hg (Cleary, 1990).

O uso e contaminação ambiental por Hg na Amazônia tem sido exaustivamente discutido por diferentes setores da sociedade com abordagens firmes em defesa da erradicação do Hg nos processos de ASM (Hilson, 2006; Pimentel et al., 2019), conseqüentemente, estes debates têm resultado em marginalização da ASM (Yakovleva, 2007), com maior ênfase à Mineração Artesanal de Ouro (AGM sigla em inglês) (Smits et al., 2020), frequentemente desconsiderando o fato de ser

uma alternativa de atividade econômica em uma região extremamente empobrecida economicamente (Cleary, 1990), onde a exploração dos recursos naturais desempenham um papel significativo para a subsistência de milhões de pessoas (Andrew, 2003; Suhartini and Abubakar, 2017), por tanto o uso racional e ambientalmente adequado desses recursos representa oportunidade de melhoria do índice de desenvolvimento humano na região (Thomas et al., 2019).

A AGM tem sido uma importante atividade econômica na região e, em momentos históricos, chegando a taxas de ocupação de mão-de-obra significativa, que nas décadas de 80 e 90, abrangia cerca de 1 milhão de pessoas diretamente envolvidas nos processos de mineração artesanal (Cleary and Cleary, 1990; Seccatore et al., 2014; Veiga et al., 2014a).

O principal foco da oposição às operações de garimpagem de Au tem sido o uso indevido de Hg na extração do metal do minério total (Veiga et al., 2002). Por vezes, mesmo na ausência de estudos isotópicos das moléculas de Hg, a AGM tem sido comumente citado como a principal causa para a contaminação da fauna aquática (Ferrante and Fearnside, 2020), e causadora de danos à saúde humana (Ferrante and Fearnside, 2020; Malm, 1998; Sousa et al., 2011), citações que por vezes desconsidera as fontes naturais de Hg (Schudel et al., 2019).

Na década de 2000, outras fontes diferentes de contaminação por Hg na Amazônia foram fortemente evidenciadas, são exemplo de fontes naturais de Hg: incêndios florestais; erosões e lagos de hidrelétricas (Artaxo et al., 2000; Biswas et al., 2007; Roulet et al., 2000; Veiga et al., 2014b).

Todas essas fontes, sejam elas naturais ou antrópicas, contribuem para a contaminação da biota aquática e dos cursos d'água amazônicos (Goix et al., 2019; Schudel et al., 2018), é comum que, preservacionistas e conservacionistas destacarem fontes diferentes como sendo a de maior potencial contaminante (Ferrante and Fearnside, 2020; Schudel et al., 2018), estas dualidades poderiam ser minimizadas com a análise isotópica das moléculas de Hg detectadas em amostras positivas para contaminação pelo metal pesado (McIntyre et al., 2018).

Neste mesmo sentido, ferramentas biotecnológicas de indicadores microbiológicos da presença de Hg no ambiente podem acelerar o diagnóstico de áreas sobre influência de garimpo e proporcionar adiversidade em planos de mitigação, assim como, o emprego de ferramentas biotecnológicas que substituam gradativamente o uso de Hg na AGM (Baena et al., 2021; Smits et al., 2020).

O desenvolvimento e aplicação destas ferramentas podem conferir novo ciclo produtivo a resíduos decorrentes de outras cadeias produtivas na Amazônia, exemplo disto é a produção de carvão ativado a partir de sementes amazônicas como *Astrocaryum aculeatum* G. Mey (Tucumã) e *Euterpe precatoria* Mart (Bentes, 2017) que podem ser inseridos na fase de adsorção do ouro lixiviado por cianeto (Torkaman et al., 2021), este cianeto pode também ser de origem natural de plantas como a Mandioca (Lima et al., 2022).

Esta busca é extremamente imperativa, uma vez que, a quantidade de Hg usada pela AGM na Amazônia nunca foi quantificada, no entanto, estima-se que 20.000 toneladas de Hg foram utilizadas e descarregadas por mineradores de Au nos últimos 40 anos na Pan-Amazônia (UNEP, 2019) e isto evidencia a urgência com a qual a temática deve ser assistida.

No entanto, debate em torno do uso e contaminação por Hg é comumente permeado por vieses políticos que obscurecem as razões científicas e dificultam a implementação de soluções (Hentschel et al., 2002).

Este viés tem comprometido a eficiência das legislações minerárias relacionadas ao uso de Hg na AGM no país, que apresentam lacunas e falta de definições claras (Sousa et al., 2011), criando um intrincado processo burocrático que não promove a formalização dos garimpeiros e não tem cumprido sua função de proporcionar capacitação e fomento a mecanismos de erradicação do processo de amalgama por Hg na AGM (Bansah et al., 2018; Salo et al., 2016; Veiga et al., 2014b).

Tanto quanto uma legislação clara, a tecnologia também é outro aspecto fortemente defendido na literatura e na imprensa como forma de solucionar o problema da contaminação por Hg na Amazônia (Lima et al., 2022; Uchima et al., 2016).

Por anos, diferentes tecnologias tem sido propostas à AGM, no entanto, com pouco, ou nem um sucesso em mudar seus aspectos degradantes ao meio ambiente (Hinton et al., 2003; Seccatore et al., 2014; Veiga and Meech, 1995). A abordagem tecnológica é um importante auxiliar para mudar as más práticas, mas, conforme destacado por Schumacher, (1973) em seu best-seller *Small is Beautiful*, a tecnologia deve ser adequada às habilidades dos usuários e às necessidades locais, devendo ser um vínculo entre o profissional e o exercício qualitativo de suas atividades.

Por tanto, aplicação de biotecnologia em processos de monitoramento ambiental é fundamental para a garantia do meio ambiente saudável (Niane et al., 2019). Neste sentido o uso

de microrganismo bioindicadores de Hg é importante ferramenta biotecnológica para o diagnóstico situacional ambiental e fomentador de prospecção de ferramentas mitigadoras (Baltz, 2017; Skelly et al., 2019), assim, a avidez do diagnóstico ambiental é fundamental para o emprego tempestivo dos processos de remediação (Wang et al., 2012).

Ainda no emprego da biotecnologia voltada à AGM de baixo impacto ambiental adverso, a Amazônia também oferece uma grande variedade de plantas que podem ser utilizadas no processos de adsorção do Au lixiviado por carvão ativado (Castro et al., 2009; Farinas et al., 2009; Ferraz and Didonet, 2014; Ferreira et al., 2008; Menéndez-Díaz and Martín-Gullón, 2006).

Carvões ativados produzidos a partir de sementes de frutas amazônicas (e resíduos agroindustriais) representam aumento da ciclagem da matéria orgânica ora disposta como resíduo, e ainda, emprego tecnológico em matéria prima local, neste sentido, Bentes (2017) tem obtido resultados satisfatórios no emprego de carvões ativados a partir destas sementes na remediação ambiental.

A temática ambiental na Amazônia é sempre alvo de calorosos debates (Uchima et al., 2016; Veiga et al., 2002), principalmente em relação às emissões, liberações e deposições de Hg decorrente da atividade de AGM (Bustamante et al., 2016; Ferrante and Fearnside, 2020).

Nos últimos 40 anos de publicações sobre o tema, muito tem sido estudado e monitorado, tais discussões refletem diretamente na elaboração de políticas públicas para a melhoria da qualidade ambiental da atividade no Brasil (Bolivia, 2017; Casa Civil, 1967; Thomas et al., 2019).

No entanto, as políticas públicas propostas pelo arcabouço legal do setor de AGM e de ASM no país tem apresentado resultados tímidos tanto na formalização dos garimpeiros quanto no acesso a capacitação, e ao fomento e emprego de tecnologias para produção limpa (Veiga et al., 2002; Verbrugge and Besmanos, 2016).

Estes resultados podem ser consequência, da falta de uma abordagem que avance no fornecimento de soluções ambientais e sociais para a problemática (Barbieri and Silva, 2011) ai estão também inseridas as dificuldades de incorporação de produtos biotecnológicos capazes de reduzir o uso de Hg na ASM.

Na Amazônia brasileira vivem 28 milhões de pessoas que dependem dos recursos naturais da região (Becker, 2005; Scliar, 1996). Qualquer solução não pode isolar e criminalizar os

garimpeiros, mas deve trazê-los para fazer parte do processo de construção de práticas sustentáveis (da Costa Lima, 2009).

JUSTIFICATIVA

A investigação científica do alcance dos resultados objetivados pela legislação brasileira na regulamentação da atividade de mineração artesanal na Amazônia, apresenta-se como primordial ao estabelecimento do desenvolvimento sustentável da atividade na região, uma vez que diagnósticos qualitativos e quantitativos são princípios basilares ao aferimento da eficiência de políticas públicas. Tão fundamental quanto a regulamentação da atividade, o desenvolvimento e emprego de produtos biotecnológicos de origem amazônica, pode contribuir para o arrefecimento do potencial degradador da mineração artesanal, além de agregar valor à matéria prima da região.

OBJETIVO GERAL

Este estudo teve por objetivo geral analisar a gestão ambiental e aplicação de recursos naturais amazônicos na produção de produtos biotecnológicos aplicáveis ao desenvolvimento sustentável da mineração artesanal na região.

OBJETIVOS CAPÍTULO I

Análise da eficiência da legislação minerária brasileira na formalização dos garimpeiros em atuação na Amazônia Legal;

Analisar os índices apresentados pela Agência Nacional de Mineração na redução do uso de Hg na mineração artesanal na Amazônia Legal.

OBJETIVOS CAPÍTULO II

Testar o uso de carvão ativado produzido a partir de sementes amazônicas de açaí na adsorção de ouro lixiviado por Cianeto;

Testar o uso de carvão ativado produzido a partir de sementes amazônicas de tucumã na adsorção de ouro lixiviado por Cianeto.

A tese ora apresentada, está organizada em dois capítulos sendo que cada um deles está formatado de acordo com as normas do periódico aos quais foram submetidos. São eles:

• CAPÍTULO I

Análise da eficiência da legislação minerária brasileira para a formalização dos mineiros artesanais e o controle do uso de Hg na mineração artesanal e de pequena escala de ouro (ASM).

• CAPÍTULO II

Gestão ambiental e aplicação de recursos naturais amazônicos: Uso de carvão ativado de resíduos de açaí e tucumã no desenvolvimento sustentável da mineração artesanal.

REFERÊNCIAS

- Alves, D.S., 2013. A Ecologia como parâmetro da Geopolítica -- O legado de Bertha Becker no Campo dos Estudos Ambientais na Amazônia. Espaço Aberto. <https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2013.2116>
- Andrew, J.S., 2003. Potential application of mediation to land use conflicts in small-scale mining. *J. Clean. Prod.* [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00032-X](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00032-X)
- Armstrong, R., Baillie, C., Cumming-Potvin, W., 2014. Mining and communities: Understanding the context of engineering practice. *Synth. Lect. Eng. Technol. Soc.* <https://doi.org/10.2200/S00564ED1V01Y201401ETS021>
- Artaxo, P., Calixto De Campos, R., Fernandes, E.T., Martins, J. V., Xiao, Z., Lindqvist, O., Fernández-Jiménez, M.T., Maenhaut, W., 2000. Large scale mercury and trace element measurements in the Amazon basin. *Atmos. Environ.* [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00106-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00106-0)
- Baena, O.J.R., Aristizábal, G., Pimentel, M.S., Flórez, C.A., Argumedo, C.E., 2021. Waste Management and the Elimination of Mercury in Tailings from Artisanal and Small-Scale Gold Mining in the Andes Municipality of Antioquia, Colombia. *Mine Water Environ.* 40. <https://doi.org/10.1007/s10230-020-00728-0>
- Baena, Ó.J.R., Mendoza, L.E.M., 2021. Sustainability of the artisanal and small-scale gold mining in northeast antioquia-colombia. *Sustain.* 13. <https://doi.org/10.3390/su13169345>
- Baltz, R.H., 2017. Gifted microbes for genome mining and natural product discovery. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* <https://doi.org/10.1007/s10295-016-1815-x>
- Bansah, K.J., Dumakor-Dupey, N.K., Kansake, B.A., Assan, E., Bekui, P., 2018. Socioeconomic and environmental assessment of informal artisanal and small-scale mining in Ghana. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.150>
- Barbieri, J.C., Silva, D. da, 2011. Desenvolvimento sustentável e educação ambiental: uma trajetória comum com muitos desafios. *RAM. Rev. Adm. Mackenzie* 12, 51–82. <https://doi.org/10.1590/s1678-69712011000300004>
- Becker, B.K., 2005. Geopolítica da Amazônia. *Estud. Avançados.* <https://doi.org/10.1590/s0103-40142005000100005>
- Bentes, V.L.I., 2017. Preparação e caracterização de compósitos a base de fosfatos de ferro suportados em carvões ativados de resíduos de caroços de açaí e do endocarpo de tucumã para aplicação ambiental. Universidade Federal do Amazonas.
- Betancur-Granados, N., Molina, J.E., Pöllmann, H., Tobón, J.I., Restrepo-Baena, O.J., 2021. Influence of metallic precursors in the mineralogy and reactivity of belite cement clinkers obtained by flame spray pyrolysis. *Mater. Today Commun.* 26. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101917>
- Biswas, A., Blum, J.D., Klaue, B., Keeler, G.J., 2007. Release of mercury from rocky mountain forest fires. *Global Biogeochem. Cycles.* <https://doi.org/10.1029/2006GB002696>
- Boadi, S., Nsor, C., Acquah, E., Antobre, O., 2016. An analysis of illegal mining on the Offin shelterbelt forest reserve, Ghana: Implications on community livelihood. *J. Sustain. Min.* 15. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2016.12.001>
- Bolivia, 2017. Código Boliviano de Mineração.
- Bose-O'Reilly, S., Schierl, R., Nowak, D., Siebert, U., William, J.F., Owi, F.T., Ir, Y.I., 2016. A

- preliminary study on health effects in villagers exposed to mercury in a small-scale artisanal gold mining area in Indonesia. *Environ. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.04.007>
- Bustamante, N., Danoucaras, N., McIntyre, N., Díaz-Martínez, J.C., Restrepo-Baena, O.J., 2016. Review of improving the water management for the informal gold mining in Colombia. *Rev. Fac. Ing.* 2016. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n79a16>
- Casa Civil, 1967. Código de Minas [WWW Document]. planalto.gov. URL http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del0227compilado.htm
- Castro, C.S., Guerreiro, M.C., Oliveira, L.C.A., Gonçalves, M., 2009. Remoção de compostos orgânicos em água empregando carvão ativado impregnado com óxido de ferro: ação combinada de adsorção e oxidação em presença de H₂O₂. *Quim. Nova* 32. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422009000600039>
- Chen, C.Y., Driscoll, C.T., Eagles-Smith, C.A., Eckley, C.S., Gay, D.A., Hsu-Kim, H., Keane, S.E., Kirk, J.L., Mason, R.P., Obrist, D., Selin, H., Selin, N.E., Thompson, M.R., 2018. A Critical Time for Mercury Science to Inform Global Policy. *Environ. Sci. Technol.* <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02286>
- Cleary, D., 1990. Anatomy of the Amazon Gold Rush, Anatomy of the Amazon Gold Rush. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-11247-0>
- Cleary, D., Cleary, D., 1990. Serra Pelada: The Gold Rush on the National Stage, in: Anatomy of the Amazon Gold Rush. https://doi.org/10.1007/978-1-349-11247-0_7
- da Costa Lima, G.F., 2009. Educação ambiental crítica: Do socioambientalismo às sociedades sustentáveis. *Educ. e Pesqui.* 35. <https://doi.org/10.1590/S1517-97022009000100010>
- Donkor, A.K., Bonzongo, J.C., Nartey, V.K., Adotey, D.K., 2006. Mercury in different environmental compartments of the Pra River Basin, Ghana. *Sci. Total Environ.* 368. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.046>
- Drace, K., Kiefer, A.M., Veiga, M.M., Williams, M.K., Ascari, B., Knapper, K.A., Logan, K.M., Breslin, V.M., Skidmore, A., Bolt, D.A., Geist, G., Reidy, L., Cizdziel, J. V., 2012. Mercury-free, small-scale artisanal gold mining in Mozambique: Utilization of magnets to isolate gold at clean tech mine. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.022>
- Esdaile, L.J., Chalker, J.M., 2018. The Mercury Problem in Artisanal and Small-Scale Gold Mining. *Chem. - A Eur. J.* <https://doi.org/10.1002/chem.201704840>
- Farias, A.B., Andrade, L.N.P. da S., 2020. Gold exploration in the municipality of peixoto de azevedo, mato grosso, brazil: A historical, socioeconomic and environmental analysis. *Rev. Geogr. Venez.* 61.
- Farinas, C.S., Santos, R.R.M. dos, Neto, V.B., Pessoa, J.D.C., 2009. Aproveitamento do caroço do açaí como substrato para produção de enzimas por fermentação em estado sólido. *Bol. Pesqui. e Desenvolv.*
- Ferrante, L., Fearnside, P.M., 2020. The Amazon: biofuels plan will drive deforestation. *Nature.* <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00005-8>
- Ferraz, I.D.K., Didonet, A.A., 2014. Tucumãzeiro. *Rev. Bras. Frutic.* 36. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-36-21/13>
- Ferreira, E. de S., Lucien, V.G., Amaral, A.S., Silveira, C. da S., 2008. Caracterização físico-química do fruto e do óleo extraído de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart). *Aliment. e Nutr.* 19.
- Fitzgerald, W.F., Gill, G.A., 1979. Subnanogram Determination of Mercury by Two-Stage Gold Amalgamation and Gas Phase Detection Applied to Atmospheric Analysis. *Anal. Chem.* 51. <https://doi.org/10.1021/ac50047a030>

- Gerson, J.R., Driscoll, C.T., Hsu-Kim, H., Bernhardt, E.S., 2018. Senegalese artisanal gold mining leads to elevated total mercury and methylmercury concentrations in soils, sediments, and rivers. *Elementa*. <https://doi.org/10.1525/elementa.274>
- Goix, S., Maurice, L., Laffont, L., Rinaldo, R., Lagane, C., Chmeleff, J., Menges, J., Heimbürger, L.E., Maury-Brachet, R., Sonke, J.E., 2019. Quantifying the impacts of artisanal gold mining on a tropical river system using mercury isotopes. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.036>
- Goncalves, A., Bernardo, R., Veiga, M., 2015. Implementing Integrated Measures for Minimizing Releases from Artisanal Gold Mining, Implementing Integrated Measures for Minimizing Releases from Artisanal Gold Mining - Characterization of ASGM Processing Centers. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Guedron, S., Grimaldi, M., Grimaldi, C., Cossa, D., Tisserand, D., Charlet, L., 2011. Amazonian former gold mined soils as a source of methylmercury: Evidence from a small scale watershed in French Guiana. *Water Res.* <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.02.022>
- Hentschel, T., Hruschka, F., Priester, M., 2002. Global report on artisanal and small-scale mining, Mining, Minerals and Sustainable Development.
- Hilson, G., 2006. Abatement of mercury pollution in the small-scale gold mining industry: Restructuring the policy and research agendas. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.065>
- Hilson, G., 2002. The environmental impact of small-scale gold mining in Ghana: Identifying problems and possible solutions. *Geogr. J.* <https://doi.org/10.1111/1475-4959.00038>
- Hilson, G., Zolnikov, T., Ortiz, D., Kumah, C., 2018. Formalizing artisanal gold mining under the Minamata convention: Previewing the challenge in Sub-Saharan Africa. *Environ. Sci. Policy* 85. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.03.026>
- Hinton, J.J., Veiga, M.M., Veiga, A.T.C., 2003. Clean artisanal gold mining: A utopian approach? *J. Clean. Prod.* [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00031-8](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00031-8)
- IBGE, 2020. Amazônia Legal [WWW Document]. *Inst. Bras. Geogr. e Estatística*.
- Jain, A., Balasubramanian, R., Srinivasan, M.P., 2016. Hydrothermal conversion of biomass waste to activated carbon with high porosity: A review. *Chem. Eng. J.* <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.08.014>
- Krisnayanti, B., Sukartono, S., Afandi, Y., Suheri, H., Anderson, C., Ekawanti, A., 2016. Phytomining for artisanal gold mine tailings management. *Minerals* 6. <https://doi.org/10.3390/min6030084>
- Ledwaba, P., Mutemeri, N., 2018. Institutional gaps and challenges in artisanal and small-scale mining in South Africa. *Resour. Policy* 56. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.11.010>
- Lima, R.G. de, Silva, R.B. da, Lima, H.R. da S. de, Hanada, R.E., Azevedo, J.L. de, 2022. Cianeto de Mandioca: viabilidade econômica do uso de manipueira para erradicação do mercúrio na mineração, e proposta para Bioeconomia Circular na Amazônia, Brasil. *Res. Soc. Dev.* 11, e43211729981. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.29981>
- Lu, J.L., 2012. Occupational health and safety in small scale mining: Focus on women workers in the Philippines. *J. Int. Womens. Stud.*
- Malm, O., 1998. Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon. *Environ. Res.* <https://doi.org/10.1006/enrs.1998.3828>
- McIntyre, N., Angarita, M., Fernandez, N., Camacho, L.A., Pearse, J., Huguet, C., Baena, O.J.R., Ossa-Moreno, J., 2018. A framework for assessing the impacts of mining development on regional water resources in Colombia. *Water (Switzerland)* 10.

- <https://doi.org/10.3390/w10030268>
- McIntyre, N., Bulovic, N., Cane, I., McKenna, P., 2016. A multi-disciplinary approach to understanding the impacts of mines on traditional uses of water in Northern Mongolia. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.092>
- Menéndez-Díaz, J.A., Martín-Gullón, I., 2006. Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation. *Interface Sci. Technol.* 7.
- MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL – MPF., 2020. Mineração ilegal de ouro na Amazônia: marcos jurídicos e questões controversas. MPF, Brasília.
- Moreno-Brush, M., Rydberg, J., Gamboa, N., Storch, I., Biester, H., 2016. Is mercury from small-scale gold mining prevalent in the southeastern Peruvian Amazon? *Environ. Pollut.* <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.038>
- Niane, B., Devarajan, N., Poté, J., Moritz, R., 2019. Quantification and characterization of mercury resistant bacteria in sediments contaminated by artisanal small-scale gold mining activities, Kedougou region, Senegal. *J. Geochemical Explor.* <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.106353>
- Nogueira, E.M., Fearnside, P.M., Nelson, B.W., Barbosa, R.I., Keizer, E.W.H., 2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *For. Ecol. Manage.* 256. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.07.022>
- Oliveira, R.F.P., Lasmar, D.J., Mafra, R.Z., Filho, A. de O.C., Oliviera, S. dos S., 2022. O desenvolvimento da biotecnologia industrial nos processos produtivos no estado do Amazonas. *Brazilian J. Dev.* 57836–57858. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n8-195>
- Pimentel, M.S., Flórez, C.A., Jaime, O., Baena, R., Restrepo Baena, O.J., 2019. International interdisciplinary collaboration: Artisanal and small scale gold mining and Mercury contamination in Colombia. *JIS J. Interdiscip. Sci.*
- Ramankutty, N., Gibbs, H.K., Achard, F., Defries, R., Foley, J.A., Houghton, R.A., 2007. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. *Glob. Chang. Biol.* <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01272.x>
- Rice, K.M., Walker, E.M., Wu, M., Gillette, C., Blough, E.R., 2014. Environmental mercury and its toxic effects. *J. Prev. Med. Public Heal.* <https://doi.org/10.3961/jpmph.2014.47.2.74>
- Rodrigues, R.T., Rubio, J., 2007. DAF-dissolved air flotation: Potential applications in the mining and mineral processing industry. *Int. J. Miner. Process.* <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2006.07.019>
- Roulet, M., Lucotte, M., Canuel, R., Farella, N., Courcelles, M., Guimarães, J.R.D., Mergler, D., Amorim, M., 2000. Increase in mercury contamination recorded in lacustrine sediments following deforestation in the central Amazon. *Chem. Geol.* [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(99\)00172-2](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(99)00172-2)
- Sakamoto, M., Tatsuta, N., Izumo, K., Phan, P.T., Vu, L.D., Yamamoto, M., Nakamura, M., Nakai, K., Murata, K., 2018. Health impacts and biomarkers of prenatal exposure to methylmercury: Lessons from Minamata, Japan. *Toxics.* <https://doi.org/10.3390/toxics6030045>
- Salo, M., Hiedanpää, J., Jounela, P., Karlsson, T., CárcamoÁvila, L., RumrillGarcía, R., Kotilainen, J., 2016. Local perspectives on the formalization of artisanal and small-scale mining in the Madre de Dios gold fields, Peru. *Extr. Ind. Soc.* 3. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2016.10.001>
- Schudel, G., Kaplan, R., Adler Miserendino, R., Veiga, M.M., Velasquez-López, P.C., Guimarães, J.R.D., Bergquist, B.A., 2019. Mercury isotopic signatures of tailings from artisanal and

- small-scale gold mining (ASGM) in southwestern Ecuador. *Sci. Total Environ.* 686, 301–310. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.004>
- Schudel, G., Miserendino, R.A., Veiga, M.M., Velasquez-López, P.C., Lees, P.S.J., Winland-Gaetz, S., Davée Guimarães, J.R., Bergquist, B.A., 2018. An investigation of mercury sources in the Puyango-Tumbes River: Using stable Hg isotopes to characterize transboundary Hg pollution. *Chemosphere.* <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.081>
- Schumacher, E.F., 1973. *Small is beautiful*, in: *Economics as If People Mattered*. Blond & Briggs, London.
- Scliar, C., 1996. *Geopolítica das Minas do Brasil. A Importância da Mineração Para a Sociedade*. Rio de Janeiro.
- Seccatore, J., de Theije, M., 2017. Socio-technical study of small-scale gold mining in Suriname. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.119>
- Seccatore, J., Veiga, M., Origliasso, C., Marin, T., De Tomi, G., 2014. An estimation of the artisanal small-scale production of gold in the world. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.003>
- Selin, N.E., 2009. Global biogeochemical cycling of mercury: A review. *Annu. Rev. Environ. Resour.* <https://doi.org/10.1146/annurev.enviro.051308.084314>
- Skelly, A.N., Sato, Y., Kearney, S., Honda, K., 2019. Mining the microbiota for microbial and metabolite-based immunotherapies. *Nat. Rev. Immunol.* <https://doi.org/10.1038/s41577-019-0144-5>
- Smith, N., Lucena, J., Smith, J., Restrepo Baena, O.J., Aristizabal, G., Delgado, A., 2018. Social Dimension of the Successful Development of Mining Projects – a Focus on Artisanal and Small-Scale Mining. *Int. J. Georesources Environ.* <https://doi.org/10.15273/ijge.2018.03.017>
- Smits, K.M., McDonald, L., Smith, N.M., Gonzalez, F., Lucena, J., Martinez, G., Restrepo, O.J., Rosas, S., 2020. Voces Mineras: Clarifying the future of artisanal and small-scale mining collaborations. *Extr. Ind. Soc.* <https://doi.org/10.1016/j.exis.2019.12.003>
- Sousa, R., Veiga, M., Van Zyl, D., Telmer, K., Spiegel, S., Selder, J., 2011. Policies and regulations for Brazil’s artisanal gold mining sector: Analysis and recommendations. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.12.001>
- Steckling, N., Tobollik, M., Plass, D., Hornberg, C., Ericson, B., Fuller, R., Bose-O’Reilly, S., 2017. Global Burden of Disease of Mercury Used in Artisanal Small-Scale Gold Mining. *Ann. Glob. Heal.* <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2016.12.005>
- Suhartini, S., Abubakar, A., 2017. Socio economic impacts and policy of artisanal small-scale gold mining in relation to sustainable agriculture: a case study at Sekotong of West Lombok. *J. Degrad. Min. Lands Manag.* <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2017.043.789>
- Telmer, K.H., Veiga, M.M., 2009. World emissions of mercury from artisanal and small scale gold mining, in: *Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere: Emissions, Measurements and Models.* https://doi.org/10.1007/978-0-387-93958-2_6
- Thomas, M.J., Veiga, M.M., Marshall, B.G., Dunbar, W.S., 2019. Artisanal gold supply chain: Measures from the Ecuadorian Government. *Resour. Policy.* <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101505>
- Torkaman, P., Veiga, M.M., de Andrade Lima, L.R.P., Oliveira, L.A., Motta, J.S., Jesus, J.L., Lavkulich, L.M., 2021. Leaching gold with cassava: An option to eliminate mercury use in artisanal gold mining. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127531>
- Uchima, J.S., Restrepo-Baena, O.J., Tobón, J.I., 2016. Mineralogical evolution of portland cement blended with metakaolin obtained in simultaneous calcination of kaolinitic clay and rice husk.

- Constr. Build. Mater. 118. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.063>
- UNEP, 2020. Artisanal and small-scale gold mining. global mercury partnership [WWW Document].
- UNEP, 2019. Global Mercury Assessment 2018. UN Environment Programme, Chemicals. UN Environ. Program. Chem. Heal. Branch Geneva. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01246>
- Veiga, M.M. da, Silva, A.R.B., Hinton, J.J., 2002. O garimpo de ouro na Amazônia: aspectos tecnológicos, ambientais e sociais. Extração ouro princípios, Tecnol. e meio Ambient.
- Veiga, M., 2010. Antioquia, Colombia : The world's most polluted place by mercury: Impressions from two field trips. United Nations Ind. Dev. Organ.
- Veiga, M.M., Angeloci-Santos, G., Meech, J.A., 2014a. Review of barriers to reduce mercury use in artisanal gold mining. Extr. Ind. Soc. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2014.03.004>
- Veiga, M.M., Angeloci, G., Hitch, M., Colon Velasquez-Lopez, P., 2014b. Processing centres in artisanal gold mining. J. Clean. Prod. 64, 535–544. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.015>
- Veiga, M.M., Marshall, B.G., 2019. The Colombian artisanal mining sector: Formalization is a heavy burden. Extr. Ind. Soc. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.11.001>
- Veiga, M.M., Maxson, P.A., Hylander, L.D., 2006. Origin and consumption of mercury in small-scale gold mining. J. Clean. Prod. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.08.010>
- Veiga, M.M., Meech, J.A., 1995. Gold mining activities in the Amazon: Clean-up techniques and remedial procedures for mercury pollution. Ambio. <https://doi.org/10.2307/4314369>
- Velásquez-López, P.C., Veiga, M.M., Klein, B., Shandro, J.A., Hall, K., 2011. Cyanidation of mercury-rich tailings in artisanal and small-scale gold mining: Identifying strategies to manage environmental risks in Southern Ecuador. J. Clean. Prod. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.09.008>
- Verbrugge, B., Besmanos, B., 2016. Formalizing artisanal and small-scale mining: Whither the workforce? Resour. Policy. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.01.008>
- Wang, J., Feng, X., Anderson, C.W.N., Xing, Y., Shang, L., 2012. Remediation of mercury contaminated sites - A review. J. Hazard. Mater. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.04.035>
- Yakovleva, N., 2007. Perspectives on female participation in artisanal and small-scale mining: A case study of Birim North District of Ghana. Resour. Policy. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2007.03.002>

Este capítulo foi submetido para publicação na revista Resources Policy Elsevier

CAPÍTULO I

Análise da eficiência da legislação minerária brasileira para a formalização dos mineiros artesanais e o controle do uso de Hg na mineração artesanal e de pequena escala de ouro (ASM).

RESUMO

A mineração artesanal de ouro é atividade laboral humana responsável pela maior parte da liberação antrópica de Mercúrio metálico para o meio ambiente. É também uma das atividades mais discriminada na Pan-Amazônia, considerada como atividade de auto potencial degradador, a ASM ?? tem sofrido grande restrição legal no processo de formalização e de licenciamento ambiental por parte dos órgãos ambientais brasileiros. São reflexos desta elevada burocracia, a inexistência de censo oficial, total desconhecimento sobre o grupo social de mineradores artesanais de ouro em exercício no Brasil e principalmente na Amazônia brasileira, os órgão de fiscalização e controle da ASM não sabem quantos são nem onde atua a grande maioria dos mineradores artesanais da Amazônia, isto tem suscitado a hipótese de que grande parte destes profissionais atuam de forma informal na região, a informalidade tem resultado em condições precárias de trabalho pela impossibilidade do minerador artesanal obter financiamento bancário para a aquisição de ferramentas tecnológicas que propiciem o exercício da sua atividade dentro dos parâmetros ambientais exigidos. Por tanto, a robustez da legislação ambiental e minerária brasileira não tem resultado em formalização do minerador artesanal, tão pouco no exercício ambientalmente adequado da atividade de ASM, o que contribui para a estigmatização da imagem do minerador artesanal na Amazônia brasileira.

INTRODUÇÃO

A validação científica na orientação pragmática das percepções ambientais empíricas, entre outras questões socioambientais, reflete profusamente sobre a qualidade do ambiente em que vivemos (Martine e Alves, 2015). Ao se engajar na mudança da dinâmica social, tornando-se protagonista de ações básicas, o cidadão constitui vetores sociais exigindo produtos e serviços gerados através de aspectos e impactos ambientais racionais como indutores de um desenvolvimento humano saudável (Garbaccio, Krolik e Martins de Araújo, 2021).

Tal convicção viabiliza a formação do ser social como demandante de políticas públicas que permitam o exercício de seu papel na transformação racional do meio ambiente sob sua influência. Possibilita também, o entendimento de que a exploração do bem natural não pode servir de pretexto para o desequilíbrio do meio ambiente e o esgotamento deliberado dos recursos naturais.

Dá a exigência de leis que resultem políticas claras, que ofereçam ferramentas, e sirvam de instrumentos para o exercício ambientalmente equilibrado de atividades econômicas, que, por

sua vez, são meios à obtenção dos recursos básicos para garantia de qualidade de vida.

Estas leis devem ser o norte de grupos sociais, e visar o desenvolvimento socioambiental de suas gerações atuais e futuras (Garbaccio, *et al.*, 2021; Notes *et al.*, 2009; Romeiro, 2001; Sá, 1996).

Neste sentido, olhamos para o arcabouço legal que fundamenta a formalização das atividades econômicas na Pan-Amazônia, tangido por desafios (OIT and BID, 2020), que por vezes, tem apresentado resultados limitados, principalmente para o setor de ASM e AGM (Veiga e Marshall, 2019; Zvarivadza, 2018).

Este artigo não visa uma análise comparativa das leis destinadas à ASM e AGM nos países Pan-Amazônicos, mas sim dos efeitos da legislação brasileira sobre a atividade na Amazônia Legal e, se elas refletem na formalização, na produção de minerais mais limpos e, conseqüentemente, na defesa do meio ambiente. Também é necessário considerar algumas experiências bem-sucedidas, como a relatada por Bustamante *et al.*, (2016) que resultou em um maior volume de produção de ouro na Colômbia, entretanto, é necessário avaliar se essa produção foi alcançada sob padrões de produção mais limpos.

No Brasil, a aplicação de instrumentos legais para regulamentar a exploração de recursos minerais data da época do Brasil Império, entre os fatos jurídicos deste período estão: a tributação do imposto sobre a produção de Au em 5% (Brasil Império, 1827a) e a inclusão da mineração nas atividades reguladas pela Lei Geraes (português imperial) (Brasil Império, 1827b, 1833).

Atualmente, o minerador e a atividade de mineração artesanal estão regulamentados na Constituição Federal de 1988, no Código Mineiro de 1967 e no Estatuto do Garimpeiro de 2008, entre outros títulos legais, instrumentos repletos de redações de apoio e regulamentação da atividade, letras de leis sem muitos avanços tangíveis até o momento.

A robustez dos diplomas legais que regulam a ASM e a AGM no Brasil é constantemente debatida quanto à sua eficácia em garantir a formalização dos mineiros artesanais e de pequena escala. Estes debates também envolvem a busca de esclarecimentos de dicotomias sobre os aspectos e impactos socioambientais da atividade (Enríquez, 2014; Monteiro, 2004; Veiga, Silva e Hinton, 2002). Bansah *et al.* (2018) afirma que é comum os mineiros verem esses instrumentos legais como burocráticos e inibidores do exercício da atividade (Mantey *et al.*, 2018), o que reflete um sentimento de distanciamento técnico-empírico da realidade operacional das atividades da ASM e daqueles que a regulam (Siegel and Veiga, 2009).

Tecnicamente, as leis que procuram garantir o acesso a um ambiente saudável sempre estão emulando com atividades que envolvem o uso direto dos recursos naturais e têm potencial ou efetivo impacto ambiental adverso (Cristina e Queiroz, 2010). A região amazônica abriga a maior biodiversidade do planeta (N.H. *et al.*, 2001), este fato dá origem a debates acalorados e que tentam estabelecer uma linha tênue entre desenvolvimento e sustentabilidade, como se esses dois instrumentos sociais pudessem ser dissociados. Esse imbróglio reflete em uma ampla gama de atividades econômicas na Pan Amazônia e com muita ênfase na Amazônia Legal (OIT and BID, 2020), e atribuem uma imagem particularmente negativa à ASM e à AGM (Society *et al.*, 2014). Entretanto, a formalização da atividade de mineração é fundamental (Alves, 2013), e deve ser baseada em regras que procurem minimizar os danos ambientais derivados da atividade e visem o acesso a meios de produção mais limpos. Essa busca tem sido o foco de atenção em vários países do mundo; a busca pelo desenvolvimento socioambiental de suas comunidades dependentes da exploração mineira para a composição de emprego e renda tem guiado constantes mudanças em instrumentos legais para regular a atividade (Injadat, Salo e Nassif, 2016; Veiga, Angeloci-Santos e Meech, 2014).

Neste sentido, é de extrema necessidade investigar a situação atual da ASM e da AGM na Amazônia Legal em relação ao cenário legal que rege a atividade no país, para que seu correto entendimento possa estimular medidas que permitam aos trabalhadores do setor acessar o processo de formalização e, com o objetivo de desenvolver a atividade dentro de um marco legal formal e ambientalmente sustentável. Portanto, é oportuno lançar luz sobre a necessidade de instrumentos para reduzir a burocracia e delimitar a mineração sustentável.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido por meio de: consulta a literatura especializada, coleta e análise de dados quantitativos e qualitativos sobre os mineiros de ouro na Amazônia Legal; consulta dos anuários da Organização das Cooperativas Brasileiras (OCB) para a totalização das cooperativas e cooperados em seu sistema; utilização do Sistema de Acesso à Informação do governo federal para obter dados oficiais da Agência Nacional de Mineração (ANM), e da Receita Federal sobre o número de cooperativas e cooperados na atividade de mineração de ouro, e da Polícia Federal para estimar o número total de mineiros em atividade informal - ilegal na Amazônia Legal.

Local de estudo e vocação ambiental para a ASM e AGM

É importante destacar que a Amazônia Legal tem aproximadamente 5 milhões (IBGE, 2020; Nogueira *et al.*, 2008) dos 7 milhões de km² da Pan-Amazônia, ocupa aproximadamente 60% do território brasileiro e abriga 28 milhões dos 34 milhões de habitantes (OIT and BID, 2020). Nos últimos 40 anos a Amazônia Brasileira saltou de uma população de aproximadamente 8 milhões de habitantes para os números atuais, que representam cerca de 13% da população nacional, a região concentra a maior biodiversidade do planeta (Nogueira *et al.*, 2008), mas enfrenta dificuldades para melhorar seu índice de desenvolvimento humano, razão pela qual seu potencial de mineração tem sido amplamente investigado pelos setores público e privado como uma alternativa para o desenvolvimento regional.

A Figura 1, gerada a partir de dados oficiais de geociência do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mostra a intensidade das pesquisas sobre o potencial de mineração na Amazônia Legal. Os pontos coloridos da Figura 1 mostram a distribuição geográfica dos sítios de pesquisa geológica realizada por cada instituição relatada na legenda. As informações fazem parte do banco de dados de estudos ambientais e geológicos gerenciado pelo IBGE. Em geral, os resultados destes estudos ainda dependem de fases posteriores, que vão desde a avaliação se a vocação ambiental (recurso mineral) encontrada corresponde às definições de interesse nacional e se apresentam viabilidade econômica dentro dos parâmetros de segurança ambiental e laboral de exploração mineral. O fator primário na mineração deve ser sempre observado, que é a rigidez da locacional em termos do ponto de extração do recurso mineral, para que os planos de exploração possam ser projetados dentro do tripé da sustentabilidade. A fase de transformação de um depósito mineral em uma mina é particularmente difícil na AGM, pois, via de regra, o garimpeiro não trabalha na prospecção do depósito mineral sobre o qual emprega sua força de trabalho, o que limita seu acesso aos fundos de investimento necessários para a exploração eficiente do depósito encontrado.

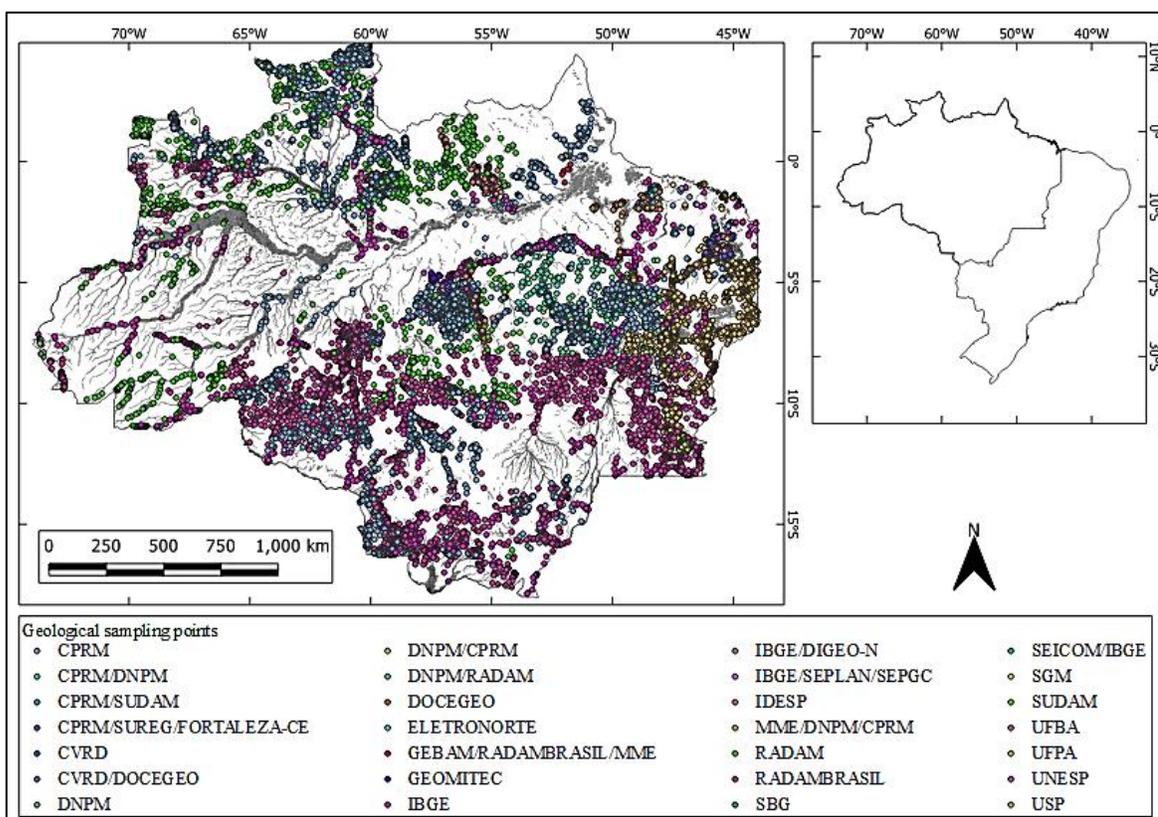


Figura 1 - Mapa gerado a partir de um conjunto de dados geológicos de referência, estruturado em bancos .de dados digitais, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Banco de Dados 2003, nas escalas de 1:1.000.000 e 1:250.000. Os pontos coloridos representam a localização geográfica onde instituições públicas e privadas de pesquisa fizeram suas coletas (amostragens) para estudos geológicos.

Através da análise da Figura 1, fica claro que os objetivos plurais das entidades públicas e privadas favoreceram a diversificação do espectro amostral da mineração na região, tanto em sua abrangência geográfica quanto na gama de características geológicas estudadas. Dado o exposto acima, foi possível enfatizar as análises sobre os resultados dos estudos que respondem aos perfis geológicos potencialmente exploráveis pela ASM e AGM. Este potencial é apresentado na Figura 2.

A Figura 2 apresenta as características geológicas dos pontos estudados nas incursões científicas impressas na Figura 1, porém, nesta fase, a ênfase é colocada nas características geológicas de uso potencial na ASM e na AGM, ambos dados fazem parte do sistema de

informações geológicas gerenciado pelo IBGE. O georreferenciamento das informações identifica a unidade geológica, associada a um conjunto de características. Segundo o IBGE, (2020), estas características foram observadas no campo por profissionais de geociência e validadas através dos resultados das análises laboratoriais das amostras coletadas.

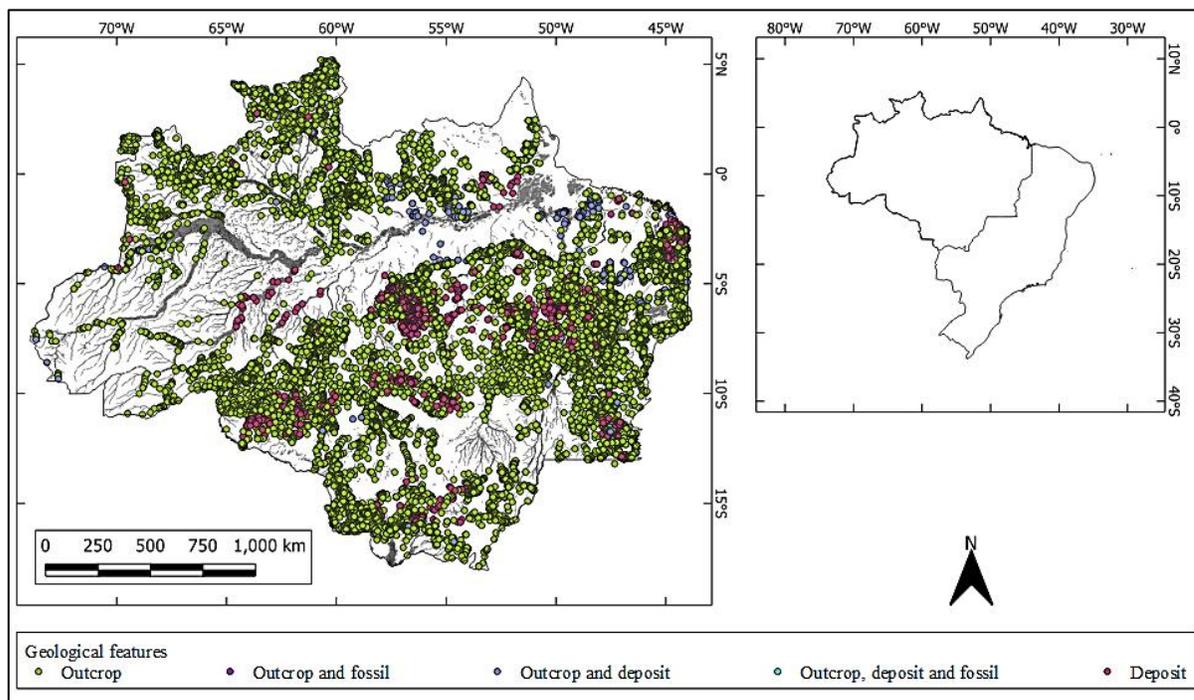


Figura 2 - Mapa gerado a partir do conjunto de dados geológicos de referência, estruturado em bancos de dados digitais, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Base de Dados 2019, nas escalas de 1:1 000 000 e 1:250 000. Ela representa a distribuição geográfica dos tipos de depósitos identificados a partir de coleções geológicas e estudos realizados por diversas instituições públicas e privadas de pesquisa na Amazônia Legal.

As Figuras 1 e 2 são ratificadas pela Figura 3 e a análise de suas correlações justifica a necessidade de coesão imediata na aplicação da legislação brasileira destinada à ASM e AGM, pois expressam a extensão da vocação ambiental da região para o exercício da Mineração e Lavra Garimpeira, atividades sensíveis do ponto de vista ambiental e social, seja por seu efetivo ou potencial degradador, seja por sua relevância socioeconômica para a região.

Esta vocação traz consigo exigências socioambientais de alcance especial, pois está inserida em um bioma de incalculável relevância para o equilíbrio ecológico e ambiental do planeta. Para o funcionamento eficaz dos mecanismos de regulação e formalização da atividade, é necessário que os instrumentos mediem a capacitação para o exercício ambientalmente sustentável da mineração

na região, e que, desta forma, seja garantida a aplicação de metas e objetivos de produção limpa, conforme recomendado pelas leis do setor minerário (Güiza, 2013; Monteiro, 2004).

Deste modo, a consecução esperada é que os instrumentos normativos transcendam o campo do caráter de ordenamento e coerção, comuns à leis que não fazem parte do plantel do direito ambiental, e que busquem garantir meios de acesso a políticas, a treinamento e a obtenção de instrumentos e ferramentas que garantam o desenvolvimento ambientalmente equilibrado da atividade.

A Figura 3 mostra a distribuição real (amostrada) de aluvião e colúvio na Amazônia Legal. Estas formas geológicas expressam potencial à atividade ASM e AGM, o que é confirmado quando há mineralização destas formações geológicas (deposição de Au).

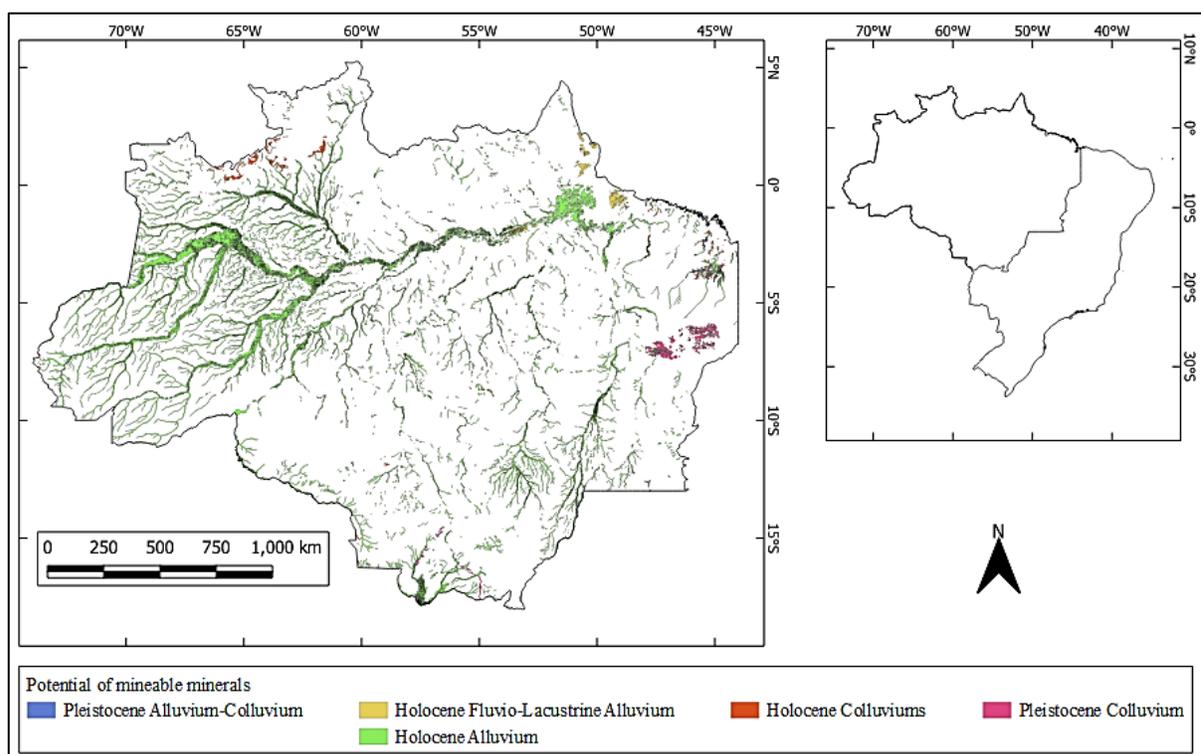


Figura 3 - Mapa gerado a partir de um conjunto de dados geológicos de referência, estruturado em bancos de dados digitais, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Base de Dados 2019, nas escalas de 1:1000 000 e 1:250 000. A figura mostra a distribuição geográfica de depósitos com potencial de exploração pela mineração artesanal.

Uma indicação de que as políticas para o setor de ASM e AGM têm falhas em sua implementação é que, mesmo diante deste volume de informações de origem técnica e de relevância para mineração, a descoberta de novas jazidas é, historicamente, o resultado de

investigações empíricas - ação intuitiva do minerador artesanal. Vale mencionar que este comportamento é endossado pelo Código Mineiro Brasileiro, que elimina a necessidade de estudos geológicos para obter uma Licença de Lavra Garimpeira - PLG, ou seja, independentemente da comprovação do tamanho da reserva geológica (ouro ou minério de ouro) a ser explorada, na ausência de impedimentos ambientais, é possível que a PLG seja liberada pela ANM. Desta forma, a ratificação da característica do minerador artesanal em desbravar novos depósitos com base em seus próprios métodos intuitivos de busca, em parte devido a sua carga histórico-cultural, e em parte devido à falta de comunicação dos órgãos governamentais e entidades dos resultados de seus estudos geológicos, resultaria em melhores índices qualitativos, especialmente ambientais no exercício da atividade (Hilson *et al.*, 2018; Veiga, *et al.*, 2002). Este pode ser um dos fatores que corroboram o perfil introspectivo do garimpeiro na recepção e transmissão de informações.

Este também se revelou um fracasso quando exerce uma certa distância do papel de disseminar sua relevância socioambiental na geração de riqueza e como garantidor do uso adequado do recurso mineral de forma ambientalmente apropriada. De certa forma, este fracasso acaba por incentivar os discursos de marginalização da atividade mineira, pois não encontram nos próprios mineiros o contraponto ao informativo de massificação da atividade mineira como uma das maiores contribuições para a redução da função ambiental da Amazônia (Krenak, 2018). Sendo a AGM uma importante alternativa econômica para a região, que, nos anos 80 e 90, cerca de um milhão (1.000.000) de pessoas viveram diretamente de seus resultados (Veiga, *et al.*, 2014), o resultado desta introspecção tem sido a pressão social e midiática para uma legislação cada vez mais restritiva, o que quase sempre favorece aqueles que optam por trabalhar na informalidade.

Mineração artesanal e de pequena escala

Deve-se notar que, como explicado por Veiga, (1997); Veiga, *et al.*, (2002), a mineração artesanal refere-se a um tipo rudimentar de mineração e processamento de minerais, principalmente Au, enquanto a mineração em pequena escala refere-se apenas ao tamanho da operação (Seccatore, *et al.*, 2014; Thomas *et al.*, 2019; Veiga, *et al.*, 2014). Este parâmetro pode ser definido pela limitação das máquinas e da capacidade tecnológica, de modo que a mineração artesanal se concentra principalmente nos aluviões e nos coluviões, que requerem um uso tecnológico mínimo na extração de minerais e depósitos secundários (Veiga, *et al.*, 2002). A mineração em pequena escala, por outro lado, é definida de acordo com a legislação do país onde é estabelecida. Normalmente o parâmetro utilizado é o volume de minério trabalhado em m³. Esta atividade de

pequena escala pode ser realizada por mineiros artesanais ou ser equipada com tecnologias e máquinas (Labonne, 2014; Veiga, *et al*, 2014). Entretanto, a escassez de áreas livres para mineração artesanal (poucas reservas minerárias) é um dos fatores que limitam o sucesso das iniciativas de formalização, afinal, para que formalizar se não há lugar para minerar?

Assim, Hilson, *et al*. (2020) enfatizam a coexistência entre a ASM e a mineração em larga escala como uma alternativa à escassez de áreas de mineração, o que, de fato, pode ser uma opção para a perda dos direitos de mineração, o que é quase certo nas disputas entre os mineiros da ASM e os mineiros de larga escala (Veiga, *et al*, 2002).

A coexistência é um dos instrumentos com potencial para garantir aos mineradores artesanais o acesso a locais viáveis para a atividade mineira, entretanto, como analisado no estudo de caso de Marmato na Colômbia, Holley *et al*., (2020) destacam-se alguns passos fundamentais para o sucesso da coexistência entre a mineração de pequeno e grande porte. Entre os passos então: avaliação crítica da possibilidade de aplicação de métodos de mineração que permitam a coexistência; equidade entre pares; e contratos que considerem aspectos técnicos e sociais.

Essas medidas podem contribuir para minimizar, ou pelo menos dar contornos de justiça na disputa sobre áreas de mineração. A restrição econômica também representa um fator limitante importante para a ASM, pois o minerador artesanal não realiza estudos para medir as reservas minerais, sem os quais não pode oferecer garantias às agências de financiamento (Hilson and Ackah-Baidoo, 2011). A dualidade dos agentes de licenciamento na maioria dos países amazônicos (Ministério de Minas e Energia "título mineral" e Secretarias Estaduais e Municipais de Meio Ambiente "licença ambiental") torna difícil a obtenção de uma licença de mineração (Marshall and Veiga, 2017; Veiga, *et al*, 2014; Veiga and Marshall, 2019). Esta mesma realidade se aplica ao Brasil, é comum ter acesso aos números de GLP ativos, porém é quase impossível saber quantos são licenciados e em operação, já que esta fase é gerenciada pelos estados e municípios que emitem a licença ambiental.

Uso de mercúrio na mineração artesanal e de pequena escala

O problema ambiental da contaminação por mercúrio (Hg) humano está fortemente relacionado à mineração ASM (Cleary and Cleary, 1990; Telmer and Veiga, 2009; UNEP, 2019, 2020).

O pesquisador Jacques Cousteau, em visita à Serra Pelada na Amazônia nos anos 80, já havia advertido sobre a gestão inadequada do Hg. Entretanto, estimar o volume de Hg liberado pela ASM no meio ambiente é extremamente difícil (Schudel *et al.*, 2019b) fato que tem suscitado muitos debates sobre o assunto, sendo comuns trabalhos apontando a ASM como a principal fonte de deposição de mercúrio no meio ambiente (Artaxo *et al.*, 2000; Ferrante and Fearnside, 2020). Entretanto, a ASM é apenas uma das formas antropogênicas de emissões de Hg, além de atividades como a agricultura, indústria e lagoas hidroelétricas (Ferrante and Fearnside, 2020).

É fato que o uso do Hg em todas as suas formas de emissões antropogênicas traz resultados nocivos, não apenas para o meio ambiente, mas também para a saúde humana, de forma mais direta e aguda nos próprios mineiros (Chen *et al.*, 2018; Giang, 2017; Veiga and Baker, 2004; Veiga, *et al.*, 2002). Tanto que a ação global para controlar o Hg recebeu o nome da tragédia Minamata (de origem industrial).

Assim, a estruturação da Convenção de Minamata, que entrou em vigor em 2017, enfatiza o compromisso dos países signatários de controlar a liberação de Hg em suas atividades, incluindo a mineração. Atualmente, as iniciativas para eliminar o uso de Hg na ASM nos países amazônicos resultaram no estabelecimento de um mercado clandestino para este metal, com valores que atingem US\$ 300,00/Kg em 2014 (Garcia and Molina, 2011; Veiga, 2010; Veiga *et al.*, 2014), o desvio dos resultados visados pela convenção, em parte se deve à falta de incentivos para tecnologias mais limpas e mais eficientes para a mineração, especialmente o ouro. Isto acaba perpetuando o uso de Hg na ASM no processo de amalgamação do Au (Veiga *et al.*, 2014).

As duas principais maneiras utilizadas para amalgamar o ouro na ASM são:

1- A fusão de todo o minério, onde o Hg é derramado nas aletas das calhas de concentração (em alguns casos, diretamente nas encostas a serem desmontadas), causando grandes perdas de Hg para o meio ambiente, da ordem de 3:1, (partes de Hg para cada parte de ouro extraído) (Veiga *et al.*, 2014; Veiga, *et al.*, 2002); e

2 - Amalgamação de concentrados de minério, que diminui o volume de Hg utilizado na amalgamação, dando origem a duas formas de contaminação por Hg: a liberação de mercúrio em efluentes, resultando na contaminação do solo e sistemas aquáticos, com disponibilidade potencial de bioacumulação, o que representa risco para os seres do topo da cadeia alimentar; e a contaminação do ar, contaminação mais imediata e com maior ênfase nas comunidades mineradoras. Esta forma dá-se pela decomposição térmica do amálgama sem equipamentos

adequados para o controle das emissões de gases (exemplo: retorta). Neste cenário a contaminação por inalação é extremamente prejudicial ao ser humano (Veiga *et al.*, 2014; Veiga, Silva and Hinton, 2002).

Esses danos ambientais e à saúde estão bem documentados em vários estudos sobre o potencial de contaminação por Hg (Moreno-Brush *et al.*, 2016; Schudel *et al.*, 2019a; Veiga and Baker, 2004; Veiga, *et al.*, 2006).

Marco legal para a formalização da ASM e controle de Hg nos países amazônicos

Comum a vários países em desenvolvimento, os países amazônicos também refletem a ineficiência burocrática da legislação em relação à regulamentação do setor de mineração da AMS (Bartoshuk *et al.*, 2016; Echavarría, 2014; Hilson *et al.*, 2018; Salo *et al.*, 2016; Schudel *et al.*, 2019a; Sinding, 2005; Teschner, 2012). No Brasil, é amplo o número de instrumentos legais voltados à regulamentação do setor de mineração, estes instrumentos estão presentes desde a Constituição Federal, até Resoluções e Portarias do Ministério de Minas e Energias. Vide tabela 1.

Tabela 1 - Principais diplomas legais para a regulamentação da atividade minerária brasileira

Nome	Diploma	Entrada em vigor	Redação
Artigo 21, Inciso XXV	Constituição Federal	1988	XXV - estabelecer as áreas e as condições para o exercício da atividade de garimpagem, em forma associativa.
Artigo 174, § 3º	Constituição Federal	1988	§ 3º O Estado favorecerá a organização da atividade garimpeira em cooperativas, levando em conta a proteção do meio ambiente e a promoção econômico-social dos garimpeiros.
Artigo 174, § 4º	Constituição Federal	1988	§ 4º As cooperativas a que se refere o parágrafo anterior terão prioridade na autorização ou concessão para pesquisa e lavra dos recursos e jazidas de minerais garimpáveis, nas áreas onde estejam atuando, e naquelas fixadas de acordo com o art. 21, XXV, na forma da lei.
Artigo 201, §7, Inciso II	Constituição Federal	2019 (Emenda Constitucional 103)	II - 60 (sessenta) anos de idade, se homem, e 55 (cinquenta e cinco) anos de idade, se mulher, para os trabalhadores rurais e para os que exerçam suas atividades em regime de economia familiar, nestes incluídos o produtor rural, o garimpeiro e o pescador artesanal.
Artigo 71.	Decreto-Lei Federal Nº 227	1967	Art. 71. Ao trabalhador que extrai substâncias minerais úteis, por processo rudimentar e individual de mineração, garimpagem, faiscação ou cata, denomina-se genericamente, garimpeiro.

Artigo 76	Decreto-Lei Federal Nº 227	1967	Art. 76. Atendendo aos interesses do setor minerário, poderão, a qualquer tempo, ser delimitadas determinadas áreas nas quais o aproveitamento de substâncias minerais far-se-á exclusivamente por trabalhos de garimpagem, faiscação ou cata, consoante for estabelecido em Portaria do Ministro das Minas e Energia, mediante proposta do Diretor-Geral do Departamento Nacional da Produção Mineral.
Artigo 1º	Lei Federal Nº 7.805	1989	Art. 1º Fica instituído o regime de permissão de lavra garimpeira.
Artigo 1º, Parágrafo único	Lei Federal Nº 7.805	1989	Parágrafo único. Para os efeitos desta Lei, o regime de permissão de lavra garimpeira é o aproveitamento imediato de jazimento mineral que, por sua natureza, dimensão, localização e utilização econômica, possa ser lavrado, independentemente de prévios trabalhos de pesquisa, segundo critérios fixados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM.
Artigo 5º	Lei Federal Nº 11.685	2008	Art. 5º As cooperativas de garimpeiros terão prioridade na obtenção da permissão de lavra garimpeira nas áreas nas quais estejam atuando, desde que a ocupação tenha ocorrido nos seguintes casos:
Artigo 5º, Parágrafo único	Lei Federal Nº 11.685	2008	Parágrafo único. É facultado ao garimpeiro associar-se a mais de uma cooperativa que tenha atuação em áreas distintas.

Artigo 2º, Inciso XXXV	Lei Federal Nº 13.575	2017	XXXV - normatizar o sistema brasileiro de certificação de reservas e recursos minerais, no prazo de até um ano, contado da publicação desta Lei;
Artigo 1º	Resolução ANM Nº 94	2022	Art. 1º Esta Resolução normatiza o inciso XXXV do art. 2º da Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017, disciplina a classificação das reservas minerais, com base em padrões internacionalmente aceitos de declaração de resultados, nos termos do § 4º do art. 9º do Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018, e dá outras providências.
Artigo 3º	Resolução AMN Nº 94	2022	Art. 3º A gestão do Sistema Brasileiro de Recursos e Reservas Minerais será de responsabilidade da ANM que, no âmbito de suas competências, irá utilizá-lo para:
Artigo 3º, Inciso I	Resolução ANM Nº 94	2022	I - subsidiar a formulação e implementação da política nacional para as atividades de mineração; II - fortalecer a gestão dos direitos e títulos minerários para fins de aproveitamento dos recursos minerais;

É incontestável a robustez e completude dos diplomas legais que regulamentam a atividade de mineração no Brasil, com tudo, os efeitos fáticos de suas aplicações ainda não se traduzem em amplitude da formalização e acesso é mecanismos de contenção de danos ambientais para os mineradores artesanais.

Como fator de agravamento da limitação do Estado em regulamentar a atividade de mineração artesanal. A característica geológica de rigidez locacional da mineração, complementada pela sazonalidade do mineiro artesanal são fatores inerentes à atividade mineira, porém, mais fortemente na mineração artesanal de ouro. Essa rigidez contribui para a limitação do poder regulador do estado, devido à restrição dos recursos econômicos a serem empregados no controle da atividade, já que os locais de mineração são muitas vezes de difícil acesso (Scliar, 1996). O mineiro sazonal, em geral, é o indivíduo que precisa exercer a AGM diante da escassez de atividades econômicas nas áreas rurais (Hentschel, *et al.*, 2002; Seccatore, *et al.*, 2014; Veiga *et al.*, 2014), fato que é oportunamente destacado por Veiga and Fadina (2020), referindo-se à dispersão dos mineiros artesanais no campo, o que dificulta o controle da ASM por parte do estado.

Bustamante *et al.*, (2016) destacam a necessidade do envolvimento da sociedade e, em particular, das empresas mineradoras na busca de práticas gerenciais e operacionais que reduzam os danos ambientais com impacto direto na qualidade de vida das comunidades sob a influência das atividades de mineração.

Uma leitura objetiva dos resultados dos esforços do estado para a formalização e exercício ambientalmente correto da atividade da ASM nos países amazônicos pode ser melhor apresentada através dos seguintes temas: número total de mineiros artesanais no país; principais minerais extraídos; alguns instrumentos que diferenciam os mineiros artesanais dos mineiros de pequena escala; alguns instrumentos que reduzem especialmente a burocracia para a formalização dos mineiros artesanais; alguns instrumentos que dizem que o governo deve fornecer treinamento aos mineiros artesanais ou de pequena escala; e instrumentos que proíbem o uso de mercúrio na mineração artesanal de ouro. Portanto, a não-resposta ou resposta parcial a essas questões limita a análise métrica qualitativa da regulamentação da ASM e dos instrumentos de formalização.

A dinâmica da legislação de mineração na ASM e AGM no Brasil

O atual cenário de regulamentação das atividades da ASM tem levado ao debate interminável sobre o exercício legal-formal e ilegal da atividade, o que nem sempre resulta em instrumentos legais de igualdade de tratamento entre mineiros de grande e pequeno porte (Bansah *et al.*, 2018). Uma exceção a esta regra é a direção da questão pela necessidade de incentivar a

coexistência entre estes agentes de mineração (Farias and Coelho, 2002; Monteiro, 2004; Veiga, *et al.*, 2002).

O Brasil, como em outros países amazônicos, principalmente os andinos, delineou a legislação sobre a ASM num claro entendimento de seu potencial econômico (Lu, 2012; Veiga *et al.*, 2014), assim, os instrumentos legais da ASM foram marcados pela busca de seu exercício mais eficiente. Entretanto, dúvidas comuns ainda persistem nas definições de exercício informal e ilegal, e no direito de exploração (Costa, 2007).

Atualmente, a complexidade da formalização da ASM requer recursos administrativos e financeiros onerosos a serem tratados, sem distinção considerável entre os processos de formalização de pequenas e grandes empresas de mineração (Marshall and Veiga 2017; Salo, *et al.*, 2016).

Esta situação recorrente tem dado contornos de menor eficiência aos diplomas legais da mineração não apenas no Brasil, mas em vários países em desenvolvimento (Hentschel, *et al.*, 2003), resultando em uma contribuição insignificante para o exercício da ASM de forma ambientalmente sustentável (Veiga, *et al.*, 2014; Hilson, *et al.*, 2007).

Estudos científicos corroboram o cenário atual, quase sempre focados em explicar qualquer potencial degradação ambiental da ASM, causada principalmente pela poluição por Hg, muitas vezes sem distinção entre Hg de origem natural e industrial (Gibb and O’Leary, 2014). Mesmo assim, esses trabalhos servem como base para propostas de políticas públicas formuladas sem a devida preocupação de consultar mineiros artesanais na busca de práticas viáveis para o exercício ambientalmente correto da ASM (Schudel, *et al.*, 2018). Isto se reflete em normas que não atendem ao objetivo de fornecer soluções para a mineração limpa, seja devido à difícil situação econômica dos mineiros artesanais e de pequena escala, seja devido à falta de promoção do acesso à tecnologias compatíveis com os padrões ambientais exigidos para a atividade (Esdaile and Chalker, 2018; Marshall and Veiga, 2017). Ao contrário do que é recomendado, a legislação atual incentivou o trabalho informal e imobilizou os mineradores que buscam formalização (Barbosa, *et al.*, 1991; Veiga, *et al.*, 2002).

Este cenário é agravado pela conexão errônea e constante entre os termos informal e ilegal, o que contribui para a marginalização da AGM por setores da sociedade civil, agentes de fiscalização e até legisladores (Farias and Coelho, 2002; Veiga, *et al.*, 2002).

É claro que os processos educacionais amplos devem integrar a formulação de políticas públicas para a ASM (Thomas, et al. 2019; Viega, et al., 2002; Smith, et al. 2018). Grupos colaborativos envolvendo governos, academia e sociedade deveriam ser amplamente encorajados com o objetivo de acrescentar conhecimento científico à mineração limpa (Pimentel, et al., 2019; Smith et al., 2018).

No Brasil, o termo mineiro artesanal é pouco usado, "garimpeiro" é o nome dado para o profissional de ASM. Este nome esteve presente na legislação do setor até o início de 2022. Toda via, no Brasil, o termo "garimpeiro" foi historicamente usado para identificar pessoas que trabalharam ilegalmente nas minas durante o período do Império brasileiro. Possivelmente a persistência no uso do termo é parcialmente responsável pela marginalização social imposta a esses trabalhadores no país (Veiga, *et al*, 2002), o que contribui para a falta de números totais sobre as pessoas que praticam a ASM no Brasil. Os principais minerais extraídos pela ASM no Brasil são: ouro; diamante; cassiterita; e columbita.

No país, esses trabalhadores até a promulgação do Decreto Presidencial N° 10.966/2022 eram legalmente classificados como garimpeiros e pequenos mineiros, o que é definido pelos regulamentos da Agência Nacional de Mineração - ANM, de acordo com sua produção anual bruta. A primeira está sujeita a uma produção bruta anual de menos de 10.000 toneladas/ano e a segunda a uma produção de menos de 100.000 toneladas/ano e mais de 10.000 toneladas/ano (Casa Civil, 1967). O Estatuto do Garimpeiro, a lei que regula a atividade mineira, apresenta alguns parâmetros específicos, tais como direitos minerários sem a necessidade de estudos geológicos, mas com um limite máximo de 50 hectares e licenças de mineração que devem ser renovadas a cada cinco anos, e devem estar dentro das áreas que foram designadas pelo governo para estes fins, as reservas de garimpeiro (Casa Civil, 2008).

Assim, a medida mais antiga do governo brasileiro para reduzir a burocracia na atividade da ASM está contida no Estatuto do Garimpeiro, que de fato não tem mostrado resultados consideráveis, pois limita as concessões de mineração às poucas áreas reservadas para este fim. Além disso, a desconexão entre os órgãos que emitem a licença de mineração e a licença ambiental não acelera o processo de formalização da ASM no país. Ademais, ocorrem falhas em incentivar e favorecer a constituição de cooperativas de prospecção e no treinamento tecnológico para a

operação de processos mais limpos. Um exemplo deste fracasso é o Programa Nacional de Formalização que durou entre 2007 e 2010, e não apresentou dados oficiais.

Os esforços para erradicar o Hg na ASM estão em vigor desde o Decreto 97.507 de 1989, entretanto, a aplicação inconsistente contribuiu ainda mais para o estabelecimento do mercado clandestino de Hg. No mais recente ciclo de medidas anti-Hg, a Convenção Minamata inspirou várias discussões para a reformulação de planos com uma meta de "zero mercúrio", um fato que parece ter ficado preso no reino das ideias.

Números oficiais das licenças de mineração na Amazônia Legal

Como mostrado na Figura 3, a Amazônia Legal tem extensas áreas potencialmente exploráveis, devendo ser descartadas desse total e áreas onde as atividades de mineração são legalmente proibidas (áreas de preservação ambiental e territórios indígenas). A Figura 4 mostra os números atuais de PLG ativos de acordo com o padrão de legalidade e organização regulado pela ANM, os dados que apontam estes números foram obtidos do Portal de Transparência da ANM, acessado em 02/06/2022. Do número total de registros de PLG, apenas os que ocorrem nos estados brasileiros que compõem a Amazônia Legal foram aceitos neste mapa. A Figura 4 não faz distinção entre as PLG de Au e as de outros minerais, portanto, foram considerados os registros ativos totais no sistema de informação e controle da ANM.

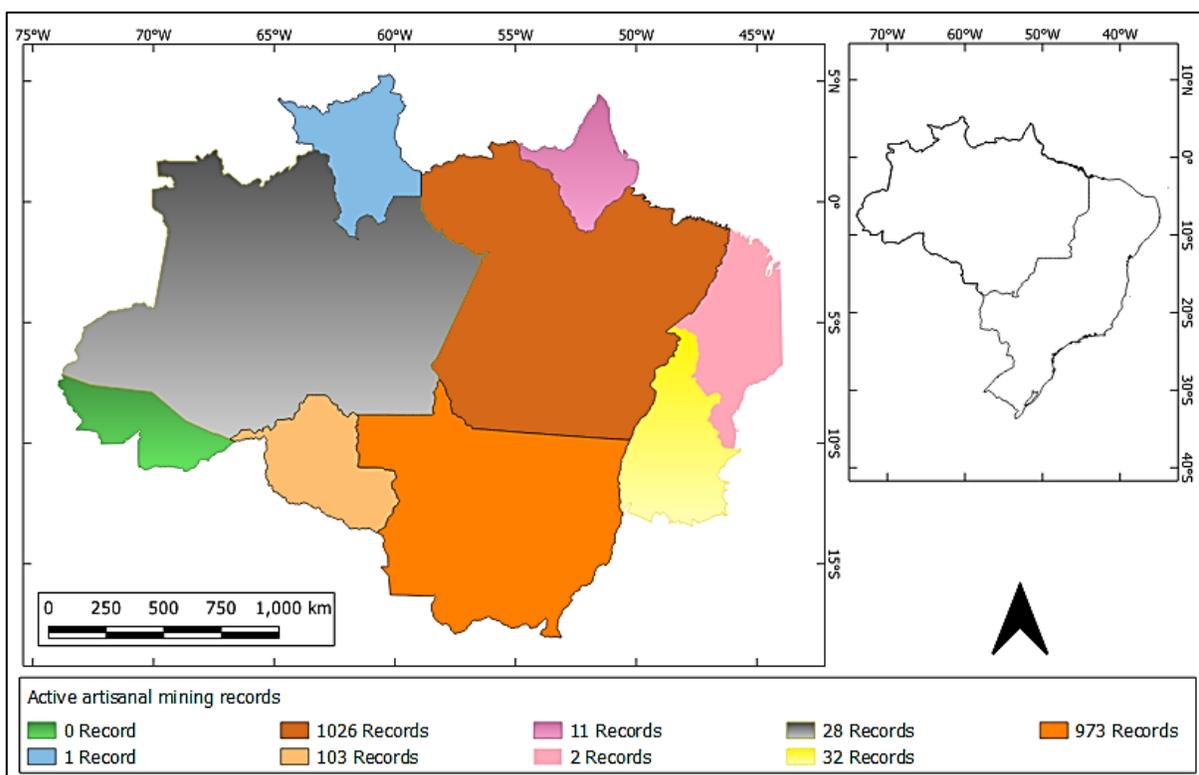


Figura 4 - Mapa gerado pela Agência Nacional de Mineração - ANM Sistema de Informação Geográfica Aberto de Dados sobre Mineração, Base de Dados 2022, nas escalas 1:1.000.000 e 1:250.000 Distribuição do total de registros de mineração artesanal (não restrito à mineração artesanal de ouro) ativa na Agência Nacional de Mineração em cada estado da Amazônia Legal.

A Figura 5, também gerada a partir dos dados da Figura 4, mostra a análise entre o número total de PLG ativos e quantos deles são destinados à exploração de Au, também analisa as áreas em Hectares (Ha) destinadas à PLG, total e exploração de Au.

Os valores de linha (eixo y principal) traçam os números totais de PLG e os números de PLG destinados à exploração de Au. A linha cinza representa o total de PLG ativos registrados na ANM para cada Estado da Amazônia Legal. A linha laranja mostra o número de Au PLG ativos registrados na ANM para cada Estado da Amazônia Legal. Os valores de barra (eixo y secundário) fornecem informações sobre a área total em Ha de PLG ativos e a área de Au PLG. As barras azuis representam a área total em Ha do total de PLG para cada Estado da Amazônia Legal. As barras vermelhas mostram a área total em Ha de Au PLG ativos para cada Estado da Amazônia Legal.

De acordo com os dados da ANM mostrados na Figura 5, a Amazônia Legal apresenta, em 2022, um total de 2176 PLG ativos, dos quais 1834 são PLG de Au exploração. Estas PLG totalizam uma área de 1067325,67 ha, dos quais 747337,62 ha são PLG de exploração de Au.

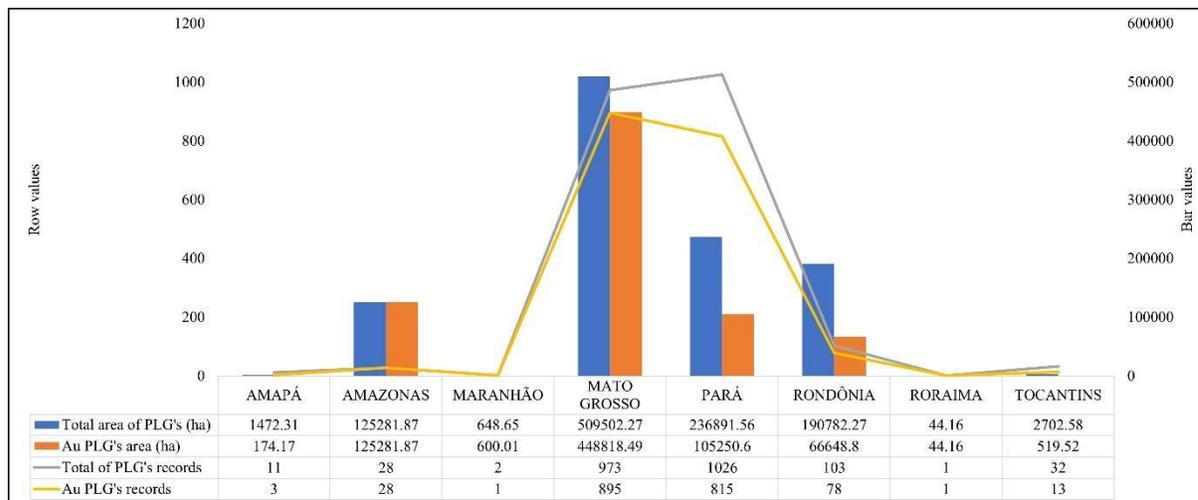


Figura 5 - Dados da ANM sobre o número total de registros de mineração de ouro e PLG e a área total (ha) ocupada pela atividade.

As PLG para exploração de Au são emitidas principalmente em regiões determinadas como Reservas Garimpeiras (RG), a atribuição para tal determinação é reservada para um ato administrativo da ANM e é dada por Portaria do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) com exceção da RG da Serra Pelada que foi dada por lei federal em 1987. Esta lei tinha o objetivo de ordenar a exploração já em andamento no sítio Serra Pelada, devido à classificação do RG. Segundo o Código Mineiro Brasileiro, as cooperativas de mineradores, familiares e mineradores individuais têm prioridade para obter o PLG. De acordo com o Sistema de Dados Abertos de Informações Geográficas de Mineração da ANM (<https://dados.gov.br/dataset/sistema-de-informacoes-geograficas-da-mineracao-sigmime>), atualmente no Brasil existem 17 RG, 8 das quais estão nos estados que compõem a Amazônia Legal, o layout dos RG pode ser visto na Figura 6.

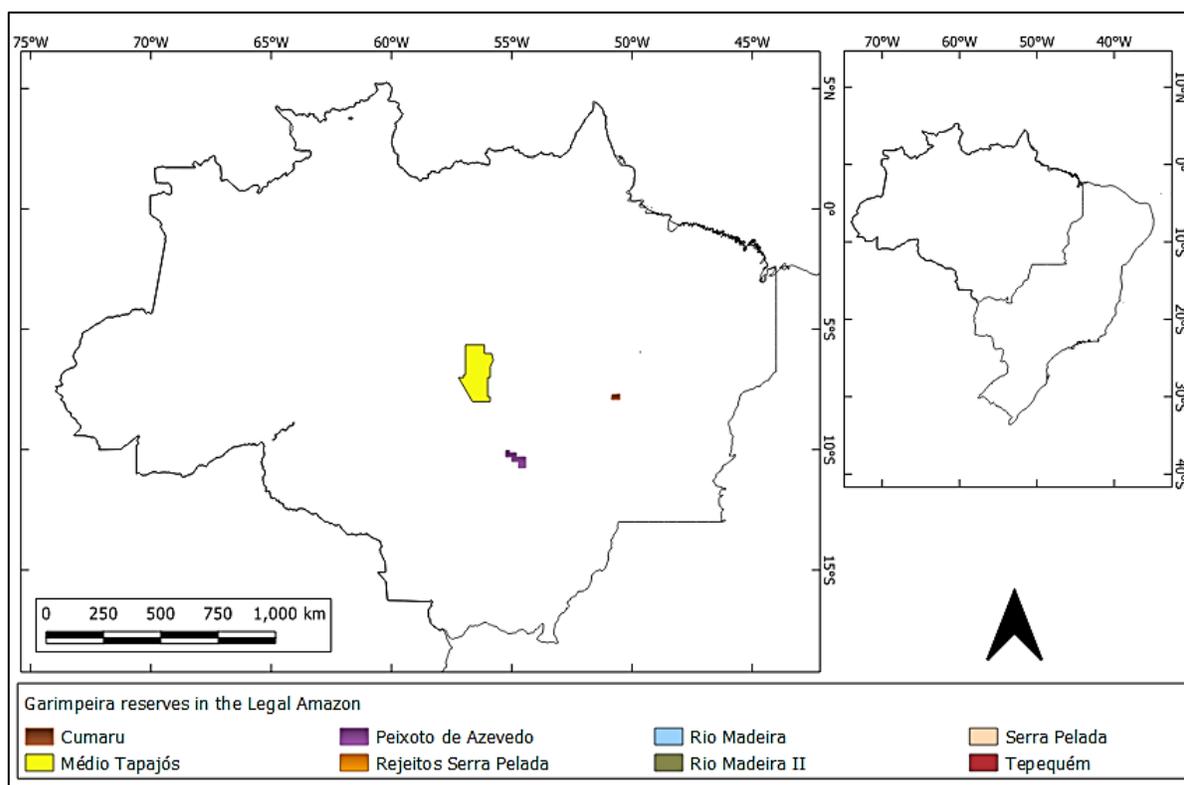


Figura 6 - Mapa gerado a partir do Sistema de Dados Abertos de Informações Geográficas sobre Mineração da Agência Nacional de Mineração - ANM, Base de Dados 2022, nas escalas 1:1 000 000 e 1:250 000. Disposição geográfica das Reservas Garimpeiras nos estados brasileiros que compõem a Amazônia Legal.

A Tabela 2 fornece informações sobre o documento que determina as Reservas Garimpeiras apresentado na Figura 6.

Tabela 2 - Nome da área destinada à reserva garimpeira e o documento que determinou esta classificação.

NOME DA RG	DOCUMENTO DE ORIGEM	EXTENSÃO KM ²
MÉDIO TAPAJÓS	Itaituba (PA) – Portaria Ministerial n°882 25/07/83	28.486
REJEITOS SERRA PELADA	Rejeito Serra Pelada (PA) - Portaria Ministerial n°08 02/07/1991	0,80
RIO MADEIRA II	Porto Velho (RO) – Portaria Ministerial n° 245 07/07/2004	208
RIO MADEIRA	Porto Velho (RO) – Portaria Ministerial n°262 07/07/2004	140
SERRA PELADA	Curionópolis (PA) – Lei Federal n° 7.599 15/05/1987	1

CUMARU		São Felix do Xingu (PA) – Portaria Ministerial n°25 10/01/1984	986
TEPEQUÉM		Boa Vista (RR) – Portaria Ministerial n° 143 31/01/1984	120
PEIXOTO AZEVEDO	DE	Colíder-Peixoto de Azevedo (MT) – Portaria DNPM n° 64 25/02/2011	3.300
total em KM²			33.241,8

Após a revogação de algumas RG pelo DNPM no Estado de Mato Grosso em 2011, a Amazônia Legal tem agora uma área de cerca de 33.000 KM² destinada à atividade prioritária de mineração artesanal.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As discussões sobre dados da exploração mineral de ouro por atividade mineira no Brasil são extremamente difíceis, pois o trabalho científico sobre a atividade é quase sempre orientado pela holística ambiental, seus aspectos que modificam o ambiente natural e os impactos potenciais inerentes à atividade. Como regra geral, eles não distinguem entre números do exercício formal, informal e ilegal da atividade, nem planos de mitigação capazes de minimizar os impactos ambientais adversos da atividade. Os dados oficiais do governo brasileiro contribuem para a impossibilidade de abordar a questão em termos de permitir que eles componham subsídios para políticas públicas que vejam o garimpeiro como um agente de desenvolvimento socioambiental da comunidade na qual ele está inserido. A Tabela 3 fornece respostas às perguntas listadas como fundamentais para um entendimento factual da eficácia e eficiência dos instrumentos legais utilizados na regulamentação da atividade mineradora no Brasil.

Tabela 3 - Questionário analítico sobre o desenvolvimento da atividade de mineração artesanal na Amazônia Legal.

PERGUNTAS	RESPOSTAS
Número total de garimpeiros (mineiros artesanais) no país.	Não conhecido
Principais minerais extraídos.	Ouro, diamante, cassiterita, columbita
Ferramentas que diferencia os mineiros artesanais dos mineiros de pequena escala.	Decreto-Lei N° 227/1967; Lei N° 11.685/2008

Instrumentos particularmente redutor da burocracia para a formalização dos mineiros.	Lei Federal N° 7.805/1989; Decreto N° 10.965/2022
Instrumentos que diz que o governo deve fornecer treinamento a mineiros formais ou artesanais de pequena escala.	Lei Federal N° 11.685/2008; Decreto N° 10.965/2022
Instrumento que recomenda a não utilização de mercúrio na mineração artesanal de ouro.	Decreto N° 9.470/2018

Na consulta N°. 48003.001872/2022-13 de fevereiro de 2022, o sistema de Acesso à Informação da ANM mostrou que a Agência não mantém dados sobre o número de mineiros formais ou informais que operam na Amazônia Legal. A consulta N° 03005.113005/2022-63 de março de 2022 ao Sistema de Acesso à Informação Recita Federal devolve apenas números gerais de pessoas jurídicas com Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE 07.24-3-01 - Extração de minérios metálicos preciosos. Em resumo, a última atualização dos dados foi feita em 2021, como esperado, e devido à atribuição legal da agência consultada, não há informações sobre a filiação e títulos de mineração ativa das cooperativas. Em março de 2022 a consulta n° 08198.008478/2022-43 ao sistema de informação do Departamento de Polícia Federal para uma estimativa do número de ações de mineração ilegal e o número de garimpeiros neste exercício. A resposta a este pedido de informação foi que não há estatísticas produzidas pela agência sobre as perguntas feitas, ou seja, os números divulgados pela imprensa e ONGs atribuídos à mineração ilegal não se baseiam em informações oficiais da Polícia Federal, que é a entidade que repressende a atividade ilegal.

Hoje conhecemos apenas o volume de área legalmente ocupada pela atividade mineradora, 747337,62 Ha, e o número de PLG concedidos pela ANM, 1.870 registros. A OCB é uma ferramenta importante para a obtenção de dados, porém, destacamos que em seus anuários os dados não são regionalizados, portanto, os dados obtidos na edição de 2021, trazem informações

nacionais de 3.411 PLG emitidos pela ANM, dos quais 16% (559) são de propriedade de cooperativas, sem referência a quantas dessas cooperativas estão sediadas na Amazônia Legal, nem a quantidade de cooperados. A falta de diálogo destes dados com os diferentes agentes mencionados compromete o pleno exercício da atividade e a modelagem destas informações na proposta de adequação das diretrizes e objetivos das políticas públicas para o setor. Deve-se notar também que, no Brasil, a obtenção do PLG não implica em autorização de trabalho, um passo fundamental no início da atividade; a licença ambiental é emitida por estados e municípios, prolongando a jornada dos mineiros para obter licenças de operação.

Desta forma, não se sabe literalmente quantos são, onde estão e qual é a qualidade de vida dos mineiros na Amazônia Legal, nem qual é o tamanho da rede de reconversão econômica da atividade mineira, qual é sua relevância econômica para as comunidades em sua área de influência e seu potencial para direcionar a microeconomia onde a atividade está inserida.

Uma publicação relevante para a análise da evolução da atividade de mineração na Amazônia Legal, Silva (2001) não explica se os dados discutidos por ele sobre a área total dedicada à mineração de ouro na Amazônia Legal são compostos apenas de PLG emitidos legalmente, ou se também considera uma área estimada como ilegalmente explorada. O certo é que a comparação entre os dados de Silva (2001) X ANM 2021 expressa uma redução significativa na área total em exploração. A Figura 7 mostra esta comparação da área de exploração de Au por estado na Amazônia Legal. O eixo y principal expressa os valores de linha referentes aos dados de Silva (2001). O eixo y secundário expressa valores de barras referentes aos dados da ANM para o ano 2022. Comparando os dados, observa-se que apenas Rondônia e Tocantins têm áreas em exploração maiores do que os dados de 20 anos atrás.

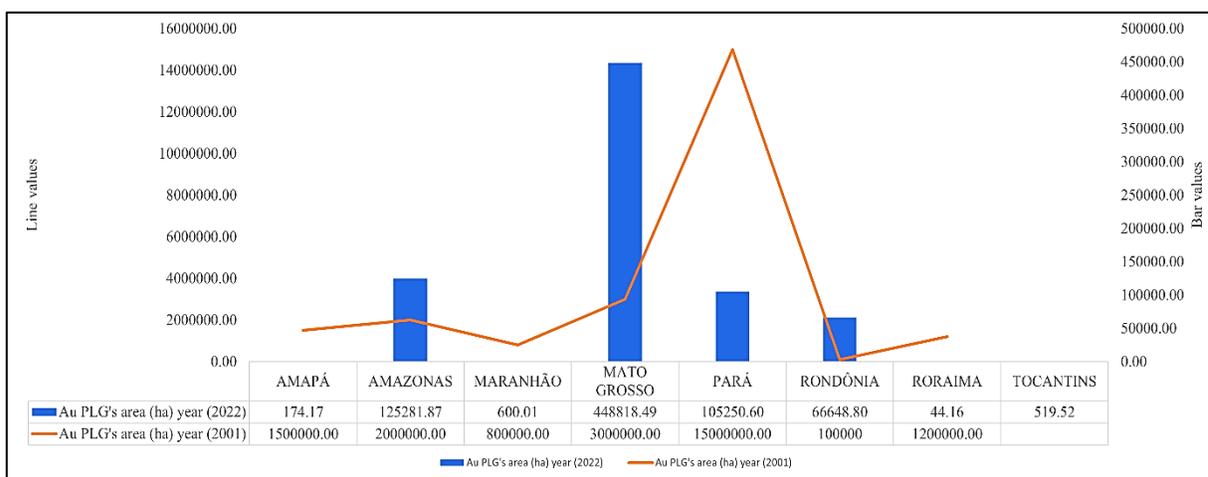


Figura 7 - Comparação histórica das áreas ocupadas pela mineração artesanal de ouro de acordo com Silva (2001) x ANM 2022.

Veiga e Marshall, (2019) questionam se as leis têm favorecido ou dificultado o trabalho dos mineiros artesanais que buscam o exercício legal da atividade mineira, este questionamento é completamente aplicável ao panorama brasileiro em termos do exercício legal da mineração. O Código Mineiro de 1967, diploma legal recepcionado pela Constituição Federal de 1988 já previa mecanismos para favorecer o exercício da mineração artesanal, 55 anos se passaram e o mais concreto da ASM e AGM no Brasil, e especialmente na Amazônia Legal, são dúvidas. Avaliar a eficácia de políticas sociais que não foram capazes de medir pelo menos o tamanho do grupo social ao qual se destinam é frustrante.

Um exemplo do fato de que as políticas públicas para a ASM e AGM não se traduziram em progresso na formalização dos mineiros artesanais na região, é que trabalhos que buscam explicar os números do exercício formal e informal da atividade mineira artesanal, via de regra estão referenciando principalmente fontes de dados que datam dos anos 90 (Cleary and Cleary, 1990; Scliar, 1996) como visto em (Ferrante and Fearnside, 2020; Ledwaba and Mutemeri, 2018; MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL – MPF., 2020; Salo et al., 2016). Este fato contribuiu para a percepção enganosa da estaticidade do grupo social de mineiros artesanais. Os trabalhos citados não têm buscado explicar o número de mineiros artesanais que operam na região e, conseqüentemente, se abstêm das demandas sociais deste grupo social, são obras e relatórios que dissertam sobre o efetivo ou potencial degradador ambiental da atividade, o que sem dúvida

representou uma altíssima relevância técnica e científica em termos de produção em torno da atividade de mineração artesanal de ouro na região, mas, tem entregado dados do censo social descontínuos e provavelmente desatualizados. Para Trevisan e Bellen, Van, (2008) é fundamental entender a demanda social do minerador artesanal), os autores também enfatizam que as ações governamentais modeladas em dados que não refletem demandas reais podem oferecer políticas ineficientes para servir seu grupo social alvo.

Neste cenário de percepção equivocada do garimpeiro como grupo social estático (sem promoção social e/ou profissional), é comum o surgimento de instrumentos que caracterizam o estado como agente coercitivo, como pode ser visto no Manual de Avaliação (MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL – MPF., 2020). Nele, o estado e sua mão coerciva são perceptíveis, e instrumentos como este contribuem para estigmatizar uma atividade econômica desprezada desde o Império brasileiro. Neste sentido, há trabalhos científicos comuns e volumosos preocupados em destacar todo e qualquer potencial degradado da atividade mineira e quase nunca tentam pensar nos índices de desenvolvimento humano destes brasileiros que parecem estar à margem da sociedade (Marshall e Veiga, 2017). Isto implica em perdas fundamentais de princípios básicos para a formulação de políticas públicas. É preocupante descobrir que as chamadas políticas de socialização mineira foram desenvolvidas em meio à total ignorância das demandas do minerador artesanal nos sítios de exploração de ouro ao redor do mundo (Verbrugge e Besmanos, 2016). E na Amazônia Legal esta realidade não tem sido diferente.

Acessando os sites dos Institutos Socioambientais e aplicando a tag “garimpo; minerador artesanal”, exemplos: Instituto Socioambiental – ISA (<https://www.socioambiental.org/pt-br/o-isa>) o alinhamento do preconceito ambientalista cego às necessidades do grupo social dos mineiros é evidente, incluindo a ratificação e a publicidade de extratos do Manual de Avaliação do MPF. A Fundação Amazônia Sustentável – faz (<https://fas-amazonia.org/>) é enfática ao afirmar que a mineração artesanal é um crime ambiental. A Rainforest Alliance (<https://www.rainforest-alliance.org/pt-br/>) considera a mineração como uma das fontes da disseminação da Covid 19 entre os povos indígenas. Institutos socioambientais relevantes no direcionamento da opinião pública e, conseqüentemente, com o potencial de enviesamento de políticas para características mais coercitivas devido à disseminação generalizada de uma imagem negativa da mineração na região, o que demonstra total descaso pelo garimpeiro como um grupo social.

CONCLUSÕES

Atualmente, não existem dados oficiais, em todo o país, que forneçam números sobre o grupo social dos mineiros artesanais. Fato este, especialmente preocupante na Amazônia Legal, visto que a região inclui a bacia amazônica brasileira. Esta é parte imensurável da biodiversidade do planeta, sendo assim está sempre envolvida nos debates sobre o controle dos aspectos e impactos ambientais adversos das atividades aqui realizadas. Também é verdade que os desajustes situacionais dos agentes que realizam atividades que exploram diretamente os recursos naturais acabam comprometendo negativamente a capacidade do poder público em exercer sua função de oferecer mecanismos de controle e garantia das atividades dentro dos padrões de qualidade ambiental exigidos em lei.

O pleno exercício de atividades ambientalmente sustentáveis requer a orientação de seus atores para o acesso a métodos e processos que visem tal resultado. Mineiros artesanais compõe o grupo social fundamental para o desenho eficiente de políticas públicas. Estas devem oferecer mecanismos de qualidade ambiental à ASM e AGM, baseadas em índices de amostragem mais próximos do real. A legislação de mineração dos últimos 50 anos refere-se ao estabelecimento do minerador artesanal como um grupo que realiza atividades laborais com potencial de desenvolvimento socioeconômico. Entretanto, não há dados oficiais que vejam o minerador artesanal como um grupo social e a ausência desta métrica torna difícil imprimir os índices necessários para reconhecer minerador artesanal como um demandante de políticas sociais e fornecedor de produtos e serviços derivados do pleno cumprimento dos instrumentos de produção limpa. A final, o poder público brasileiro tornou intencionalmente o minerador artesanal invisível? Ou o atropelo da regulamentação, sem primeiro saber quem está sendo regulamentado, que evidenciou uma séria falta de coordenação durante as últimas cinco décadas?

REFERÊNCIAS

- ALVES, D. S. A Ecologia como parâmetro da Geopolítica -- O legado de Bertha Becker no Campo dos Estudos Ambientais na Amazônia. **Espaço Aberto**, 2013.
- ARTAXO, P.; CALIXTO DE CAMPOS, R.; FERNANDES, E. T.; MARTINS, J. V.; XIAO, Z.; LINDQVIST, O.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, M. T.; MAENHAUT, W. Large scale mercury and trace element measurements in the Amazon basin. **Atmospheric Environment**, 2000.
- BANSAH, K. J.; DUMAKOR-DUPEY, N. K.; KANSAKE, B. A.; ASSAN, E.; BEKUI, P. Socioeconomic and environmental assessment of informal artisanal and small-scale mining in Ghana. **Journal of Cleaner Production**, 2018.
- BARTOSHUK, L. M. *et al.* Food cravings in pregnancy: Preliminary evidence for a role in excess gestational weight gain. **APPETITE**, 2016.
- BRASIL IMPÉRIO. **Lei N° 26 - Manda reduzir a 5% o imposto do quinto sobre o ouro.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lim/LIM-26-10-1827.htm>. Acesso em: 2 ago. 2022a.
- _____. **Lei N° 13 - Regula o modo por que se devem pagar os preços dos contractos das rendas publicas ou vendas de proprios alienaveis e abole os emolumentos que se levam em Minas geraes pela cobrança das dividas activas da nação.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lim/LIM..-13-11-1827.htm>. Acesso em: 2 ago. 2022b.
- _____. **Lei N° 46 - Sujeita ás Leis geraes execuções as fabricas de mineração, e de assucar, e lavouras de cannas.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lim/LIM46.htm>.
- BUSTAMANTE, N.; DANOUCHARAS, N.; MCINTYRE, N.; DÍAZ-MARTÍNEZ, J. C.; RESTREPO-BAENA, O. J. Review of improving the water management for the informal gold mining in Colombia. **Revista Facultad de Ingenieria**, v. 2016, n. 79, 2016.
- CASA CIVIL. **Código de Minas.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del0227compilado.htm>.
- _____. **Estatuto do Garimpeiro.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/111685.htm>.
- CHEN, C. Y. *et al.* A Critical Time for Mercury Science to Inform Global Policy. **Environmental Science and Technology**, 2018.
- CLEARY, D.; CLEARY, D. Serra Pelada: The Gold Rush on the National Stage. *In: Anatomy of the Amazon Gold Rush.* [s.l.: s.n.]. .
- CRISTINA, H.; QUEIROZ, G. Mineração : perspectiva de sustentabilidade a partir do Direito Ambiental. **Planeta A**, n. 2, 2010.
- ECHAVARRIA, C. 'What is legal?' Formalising artisanal and small-scale mining in Colombia. **International Institute for Environment and Development (IIED).** [s.l.: s.n.].
- ENRÍQUEZ, M. Mineração na Amazônia. **Parcerias Estrategicas**, 2014.

- FARIAS, C. E. G.; COELHO, J. M. Mineração e Meio Ambiente no Brasil. **Relatório Preparado para o CGEE**, 2002.
- FERRANTE, L.; FEARNside, P. M. **The Amazon: biofuels plan will drive deforestation***Nature*, 2020.
- GARBACCIO, G. L.; KROLIK, C.; MARTINS DE ARAÚJO, L. Desenvolvimento sustentável: políticas públicas de resíduos sólidos no Brasil. **Revista Brasileira de Direito**, v. 16, n. 1, 2021.
- GARCIA, O.; MOLINA, J. Introducción de tecnologías más limpias en la minería y la extracción del oro artesanales, en el nordeste antioqueño y bajo cauca antioqueño, Colombia. **Técnicas Aplicadas a la Caracterización y Aprovechamiento de Recursos Geológico-Mineros**, 2011.
- GIANG, A. **Science to support toxics governance: Tracking mercury and other pollutants from policy to impacts**. [s.l: s.n.].
- GIBB, H.; O'LEARY, K. G. **Mercury exposure and health impacts among individuals in the artisanal and small-scale gold mining community: A comprehensive review***Environmental Health Perspectives*, 2014.
- GÜIZA, L. La pequeña minería en Colombia: Una actividad no tan pequeña. **DYNA (Colombia)**, 2013.
- HENTSCHEL, T.; HRUSCHKA, F.; PRIESTER, M. **Global report on artisanal and small-scale mining***Mining, Minerals and Sustainable Development*. [s.l: s.n.].
- HENTSCHEL, T.; HRUSCHKA, F.; PRIESTER, M. Artisanal and Small-Scale Mining - Challenges and Opportunities. **Zhurnal Eksperimental'noi i Teoreticheskoi Fiziki**, 2003.
- HILSON, G.; ACKAH-BAIDOO, A. Can Microcredit Services Alleviate Hardship in African Small-scale Mining Communities? **World Development**, 2011.
- HILSON, G.; SAUERWEIN, T.; OWEN, J. Large and artisanal scale mine development: The case for autonomous co-existence. **World Development**, v. 130, 1 jun. 2020.
- HILSON, G.; ZOLNIKOV, T.; ORTIZ, D.; KUMAH, C. Formalizing artisanal gold mining under the Minamata convention: Previewing the challenge in Sub-Saharan Africa. **Environmental Science and Policy**, v. 85, 2018.
- HOLLEY, E. A.; SMITH, N. M.; DELGADO JIMENEZ, J. A.; CABEZAS, I. C.; RESTREPO-BAENA, O. J. Socio-technical context of the interactions between large-scale and small-scale mining in Marmato, Colombia. **Resources Policy**, v. 67, 2020.
- IBGE. **Amazônia Legal**.
- INJADAT, M. N.; SALO, F.; NASSIF, A. B. Data mining techniques in social media: A survey. **Neurocomputing**, 2016.
- KRENAK, A. Ecologia Política. **Ethnoscintia**, v. 3, n. 2, 2018.
- LABONNE, B. **Who is afraid of artisanal and small-scale mining (ASM)?***Extractive Industries and Society*, 2014.
- LU, J. L. Occupational health and safety in small scale mining: Focus on women workers in the

- Philippines. **Journal of International Women's Studies**, 2012.
- MANTEY, J.; OWUSU-NIMO, F.; NYARKO, K.; APPIAH-EFFAH, E.; AUBYNN, A. Spatial distribution patterns of illegal artisanal small scale gold mining (Galamsey) operations in Ghana: A focus on the Western Region. **Heliyon**, v. 4, n. 2, 2018.
- MARSHALL, B. G.; VEIGA, M. M. **Formalization of artisanal miners: Stop the train, we need to get off: Extractive Industries and Society** Elsevier Ltd, , 1 abr. 2017.
- MARTINE, G.; ALVES, J. E. D. Economia, sociedade e meio ambiente no século 21: Tripé ou trilema da sustentabilidade? **Revista Brasileira de Estudos de Populacao**, v. 32, n. 3, 2015.
- MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL – MPF. **Mineração ilegal de ouro na Amazônia: marcos jurídicos e questões controversas**. Brasília: MPF, 2020.
- MONTEIRO, M. D. A. Amazônia: mineração, tributação e desenvolvimento regional. **Novos Cadernos NAEA**, 2004.
- MORENO-BRUSH, M.; RYDBERG, J.; GAMBOA, N.; STORCH, I.; BIESTER, H. Is mercury from small-scale gold mining prevalent in the southeastern Peruvian Amazon? **Environmental Pollution**, 2016.
- N.H., T.-W.; A., F.; S.N., L.; O., S. Environmental impacts and metal exposure of aquatic ecosystems in rivers contaminated by small scale gold mining: The Puyango River basin, southern Ecuador. **Science of the Total Environment**, 2001.
- NOGUEIRA, E. M.; FEARNside, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R. I.; KEIZER, E. W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 11, 2008.
- NOTES, X. R. *et al.* P & T D Igest. **Tetrahedron Letters**, 2009.
- OIT, O. I. DEL T.; BID, B. I. DE D. **Jobs in a net-zero emissions future in Latin America and the Caribbean**. [s.l: s.n.].
- ROMEIRO, A. R. Economia ou economia política da sustentabilidade ? **Economia**, 2001.
- SÁ, M. R. A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica Brasileira. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, 1996.
- SALO, M.; HIEDANPÄÄ, J.; JOUNELA, P.; KARLSSON, T.; CÁRCAMOÁVILA, L.; RUMRRILLGARCÍA, R.; KOTILAINEN, J. Local perspectives on the formalization of artisanal and small-scale mining in the Madre de Dios gold fields, Peru. **Extractive Industries and Society**, v. 3, n. 4, 2016.
- SCHUDEL, G.; KAPLAN, R.; ADLER MISERENDINO, R.; VEIGA, M. M.; VELASQUEZ-LÓPEZ, P. C.; GUIMARÃES, J. R. D.; BERGQUIST, B. A. Mercury isotopic signatures of tailings from artisanal and small-scale gold mining (ASGM) in southwestern Ecuador. **Science of the Total Environment**, 2019a.
- _____. Mercury isotopic signatures of tailings from artisanal and small-scale gold mining (ASGM) in southwestern Ecuador. **Science of the Total Environment**, v. 686, p. 301–310, 10 out. 2019b.

- SCLIAR, C. **Geopolítica das Minas do Brasil. A Importância da Mineração Para a Sociedade.** Rio de Janeiro: [s.n.].
- SECCATORE, J.; MARIN, T.; TOMI, G. DE; VEIGA, M. A practical approach for the management of resources and reserves in Small-Scale Mining. **Journal of Cleaner Production**, 2014.
- SECCATORE, J.; VEIGA, M.; ORIGLIASSO, C.; MARIN, T.; TOMI, G. DE. An estimation of the artisanal small-scale production of gold in the world. **Science of the Total Environment**, 2014.
- SIEGEL, S.; VEIGA, M. M. Artisanal and small-scale mining as an extralegal economy: De Soto and the redefinition of “formalization”. **Resources Policy**, 2009.
- SILVA, A. R. B. DA. Tapajos gold garimpos. *In: Mercury in the Tapajos Basin.* Rio de: Cytel-Cetem, 2001. p. 31–50.
- SINDING, K. **The dynamics of artisanal and small-scale mining reform** *Natural Resources Forum*, 2005.
- SOCIETY, T. A. *et al.* 735.309 Weltagarmärkte. **Journal of Cleaner Production**, 2014.
- TELMER, K. H.; VEIGA, M. M. World emissions of mercury from artisanal and small scale gold mining. *In: Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere: Emissions, Measurements and Models.* [s.l: s.n.]. .
- TESCHNER, B. A. Small-scale mining in Ghana: The government and the galamsey. **Resources Policy**, 2012.
- THOMAS, M. J.; VEIGA, M. M.; MARSHALL, B. G.; DUNBAR, W. S. Artisanal gold supply chain: Measures from the Ecuadorian Government. **Resources Policy**, 2019.
- TREVISAN, A. P.; BELLEN, H. M. VAN. Avaliação de políticas públicas: uma revisão teórica de um campo em construção. **Revista de Administração Pública**, v. 42, n. 3, 2008.
- UNEP. Global Mercury Assessment 2018. UN Environment Programme, Chemicals. **UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch Geneva**, 2019.
- ____. **Artisanal and small-scale gold mining. global mercury partnership.**
- VEIGA, M. **Mercury in artisanal gold mining in Latin America: facts, fantasies and solutions** *UNIDO - Expert Group Meeting - Introducing new technologies for abatement of global mercury pollution deriving from artisanal gold mining.* [s.l: s.n.].
- VEIGA, M. Antioquia, Colombia : The world’s most polluted place by mercury: Impressions from two field trips. **United Nations Industrial Development Organization**, 2010.
- VEIGA, M.; ANGELOCI, G.; HITCH, M.; VELASQUEZ, P. Processing centres in artisanal gold mining: Evolution or more pollution? **Cleaner Production**, 2014.
- VEIGA, M. M. **Introducing new technologies for abatement of global mercury pollution in Latin America.** [s.l: s.n.].
- VEIGA, M. M.; ANGELOCI-SANTOS, G.; MEECH, J. A. **Review of barriers to reduce mercury use in artisanal gold mining** *Extractive Industries and Society*, 2014.
- VEIGA, M. M.; BAKER, R. **Protocols for Environmental and Health Assesment of Merucy**

Released by Artisanal and Small-Scale Gold Miners. [s.l: s.n.].

VEIGA, M. M. DA; SILVA, A. R. B.; HINTON, J. J. O garimpo de ouro na Amazônia: aspectos tecnológicos, ambientais e sociais. **Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente.**, 2002.

VEIGA, M. M.; FADINA, O. **A review of the failed attempts to curb mercury use at artisanal gold mines and a proposed solution** *Extractive Industries and Society*, 2020.

VEIGA, M. M.; MARSHALL, B. G. The Colombian artisanal mining sector: Formalization is a heavy burden. **Extractive Industries and Society**, 2019.

VEIGA, M. M.; MAXSON, P. A.; HYLANDER, L. D. Origin and consumption of mercury in small-scale gold mining. **Journal of Cleaner Production**, 2006.

VERBRUGGE, B.; BESMANOS, B. Formalizing artisanal and small-scale mining: Whither the workforce? **Resources Policy**, 2016.

ZVARIVADZA, T. Artisanal and Small-Scale Mining as a challenge and possible contributor to Sustainable Development. **Resources Policy**, 2018.

CAPÍTULO II

Gestão ambiental e aplicação de recursos naturais amazônicos: O uso de carvão ativado de resíduos de açaí e tucumã no desenvolvimento sustentável da mineração artesanal

RESUMO

A gestão ambiental e aplicação de recursos naturais amazônicos no desenvolvimento de bioprodutos, que objetivem potencializar mecanismos de mitigação de atividades econômicas potencialmente poluidoras, representa importante passo em direção ao desenvolvimento ambientalmente adequado da região. A mineração artesanal, apresenta potencial de absorção de produtos ofertados pelo setor de biotecnologia. Sobretudo, de produtos e processos que minimizem o emprego de Hg nos processos de extração de ouro. Os carvões ativados, são parte fundamental na evolução da busca do desenvolvimento ambientalmente adequado da atividade de mineração de ouro, uma vez que, o carvão ativado é empregado em processos de lixiviação por cianeto, que representam menor potencial de dano permanente ao meio ambiente. Os produtos biotecnológicos a partir de matéria prima amazônica, apresentam-se viáveis e com potencial ao emprego na atividade, com capacidade de atendimento das demandas do segmento de mineração artesanal na Amazônia. O produto biotecnológico Carvões Ativados (CA's) produzidos a partir sementes amazônicas, de açaí e de tucumã apresentaram eficiência similares aos carvões comercializados para à adsorção de ouro lixiviado por cianeto de sódio, os testes foram realizados nos intervalos de 12, 24 e 48h, foram analisadas amostras de minério de ouro de duas minas distintas, os carvões ativados de Açaí e Tucumã tiveram sua eficiência de adsorção comparados com o carvão ativado comercial (produzido a partir de fibra de coco). Na mina 1, os valores de adsorção foram: Carvão de Açaí 100%, Carvão de Tucumã 90%, Carvão Comercial 95%. Na mina 2, os valores de adsorção foram: Carvão de Açaí 97%, Carvão de Tucumã 90%, Carvão Comercial 95%. Os valores expressam alto potencial de aplicação dos carvões testados para a mineração de ouro lixiviado. Os valores foram obtidos a partir de leituras com aparelho de Absorção Atômica, foram lidas as concentrações iniciais de ouro nas amostras coletadas em cada mina, as leituras foram repetidas em 12, 24 e 48h, considerando-se a porcentagem de ouro adsorvido em cada leitura.

INTRODUÇÃO

A Mineração Artesanal de Ouro (AGM) é a atividade antrópica de maior relevância na emissão e descarga de Mercúrio (Hg) no meio ambiente (Guedron et al., 2011; UNEP, 2020), isto provoca constantes debates sobre a necessidade de produtos e instrumentos biotecnológicos, para controle, mitigação e redução do uso de Hg nesta atividade (Pimentel et al., 2019; Smith et al., 2018; Telmer and Veiga, 2009).

São duas as formas de contaminação por Hg no processo de mineração de ouro:

1 – emissão, a redução do Hg por processo de queima em alta temperatura, que na ausência de mecanismos de retenção do vapor, provoca a sua liberação na atmosfera, esse processo também é o de maior impacto agudo à saúde humana, pois proporciona a absorção acelerada pelo metabolismo humano;

2 – descarga, neste processo o Hg é lançado no meio ambiente em forma de efluente, em maior quantidade quando oriundo de processos de amalgama de minério total e, em menor quantidade quando resultante da amalgama de concentrados de minério, na descarga, o Hg está

sujeito à metilação, o que o torna passivo de bioacumulação na cadeia trófica (Rice et al., 2014; Sakamoto et al., 2018; Selin, 2009).

Por este motivo, áreas sob influência da AGM são especialmente vulneráveis a potenciais danos por Hg (Farias and Andrade, 2020), por tanto, suscitam debates políticos, acadêmicos e empresariais sobre o emprego e operação de ferramentas biotecnológicas no controle ambiental da AGM, com especial ênfase a produtos biotecnológicos oriundos de recursos Amazônicos renováveis (Seccatore and de Theije, 2017).

Com tudo, a amalgama de Hg no processo de garimpo de ouro ainda é extensamente utilizada em todo o mundo (Hilson, 2002), esta prática também é uma realidade na Pan-Amazônia (Bustamante et al., 2016) e na Amazônia brasileira (Veiga et al., 2002).

É sabido, que, más práticas no processo de amalgamação por Hg podem resultar em descarga e/ou emissão do metal pesado no meio ambiente (McIntyre et al., 2016; Moreno-Brush et al., 2016; Veiga, 2010), e que essa liberação é causadora de significativos danos ambientais e à saúde humana (Bustamante et al., 2016).

Más práticas no uso de Hg em processos de mineração, resultam em potencial risco de contaminação por Hg, com possíveis efeitos ambientais deletérios e danos à saúde humana (Esdaile and Chalker, 2018), atribuem à AGM urgência de emprego de instrumentos e métodos capazes de mitigar e substituir gradativamente o uso de Hg nesta atividade (Chen et al., 2018; Steckling et al., 2017).

Por tanto, a biotecnologia tem fundamental relevância para o sucesso da prevenção a danos contínuos por Hg (Baena and Mendoza, 2021; Sakamoto et al., 2018), por este motivo, ferramentas tecnológicas eficazes na substituição, detecção e na mensuração de níveis de contaminação por Hg são fundamentais à tempestividade de ações mitigatórias satisfatórias na AGM (Hinton et al., 2003; UNEP, 2019), por este motivo, é imprescindível à ferramenta tecnológica, a sua empregabilidade em ambientes de reduzido acesso a centros de pesquisas e logística dificultada, e o uso sistemático em ambientes de trabalho rústico (Bansah et al., 2018; Seccatore and de Theije, 2017), visto que, a rigidez locacional é uma das características dos depósitos de minério de ouro.

Por tanto, o emprego de produtos biotecnológicos desenvolvidos especificamente ou, adaptados para o seu emprego na AGM é essencial à mitigação do potencial degradador da atividade, sobre tudo em biomas como o Amazônico, onde a atividade encontra sérias resistências sociais e políticas, por sua característica de alto potencial degradador (Betancur-Granados et al.,

2021; McIntyre et al., 2018) e ser uma verdadeira ameaça à ainda pouco conhecida biodiversidade Amazônica (Ferrante and Fearnside, 2020) quando não desenvolvida respeitando os mecanismos de mitigação necessários (Bustamante et al., 2016; UNEP, 2019).

Produtos biotecnológicos compreendem o emprego de tecnologia na formação, potencialização ou adaptação de funcionalidades a produtos para o desenvolvimento ou controle de atividades produtivas ou não (Lima et al., 2022). O emprego de biotecnologia em produtos, via de regra, é essencial ao fortalecimento de cadeias produtivas, e ao agregamento de valor a subprodutos “resíduos” (Lima et al., 2022; Veiga, 2010).

A busca pela substituição do Hg na AGM tem impulsionado pesquisas por produtos que confirmem eficiência à atividade de mineração de ouro e resultem em diminuição do potencial contaminante dos resíduos de garimpagem (Pimentel et al., 2019).

Neste cenário, cianetos de origem verde e carvões ativados produzidos a partir de resíduos naturais amazônicos convergem para o atendimento de padrões de qualidade ambiental no exercício da atividade de mineração de ouro.

Este trabalho objetivou evidenciar a necessidade de estudos de aplicação de produtos biotecnológicos de origem natural, amazônicos renováveis e prioritariamente produzidos a partir de resíduos. O trabalho justifica-se pela necessidade de investigação de causas de danos ambientais e disponibilização de ferramentas biotecnológicas, que garantam o acesso a instrumentos que favoreçam a operação garimpeira em conformidade com os padrões de qualidade ambiental necessários a sadia qualidade de vida.

Biotecnologia e Hg na Mineração Artesanal de Ouro na Amazônia Legal

Uma vez, que, o emprego de biotecnologia objetiva formação, potencialização ou adaptação de funcionalidades de bioprodutos, assim denominados por sua origem em recursos naturais renováveis (Armstrong et al., 2014; Lima et al., 2022), seu emprego aspira o desenvolvimento ambientalmente sustentável ou controle de atividades produtivas ou não (Lima et al., 2022). O emprego de biotecnologia em produtos é essencial ao fortalecimento de cadeias produtivas, agregamento de valor econômico pela inserção de resíduos de produção no ciclo de desenvolvimento de novos produtos (Lima et al., 2022; Veiga, 2010).

No entanto, apesar de o mercado biotecnológico ser considerado potencialmente a futura matriz econômica dos Estados contidos no Bioma amazônico brasileiro, sua exploração ainda é considerada ínfima e sem uma estimativa real precificada (Oliveira et al., 2022).

Este cenário, de ainda pouco desenvolvimento de produtos biotecnológicos voltados à mineração de ouro, contribui para que a amalgamação por Hg no garimpo de ouro, seja ainda, o processo mais empregado para a obtenção do metal nobre (Bustamante et al., 2016). essa amalgama de Hg é utilizada na captura do ouro livre (Gerson et al., 2018), esse processo é chamado entre os garimpeiros de resumir o ouro (Veiga et al., 2002), é milenarmente aplicada na mineração artesanal (Donkor et al., 2006).

A amalgamação de ouro ainda é o processo de extração preferido por exigir menor controle e conhecimento técnico (Veiga et al., 2002). O mercúrio forma composto com ouro, sendo posteriormente separado por processo térmico (queima) (Fitzgerald and Gill, 1979). Com tudo, há grande perda de Hg para o meio ambiente, seja na emissão de vapor, ou na descarga de efluentes (Hilson et al., 2018).

A amalgamação com Hg é simples e barato (Veiga et al., 2002) e, se usado corretamente as emissões são insignificantes (Seccatore and de Theije, 2017), contudo, o não uso de processos e equipamentos que inibam a liberação de Hg para o meio ambiente torna a AGM, a atividade de maior emissão antrópica de Hg na natureza (Veiga et al., 2002, 2006), correlacionado a isto, o baixo esforço do minerador artesanal para a recuperação do Hg residual do processo de amalgamação do ouro, pode ser explicado pelo relativo baixo custo de obtenção do produto, frente a agilidade que o metal pesado confere ao processo de mineração do ouro (Drace et al., 2012).

A Convenção de Minamata é uma iniciativa das Nações Unidas, que objetiva a redução progressiva e eliminação do uso de Hg em atividades econômicas, entre elas a ASM e AGM, os trabalhos técnicos de instituição da convenção foram iniciados no ano de 2009, culminando em seu relatório final no ano de 2013, onde 140 países se tornaram signatários. Este instrumento de busca da redução do uso de Hg foi nomeado de Convenção de Minamata em decorrência da tragédia da Baía de Minamata, onde da população da cidade foi vítima de danos à saúde causados pelo lançamento de efluentes industriais contaminados por Hg. Quando metilado, o Hg recebe o potencial de bioacumulação através da cadeia trófica, seus principais efeitos são doenças neurotóxicas, debilidade das funções renais enfraquecimento muscular (Bose-O'Reilly et al., 2016; Hinton et al., 2003).

Como signatários da Convenção de Minamata, no Brasil, e muitos outros países em desenvolvimento, o uso de mercúrio na mineração não é ilegal, com tudo, o controle técnico do processo deve garantir a sua não liberação para o meio ambiente, seja por meio de vapor, ou seja em solução no efluente (Seccatore and de Theije, 2017; Sousa et al., 2011). O Brasil não é produtor de Hg, no entanto, o metal é importado para diversos fins, entre eles, a mineração artesanal, conforme relatório obtido por meio de consulta pública ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA N° Processo nº 02001.013927/2022-49 do portal da transparência, nos últimos 10 anos (2012-2022) foram importados de forma legal **183.922 kg** de mercúrio por entidades brasileiras, com tudo, relatórios da UNEP e diversos autores trazem números da ordem de centenas de toneladas de mercúrio lançados no meio ambiente pela atividade de AGM (Ferrante and Fearnside, 2020; UNEP, 2019; Veiga et al., 2002).

Produtos biotecnológicos: carvão ativado

Carvão ativado, na legislação brasileira, o carvão ativado é classificado como sólido inflamável de combustão espontânea, sendo considerado perigoso para o transporte está na Relação de Produtos Perigosos da Resolução ANTT nº 5.947/21, o carvão, de origem animal ou vegetal, está enquadrado na Classe de Risco 4.2 nº ONU 1361. A lei define que é responsabilidade do transportador checar a viabilidade e segurança do transporte, bem como verificar as limitações para o modal escolhido, estabelecer sua classificação, utilizar embalagem certificada, com etiqueta de risco compatível para a classe e divisão do produto, documentar e armazenar em condições seguras.

O carvão ativado é um material carbonoso poroso com elevada área superficial específica. Eles apresentam uma forma microcristalina, que sofreram um processamento para aumentar a porosidade interna. Possui uma porosidade bastante elevada e uma superfície de contato extremamente alta. Estas propriedades lhe conferem características especiais, garantindo grande capacidade de adsorção física de líquidos e gases (Bansal, R. C.; Donnet, J. B.; Stoekli. F.; 1995; Claudino, A.; Minozzo, A. P; 2000; Schettino, et al. 2009). Quando ativado, o carvão apresenta uma porosidade interna comparável a uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores e assim sucessivamente. Esta porosidade diferenciada é classificada segundo o tamanho em macro, meso e microporosidade (Claudino; Minozzo; 2000; RAMOS, et al.2009).

A ativação pode ser feita por dois tipos de processos: ativação física e ativação química. Na ativação física, o material carbonizado passa por gases de arraste contendo oxigênio combinado, normalmente H_2O e CO_2 , que se comportam como agentes oxidantes. A ativação química consiste em submeter o material carbonizado a reações secundárias, que têm como objetivo aumentar a área superficial.

Assim, ela ocorre a partir da impregnação do material não carbonizado com substâncias como ácido fosfórico, hidróxido de potássio e cloreto de zinco e posterior carbonização a temperaturas superiores a 673 K para remoção do reagente químico, expondo a estrutura porosa do carvão ativado. Em seguida, o agente ativante químico e seus produtos de decomposição são removidos, através da lavagem com água ou com uma solução ácido-básica, deixando livres os poros formados (Claudino, 2003; Nasrin, 2000; Pereira et al. 2008; Gregg, et al. 1982.). A ativação química tem maior rendimento, maior produtividade, melhor estrutura porosa e apresenta algumas vantagens em relação à ativação física (Sugumaran et al., 2012; Soares, 2001; Wu, et al., 2005). As etapas descritas acima para o processo de ativação química são ilustradas na Figura 1.



Figura 1 - Esquema representativo de como ocorre a ativação química. Fonte: Gregg; SING, 1982)

Propriedades do carvão ativado

A importância do uso do CA se dá porque se pode obter uma grande área superficial após o processo de ativação e uma vez ativado, o carvão apresenta uma porosidade interna comparável a uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores, logo apresenta uma elevada área superficial e porosidade altamente desenvolvida, o que lhe confere a capacidade de adsorver moléculas presentes tanto em fase líquida quanto gasosa. A apresentação de poros e suas características, como tamanho (diâmetro do poro), forma: aberto ou fechado e tipos, concedem propriedades específicas aos materiais porosos. Os materiais podem apresentar poros abertos ou

fechados, externos ou internos e ter diversas formas como mostrado na Figura 2. (Coelho; Pereira; 2002; Lowell; Shields, 1998).

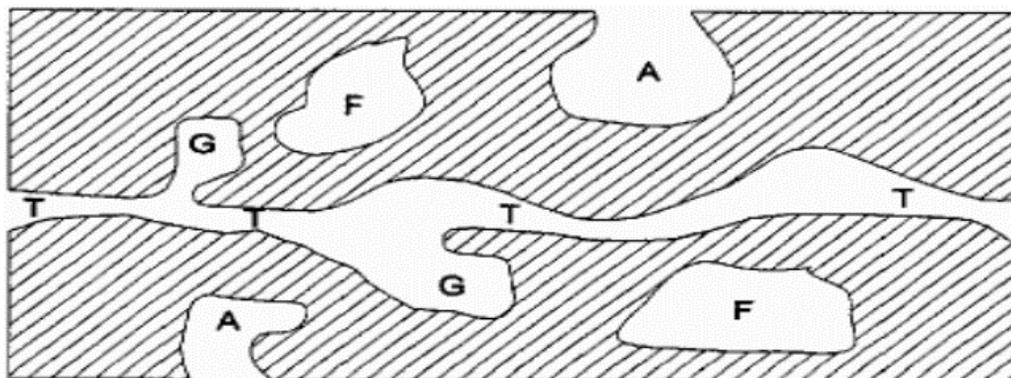


Figura Cap II 2 - Esquema apresentando poros com diferentes tamanhos, formas e tipos: (F)poros fechados; (A) poro aberto; (G) poro tipo gaiola e (T) poros abertos interconectados de transporte. Fonte: Coelho e Pereira (2002)

Além disso da classificação de tamanho, formas e tipos existe a classificação de diâmetro de acordo com faixa de tamanho do poro proposta pela IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada) conforme representado na Tabela 1.

Tabela Cap II 1 Classificação dos poros de acordo com seu tamanho, segundo a IUPAC.

Tipo de poro	Tamanho do poro	Função Principal
Microporos	entre 0,8 e 2 nm	Contribuem para a maioria da área superficial que proporciona alta capacidade de adsorção para moléculas de dimensões pequenas, tais como gases e solventes comuns.
Mesoporos	entre 2 e 50 nm	São importantes para a adsorção de moléculas grandes tais como corantes e proporcionam a maioria da área superficial para carvões impregnados com produtos químicos.
Macroporos	Diâmetro > 50 nm	São normalmente considerados sem importância para a adsorção e sua função

é servir como meio de transporte para as moléculas gasosas.



Figura Cap II 3 - Classificação de diâmetro de acordo com faixa de tamanho do poro. Fonte: Coelho e Pereira (2002)

Aplicação

Atualmente o carvão ativado é largamente empregado em vários ramos da indústria e dentre as principais aplicações, destaca-se o emprego na remoção de contaminantes indesejáveis presentes do meio aquoso.

Na mineração artesanal e de pequena escala, o carvão ativado tem contribuído para a migração do processo de mineração por amalgama de Hg, para a mineração por processo de lixiviação, que é quando o minério total é lixiviado com CN⁻ e o ouro solubilizado é adsorvido pelo carvão ativado (Bustamante et al., 2016; Veiga et al., 2014b).

Em aplicações com água, o tratamento da água regulada na lei Nº 9.966, de 28 de abril de 2000 dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional. Segundo Lurgi, (1995) e o tratamento da água com carvão ativado consiste na principal tecnologia do chamado terceiro estágio em processo de tratamento de água. A adsorção em carvão ativado promove a remoção de compostos tais como: pesticidas, herbicidas, agentes responsáveis por odor e sabor, corantes, solventes, desinfetantes, metais e gases dissolvidos etc. No caso de água potável, além da característica adsorvente de inorgânicos, o carvão ativado também é um substrato para fixação de microrganismos que consomem substâncias biodegradáveis.

Na legislação ambiental que regula a poluição do ar está a lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993 dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores o que leva a um

aumento considerável do mercado de purificação de gases por carvões ativados (Reinoso,1994). Óxido de ferro e zinco depositados em carvões ativados têm sido usados em filtros de cigarros para absorver cianeto de hidrogênio. Também o vapor de mercúrio no ar pode ser removido por carvão ativado (SOBRAL, L.G. ET AL, 1995) estas emissões são controladas graças às reações de oxidação (Christner e Walker, 1993)

Outras aplicações são remoção de odores em condicionadores de ar, depuradores de cozinha, máscara de gás, filtros de cigarro, remoção de óleo de ar comprimido e contaminantes em sistemas de refrigeração etc. O processo de recuperação de solventes é outro exemplo do emprego industrial de carvão ativado na fase gasosa, tanto o aspecto ecológico, quanto o aspecto econômico, ditam que em indústrias que operam e evaporam grandes quantidades de solventes, tais como impressão, limpeza a seco, pintura etc., é recomendada a recuperação dos vapores exauridos.

Áreas de especial interesse da atividade de mineração artesanal na Amazônia Legal

Quanto às lavras garimpeiras na Amazônia Legal, a Permissão de Lavra Garimpeira (PLG) é a autorização expedida pela Agência Nacional de Mineração para a mineração de lavra de minerais garimpáveis (quando é necessário menor investimento de recursos financeiros e tecnológicos para a exploração destes minerais), dentro deste âmbito, existem as Reservas Garimpeiras (RG), áreas que foram demarcadas por deterem maior ocorrência deste tipo de depósitos e ou jazidas minerárias, dentro das RG a prioridade de recebimento da PLG é de associações de garimpeiros e garimpeiros individuais.

Nos Estados da Amazônia Legal existem 8 (oito) RG ativas, compreendendo pouco mais de 33.000 Km², nestas RG existem 2176 PLG ativas, das quais 1834 são de mineração de ouro, a figura 4 demonstra a maior concentração destas PLG de extração de ouro no Estado do Mato Grosso.

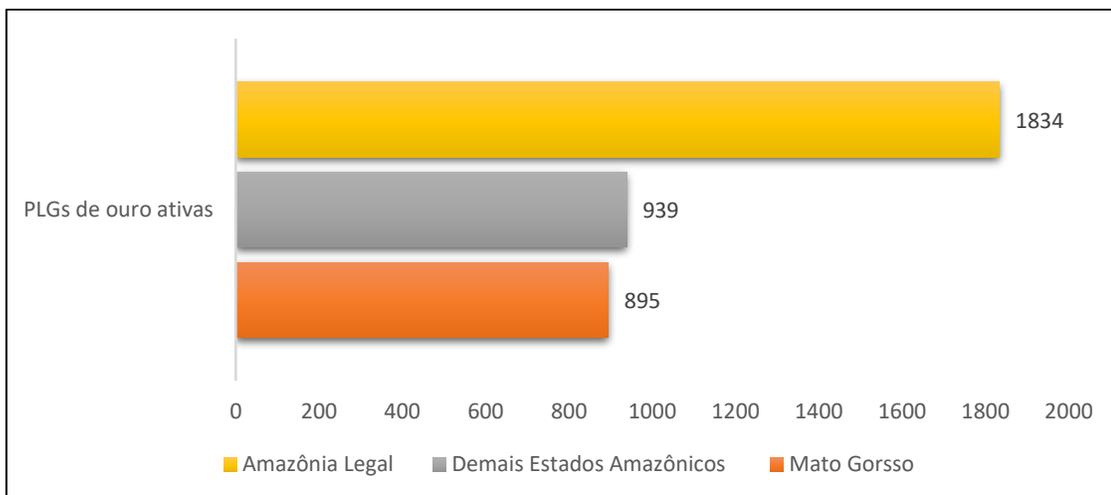


Figura 4- Estados da Amazônia Legal com 2176 PLG ativas, 1834 são de mineração de ouro e sua maior concentração de PLG de extração de ouro no Estado do Mato Grosso. Fonte: Silva (2022).

O número de PLG ativas, não significa que necessariamente seja áreas onde estejam ocorrendo extração de ouro, pois, a emissão da PLG é apenas uma etapa do processo de autorização à exploração de ouro, o garimpeiro ou a associação garimpeira outorgado pela ANM ainda deve passar pelo processo de licença ambiental regulamentada pelo Estado onde está localizada sua área de lavra garimpeira, somente após a comprovação da viabilidade técnica e financeira de arcar com os processos mitigatórios, condicionados pelo órgão ambiental licenciador, o garimpeiro estará autorizado a iniciar sua atividade de AGM.

Emprego biotecnológico do carvão ativado

Atualmente, temos visto aumento no número de pesquisas em busca de melhorar a recuperação de metais preciosos (Ledwaba and Mutemeri, 2018), isto demonstra maior atenção da comunidade científica para o desenvolvimento de novos materiais para produção de agentes utilizados na recuperação de ouro, prata e cobre em minas (Jain et al., 2016), o carvão ativado tem sido um dos principais produtos investigados, uma vez que, ele é fundamental no processo de recuperação de ouro lixiviado, meio pelo qual se pode substituir a amalgama por Hg (Rodrigues and Rubio, 2007; Velásquez-López et al., 2011).

O carvão ativado apresenta elevada superfície específica devido à altíssima quantidade de poros em sua estrutura, assim é empregado para captura de metais preciosos que se ligam a superfície de milhões de poros minúsculos. Em função disso, os carvões ativados são amplamente utilizados através do processo de adsorção (Veiga, et al 2015).

Os materiais mais comumente utilizados para fabricar carvão ativado são madeira, casca de coco, e sementes de frutas. A matéria-prima empregada influencia na aplicação final do carvão ativado. Os processos de fabricação de carvão ativado geram um material de alta porosidade interna e, portanto, de elevada superfície específica (Marsden e House, 1993).

São diversos os estudos utilizando carvão ativado para a remoção de metais do meio aquoso com excelentes propriedades adsorventes e baixo custo (CASTRO et al., 2009; PEREIRA et al., 2008; DIAS et al., 2007).

É fundamental destacar que uso da matéria-prima, resíduos agroindustriais, têm apresentado propriedades características semelhantes ou até superiores aos adsorventes convencionais para a remoção de poluentes presentes em sistemas aquosos (SALES et al., 2015; REFFAS et al., 2010; PEREIRA et al., 2008; DIAS et al., 2007; BUDINOVA et al., 2006).

O carvão ativado executa um papel fundamental na extração do ouro da mina, pois todo ouro que não for adsorvido pelo carvão ativado será perdido. Para garantir o melhor rendimento possível na extração, é crucial fazer uma seleção correta do tipo de carvão ativado que será utilizado (Veiga, et al 2015).

O carvão ativado é um material único, com propriedades que nenhuma outra classe de substância orgânica possui, diferindo de outros polímeros orgânicos por ter uma área superficial excepcionalmente maior e ser um bom condutor da eletricidade. Em geral matérias-primas com uma estrutura celular densa produzem um produto duro; por isso carvões fabricados a partir de cascas de coco são usados quase que exclusivamente na indústria extrativa do ouro; possuindo grande área superficial específica ($>1000 \text{ m}^2 \text{ kg}$) e alto grau de atividade na superfície. (JHA, M. C. et al., 1984; QUISPE, A. R.; SAMPAIO, C. H. et al., 1990;

Segundo Bentes, V. L. I., (2017) os carvões ativados preparados da mistura da biomassa impregnada com H_3PO_4 e pirolisada em forno mufla a 400 e 500 °C, respectivamente, apresentaram elevadas áreas superficiais específicas (904 a $1137 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) e presença de micro poros que contribuiu de forma significativa para elevada capacidade adsortiva do corante AM pelos CA's,

com remoção de 95,4 % do corante após 180 min de contato, sendo estes considerados bons adsorventes de poluentes orgânicos em sistemas aquosos. Sua elevada área de superfície e porosidade, com valores próximos às principais marcas comerciais de carvões utilizados na mineração de ouro fundamentou os testes para adsorção de ouro. Portanto este estudo teve como objetivo a aplicação de resíduos de produtos naturais amazônicos (carvão ativado de açaí e tucumã) ao desenvolvimento sustentável da mineração de garimpo artesanal.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta de água e solo de áreas de garimpo foram realizadas para verificar concentração de minerais: Água de igarapé limpo (distante de área de mineração); Solo (em área de mineração); Água próximo área de mineração, uma vez que, a composição geoquímica da amostra influenciar diretamente no composto lixiviado, o que pode comprometer os níveis de ouro adsorvido.

A área de obtenção de amostras de água, solo e minério, foi a Reserva Garimpeira Peixoto de Azevedo. A RG está localizada na região norte do Estado de Mato Grosso, compreende uma área de 3.000 (tres mil) km², foi instituída em pela Portaria DNPM n° 64 de 25/02/2011. Figura 5.

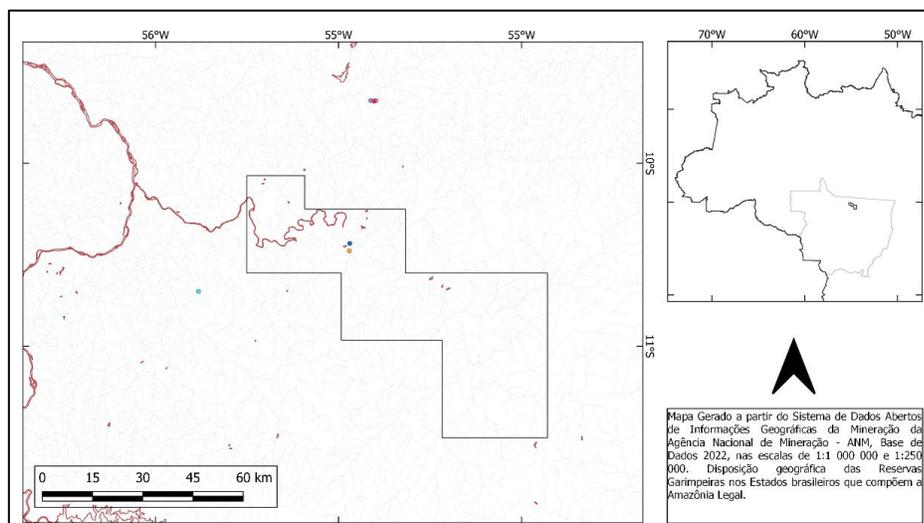


Figura 5 – localização e área de influência da Reserva Garimpeira Peixoto de Azevedo – Mato Grosso. Fonte: Autor

Preparo dos Carvões ativados

Todos os reagentes químicos utilizados neste trabalho foram grau P.A e não sofreram nenhuma purificação posterior. Todas as soluções foram preparadas com água deionizada com uma condutividade de 18,2 S.cm-1 obtida através da purificação do sistema Milli-Q (Millipore).

Os reagentes químicos utilizados nos procedimentos experimentais foram: Ácido fosfórico – H_3PO_4 (SigmaAldrich), Hidroxido de Amônia- NO_4OH (Nuclear).

Os carvões produzidos a partir dessa metodologia (com modificações – no range de temperatura para pirolise e lavagem do carvão pirolisado com Hidroxido de Amônia) foram aplicados para recuperação de ouro lixiviado na mineração artesanal via processo de adsorção pelo carvão ativado.

Os resíduos de frutos secos e processados por moagem das biomassas de caroço de açaí e endocarpo de tucumã, com granulometria de 30 mesh (figura) para desenvolvimento desse estudo foram gentilmente cedidas por Bentes, V. L. I., (2017). Figura 6.



Figura 6- Resíduos de frutos secos e processado por moagem das biomassas de caroço de açaí e endocarpo de tucumã. Fonte: autor.

Caroços de açaí e tucumã descartados nas feiras e/ou comércio da cidade de Manaus. Esse tipo de reaproveitamento agrega valor a matéria prima e diminui o acúmulo desses materiais residuais no meio ambiente, produzindo assim novos materiais de interesse biotecnológicos.

Os carvões ativados foram preparados a partir de resíduos de caroço de açaí e do endocarpo do tucumã, através de ativação química utilizando o ácido fosfórico como agente ativante, em seguida tratamento térmico em forno mufla.

A cada amostra de biomassa foi adicionado uma solução 25 % de ácido fosfórico, H_3PO_4 , na proporção 1:1 (m/m), respectivamente. Todas as misturas foram mantidas sob agitação por 4 h

a temperatura ambiente, seguido de aquecimento em estufa 110 °C por 24 h a 72 h para promover a impregnação do agente ativante na biomassa.

As amostras, duas amostras de carvão ativado caroço de Açai e duas amostras de carvão ativado de endocarpo de Tucumã, impregnadas por Ácido Fosfórico, foram pirolisadas em cadinhos devidamente tampados em forno mufla, com taxa de aquecimento de 100 °C min⁻¹ a temperaturas de ativação de 400 e 500 °C, com rampas de aquecimento programadas promovendo a carbonização e ativação simultânea. As amostras secas foram pesadas. Esquema de preparo na figura 7.

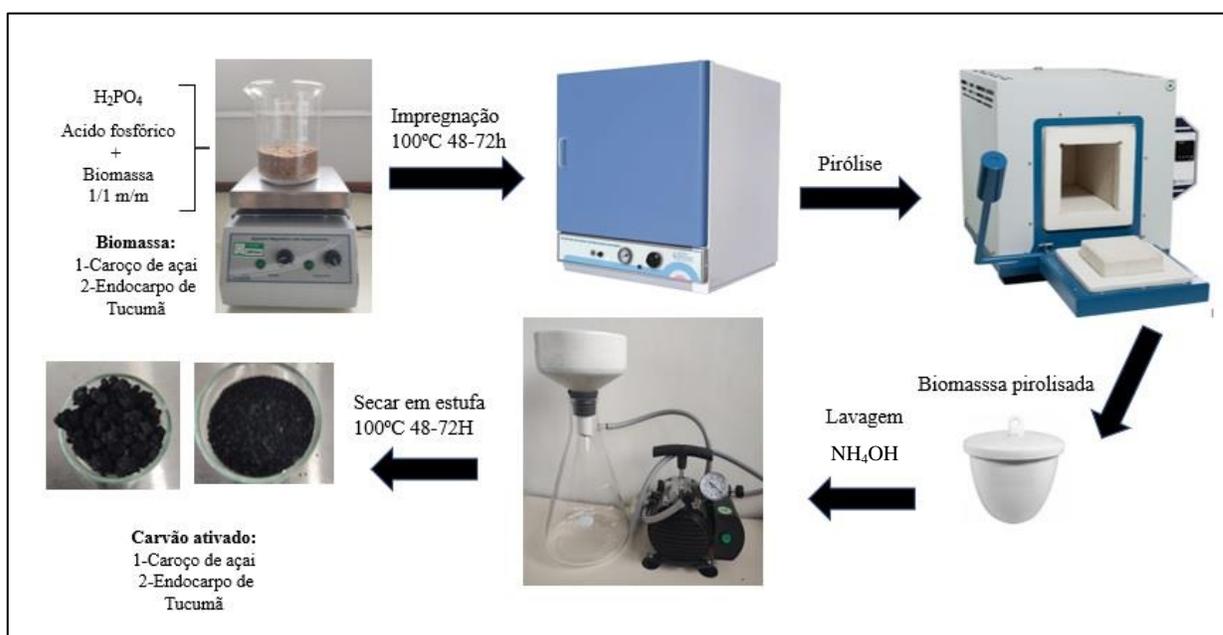


Figura 7 -. Esquema de preparação dos carvões ativados de caroço de açai e do endocarpo do tucumã utilizando o H_3PO_4 como agente ativante. Fonte: Silva (2022)

As amostras de carvão foram lavadas com uma solução aquosa de 0,1 mol. L⁻¹ Hidróxido de Amônio- NH_4OH . A razão sólido-líquido utilizada neste procedimento foi 1 g de carvão/100mL de solução e seguida de lavagem com água quente foi repetida por 5 vezes. Figura 8 “A” e “B”, Figura 9 “A” e “B”.

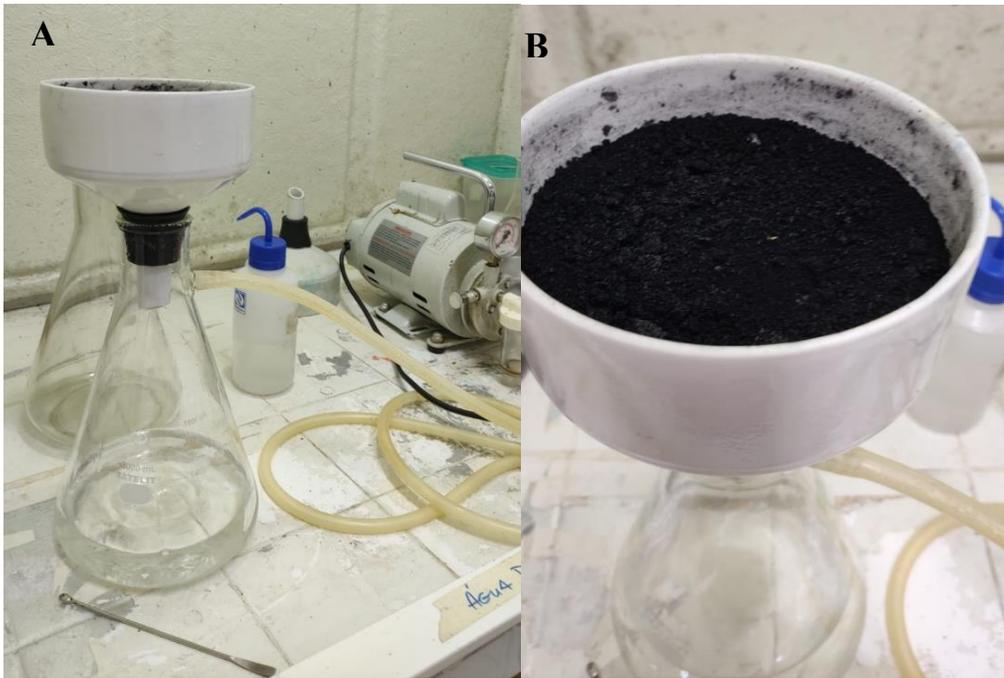


Figura 8 Sistema de lavagem do carvão após calcinação em mufla. Fonte: Silva (2022).



Figura 9 - Carvão ativado de caroço de açaí e endocarpo de tucumã. Fonte: Silva (2022)

Cianetação para recuperação do ouro por Lixiviação

O uso do cianeto diluído em água, até hoje, é o método favorito da grande maioria das mineradoras do mundo (Velásquez-López et al., 2011). O cianeto tem a capacidade de oxidar e dissolver o ouro produzindo um sal solúvel a base de ouro, sódio e cianeto. O ouro é posteriormente adsorvido em filtros de carvão ativado, extraído, purificado e fundido (McIntyre et al., 2018).

O uso da cianetação nas minas é extensivo e a produção mundial de cianeto de sódio supera as 500.000 toneladas ao ano (Veiga and Marshall, 2019). Infelizmente o cianeto de sódio é um composto altamente tóxico e pode ser letal ao homem, com tudo, representa menor risco de danos permanentes ao meio ambiente (Boadi et al., 2016; Veiga and Meech, 1995).

O cianeto é facilmente oxidável quando exposto ao meio ambiente e a certos minerais e compostos químicos, chamados, apropriadamente de cianicidas (Krisnayanti et al., 2016). Por este motivo, a cianetação é constantemente regenerada, recebendo adição de cianeto e cal para não perder a eficiência do processo (Goncalves et al., 2015). Este processo de regeneração é o principal custo da maioria das minas, custo esse que aumenta quando o sistema está sujeito ao cobre e materiais carbonosos (Lu, 2012) Figura 10.



Figura 10 - Processo de cianetação utilizado em minas de extração de ouro em Peixoto de Azevedo – Mato Grosso. Fonte: Lima et. al (2022).

O cianeto, quando lançado no meio ambiente tende a se oxidar em alguns dias, formando o cianato um produto menos tóxico que reage com carbonatos e é posteriormente neutralizado (Veiga et al., 2014b).

O carvão ativado é vastamente utilizado no procedimento de adsorção de metais na mineração devido às suas características texturais e natureza química (Farinas et al., 2009). Desse modo uso no beneficiamento de ouro para recuperação do metal solubilizado durante a lixiviação, basicamente apresenta-se em três etapas: Carregamento – adsorção do ciano complexo Au (CN)₂ nos poros do carvão. Eluição – dessorção do ouro, obtendo-se um licor mais concentrado que a solução original proveniente da cianetação. Produção – o ouro é extraído do licor rico através da eletrólise. Figura 11

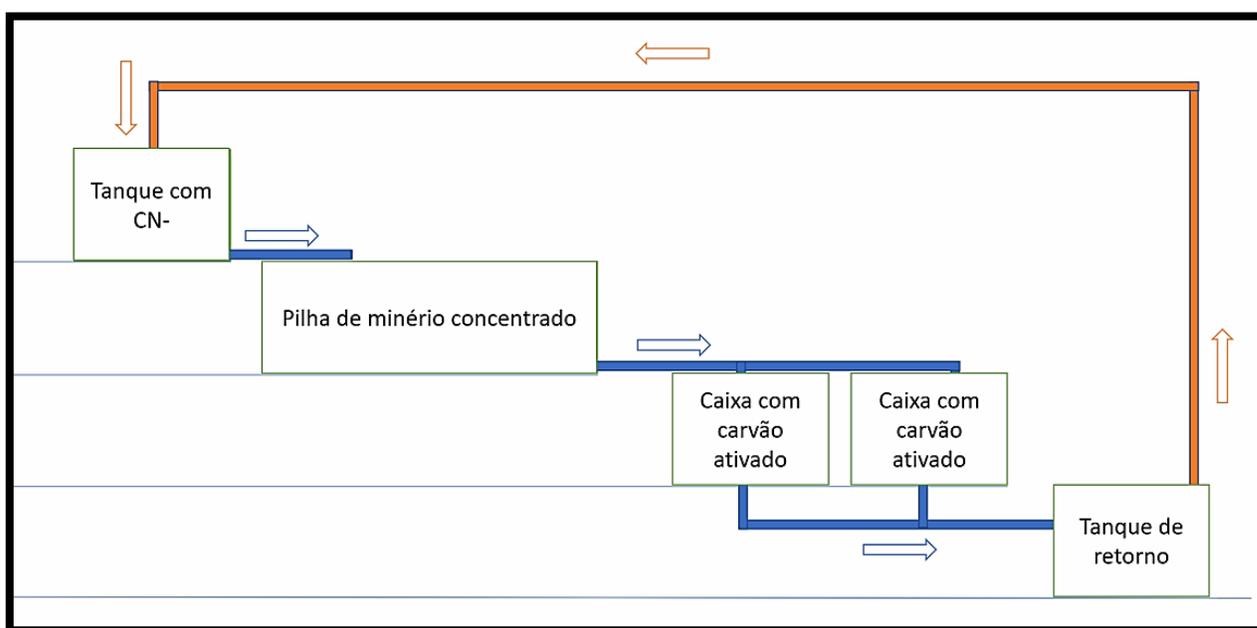


Figura 11 - Esquema do processo de adsorção de ouro em carvão ativado. Fonte: Silva 2022.

O processo de adsorção de ouro em carvão ativado pode ser realizado também em tanques do tipo CIP (carbon in pulp). Em cada tanque contendo carvão ativado há uma peneira, de forma a reter as partículas de carvão (circular de 20 mesh ou 0,8 mm). A transferência de carvão é feita em bateladas (de acordo com o perfil de produção) por meio de um sistema de bombas de rotor recuado, direcionando a polpa para a parte superior das peneiras. Tais peneiras retêm as partículas de carvão e permitem a passagem da polpa mais fina.

Nas minas de extração artesanal de ouro da região, é comum o exercício de fase preliminar ao sistema de lixiviação, esta prática consiste em batear do ouro livre e amalgamado por Hg, figura 12. No entanto, a lixiviação (retrabalho) de minerais amalgamados por Hg viabiliza a formação do composto $\text{Hg}(\text{CN})_2$ (cianeto de mercúrio) altamente tóxico (Veiga et al., 2014b), por este motivo o uso de Hg em no minério total a ser lixiviado é desaconselhado.



Figura 12 - Bateamento em garimpo de minas de extração artesanal de ouro na Reserva Garimpeira Peixoto de Azevedo. Fonte: Lima et. al (2022)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho possibilitou a avaliação dos teores naturais de metais em três ambientes distintos (água próximo de garimpo, água de igarapé distante da área de garimpo e solo de mineração). A partir desses resultados, têm-se uma referência do conteúdo de metais encontrados nesses tres ambientes o que contribui para análise das características de água e solos locais, que

futuramente poderão servir como parâmetro e subsídio para estudos em ambientes de área de mineração em garimpo, e poderá paramentar novos estudos com finalidade de aumento de eficiência de carvões adsorventes, uma vez que, possibilitará os ajustes metodológicos para direcionamento de afinidade à adsorção de AuCN (cianeto de ouro). A análise dos elementos presentes no ambiente de água e solo é importante pois a presença de outros elementos dissolvidos na solução também impacta a recuperação do ouro. Evitar concentrações de chumbo dissolvido acima de 60 a 100 mg/L, no caso de licores contendo de 1 a 10 mg Au/L, pois corre um grande recobrimento das partículas de zinco pelas de chumbo. Tabela 2.

Tabela 2 - Estão apresentados os resultados das concentrações médias dos elementos metálicos determinadas nas amostras de solos coletados na área de mineração em garimpo em Guarantã do Norte/Peixoto de Azevedo.

	Elementos Totais solo (mg kg ⁻¹)			Elementos Totais água (ppb)					
	S01	S02	S03	1.1	1.2	1.3	2.2	2.3	2.4
<i>Cr</i>	46,9	48,0	48,2	1,0	1,0	1,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5
<i>Mn</i>	1983,0	1876,9	1858,0	23,4	23,4	23,4	3,6	68,9	13,9
<i>Fe</i>	18984,3	18126,4	20231,6	1183,2	1183	1183	146,9	489,4	281,9
<i>Co</i>	100,7	100,0	122,3	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
<i>Ni</i>	23,1	22,7	25,6	0,9	0,91	0,92	< 0,5	< 0,5	< 0,5
<i>Cu</i>	325,7	258,2	343,9	2,1	2,11	2,0	1,1	1,0	0,9
<i>Zn</i>	76,9	61,5	36,9	3,7	3,7	3,7	1,3	1,1	1,6
<i>Al</i>	1627,2	1611,3	1518,7	4459,9	4459	4459	583,2	451,3	733,5
<i>Ag</i>	1,1	1,0	2,6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
<i>Pb</i>	15,2	14,3	15,5	1,6	1,6	1,6	0,6	0,6	< 0,5
<i>Na</i>	18,1	9,7	10,1	964,6	964,5	964,1	1463,8	1706,7	509,0
<i>Mg</i>	634,0	621,7	526,4	521,1	521,1	521,1	96,4	393,0	278,2
<i>Ca</i>	327,5	417,1	309,3	893,4	893,3	893,1	96,0	688,8	481,3
<i>Ba</i>	756,1	782,5	834,3	40,0	40,1	40,2	6,6	31,0	14,8
<i>K</i>	194,2	185,2	165,6	2334,1	2334,0	2334,2	1726,7	2584,2	1243,2
<i>Cd</i>	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5

Fonte: Silva (2022)

Os carvões ativados destinados à adsorção de ouro disponíveis no mercado, alcançam, em média 1.200 m² g⁻¹ de área superficial (Smith et al., 2018), por tanto, em análise da tabela 02 de avaliação de área específica e volume de poros gerada por Bentes, (2017), foi possível afirmar que, os carvões ativados produzidos a partir de caroços de açaí e tucumã, segundo a metodologia de Bentes, tem propriedades similares aos carvões empregados na mineração de ouro lixiviado. Tabela 3.

Vc precisa falar um texto p chamar a tabela e suas informações, pq se não a tabela fica solta e aparece do nada, tipo

Tabela 3 - Área superficial e volume de poros das amostras de carvão ativado

Amastra	ASE/m² g⁻¹	Volume de Poros/CM³ g⁻¹
CA-comercial	766	0,66
CA400-AC	904	0,63
CA500-AC	1137	1,16
CA400-TC	1104	0,71
CA500-TC	1123	,82

Fonte: Bentes (2017)

Diante dos resultados de porosidade e volume de área dos carvões de açaí e tucumã. Foram realizados teste de adsorção de ouro lixiviado com os carvões de caroços de açaí, tucumã e carvão comercial utilizado nas minas visitadas durante a pesquisa.

Foram coletadas tres amostras de minério em duas minas diferentes, totalizando seis amostras. As amostras foram colhidas do minério concentrado utilizados na montagem das pias de lixiviação das minas. Cada amostra foi dividida em uma réplica com a finalidade de repetição de teste. A concentração de ouro na amostra foi quantificada meio de varredura de espectrometria de absorção atômica, com a finalidade de quantificar o volume de ouro nas amostras e quantificar a eficiência de adsorção em dos carvões de açaí e tucumã em porcentagem. As amostras de carvões ficaram em contato com o licor lixiviado em recipiente mecanicamente fechados e sem agitação, e as leituras de concentração de ouro no licor foram realizadas em tres intervalos, a primeira leitura de adsorção foi realizada com 12 h, a segunda leitura foi realizada com 24 h e a terceira leitura foi realizada em 48 h. Portanto o uso do carvão ativado para recuperação de ouro a partir de soluções cianetadas. Conforme tabela 4.

Tabela 4 - Total em % de adsorção de ouro em carvão ativado

Mina	Ensaio	% de adsorção 12 h	% de adsorção 24 h	% total adsorvido 48 h
Mina 1	CA	23	60	100
Mina 1	CT	21	55	90
Mina 1	CC	20	50	95
Mina 2	CA	19	49	97
Mina 2	CT	21	49	90
Mina 2	CC	20	50	95

Fonte: Silva (2022).

Conclusões

A mineração artesanal de ouro na Amazônia Legal é a atividade antrópica de maior relevância para a emissão e descarga de Hg na natureza. A atividade também representa importante alternativa de ocupação de mão de obra e geração de renda na região. Com tudo, o exercício ambientalmente adequado da atividade é condicionado ao efetivo emprego de ferramentas e produtos biotecnológicos que possibilitem a execução social, ambiental e economicamente viável da atividade, uma vez que, o emprego adequado de instrumentos mitigatórios, desenvolvidos especificamente ou adaptados para a atividade, como vistos nos carvões testados nesta pesquisa, garantem ao minerador a segurança necessária ao desempenho saudável da sua atividade, e reduz exponencialmente os riscos da atividade ao meio ambiente.

Os carvões testados em laboratório nesta pesquisa apresentaram resultados promissores para testes em campo, ambos apresentaram eficiência aproximada aos carvões utilizados comercialmente. Sendo que o carvão de açaí apresentou maior eficiência no teste de Au adsorvido. O carvão de tucumã apresentou também excelente adsorção no teste de adsorção, contudo, com resultados um pouco abaixo dos demais carvões. O carvão comercial testado apresentou menor eficiência do que o carvão de açaí no teste no mesmo tempo. A diferença de eficiência dos carvões para adsorção de ouro lixiviados de minas diferentes pode ter sido potencialmente influenciada pela interferência de cianicidas, com tudo, são necessários testes adicionais para validação desta tese.

O tempo de contato é um parâmetro importante porque este fator indica a melhor eficiência dos carvões e foi possível verificar que a recuperação aumenta rapidamente durante os estágios iniciais de adsorção do ouro.

Destacamos que a principal diferença física entre os carvões desenvolvidos por esta pesquisa é o carvão da marca comercial é a granulometria. Por terem sido desenvolvidos inicialmente para sistemas de filtro para a captura de azul de metileno, os carvões de açai e tucumã foram produzidos em menor granulometria do que o carvão comercial. Sendo esta, uma importante característica a ser ajustada para testes futuros. A granulometria é fundamental também para a fase de dessorção, uma vez que, o carvão carregado com licor de ouro lixiviado é posicionado em sistema de coluna de filtro para a recuperação, conforme demonstrado nas figuras 13 e 14.



Figura 13 – Fluxo esquemático de dessorção do ouro carregado no carvão. Fonte: Silva (2022)

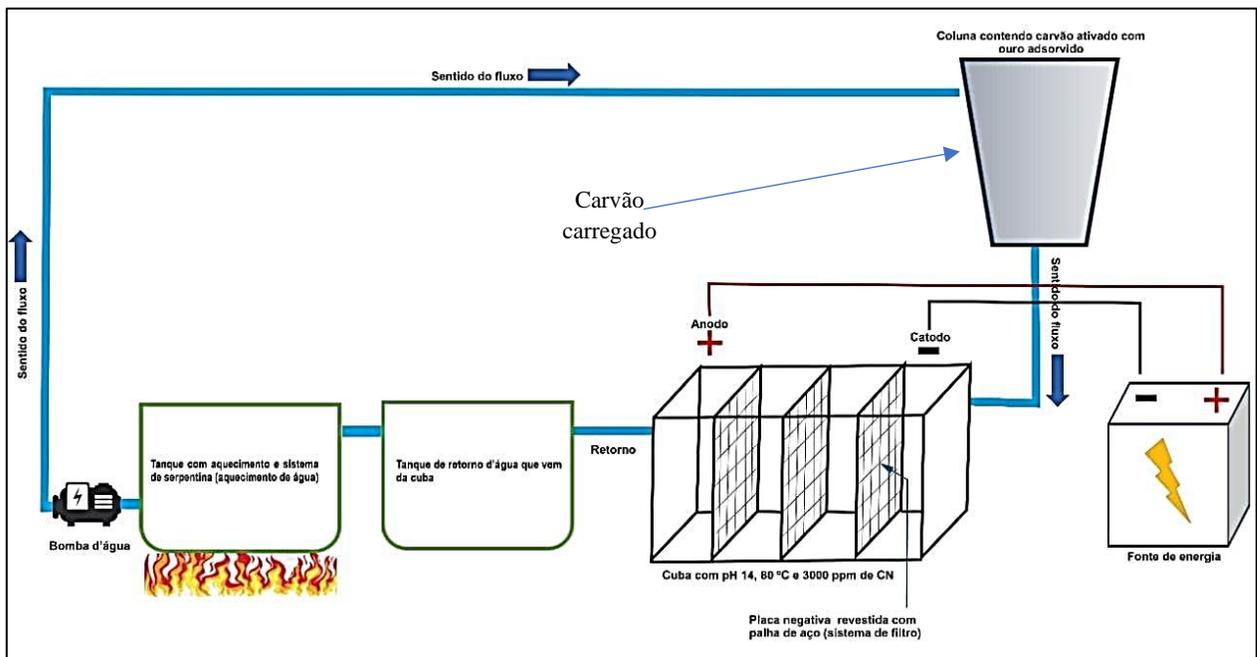


Figura 4 – Fluxo esquemático de dessorção do ouro carregado no carvão. Fonte: Silva (2022)

Diante dos resultados, podemos afirmar a necessidade de ajustes metodológicos na produção dos carvões, e que, as matérias primas utilizadas apresentaram viabilidade de seu emprego na produção de carvão ativado para teste de campo e conseqüentemente atender o mercado de mineração artesanal. Evidencia-se que, em comprovando-se a eficiência dos bioprodutos em testes de campo, pode-se ser gerado ciclo produtivo capaz valorização da cadeia produtiva destas duas frutas amazônicas, podendo resultar em desenvolvimento econômico de comunidades produtoras desta matéria prima, e diminuição da pressão ambiental gerada pelo descarte destes em sistemas de disposição final de resíduos.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

A mineração artesanal na Amazônia legal tem sido objeto de intensos debates, sociais, políticos e acadêmicos. Reflexo destes debates, a legislação brasileira para mineração artesanal tem explicitado instrumentos restritivos com maior frequência, do que proposto mecanismos de acesso a tecnologias que potencialize o emprego ambientalmente adequado da atividade de AGM na Amazônia.

Este cenário tem refletido também no apagão de informações, em consulta aos órgãos federais e estaduais, reguladores da atividade de AGM no Brasil, foi constatado a impossibilidade de aferir números referentes exercício da atividade na Amazônia Legal.

Diante destas falhas no setor de regulação da atividade, o emprego indiscriminado e de Hg na AGM representa potencial risco de contaminação do meio ambiente. Com tudo, tem se notado movimento acadêmico na investigação de produtos que componham processos de lixiviação na extração de ouro, que é uma das maneiras de reduzir o emprego de Hg na atividade.

A busca por desenvolver e empregar bioprodutos para a redução do uso de Hg na AGM tem apresentado resultados significativos, uma vez que, os bioprodutos (carvões ativados) produzidos a partir de resíduos agroflorestais amazônicos contribui para a potencialização do mercado biotecnológico na Amazônia.

TRABALHOS FUTUROS

- Curadoria de dados oficiais nas esferas federais e estaduais com a finalidade de diagnosticar números precisos quanto a PLG e garimpeiros em atividade na região Amazônica;
- Adequar metodologia de produção dos carvões ativados para oferta do produto com granulometria comum à atividade de adsorção de ouro;
- Analisar interferência de cianicidas na adsorção de ouro em nossos carvões em menor intervalo de tempo;
- Aplicar teste dos carvões em campo em processos de lixiviação em pilha;
- Aplicar teste dos carvões em campo em processos de lixiviação em tanques agitados.

REFERÊNCIAS

- Alves, D.S., 2013. A Ecologia como parâmetro da Geopolítica -- O legado de Bertha Becker no Campo dos Estudos Ambientais na Amazônia. Espaço Aberto. <https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2013.2116>
- Andrew, J.S., 2003. Potential application of mediation to land use conflicts in small-scale mining. *J. Clean. Prod.* [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00032-X](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00032-X)
- Armstrong, R., Baillie, C., Cumming-Potvin, W., 2014. Mining and communities: Understanding the context of engineering practice. *Synth. Lect. Eng. Technol. Soc.* <https://doi.org/10.2200/S00564ED1V01Y201401ETS021>
- Artaxo, P., Calixto De Campos, R., Fernandes, E.T., Martins, J. V., Xiao, Z., Lindqvist, O., Fernández-Jiménez, M.T., Maenhaut, W., 2000. Large scale mercury and trace element measurements in the Amazon basin. *Atmos. Environ.* [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00106-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00106-0)
- Baena, O.J.R., Aristizábal, G., Pimentel, M.S., Flórez, C.A., Argumedo, C.E., 2021. Waste Management and the Elimination of Mercury in Tailings from Artisanal and Small-Scale Gold Mining in the Andes Municipality of Antioquia, Colombia. *Mine Water Environ.* 40. <https://doi.org/10.1007/s10230-020-00728-0>
- Baena, Ó.J.R., Mendoza, L.E.M., 2021. Sustainability of the artisanal and small-scale gold mining in northeast antioquia-colombia. *Sustain.* 13. <https://doi.org/10.3390/su13169345>
- Baltz, R.H., 2017. Gifted microbes for genome mining and natural product discovery. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* <https://doi.org/10.1007/s10295-016-1815-x>
- Bansah, K.J., Dumakor-Dupey, N.K., Kansake, B.A., Assan, E., Bekui, P., 2018. Socioeconomic and environmental assessment of informal artisanal and small-scale mining in Ghana. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.150>
- Barbieri, J.C., Silva, D. da, 2011. Desenvolvimento sustentável e educação ambiental: uma trajetória comum com muitos desafios. *RAM. Rev. Adm. Mackenzie* 12, 51–82. <https://doi.org/10.1590/s1678-69712011000300004>
- Becker, B.K., 2005. Geopolítica da Amazônia. *Estud. Avançados.* <https://doi.org/10.1590/s0103-40142005000100005>
- Bentes, V.L.I., 2017. Preparação e caracterização de compósitos a base de fosfatos de ferro

- suportados em carvões ativados de resíduos de caroços de açaí e do endocarpo de tucumã para aplicação ambiental. Universidade Federal do Amazonas.
- Betancur-Granados, N., Molina, J.E., Pöllmann, H., Tobón, J.I., Restrepo-Baena, O.J., 2021. Influence of metallic precursors in the mineralogy and reactivity of belite cement clinkers obtained by flame spray pyrolysis. *Mater. Today Commun.* 26. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101917>
- Biswas, A., Blum, J.D., Klaue, B., Keeler, G.J., 2007. Release of mercury from rocky mountain forest fires. *Global Biogeochem. Cycles.* <https://doi.org/10.1029/2006GB002696>
- Boadi, S., Nsor, C., Acquah, E., Antobre, O., 2016. An analysis of illegal mining on the Offin shelterbelt forest reserve, Ghana: Implications on community livelihood. *J. Sustain. Min.* 15. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2016.12.001>
- Bolivia, 2017. Código Boliviano de Mineração.
- Bose-O'Reilly, S., Schierl, R., Nowak, D., Siebert, U., William, J.F., Owi, F.T., Ir, Y.I., 2016. A preliminary study on health effects in villagers exposed to mercury in a small-scale artisanal gold mining area in Indonesia. *Environ. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.04.007>
- Bustamante, N., Danoucaras, N., McIntyre, N., Díaz-Martínez, J.C., Restrepo-Baena, O.J., 2016. Review of improving the water management for the informal gold mining in Colombia. *Rev. Fac. Ing.* 2016. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n79a16>
- Casa Civil, 1967. Código de Minas [WWW Document]. planalto.gov. URL http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del0227compilado.htm
- Castro, C.S., Guerreiro, M.C., Oliveira, L.C.A., Gonçalves, M., 2009. Remoção de compostos orgânicos em água empregando carvão ativado impregnado com óxido de ferro: ação combinada de adsorção e oxidação em presença de H₂O₂. *Quim. Nova* 32. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422009000600039>
- Chen, C.Y., Driscoll, C.T., Eagles-Smith, C.A., Eckley, C.S., Gay, D.A., Hsu-Kim, H., Keane, S.E., Kirk, J.L., Mason, R.P., Obrist, D., Selin, H., Selin, N.E., Thompson, M.R., 2018. A Critical Time for Mercury Science to Inform Global Policy. *Environ. Sci. Technol.* <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02286>
- Cleary, D., 1990. Anatomy of the Amazon Gold Rush, *Anatomy of the Amazon Gold Rush.* <https://doi.org/10.1007/978-1-349-11247-0>
- Cleary, D., Cleary, D., 1990. Serra Pelada: The Gold Rush on the National Stage, in: *Anatomy of*

- the Amazon Gold Rush. https://doi.org/10.1007/978-1-349-11247-0_7
- da Costa Lima, G.F., 2009. Educação ambiental crítica: Do socioambientalismo às sociedades sustentáveis. *Educ. e Pesqui.* 35. <https://doi.org/10.1590/S1517-97022009000100010>
- Donkor, A.K., Bonzongo, J.C., Nartey, V.K., Adotey, D.K., 2006. Mercury in different environmental compartments of the Pra River Basin, Ghana. *Sci. Total Environ.* 368. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.046>
- Drace, K., Kiefer, A.M., Veiga, M.M., Williams, M.K., Ascari, B., Knapper, K.A., Logan, K.M., Breslin, V.M., Skidmore, A., Bolt, D.A., Geist, G., Reidy, L., Cizdziel, J. V., 2012. Mercury-free, small-scale artisanal gold mining in Mozambique: Utilization of magnets to isolate gold at clean tech mine. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.022>
- Esdaile, L.J., Chalker, J.M., 2018. The Mercury Problem in Artisanal and Small-Scale Gold Mining. *Chem. - A Eur. J.* <https://doi.org/10.1002/chem.201704840>
- Farias, A.B., Andrade, L.N.P. da S., 2020. Gold exploration in the municipality of peixoto de azevedo, mato grosso, brazil: A historical, socioeconomic and environmental analysis. *Rev. Geogr. Venez.* 61.
- Farinas, C.S., Santos, R.R.M. dos, Neto, V.B., Pessoa, J.D.C., 2009. Aproveitamento do caroço do açaí como substrato para produção de enzimas por fermentação em estado sólido. *Bol. Pesqui. e Desenvol.*
- Ferrante, L., Fearnside, P.M., 2020. The Amazon: biofuels plan will drive deforestation. *Nature.* <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00005-8>
- Ferraz, I.D.K., Didonet, A.A., 2014. Tucumãzeiro. *Rev. Bras. Frutic.* 36. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-36-21/13>
- Ferreira, E. de S., Lucien, V.G., Amaral, A.S., Silveira, C. da S., 2008. Caracterização físico-química do fruto e do óleo extraído de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart). *Aliment. e Nutr.* 19.
- Fitzgerald, W.F., Gill, G.A., 1979. Subnanogram Determination of Mercury by Two-Stage Gold Amalgamation and Gas Phase Detection Applied to Atmospheric Analysis. *Anal. Chem.* 51. <https://doi.org/10.1021/ac50047a030>
- Gerson, J.R., Driscoll, C.T., Hsu-Kim, H., Bernhardt, E.S., 2018. Senegalese artisanal gold mining leads to elevated total mercury and methylmercury concentrations in soils, sediments, and rivers. *Elementa.* <https://doi.org/10.1525/elementa.274>

- Goix, S., Maurice, L., Laffont, L., Rinaldo, R., Lagane, C., Chmeleff, J., Menges, J., Heimbürger, L.E., Maury-Brachet, R., Sonke, J.E., 2019. Quantifying the impacts of artisanal gold mining on a tropical river system using mercury isotopes. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.036>
- Goncalves, A., Bernardo, R., Veiga, M., 2015. Implementing Integrated Measures for Minimizing Releases from Artisanal Gold Mining, Implementing Integrated Measures for Minimizing Releases from Artisanal Gold Mining - Characterization of ASGM Processing Centers. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Guedron, S., Grimaldi, M., Grimaldi, C., Cossa, D., Tisserand, D., Charlet, L., 2011. Amazonian former gold mined soils as a source of methylmercury: Evidence from a small scale watershed in French Guiana. *Water Res.* <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.02.022>
- Hentschel, T., Hruschka, F., Priester, M., 2002. Global report on artisanal and small-scale mining, Mining, Minerals and Sustainable Development.
- Hilson, G., 2006. Abatement of mercury pollution in the small-scale gold mining industry: Restructuring the policy and research agendas. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.065>
- Hilson, G., 2002. The environmental impact of small-scale gold mining in Ghana: Identifying problems and possible solutions. *Geogr. J.* <https://doi.org/10.1111/1475-4959.00038>
- Hilson, G., Zolnikov, T., Ortiz, D., Kumah, C., 2018. Formalizing artisanal gold mining under the Minamata convention: Previewing the challenge in Sub-Saharan Africa. *Environ. Sci. Policy* 85. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.03.026>
- Hinton, J.J., Veiga, M.M., Veiga, A.T.C., 2003. Clean artisanal gold mining: A utopian approach? *J. Clean. Prod.* [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00031-8](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00031-8)
- IBGE, 2020. Amazônia Legal [WWW Document]. *Inst. Bras. Geogr. e Estatística*.
- Jain, A., Balasubramanian, R., Srinivasan, M.P., 2016. Hydrothermal conversion of biomass waste to activated carbon with high porosity: A review. *Chem. Eng. J.* <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.08.014>
- Krisnayanti, B., Sukartono, S., Afandi, Y., Suheri, H., Anderson, C., Ekawanti, A., 2016. Phytomining for artisanal gold mine tailings management. *Minerals* 6. <https://doi.org/10.3390/min6030084>
- Ledwaba, P., Mutemeri, N., 2018. Institutional gaps and challenges in artisanal and small-scale

- mining in South Africa. *Resour. Policy* 56. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.11.010>
- Lima, R.G. de, Silva, R.B. da, Lima, H.R. da S. de, Hanada, R.E., Azevedo, J.L. de, 2022. Cianeto de Mandioca: viabilidade econômica do uso de manipueira para erradicação do mercúrio na mineração, e proposta para Bioeconomia Circular na Amazônia, Brasil. *Res. Soc. Dev.* 11, e43211729981. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.29981>
- Lu, J.L., 2012. Occupational health and safety in small scale mining: Focus on women workers in the Philippines. *J. Int. Womens. Stud.*
- Malm, O., 1998. Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon. *Environ. Res.* <https://doi.org/10.1006/enrs.1998.3828>
- McIntyre, N., Angarita, M., Fernandez, N., Camacho, L.A., Pearse, J., Huguet, C., Baena, O.J.R., Ossa-Moreno, J., 2018. A framework for assessing the impacts of mining development on regional water resources in Colombia. *Water (Switzerland)* 10. <https://doi.org/10.3390/w10030268>
- McIntyre, N., Bulovic, N., Cane, I., McKenna, P., 2016. A multi-disciplinary approach to understanding the impacts of mines on traditional uses of water in Northern Mongolia. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.092>
- Menéndez-Díaz, J.A., Martín-Gullón, I., 2006. Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation. *Interface Sci. Technol.* 7.
- MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL – MPF., 2020. Mineração ilegal de ouro na Amazônia: marcos jurídicos e questões controversas. MPF, Brasília.
- Moreno-Brush, M., Rydberg, J., Gamboa, N., Storch, I., Biester, H., 2016. Is mercury from small-scale gold mining prevalent in the southeastern Peruvian Amazon? *Environ. Pollut.* <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.038>
- Niane, B., Devarajan, N., Poté, J., Moritz, R., 2019. Quantification and characterization of mercury resistant bacteria in sediments contaminated by artisanal small-scale gold mining activities, Kedougou region, Senegal. *J. Geochemical Explor.* <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.106353>
- Nogueira, E.M., Fearnside, P.M., Nelson, B.W., Barbosa, R.I., Keizer, E.W.H., 2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *For. Ecol. Manage.* 256. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.07.022>

- Oliveira, R.F.P., Lasmar, D.J., Mafra, R.Z., Filho, A. de O.C., Oliviera, S. dos S., 2022. O desenvolvimento da biotecnologia industrial nos processos produtivos no estado do Amazonas. *Brazilian J. Dev.* 57836–57858. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n8-195>
- Pimentel, M.S., Flórez, C.A., Jaime, O., Baena, R., Restrepo Baena, O.J., 2019. International interdisciplinary collaboration: Artisanal and small scale gold mining and Mercury contamination in Colombia. *JIS J. Interdiscip. Sci.*
- Ramankutty, N., Gibbs, H.K., Achard, F., Defries, R., Foley, J.A., Houghton, R.A., 2007. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. *Glob. Chang. Biol.* <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01272.x>
- Rice, K.M., Walker, E.M., Wu, M., Gillette, C., Blough, E.R., 2014. Environmental mercury and its toxic effects. *J. Prev. Med. Public Heal.* <https://doi.org/10.3961/jpmph.2014.47.2.74>
- Rodrigues, R.T., Rubio, J., 2007. DAF-dissolved air flotation: Potential applications in the mining and mineral processing industry. *Int. J. Miner. Process.* <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2006.07.019>
- Roulet, M., Lucotte, M., Canuel, R., Farella, N., Courcelles, M., Guimarães, J.R.D., Mergler, D., Amorim, M., 2000. Increase in mercury contamination recorded in lacustrine sediments following deforestation in the central Amazon. *Chem. Geol.* [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(99\)00172-2](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(99)00172-2)
- Sakamoto, M., Tatsuta, N., Izumo, K., Phan, P.T., Vu, L.D., Yamamoto, M., Nakamura, M., Nakai, K., Murata, K., 2018. Health impacts and biomarkers of prenatal exposure to methylmercury: Lessons from Minamata, Japan. *Toxics.* <https://doi.org/10.3390/toxics6030045>
- Salo, M., Hiedanpää, J., Jounela, P., Karlsson, T., CárcamoÁvila, L., RumrillGarcía, R., Kotilainen, J., 2016. Local perspectives on the formalization of artisanal and small-scale mining in the Madre de Dios gold fields, Peru. *Extr. Ind. Soc.* 3. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2016.10.001>
- Schudel, G., Kaplan, R., Adler Miserendino, R., Veiga, M.M., Velasquez-López, P.C., Guimarães, J.R.D., Bergquist, B.A., 2019. Mercury isotopic signatures of tailings from artisanal and small-scale gold mining (ASGM) in southwestern Ecuador. *Sci. Total Environ.* 686, 301–310. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.004>
- Schudel, G., Miserendino, R.A., Veiga, M.M., Velasquez-López, P.C., Lees, P.S.J., Winland-Gaetz, S., Davée Guimarães, J.R., Bergquist, B.A., 2018. An investigation of mercury sources

- in the Puyango-Tumbes River: Using stable Hg isotopes to characterize transboundary Hg pollution. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.081>
- Schumacher, E.F., 1973. Small is beautiful, in: *Economics as If People Mattered*. Blond & Briggs, London.
- Scliar, C., 1996. *Geopolítica das Minas do Brasil. A Importância da Mineração Para a Sociedade*. Rio de Janeiro.
- Seccatore, J., de Theije, M., 2017. Socio-technical study of small-scale gold mining in Suriname. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.119>
- Seccatore, J., Veiga, M., Origliasso, C., Marin, T., De Tomi, G., 2014. An estimation of the artisanal small-scale production of gold in the world. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.003>
- Selin, N.E., 2009. Global biogeochemical cycling of mercury: A review. *Annu. Rev. Environ. Resour.* <https://doi.org/10.1146/annurev.environ.051308.084314>
- Skelly, A.N., Sato, Y., Kearney, S., Honda, K., 2019. Mining the microbiota for microbial and metabolite-based immunotherapies. *Nat. Rev. Immunol.* <https://doi.org/10.1038/s41577-019-0144-5>
- Smith, N., Lucena, J., Smith, J., Restrepo Baena, O.J., Aristizabal, G., Delgado, A., 2018. Social Dimension of the Successful Development of Mining Projects – a Focus on Artisanal and Small-Scale Mining. *Int. J. Georesources Environ.* <https://doi.org/10.15273/ijge.2018.03.017>
- Smits, K.M., McDonald, L., Smith, N.M., Gonzalez, F., Lucena, J., Martinez, G., Restrepo, O.J., Rosas, S., 2020. Voces Mineras: Clarifying the future of artisanal and small-scale mining collaborations. *Extr. Ind. Soc.* <https://doi.org/10.1016/j.exis.2019.12.003>
- Sousa, R., Veiga, M., Van Zyl, D., Telmer, K., Spiegel, S., Selder, J., 2011. Policies and regulations for Brazil's artisanal gold mining sector: Analysis and recommendations. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.12.001>
- Steckling, N., Tobollik, M., Plass, D., Hornberg, C., Ericson, B., Fuller, R., Bose-O'Reilly, S., 2017. Global Burden of Disease of Mercury Used in Artisanal Small-Scale Gold Mining. *Ann. Glob. Heal.* <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2016.12.005>
- Suhartini, S., Abubakar, A., 2017. Socio economic impacts and policy of artisanal small-scale gold mining in relation to sustainable agriculture: a case study at Sekotong of West Lombok. *J. Degrad. Min. Lands Manag.* <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2017.043.789>

- Telmer, K.H., Veiga, M.M., 2009. World emissions of mercury from artisanal and small scale gold mining, in: *Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere: Emissions, Measurements and Models*. https://doi.org/10.1007/978-0-387-93958-2_6
- Thomas, M.J., Veiga, M.M., Marshall, B.G., Dunbar, W.S., 2019. Artisanal gold supply chain: Measures from the Ecuadorian Government. *Resour. Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101505>
- Torkaman, P., Veiga, M.M., de Andrade Lima, L.R.P., Oliveira, L.A., Motta, J.S., Jesus, J.L., Lavkulich, L.M., 2021. Leaching gold with cassava: An option to eliminate mercury use in artisanal gold mining. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127531>
- Uchima, J.S., Restrepo-Baena, O.J., Tobón, J.I., 2016. Mineralogical evolution of portland cement blended with metakaolin obtained in simultaneous calcination of kaolinitic clay and rice husk. *Constr. Build. Mater.* 118. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.063>
- UNEP, 2020. Artisanal and small-scale gold mining. global mercury partnership [WWW Document].
- UNEP, 2019. Global Mercury Assessment 2018. UN Environment Programme, Chemicals. UN Environ. Program. Chem. Heal. Branch Geneva. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01246>
- Veiga, M.M. da Silva, A.R.B., Hinton, J.J., 2002. O garimpo de ouro na Amazônia: aspectos tecnológicos, ambientais e sociais. *Extração ouro princípios, Tecnol. e meio Ambient.*
- Veiga, M., 2010. Antioquia, Colombia : The world's most polluted place by mercury: Impressions from two field trips. United Nations Ind. Dev. Organ.
- Veiga, M.M., Angeloci-Santos, G., Meech, J.A., 2014a. Review of barriers to reduce mercury use in artisanal gold mining. *Extr. Ind. Soc.* <https://doi.org/10.1016/j.exis.2014.03.004>
- Veiga, M.M., Angeloci, G., Hitch, M., Colon Velasquez-Lopez, P., 2014b. Processing centres in artisanal gold mining. *J. Clean. Prod.* 64, 535–544. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.015>
- Veiga, M.M., Marshall, B.G., 2019. The Colombian artisanal mining sector: Formalization is a heavy burden. *Extr. Ind. Soc.* <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.11.001>
- Veiga, M.M., Maxson, P.A., Hylander, L.D., 2006. Origin and consumption of mercury in small-scale gold mining. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.08.010>
- Veiga, M.M., Meech, J.A., 1995. Gold mining activities in the Amazon: Clean-up techniques and remedial procedures for mercury pollution. *Ambio*. <https://doi.org/10.2307/4314369>

- Velásquez-López, P.C., Veiga, M.M., Klein, B., Shandro, J.A., Hall, K., 2011. Cyanidation of mercury-rich tailings in artisanal and small-scale gold mining: Identifying strategies to manage environmental risks in Southern Ecuador. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.09.008>
- Verbrugge, B., Besmanos, B., 2016. Formalizing artisanal and small-scale mining: Whither the workforce? *Resour. Policy.* <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.01.008>
- Wang, J., Feng, X., Anderson, C.W.N., Xing, Y., Shang, L., 2012. Remediation of mercury contaminated sites - A review. *J. Hazard. Mater.* <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.04.035>
- Yakovleva, N., 2007. Perspectives on female participation in artisanal and small-scale mining: A case study of Birim North District of Ghana. *Resour. Policy.* <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2007.03.002>