

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA COMPREENSÃO E CONTROLE DA GARIMPAGEM DE OURO EMBARCADA NA REGIÃO AMAZÔNICA DO BRASIL

CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR COMPREHENSION AND CONTROL OF ARTISANAL AND SMALL-SCALE GOLD MINING VESSELS IN BRAZILIAN AMAZON REGION.

DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES PARA COMPRENDER Y CONTROLAR LA PEQUENA MINERÍA DE ORO EMBARCADA EN LA REGIÓN AMAZÓNICA DE BRASIL

RESUMO

A legislação brasileira permite a garimpagem de ouro embarcada em rios desde que possua Permissão de Lavra Garimpeira (PLG) emitida pela Agência Nacional de Mineração (ANM), ato que demanda o prévio licenciamento ambiental. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar as informações disponíveis referentes à produção de ouro na região amazônica brasileira através de garimpos embarcados, bem como seus marcos legais associados, para auxiliar na melhor compreensão da problemática dessa atividade socioeconômica no país. Ademais, também foi analisado a possibilidade do uso de ferramentas provenientes do sensoriamento remoto para identificação de garimpos embarcados e análise da distribuição geográfica e ocorrência da atividade. Por fim, observou-se a necessidade de adequação de instrumentos regulatórios, aprimoramento da atuação das instituições responsáveis pela emissão das devidas autorizações, fortalecimento das ações de combate à atividade ilegal e fiscalização das atividades legalizadas e desenvolvimento de políticas públicas adequadas à realidade.

Palavras-chave: garimpo de ouro; sensoriamento remoto; Amazônia brasileira; permissão de lavra garimpeira; licenciamento ambiental.

ABSTRACT

The Brazilian legislation allows artisanal and small-scale gold mining thought vessels in the rivers as long as it has an artisanal and small-scale gold mining authorization issued by the National Mining Agency, which demands the presentation of the previous environmental authorization. The aim of this study is to analyze the information available on the production technique of gold mines in the Brazilian Amazon region, as well as the associated legal frameworks, in order to help improve understanding of the problem of this socio-economic activity in the country. In addition, the possibility of using tools from remote sensing to identify onboard gold mining, analyze the geographical distribution and occurrence of the activity was also analyzed. It was observed that there is a need to adapt regulatory instruments, improve the performance of the institutions responsible for issuing the appropriate permits, strengthen actions to combat illegal activity and inspect legalized activities, and develop public policies that are appropriate to the reality.

Keywords: Artisanal and small-scale gold mining; remote sensing; Brazilian amazon region; artisanal and small-scale gold mining authorization; environmental authorization.

RESUMEN

La legislación brasileña permite la pequeña minería de oro embarcada en los ríos siempre que cuente con un Permiso de Pequenã Minería de Oro expedido por la Agencia Nacional de Minería (ANM), una autorización que requiere una licencia ambiental previa. El objetivo de este estudio es analizar la información disponible sobre las técnicas de producción de la minería de oro en los ríos de la región amazónica brasileña, así como los marcos legales asociados, con el fin de contribuir a una mejor comprensión de la problemática de esta actividad socioeconómica en

 Diego Henrique Costa Pereira ^a

 Roberto Arnaldo Trancoso Gomes ^b

 Osmar Abílio de Carvalho Júnior ^c

 Renato Guimarães ^d

^a Universidade de Brasília (UnB), Brasília, DF, Brasil

^b Universidade de Brasília (UnB), Brasília, DF, Brasil

^c Universidade de Brasília (UnB), Brasília, DF, Brasil

^d Universidade de Brasília (UnB), Brasília, DF, Brasil

DOI: 10.12957/geouerj.2024.76905

Correspondência:
diegohcpereira1988@gmail.com

Recebido em: 10 jun. 2023

Revisado em: 14 out. 2024

Aceito em: 15 nov. 2024



el país. Además, también se analizó la posibilidad de utilizar herramientas de teledetección para identificar minas de oro en los ríos y analizar la distribución geográfica y la ocurrencia de la actividad. Se observó la necesidad de adecuar los instrumentos regulatorios, mejorar el desempeño de las instituciones responsables de emitir los permisos correspondientes, fortalecer las acciones de combate a la actividad ilegal y de fiscalización de las actividades legalizadas, y desarrollar políticas públicas adecuadas a la realidad.

Palabras-clave: Pequeña minería de oro; teledetección; Amazonia Brasileña; permiso de pequeña minería de oro; licencia ambiental.



INTRODUÇÃO

Intimamente relacionada com a formação histórica brasileira, a produção de ouro em território nacional conta com, aproximadamente, 93.000 kg/ano, dos quais é estimado que 19.000kg são produzidos por garimpos devidamente legalizados (BRASIL, 2021). Esse fato ressalta a importância em discutir e aprimorar mecanismos institucionais que garantam maior regularidade e controle da atividade. A lei nº 7.805/1989 (BRASIL, 1989a) tipifica o garimpo como uma atividade de aproveitamento de substâncias minerais garimpáveis, executada no interior de áreas estabelecidas, exercida por brasileiro ou cooperativas de garimpeiros, e que deve possuir autorização administrativa própria, a Permissão de Lavra Garimpeira (PLG), a ser expedida pela Agência Nacional de Mineração (ANM) após o devido processo de licenciamento ambiental a ser conduzido por órgão ambiental competente.

O licenciamento ambiental prévio é uma das exigências para emissão da PLG, etapa na qual são avaliados os impactos ambientais da atividade (BRASIL, 1981). Esta fase é vital frente aos impactos ambientais oriundos dos garimpos, como, desmatamento, assoreamento de corpos d'água, aumento da erosão etc. (LOBO et al., 2017). Além disso, destaca-se a contaminação ambiental devido ao uso e descarte inapropriado de mercúrio (CETEM, 2018), bem como os riscos aos quais os humanos são expostos (MALM, 1998; UNEP, 2019). O mercúrio é um metal pesado de ocorrência natural cuja presença no meio ambiente é generalizada e persistente (MCDOWEELL et al., 2004) e que apresenta potencial de ocasionar severos danos ao serem humanos e à biota, com capacidade de causar alterações neurológicas em adultos, crianças e até mesmo em bebês em gestação, a depender da sua forma química (DRISCOLL et al., 2013). O garimpo de ouro é uma atividade de uso intenso de mercúrio em que os garimpeiros têm contato direto com a substância e acabam por inalar seus vapores. Castilhos et al. (2015) ao avaliar comunidades garimpeiras na Amazônia observou que 22% dos peixes coletados apresentavam teor de mercúrio acima do recomendado pela Organização Mundial da Saúde para consumo humano. Ainda, concluiu que concentrações de mercúrio em amostras de urina, sangue e cabelo em garimpeiros e pessoas que viviam perto de áreas de garimpos eram maiores que em população não garimpeira, provavelmente ocasionado pela inalação de vapores de mercúrio e consumo de peixes contaminados. Nesse contexto, Organização das Nações Unidas para o Meio Ambiente estima que os garimpos de ouro produzem 37,7% das emissões globais de mercúrio, equivalente a 838 toneladas/ano (UNEP, 2019).

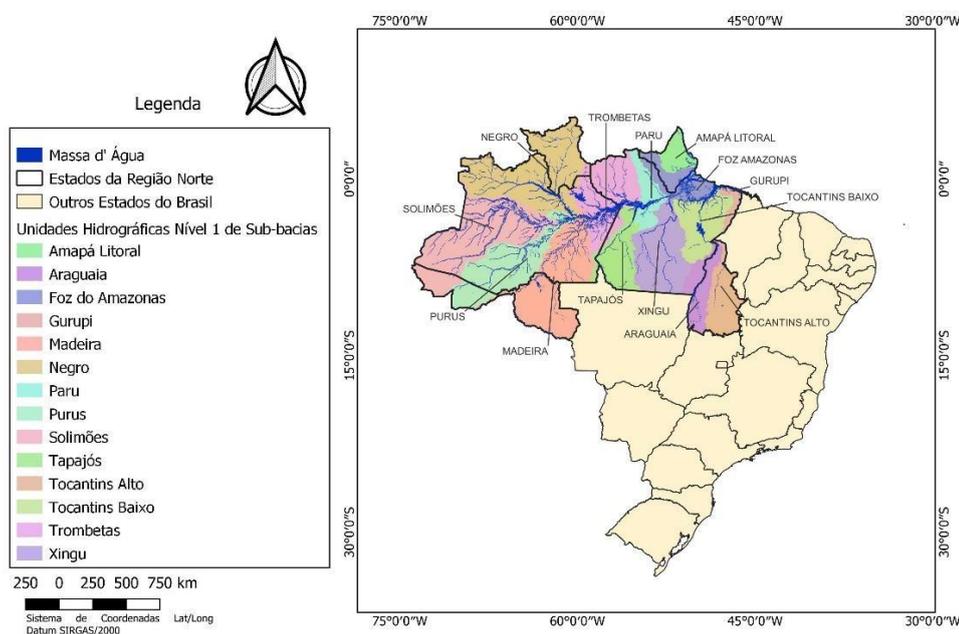
A devida implementação dos instrumentos normativos afetos aos garimpos é um dos principais desafios desta temática, juntamente com o efetivo combate à atuação ilegal, uma vez que a atividade apresenta índices de ilegalidade alarmantes, principalmente na região amazônica do Brasil (BRASIL, 2020). Portanto, o presente estudo objetiva analisar as informações disponíveis referentes à produção de ouro na região Amazônica através de garimpos, bem como seus marcos legais associados, para auxiliar na melhor compreensão da

problemática dessa atividade socioeconômica no país e identificar oportunidades de aprimoramento para seu controle institucional.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende as Unidades Hidrográficas Nível 1 de Sub-bacias do Plano Nacional de Recursos Hídricos existentes nos estados da região norte do Brasil: Pará; Tocantins; Amapá; Amazonas; Roraima; Acre; e Rondônia (Mapa 1). A delimitação das Unidades foi obtida na Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (BRASIL, 2022a).

Mapa 1. Área de estudo.



Fonte: os autores.

A região norte abriga a maior parte do bioma Amazônia composto predominantemente por Floresta Ombrófila Densa (IBAM, 2015). Conforme classificação Köppen-Geiger, três climas ocorrem de forma predominante na região - Af, Am, e Aw - sendo o período de maiores chuvas de novembro/dezembro a maio/junho e de menores nos meses restantes (JÚNIOR; CONTINNI; NAVARRO, 2011). As águas dos rios amazônicos são classificadas de acordo com sua coloração originada por questões biogeoquímicas: brancas (coloração marrom); pretas; e claras (BARBOSA; NOVO; MARTINS, 2019).

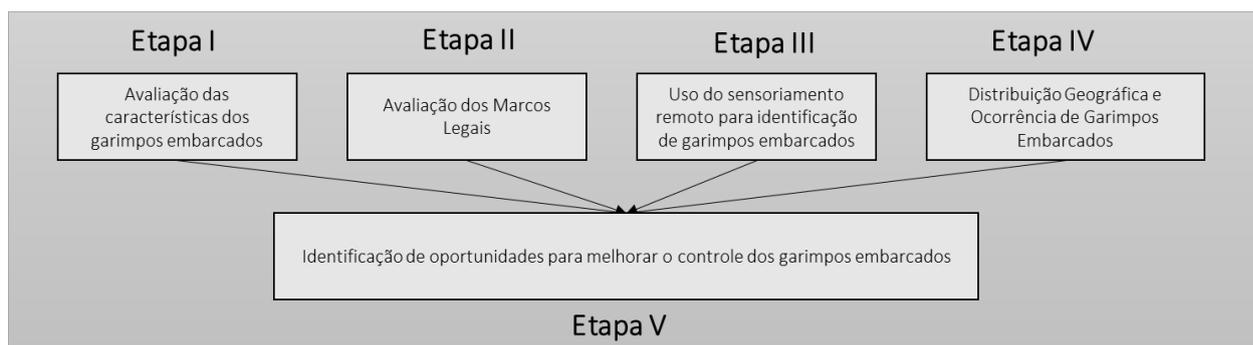
A região apresenta grande diversidade social com reconhecida presença de povos originários e comunidades tradicionais, principalmente ribeirinhos, que possuem modo de vida relacionado com a dependência e conservação dos recursos naturais (JÚNIOR; CONTINNI; NAVARRO, 2011). Por outro lado, a

atividade antrópica, como agropecuária e projetos minerários e de infraestrutura de grande, média e pequena escala, vem se intensificando ao longo dos anos, contribuindo para a ocorrência de inúmeros conflitos de uso e ocupação da terra (JÚNIOR; CONTINNI; NAVARRO, 2011).

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia foi organizada em 5 etapas conforme apresentado na Figura 1 e detalhada a seguir.

Figura 1. Metodologia usada.



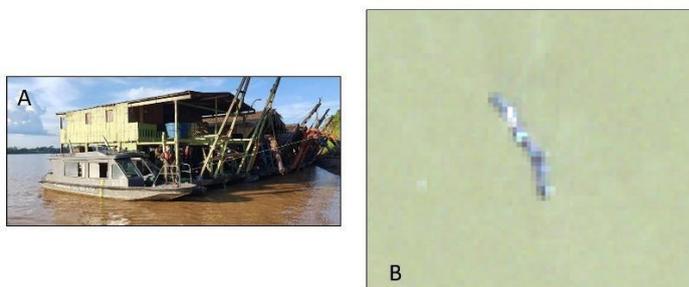
Fonte: os autores.

A Etapa I foi realizada com base em levantamento bibliográfico das principais características da produção de ouro através de garimpos embarcados para avaliar o processo produtivo, forma operação, mobilidade etc., a fim de auxiliar na caracterização da atividade. Em seguida, na Etapa II, foram analisados os marcos regulatórios mais relevantes para auxiliar na compreensão do contexto legal da atividade, com foco nas obrigações para obtenção das devidas autorizações, responsabilidade de fiscalização e combate à atividade ilegal e controle do mercúrio, bem como o grau de implementação da legislação.

A Etapa III foi executada a partir da busca por estudos científicos e de iniciativas institucionais que utilizam do sensoriamento remoto para identificação de garimpos embarcados, bem como das potenciais de abordagens passíveis de serem utilizadas para esta finalidade, uma vez que os garimpos são facilmente identificados de forma visual (Figura 2).

A Etapa IV objetivou avaliar a distribuição geográfica da atividade. Para tal, informações referentes aos processos minerários existentes no Brasil foram coletadas no Sistema de Informação Geográfica da Mineração da Agência Nacional de Mineração - ANM (SIGIMINE, 2022). Na sequência, foram analisadas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) visando a estimativa da distribuição geográfica referente à ocorrência dos garimpos embarcados e na identificação dos processos minerários localizados exclusivamente em rios, para o qual utilizou-se dados sobre cursos d'água da Agência Nacional de Águas e Saneamento (BRASIL, 2022a). Por fim, na Etapa V, foram elencadas oportunidades para melhorar o controle institucional sobre a atividade mediante à avaliação dos resultados obtidos nas outras etapas.

Figura 2. Exemplos de Garimpos de Ouro Embarcados: A) Foto real; B) Visualização de Garimpos Agrupados em Imagem de Satélite Sentinel-2 com 10m de Resolução Espacial.



Fonte: Mb (2020); os autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Etapa I - Avaliação das características dos garimpos embarcados.

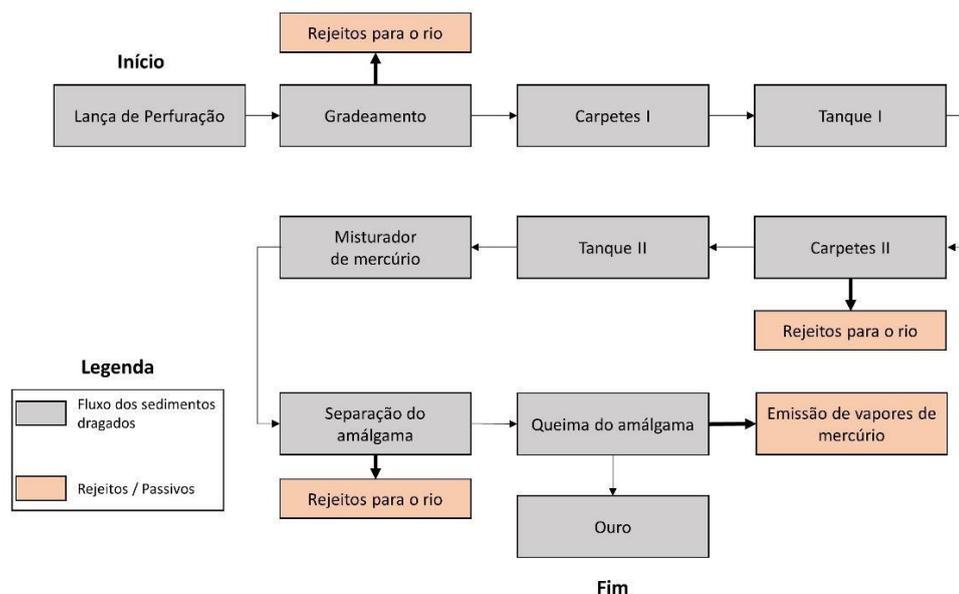
Garimpos embarcados na região amazônica são compostos de maquinário suficiente para realizar o ciclo produtivo do ouro dentro da embarcação. Segundo Balzino et al. (2015), o processo inicia com a dragagem do fundo do rio que pode atingir profundidade de até 40m. Os sedimentos são bombeados para a embarcação e passam por um gradeamento para separação de impurezas grosseiras. O material que passou pelo gradeamento é direcionado para carpetes que objetivam reter sedimentos finos. Após, o material restante é direcionado para um tanque que leva para outros carpetes para retenção de sedimentos ainda mais finos. Todo o material que não é retido nos carpetes é lançado no rio (Figura 4). Os sedimentos contidos nos carpetes são colocados em um misturador onde o mercúrio é adicionado para formação da amálgama que será queimada para restar apenas o ouro.

De acordo com Cetem (2018), a queima da amálgama gera vapores de mercúrio e deve ser realizada com equipamentos de controle de emissão, como, por exemplo, uma retorta, equipamento que pode recuperar de 89 a 99% dos vapores de mercúrio. Contudo, a eficiência depende do tipo de retorta, do treinamento dos operadores e da adequada utilização do equipamento. Trabalhos em campo do mesmo autor demonstraram que um mesmo modelo de retorna, de mesmo material, a eficiência variou de menos de 20% a 95% no abatimento das emissões de mercúrio.

O rejeito do processo produtivo possui elevada concentração de sólidos (BALZINO et al., 2015) e ao ser lançado no rio pode levar a formação de plumas de sedimentos perceptíveis sob a água à olho nu (FERNANDES; ALAMINO; ARAÚJO, 2014). Vale ressaltar que não foram encontrados estudos sobre a dinâmica de formação das plumas, contudo há infere-se que sua formação depende do tipo e coloração do sedimento despejado e da coloração da água.

Ainda, a depender das características dos rios e da intensidade e frequência da garimpagem, a dragagem pode ocasionar a alteração das margens dos cursos d'água e, conseqüentemente, seu assoreamento (SANTOS; OLIVEIRA; CRISÓSTOMO, 2021). Em relação ao tempo de operação da dragas, há indicações que podem operar por horas ininterruptas (BALZINO et al., 2015).

Figura 3. Processo Produtivo de um Garimpo Embarcado.



Fonte: adaptado de BALZINO et al. (2015).

Existe indicação que o mercúrio é utilizado em uma proporção de 1:2 de ouro quando se trata de minério secundário, ou seja, para cada 1 grama de ouro utiliza-se 2 gramas de mercúrio, contudo há um fator de incerteza associado a esta proporção tendo em vista que a estimativa da quantidade de ouro é feita de forma empírica pelo garimpeiro (CETEM, 2018).

Em linhas gerais, os garimpos embarcados possuem a característica inerente de alterarem sua localização com frequência, porém, quando estão em operação, tendem a se ficarem fixos e agrupados (FERNANDES; ALAMINO; ARAÚJO, 2014), conforme já demonstrado na Figura 2. Em 2021, foi reportado pela mídia mais de 300 dragas operando simultaneamente no Rio Madeira, que cruza os estados de Rondônia e Amazonas (G1, 2021).

Um fato que dificulta a estimativa da distribuição geográfica dos garimpos embarcados, bem como de seu comportamento espacial nas áreas garimpáveis, é a falta de utilização de sistema de localização que permita a identificação de seu posicionamento em tempo real. Nesse contexto, não foram encontradas informações que permitam compreender como os garimpos se locomovem dentro da área de uma PLG concedida pela ANM.



Etapa II - Avaliação dos principais marcos legais para obtenção de PLG, licenciamento ambiental e fiscalização da atividade.

A Lei nº 7.805/1989 (BRASIL, 1989a) tipifica a garimpagem como atividade que busca o aproveitamento de substâncias minerais garimpáveis, executada no interior de áreas estabelecidas para este fim, exercida por brasileiro e cooperativas de garimpeiros, autorizada a funcionar como empresa de mineração, sob o regime de Permissão de Lavra Garimpeira (PLG), emitida pela ANM. De forma complementar, as áreas podem ser lavradas, independentemente de prévios trabalhos de pesquisa mineral que objetivam quantificar e caracterizar o minério e a área a ser explorada a partir de trabalhos de campo e de laboratórios que envolvem sondagens, avaliação geológica, geoquímica etc. Chama atenção a área máxima que pode ser requisitada para garimpo. Uma pessoa física pode requerer até 50 hectares e, cooperativas podem requerer até 10.000 hectares. Adicionalmente, não existe limite para a quantidade de Requerimentos de PLG que cada pessoa física ou cooperativa pode protocolar (BRASIL, 2016) o que abre margem para que uma pessoa física/ jurídica concentre grandes áreas.

A ANM solicita que sejam apresentadas diversas informações no ato do protocolo do Requerimento de PLG, como dados do requerente, responsável técnico, delimitação da poligonal, substância garimpada etc., juntamente com recolhimento das devidas taxas. Durante a análise, a ANM pode realizar inspeções *in loco* nos garimpos, bem como solicitar complementação de informações. Entre as exigências, consta a necessidade de licenciamento ambiental prévio, que objetiva garantir que atividades potencialmente poluidoras ocorram de forma ambientalmente adequada (BRASIL, 1981).

O licenciamento ambiental é feito somente por um único ente federativo (União, Estado ou Município) e, tendo em vista que a Lei Complementar nº 140/11 não citou explicitamente os garimpos de ouro embarcados como atribuição da União, a responsabilidade recai para os estados ou municípios, salvo se a atividade ocorrer nas exceções previstas no Inciso XIV do Artigo 6, como, se estiver localizada ou for desenvolvida em dois ou mais estados. Assim, geralmente o estado é o ente responsável pelo licenciamento ambiental, porém o município pode realizar o licenciamento respeitados os casos do Inciso XIV do Artigo 9 ou se houver delegação de atribuições, conforme previsto no Artigo 4. Contudo, inexistente instrumento regulatório nacional dedicado especificamente a abordar o conteúdo mínimo a ser avaliado ao longo do licenciamento ambiental de garimpos embarcados.

Em relação ao mercúrio, a Convenção de Minamata sobre Mercúrio adotada em 2014 (BRASIL, 2018) não proíbe a atividade garimpeira, mas prevê que os países que consideram a atividade “mais que insignificante” a elaborarem um Plano de Ação para a Mineração de Ouro Artesanal e em Pequena Escala para reduzir e eliminar, quando viável, o uso de mercúrio, abrangendo: metas de redução do uso de mercúrio;



banimento da queima a céu aberto do amálgama; promoção da formalização, quando possível; regulamentação do setor etc. O referido Plano encontra-se em elaboração no escopo de Projeto coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA, e deverá ser concluído em 2024 (MME, 2022). Vale ressaltar que todo o mercúrio utilizado no Brasil é proveniente de importação (CETEM, 2018). Nesse sentido, o Decreto n.º 97.364/1989 (BRASIL, 1989b) institui que o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) deverá ser comunicado sobre as operações de importação de mercúrio e da compra e venda no mercado nacional, porém não foram encontrados dados oficiais públicos disponibilizados pela instituição.

Apesar do arcabouço legal existente, sua implementação é o principal desafio do país (BRASIL, 2020). De acordo com Cetem (2018), Ministério Público Federal (BRASIL, 2020) e Massaro et al. (2022), os argumentos que explicam esta situação são complexos e variam a depender do ponto de vista: os garimpeiros argumentam que não há políticas públicas voltadas à questão, apenas coerção; a facilidade de iniciar e deslocar o garimpo dificulta o combate à atividade ilegal; disseminação do sentimento de impunidade em caso de atividade ilegal; as etapas para obtenção da PLG e da licença ambiental são longas e complexas; a fiscalização das atividades legais e o combate às atividades ilegais são pontuais; não há interesse de parte dos garimpeiros em atuar conforme as leis.

O Rio Madeira é um exemplo da complexidade de realizar um efetivo controle sobre a atividade e exemplo da fragilidade da implementação do arcabouço legal vigente. O rio corta os estados de Rondônia e Amazonas sendo um local onde a garimpagem embarcada ocorre de forma disseminada (FERNANDES; ALAMINO; ARAÚJO, 2014). O Decreto do Estado de Rondônia n.º 5.197/1991 (RONDÔNIA, 1991), suspendeu a garimpagem de ouro no Rio Madeira em determinado trecho, motivado por:

“...atividade ocorria em área navegável e estava causando degradação irremediável ao meio ambiente, ocasionando: variação de qualidade da água; sedimentação do canal principal; poluição das águas por combustíveis; a comprometer a economia da região (navegação fluvial e portuária; atividade pesqueira; etc)...

...altos níveis de poluição sobre os ciclos migratórios das espécies; a intoxicação humana por mercúrio, sem embargo de repercutir negativamente no aspecto social, tanto quanto econômico, pelos elevados índices de prostituição e criminalidade, dentre outras consequências danosas.” (Tjro, 2022).

Em 2021, foi publicado o Decreto Estadual n.º 25.780/2021 (RONDÔNIA, 2021) que revogou a proibição, contudo o Ministério Público protocolou Ação Direta de Inconstitucionalidade n.º 0800253-97.2022.8.22.000000 (TJRO, 2022) que foi julgada parcialmente precedente pela justiça que considerou inconstitucional a revogação do Decreto n.º 5.197/1991.

Ainda em 2021, o Ministério Público solicitou o cancelamento das licenças ambientais de PLGs expedidas pelo Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas em mais de 37.000 hectares no Rio Madeira – Ação Civil Pública n.º 1003598-84.2017.4.01.3200 (TJ, 2021). Dentre os argumentos, consta a ausência de



estudo de impacto ambiental prévio, descumprimento de condicionantes ambientais e desrespeito aos limites das PLGs. Por fim, a Justiça Federal decidiu liminarmente pelo cancelamento das licenças.

Além das questões jurídicas, a atuação das instituições de controle também possui questões a serem consideradas. A Controladoria Geral da União divulgou em 2022 os resultados de auditoria da ANM e concluiu pela “revisão dos modelos de documentos e melhorias em procedimentos internos de acompanhamento e supervisão, de forma a fortalecer um ambiente de controle na Agência” (CGU, 2022). Cita também que a “baixa qualidade das decisões e precariedade dos processos de outorga de PLG comprometem a legalidade das atividades de garimpo que podem acarretar graves danos socioambientais”. Portanto, a atuação da ANM necessita de aprimoramentos para que se consiga realizar uma avaliação padronizada mais completa e abrangente, objetivando melhorar a qualidade das informações necessárias para devida análise e acompanhamento dos processos. Quanto à fiscalização das PLG emitidas, cabe ao órgão ambiental licenciador e à ANM verificar o devido cumprimento das autorizações, conforme Lei Complementar nº 140/2011 e Lei nº 13.575/2017 (BRASIL, 2011; 2017).

Por fim, a Constituição Federal institui no artigo 23 que a proteção do meio ambiente para combater poluição é competência comum da União, Estados e Municípios (BRASIL, 1988). Logo, é comum que ações de repressão sejam realizadas por meio de operações conjuntas para otimizar o uso dos recursos materiais e humanos disponíveis e incrementar os resultados das ações de fiscalização e repressão. São encontrados diversos exemplos destas operações no Rio Madeira envolvendo: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental de Rondônia; Polícia Militar Ambiental de Rondônia; Exército Brasileiro; Polícia Federal; e IBAMA (SEDAM, 2021; G1, 2022).

Etapa III - Uso do sensoriamento remoto para identificação de garimpos embarcados.

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto para a identificação de garimpos embarcados na região amazônica ainda se apresenta como um desafio metodológico, fato que pode estar associado à rápida locomoção dos garimpos ao longo dos rios e ao tamanho reduzido das embarcações, o que dificulta a sua detecção por sensores remotos de média e baixa resolução espacial (LOBO et al., 2018; BRASIL, 2020). Além disso, os garimpos embarcados aparentam não dispor, ou não ativar, equipamentos de localização em tempo real, como *Global Navigation Satellite System* (GNSS) e o *Automatic Identification System* (AIS). O AIS é um sistema que envia informações de forma automática sobre a identificação, localização, velocidade, orientação, entre outras, das embarcações (DECHESNE et al., 2019). A ausência de dados sobre a localização dos garimpos é um dos principais desafios para controle da atividade e desenvolvimento de estudos. Nesse contexto, foram encontrados apenas dois estudos que se dedicam ao mapeamento de garimpos embarcados de ouro por sensoriamento remoto (PEREIRA et al., 2024a; PEREIRA et al. 2024b).



Pereira et al (2024a) utilizaram imagens de *Synthetic Aperture Radar* (SAR) dos satélites Sentinel-1 e algoritmos *Constant False Alarm Rate* (CFAR) e de avaliação geométrica para detecção de garimpos embarcados no Rio Madeira, na região Porto Velho. Ao fim, os autores obtiveram precisão satisfatória, com *score* F1 entre 0,76 e 0,86, percentual médio de detecção de 89,7%, e de omissão de 10,3%. Também conseguiram identificar garimpos localizados em áreas legais e em áreas potencialmente ilegais. Ressalta-se que o emprego de imagens SAR para detecção de embarcações vem se intensificando devido a melhora da resolução espacial e temporal das imagens, bem como a distribuição gratuita de alguns produtos, permitindo otimizar o combate às atividades ilegais, entre outras questões (OUCHI, 2016).

Sensores SAR sofrem menor influência de fatores atmosféricos e geram imagens independentemente da iluminação solar e da cobertura de nuvens (ESA, 2012) o que é uma vantagem para a realidade da Amazônia, pois a ocorrência de nuvens é recorrente e pode ser superior a 90% em aproximadamente 60% da bacia amazônica no verão (MARTINS et al., 2018).

Complementarmente, Pereira et al. (2024b) utilizaram imagens do *Multispectral Instruments* (MSI) dos satélites Sentinel-2 e classificadores do tipo *machine learning* (*Support Vector Machine*, *K-Nearest Neighbor* e *Random Forest*) e do tipo espectral (*Spectral Angle Mapper*) para detecção de garimpos embarcados na mesma área citada no parágrafo anterior. Os autores também obtiveram *score* F1 satisfatório, com média de 0,91 ao utilizar o *Support Vector Machine* Orientado a Objeto, e demonstraram que as imagens multiespectrais podem ser utilizadas para identificação de garimpos embarcados quando as imagens apresentam baixa cobertura de nuvens.

A literatura demonstra ainda que existem variadas outras técnicas para detecção de embarcações utilizando sensores passivos e ativos. Kanjir (2019) realizou pré-deteção de embarcações por meio de álgebra de bandas e aplicou uma árvore de decisão para detectar embarcações de variados tamanhos, incluindo menores que 20m, e alcançou taxa de detecção de 0,63 a 0,96, omissão de 0,04 a 0,36, falsos alarmes de 0,22 a 0,37. Heiselberg e Heiselberg (2017) propuseram método de classificação supervisionada orientada a objeto que obteve fator de performance de 97 a 100% para detecção de grandes embarcações (> 20m) e de 68 a 80 % para pequenas (entre 10 e 20m). Heiselberg (2016) foi bem-sucedido para detectar e estimar a dimensão, orientação e velocidade de deslocamento de grandes embarcações (>30m), e também obteve resultados satisfatórios para detectar pequenos barcos entre 10m e 20m. Fitriani, Gaol e Kushardono (2019) conseguiram detectar embarcações pesqueiras >25m com média de falsos alarmes de 34,5%. Park et al. (2018) alcançaram uma faixa de probabilidade de detecção de 80% para embarcações até 20m e de 93,59% para maiores que 20m. Dechesne et al. (2019) registraram F *score* global de 97,45 para detecção de embarcações, incluindo embarcações de menor porte, como, pesqueiras (26m) e rebocadores (47m). Estes estudos



utilizaram imagens dos satélites Sentinel-1 e Sentinel-2 com resolução espacial de 10m, e conseguiram detectar variados tipos de embarcações com dimensão de 10 a 400m. Portanto, existem variadas técnicas de sensoriamento remoto que apresentam potencial de serem empregadas para identificação de garimpos embarcados.

Em relação às iniciativas institucionais, a Polícia Federal lançou em 2020 o Programa Brasil M.A.I.S que objetiva promover a aplicação da geotecnologia em apoio às funções de segurança pública, polícia judiciária, administrativa e demais atividades de Estado. O Programa disponibiliza imagens Planet de resolução espacial de 3m e tempo de revisita diária em toda extensão do Brasil, e produz alertas de desmatamento, pistas de pouso, embarcações (entre eles de garimpos embarcados) entre outros (BRASIL, 2022b). Esta foi a única iniciativa identificada que aborda o uso de sensoriamento remoto para detecção de garimpos embarcados, contudo o acesso ao Programa é restrito a órgãos públicos.

Etapa IV - Distribuição geográfica e ocorrência dos garimpos embarcados.

Em novembro de 2022, existiam 13.418 Requerimentos de PLG e 1.999 PLG no Brasil, sendo que 80% estavam localizados nos estados da região norte (Tabela 1). Ainda, verificou-se a existência de 132 PLG e de 1.600 Requerimentos de PLG localizados exclusivamente em rios da região norte que representam 141.021 hectares de PLG e 702.060 hectares de requerimentos (Tabela 2).

Tabela 1. Processos Minerários existentes no Brasil (Terra Firme e em Rios) em 11 de novembro de 2022.

Descrição	Quantidade Processos Minerários	Área (hectares)
<i>Todos os Estados do Brasil</i>		
Requerimento de PLG	13.418	8.767.573,99
PLG	1.999	906.418,54
Total	15.417	9.673.992,53
<i>Estados da Região Norte</i>		
Requerimento	11.350	5.076.280,07
PLG	1.012	406.154,99
Total	12.362	5.482.435,06

Fonte: os autores.



Tabela 2. Processos Minerários Localizados Exclusivamente em Rios das Unidades Hidrográficas da Região Norte do País em 11 de novembro de 2022.

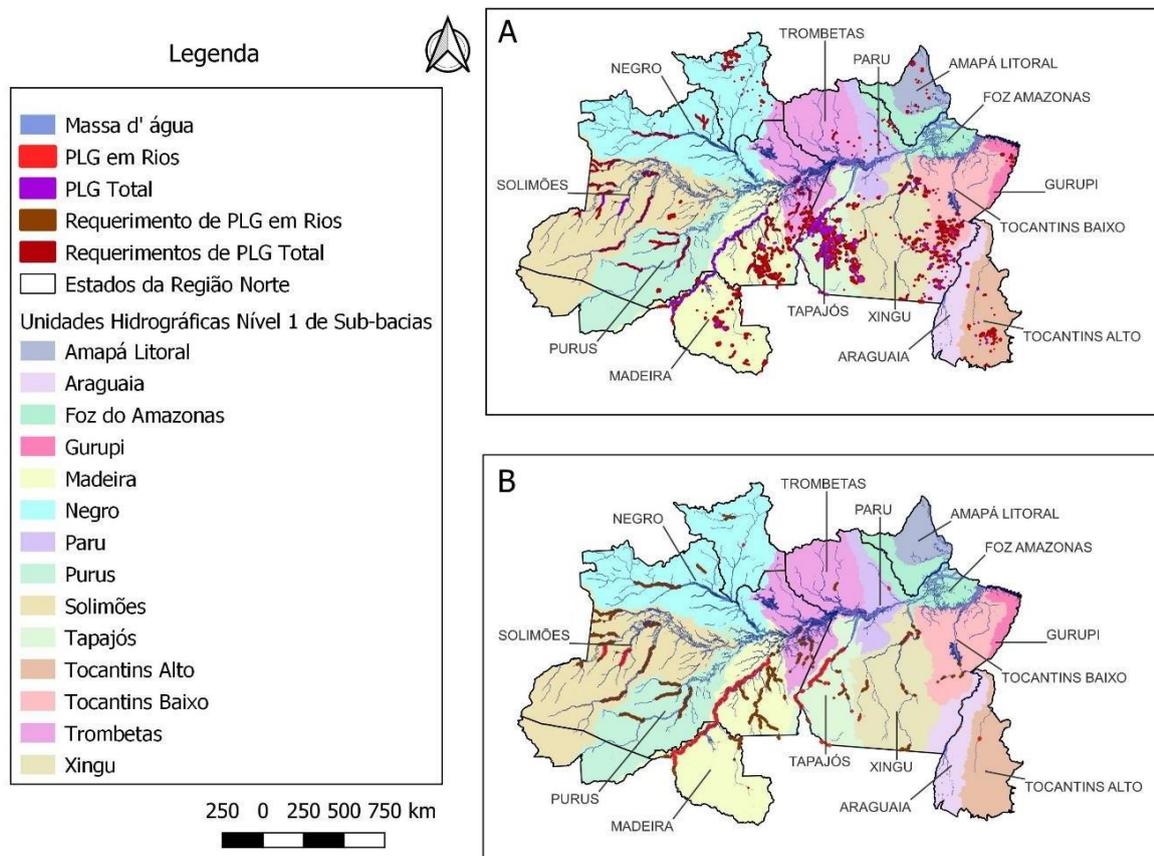
Bacia	PLG		Requerimento de PLG	
	Área (Hectares)	%	Área (Hectares)	%
Madeira	78.047,03	55,34	144.704,04	20,61
Tapajós	52.233,51	37,04	23.995,78	3,42
Solimões	9.968,27	7,07	139.550,83	19,88
Xingu	624,60	0,44	123.596,97	17,60
Tocantins Alto	94,85	0,07	6,92	0,00
Negro	48,61	0,03	59.683,44	8,50
Paru	4,89	0,00	97,11	0,01
Araguaia	0	0,00	763,8	0,11
Tocantins Baixo	0	0,00	31.503,43	4,49
Purus	0	0,00	122.191,34	17,40
Trombetas	0	0,00	55.917,97	7,96
Gurupi	0	0,00	48,83	0,01
Total	141.021,77	100,00	702.060,46	100,00

Fonte: os autores.

A Figura 4A apresenta a distribuição dos Requerimentos de PLG e de PLG existentes na área de estudo, localizados tanto em terra firme quanto em rios, com destaque para a concentração existente nas bacias dos Rios Madeira e Tapajós. Ao avaliar somente os Requerimentos de PLG e PLG em rios (Figura 4B) percebe-se a concentração de Requerimentos nas bacias dos Rios Madeira, Solimões, Xingu e Purus (que somam mais de 75%) e de PLG nas bacias do Rios Madeira e Tapajós que representam mais de 90% das PLG em rios. A menor área de PLG é justificada porque nem todos os processos de Requerimentos obtêm licença ambiental e/ou cumprem todas as exigências solicitadas pela ANM, impossibilitando a emissão da PLG (CGU, 2022).

O Rio Madeira concentra 55% das áreas de PLG de garimpos embarcados e 20,61% dos Requerimentos de PLG e se estendem por 850 km entre os estados de Rondônia e Amazonas. Logo, sua situação é crítica em virtude não somente do quantitativo de área requerida e autorizada, mas também pela extensão onde a atividade ocorre.

Figura 4. Distribuição de Processos Minerários na Região Norte: A) Requerimentos de PLG e PLG Total; B) Requerimentos de PLG e PLG em Rios.



Fonte: os autores.

Etapa V - Identificação de oportunidades para melhorar o controle dos garimpos embarcados.

Mediante à análise das informações encontradas, conclui-se que a garimpagem de ouro embarcada é uma problemática praticamente exclusiva da região amazônica para a qual existem lacunas de conhecimento básicas (BRASIL, 2020) e diversas possíveis frentes de ação.

Cetem (2018), destaca que não existe nem mesmo um número confiável referente à quantidade de garimpeiros existentes no país, quiçá sobre a dinâmica de deslocamento dos garimpos embarcados nas áreas de PLG. Logo, é oportuno o desenvolvimento de iniciativas para melhorar a compreensão sobre a atividade e qualificar o debate sobre a questão.

Sobre o arcabouço legal afeto à atividade, existem regramentos detalhados que objetivam controlar o aspecto minerário (Lei nº 7.805/1989) e ambiental (BRASIL, 1989a) da atividade, porém não são devidamente implementados, seja por questões judiciais, fragilidades nos procedimentos administrativos e fiscalizatórios por parte das instituições e/ou por dolo dos garimpeiros (BRASIL, 2020). Nesse ponto, a CGU aponta a



necessidade de aprimoramento das instâncias decisórias responsáveis pela emissão de PLG, bem como de padronização na avaliação das informações contidas nos Requerimentos de PLG (CGU, 2022).

Ainda, por mais que a legislação permita que o licenciamento ambiental de garimpos embarcados possa ser feito pelos estados/ municípios (BRASIL, 2011), não existe hoje uma orientação nacional quanto ao conteúdo mínimo que deve ser observado no licenciamento de tais atividades. Nesse contexto, há de se destacar a coordenação institucional que Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) e Ministério de Minas e Energia (MME) podem desempenhar na construção de uma normativa que estabeleça o teor mínimo e principais pontos a serem observados no licenciamento ambiental dos garimpos embarcados. O Ministério Público Federal (BRASIL, 2020) cita também a necessidade de fortalecer iniciativas que objetivem impedir o esquentamento e comércio ilegal de ouro e mercúrio e de medidas para auxiliar na rastreabilidade destes materiais dificultando e encarecendo os custos da ilegalidade.

O combate à atividade ilegal precisa ser robusto e efetivo, e o fortalecimento de operações conjuntas, como as ocorridas em Rondônia e Amazonas (SEDAM, 2021; G1, 2022) apresenta-se como uma alternativa para otimizar o uso dos limitados recursos humanos e materiais disponíveis para cobrir à extensão territorial da Amazônia. Além disso, é importante que estas ações sejam empoderadas o suficiente para implementar medidas previstas no Decreto n.º 6.514 (BRASIL, 2008), como, inutilização e apreensão do maquinário, embargo ou suspensão da atividade e penalização dos responsáveis, pois descapitalizam e desmotivam a ocorrência e recorrência da atividade ilegal. Deve-se ater especial atenção às áreas sensíveis, como, terras indígenas e outros territórios ocupados por povos originários e comunidades tradicionais em virtude dos impactos aos quais tais comunidades estão expostas. Já existem dados demonstrando que populações indígenas apresentam teor de mercúrio acima do considerado normal pela Organização Mundial da Saúde para as populações amazônicas em decorrência da poluição ocasionada por garimpos ilegais em seus territórios (VEGA et al., 2018).

Tendo em vista que técnicas de sensoriamento remoto podem ser empregadas de forma satisfatória para identificação de garimpos embarcados (PEREIRA et al., 2024a; PEREIRA et al, 2024b), o uso de sensoriamento remoto se apresenta como uma ferramenta que pode otimizar o emprego de recursos humanos e materiais por parte das instituições de controle, auxiliando no melhor planejamento e implementação de ações para: fiscalizar atividade legal; combater as atividades ilegais; e aprofundar os conhecimentos ao longo da avaliação do Requerimento de PLG e do licenciamento ambiental. Nessa linha, o Programa Brasil M.A.I.S (BRASIL, 2022b) se apresenta como uma importante fonte de informações, pois concede aos órgãos de controle acesso às imagens dos satélites Planet com tempo de revisita diária e resolução espacial de 3m.



Por fim, é necessário que o Estado formule e implemente políticas dedicadas a questão dos garimpos de ouro. Para tal, é importante que sejam observadas questões ambientais, econômicas e sociais com vistas a garantir que a atividade ocorra de forma adequada e com o mínimo de impacto o possível. A Convenção de Minamata sobre Mercúrio aborda algumas dessas necessidades, destacando a necessidade de: eliminação/redução do uso do mercúrio; melhores práticas produtivas; qualificação de mão de obra; capacitação sobre requisitos legais; programas sociais para a população vulnerável dependente dos garimpos; observar questões trabalhistas e de saúde etc. (BRASIL, 2018; MASSARO et al., 2022). Também é oportuno o fomento à instrumentos que atestem a adequada produção e rastreabilidade do ouro produzido e comercializado. Nesse sentido, como o ouro de garimpo só pode ser comercializado em um Posto de Compra de Ouro que atue como Distribuidor de Título Mobiliários, é necessário fortalecer as exigências para que o ouro ilegal não seja esquentado e adentre ao mercado legal (BRASIL, 2020). Além do mais, o aumento da demanda por certificações, como a *Fairmined Standard for Gold from Artisanal and Small-Scale Mining, including associated precious metals*, é uma alternativa, pois promove o emprego de melhores práticas de produção, exigindo o cumprimento de requisitos para que o ouro seja considerado “ético”, abordando questões sociais, trabalhistas e ambientais, como: remuneração digna; carga horária de trabalho justa; direito a férias; ambiente de trabalho seguro; proteção para evitar e mitigar riscos ambientais. (DOMINGOS; CASTILHOS; RAMOS, 2020).

CONCLUSÕES

Este estudo avaliou informações disponíveis para auxiliar na melhor compreensão da problemática dos garimpos de ouro embarcados no país. Para tal, realizou a caracterização do processo produtivo e do comportamento da atividade e atestou que os marcos regulatórios existentes atualmente são abrangentes, porém necessitam ser melhor implementados e de aprimoramentos para se ajustar à dinâmica da atividade, como a criação de um marco regulatório nacional com a diretrizes gerais para licenciamento ambiental da atividade e melhor qualificação do processo de concessão das Permissões de Lavra Garimpeira por parte da ANM. Também foi demonstrado que a ocorrência dos garimpos embarcados é predominante na região amazônica e que o uso de sensoriamento remoto apresenta potencial para auxiliar na compreensão e controle da atividade. Para tal, técnicas de detecção de embarcações em imagens de sensores óticos e de Synthetic Aperture Radar (SAR) podem ser usadas para suprir a lacuna de conhecimento sobre a atividade. Por fim, ressalta-se que a garimpagem de ouro na Amazônia brasileira é um tema complexo para o qual não existe solução rápida, única e permanente. Por isso, o país, com suas diferentes esferas de governo, precisa se debruçar sobre o tema a fim de propor políticas que sejam aderentes aos atuais e diferentes contextos socioambientais da Amazônia.



REFERÊNCIAS

- BALZINO, M. et al. Gold losses and mercury recovery in artisanal gold mining on the Madeira River, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 102, p. 370–377, 2015.
- BARBOSA, Claudio. C. F.; NOVO, Evelyn. M. L. M.; MARTINS, Vitor. S. *Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: Princípios e Aplicações*. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2019.
- BRASIL. Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 19 de dez. 2022.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 05 de jan. 2022.
- BRASIL. Lei No 7.805, de 18 de julho de 1989a. Disponível em: <https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/103411/lei-7805-89>. Acesso em: 30 de nov. 2022.
- BRASIL. Decreto nº 97.634, de 10 de abril de 1989b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d97634.htm. Acesso em: 09 de dez. 2022.
- BRASIL. Decreto no 6.514, de 22 de julho de 2008. Disponível em: <https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/93411/decreto-6514-08>. Acesso em: 09 de nov. 2022.
- BRASIL. Lei Complementar no 140, de 08 de dezembro de 2011. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm. Acesso em: 30 de out. 2022.
- BRASIL. Portaria DNPM No 155, de 12 de maio de 2016. Disponível em https://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/CN_DNPM.htm. Acesso em: 17 de out. 2022.
- BRASIL. Lei no 13.575, de 26 de dezembro de 2017. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13575.htm. Acesso em: 28 de out. 2022.
- BRASIL. Decreto no 9.470, de 14 de agosto de 2018. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9470.htm. Acesso em: 01 de nov. 2022.
- BRASIL. *Mineração Ilegal de Ouro na Amazônia: Marcos Jurídicos e Questões Controversas*. Ministério Público Federal. Série Manuais de Atuação. v.7. Brasília-259p. 2020.
- BRASIL. *Anuário Mineral Brasileiro 2021*. 2021 Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro>. Acesso em: 29 de nov. 2022.
- BRASIL. *Catálogo de Metadados*. Agência Nacional de Águas e Saneamento. 2022a. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br>. Acesso em: 19 de set. 2022.
- BRASIL. *Plataforma Brasil M.A.I.S.* 2022b. Disponível em: <https://plataforma-pf.scon.com.br>. Acesso em: 21 de out. 2022.
- CASTILHOS, Zuleica et al. Human exposure and risk assessment associated with mercury contamination in artisanal gold mining areas in the Brazilian Amazon. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 22, p. 11255-11264, 2015.
- CETEM. *Inventário Nacional de Emissões e Liberações de Mercúrio pelos Garimpos de Ouro*. Centro de Tecnologia Mineral. 2018. Disponível em: <https://diretoriopre.mma.gov.br>. Acesso em: 04 de out. 2022.
- CGU. *Relatório de Avaliação Agência Nacional de Mineração - ANM - 905627*. Controladoria Geral da União. 2022. Disponível em: <https://eaud.cgu.gov.br/relatorios/download/1274960>. Acesso em: 23 de set. 2022.



DECHESNE, Clément. et al. Ship identification and characterization in Sentinel-1 SAR images with multi-task deep learning. *Remote Sensing*, v. 11, n. 24, p.2997, 13 dec. 2019.

DOMINGOS, Lilian Maria Borges; CASTILHOS, Zuleica Carmem; Ramos, JÉSSICA Zickwolf. Certificação de ouro de garimpo – Estudo dos requisitos da norma “Fair mined Standard for Gold from Artisanal and Small-scale Mining, including Associated Precious Metals (V2.0 ARM / 5 April2014). Série Estudos e Documentos, v.103, CETEM, Rio de Janeiro – 55p. 2020.

DRISCOLL, Charles T. et al. Mercury as a global pollutant: sources, pathways, and effects. *Environmental science & technology*, v. 47, n. 10, p. 4967-4983, 2013.

ESA. ESA’s radar observatory mission for GMES operational services. 2012. Disponível em: https://sentinel.esa.int/documents/247904/349449/s1_sp-1322_1.pdf. Acesso em: 29 de ago. 2022.

FERNANDES, Francisco Rego Chaves; ALAMINO, Renata de Carvalho Jimenez; ARAÚJO, Eliane Rocha (Org). Recursos minerais e comunidade: impactos humanos, socioambientais, econômicos. CETEM/MCTI, Rio de Janeiro - 392p. 2014.

FITRIANI, Sarah Putri; GAOL, Jonson Lumban; KUSHARDONO, Dony. Fishing-Vessel Detection Using Synthetic Aperture Radar (Sar) Sentinel-1 (Case Study: Java Sea). *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, v. 16, n. 2, p. 131-142, 2019.

G1. Dragas e barcos de garimpeiros começam a deixar Rio Madeira no AM. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2021/11/26/dragas-e-barcos-de-garimpeiros-comecam-a-deixar-rio-madeira-no-am.ghhtml>. Acesso em: 06 de jan. 2023.

HEISELBERG, Henning. A direct and fast methodology for ship recognition in sentinel-2 multispectral imagery. *Remote Sensing*, v. 8, n. 12, 1 dez. 2016.

HEISELBERG, Peder; HEISELBERG, Henning. Ship-iceberg discrimination in Sentinel-2 multispectral imagery by supervised classification. *Remote Sensing*. v. 9, n. 11, 1 nov. 2017.

IBAM. Caderno de estudo: bioma Amazônia e o desmatamento. Rio de Janeiro. Instituto Brasileiro de Administração Municipal. 2015. Isidro, C. M. et al. Applicability of earth observation for identifying small-scale mining footprints in a wet tropical region. *Remote Sensing*. v.9, n.9, p. 945, 12 sep. 2017.

JÚNIOR, Geraldo Bueno Martha; CONTINI, Elisio; NAVARRO, Zander. Caracterização da Amazônia Legal e macrotendências do ambiente externo. Brasília. Embrapa Estudos e Capacitação, 2011.

KANJIR, Urška. Detecting migrant vessels in the Mediterranean Sea: Using Sentinel-2 images to aid humanitarian actions. *Acta Astronautica*. v. 155, p. 45–50, 1 fev. 2019.

LOBO, Felipe de Lucia. et al. Effects of small-scale gold mining tailings on the underwater light field in the Tapajós River Basin, Brazilian Amazon. *Remote Sensing*, v. 9, n. 7, p. 579, 09 ago. 2017.

LOBO, Felipe de Lucia. et al. Mapping Mining Areas in the Brazilian Amazon Using MSI/Sentinel-2 Imagery (2017). *Remote Sensing*, v. 10, n. 8, p. 1178, 25 jul. 2018.

MALM, Olaf. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira River Basin, Brazil. *Ambio*, v. 19, n. 1, p. 11–15, 1990.

MB. Capitania Fluvial de Porto Velho apreende embarcações durante Operação “Verde Brasil 2”. Marinha do Brasil. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/com9dn/cfpvel_aprensao_verde. Acesso em: 27 de fev. 2023.

MARTINS, Vitor S. et al. Seasonal and interannual assessment of cloud cover and atmospheric constituents across the Amazon (2000–2015): Insights for remote sensing and climate analysis. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 145, p. 309– 327, 1 nov. 2018.

MASSARO, Luciana et al. Balancing economic development and environmental responsibility: Perceptions from communities of garimpeiros in the Brazilian Amazon. *Resources Policy*, v. 79, p. 103063, dez. 2022.

MCDOWELL, Margaret A. et al. Hair mercury levels in US children and women of childbearing age: reference range data from



NHANES 1999–2000. *Environmental health perspectives*, v. 112, n. 11, p. 1165-1171, 2004.

OUCHI, Kazuo. Current Status on Vessel Detection and Classification by Synthetic Aperture Radar for Maritime Security and Safety. *The 38th Symposium on Remote Sensing for Environmental Sciences*, n. September, p. 5–12, 2016.

PARK, Kyung-Ae et al. Multi-Spectral Ship Detection Using Optical, Hyperspectral, and Microwave SAR Remote Sensing Data in Coastal Regions. *Sustainability*, 2018.

PEREIRA, Diego Henrique Costa Pereira et al. Avaliação das imagens SAR/Sentinel-1 para identificação de garimpos de ouro embarcados por meio de algoritmos de detecção de embarcações. *Caminhos de Geografia, Uberlândia*, v. 25, n. 98, p. 150–169, 2024a.

PEREIRA, Diego Henrique Costa et al. Identificação de Garimpos de Ouro Embarcados por meio de Algoritmos de Classificação em Imagens Sentinel-2. *Sociedade & Natureza*, v. 36, p. e69409, 2024b.

RONDÔNIA. Decreto no 5.197, de 29 de julho de 1991. Disponível em: <https://www.al.ro.leg.br/leis/decretos-do-poder-executivo-suspenso-seus-efeitos-via-decreto-legislativo/decreto-5-197-sustado-os-efeitos-via-decreto-legislativo-no-646-2016.pdf>. Acesso em: 02 de out. 2022.

RONDÔNIA. Decreto n° 25.780, de 29 de janeiro de 2021. Disponível em: <https://rondonia.ro.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/Decreto.n%C2%B0-25780.-licen%C3%A7a-ambiental.pdf>. Acesso em: 03 de out.2022.

SANTOS, Waldemir Lima; OLIVEIRA, Rafaela Ferreira de; CRISÓSTOMO, Cleyton Aguiar. Dinâmica hidrossedimentológica do médio rio Acre: investigação inicial do processo de assoreamento. *Revista GeoUECE*, v. 18, n. 10, p. 57–66, 2021.

SEDAM. Operação de Fiscalização. Disponível em: www.sedam.ro.gov.br/operacao-de-fiscalizacao-ambiental-apreende-12-dragas-atuando-de-forma-ilegal-no-rio-madeira. Acesso em: 27 de nov. 2022.

SIGIMINE. Sistema de Informações Geográficas da Mineração. 2022. Disponível em: <https://geo.anm.gov.br>. Acesso em: 11 de nov. 2022.

TJ. Sentença Ação Civil Pública 1003598-84.2017.4.01.3200. 2021. Tribunal da Justiça Federal da 1o Região. 2021. Disponível em: <https://www.amazonasdireito.com.br/wp-content/uploads/2021/08/Sentenca-acao-MPF-licenciamento-lpaam-garimpo-no-rio-Madeira.pdf>. Acesso em: 14 de dez. 2022.

TJRO. Decreto estadual que autorizou garimpagem em rio de RO é inconstitucional, decide Pleno do TJRO.2022. Tribunal de Justiça do Estado de Rondônia. Disponível em: <https://www.tjro.jus.br/noticias/item/16823-decreto-estadual-que-autorizou-garimpagem-no-rio-madeira-e-inconstitucional-decide-pleno-do-tjro> Acesso em: 14 de dez. 2022.

UNEP. Global Mercury Assessment 2018. United Nations Environment Program. UNEP, Geneve – 62p. 2019

VEGA, Claudia M. et al. Human mercury exposure in yanomami indigenous villages from the Brazilian Amazon. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v.15, n.6, p.1051, 23 mai. 2018.