



ESPACIO ABIERTO

Cuaderno Venezolano de Sociología



En foco:

Coincidencias y diferencias en el análisis de la *Subordinación del Poder Judicial*. USA y Venezuela en tiempos de Caudillos

Volumen 35

Nº 1

Enero-Marzo, 2026

1

Auspiciada por la International Sociological Association (ISA)
y la Asociación Latinoamericana de Sociología (ALAS).
Revista oficial de la Asociación Venezolana de Sociología (AVS)



**ESPACIO
ABIERTO**

Cuaderno Venezolano de Sociología

Volumen 35 No. 1 (enero-marzo) 2026, pp. 100-126

ISSN 1315-0006. Depósito legal pp 199202zu44

DOI: 10.5281/zenodo.17488369

Impactos ambientais de áreas de mineração artesanal e de pequena escala (ASGM) no Amazonas, Brasil*

*Ricardo Livio Santos Marques***, *Maria Teresa Gomes Lopes****,
*Helinara Lais Vieira Capucho*****, *Caroline de Souza Bezerra****** y
*Jennifer de Souza Tomaz******

Resumo

A mineração artesanal e de pequena escala de ouro (MAPE) é uma das principais pressões sobre os ecossistemas amazônicos, gerando impactos ambientais significativos e transformações nas dinâmicas sociais e territoriais. O objetivo deste estudo foi analisar a evolução espacial e temporal da atividade de mineração no estado do Amazonas, Brasil, com ênfase nas operações de dragagem de rios e seus efeitos associados. Imagens de satélite PlanetScope integradas a um Sistema de Informação Geográfica (SIG) foram utilizadas, complementadas por auditoria visual, o que permitiu a identificação de alvos como solo exposto, vegetação degradada e corpos d'água naturais e antropizados. Os resultados indicaram uma intensificação das áreas impactadas entre 2021 e 2022, seguida por uma diminuição significativa a partir do segundo trimestre de 2023, quando os alertas de desmatamento apresentaram a maior redução na série histórica. A variação sazonal foi observada como um dos fatores que influenciam a dinâmica dos garimpos. A discussão destaca tanto as limitações dos algoritmos automatizados na detecção da mineração artesanal e em pequena escala (ASGM, na sigla em inglês) quanto a relevância do modelo de pré-financiamento empresarial que apoia a logística e a continuidade das operações, em contradição com a natureza legalmente artesanal da atividade. A integração de sensoriamento remoto, auditoria visual qualificada e análise socioeconômica é essencial para aprimorar o monitoramento da dragagem de rios e subsidiar políticas públicas de controle e mitigação dos impactos da mineração de ouro na Amazônia

Palavras-chave: Dragagem de rios; Monitoramento ambiental; Degradação de margens de rios; Dinâmica socioeconômica; Amazônia; Geoprocessamento

* Eles também fizeram parte da equipe de pesquisa: , Maria José Marques ORCID: 0000-0001-9399-8727 e Larissa Sousa da Silva ORCID: 0009-0000-0583-6067, de a Universidade Federal do Amazonas

**Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Brasil. ORCID: 0000-0001-7871-4220. livio.rsm@gmail.com Autor de correspondência: Ricardo Livio Santos Marques. E mail: livio.rism@gmail.com

***Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Brasil. ORCID: 0000-0003-1988-7126. E-mail: mtglopes@ufam.edu.br

****Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Brasil. ORCID: 0000-0002-3010-9096. E-mail: helinara.capucho@ufam.edu.br

*****Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Brasil. ORCID: 0000-0002-0380-4181. E-mail: caroline.bezerra@ufam.edu.br

*****Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Brasil. ORCID: 0000-0001-6612-2172 E-mail: jennifertomaz14@gmail.com

Environmental impacts of artisanal and small-scale mining (ASGM) areas in Amazonas, Brazil

Abstract

Artisanal and small-scale gold mining (ASGM) represents one of the main pressures on Amazonian ecosystems, generating significant environmental impacts and transformations in social and territorial dynamics. The objective of this study was to analyze the spatial and temporal evolution of mining activity in the state of Amazonas, Brazil, with emphasis on fluvial dredging operations and their associated effects. PlanetScope satellite imagery was integrated into a Geographic Information System environment, complemented by visual auditing, which enabled the identification of targets such as exposed soil, degraded vegetation, and natural and anthropogenic water bodies. The results revealed an intensification of impacted areas between 2021 and 2022, followed by a marked decline from the second quarter of 2023, when deforestation alerts recorded the sharpest reduction in the historical series. Seasonal variability was found to be among the key factors influencing mining dynamics. The discussion highlights both the limitations of automated algorithms in detecting ASGM and the relevance of the pre-financing model, whereby investors sustain logistics and operational continuity, contradicting the legally defined artisanal character of the activity. The integration of remote sensing, qualified visual auditing, and socioeconomic analysis is essential to improve ASGM monitoring and to support public policies aimed at controlling and mitigating the impacts of gold mining in Amazonas

Keywords: Fluvial dredging; Environmental monitoring; Riparian degradation; Socioeconomic dynamics; Amazônia; Geoprocessing

Introdução

A Mineração Aurífera Artesanal e de Pequena Escala (*Artisanal and Small-Scale Gold Mining, ASGM*), conhecida no Brasil como “garimpo”, consiste em práticas extrativas que empregam técnicas artesanais ou semi-industrializadas para a exploração e o beneficiamento de jazidas minerais. Esse tipo de mineração configura-se como um setor ativo da economia global e constitui a principal fonte de sustento para aproximadamente 20 milhões de pessoas em mais de 80 países, sobretudo em áreas rurais com alternativas econômicas restritas, especialmente em países em desenvolvimento (Dossou Etui et al., 2024). A ASGM caracteriza-se por operações informais, de baixo capital e mão de obra local ou migrante, geralmente em condições de vulnerabilidade socioeconômica (Mestanza-Ramón et al., 2022; Froese et al., 2022).

A importância econômica da ASGM no Amazonas é destacada pelo alto valor de mercado do ouro, pelas limitadas oportunidades econômicas nas regiões onde ocorrem, bem como em função das políticas desenvolvimentistas (Dossou Etui et al., 2024). O preço do ouro é regulado pelo mercado internacional e sujeito a flutuações decorrentes de fatores econômicos, políticos e sociais. A valorização do ouro entre 2018 e 2024,

impulsionada por crises econômicas e tensões geopolíticas, estimulou nova expansão da ASGM no Brasil (Dossou Etui et al., 2024). Nesse contexto, o garimpo passou a representar uma alternativa econômica concreta para populações ribeirinhas, subvertendo formas tradicionais de subsistência e modos de vida sustentáveis. Na prática, a ASGM depende de uma rede complexa de atores que viabilizam a atividade em áreas remotas, contrastando com a visão legal de garimpo artesanal (Palheta et al., 2017). No campo da Sociologia Ambiental, o monitoramento constitui não apenas uma prática técnica de vigilância dos ecossistemas, mas também um processo social que expressa formas de poder, controle e produção de conhecimento sobre a natureza. As práticas de observação e registro se integram a dispositivos de poder que definem o que deve ser visto e controlado (Sahakyan, 2025). O monitoramento ambiental como uma resposta social aos riscos produzidos pela modernidade industrial (Beck, 1992), enquanto Latour (2004) enfatiza a coprodução entre sociedade e natureza, em que o ato de monitorar traduz disputas por legitimidade científica e política. Nesse sentido, compreender a ASGM sob a perspectiva sociológica implica reconhecer o monitoramento como prática social situada, mediada por instituições, tecnologias e interesses econômicos, que redefine as fronteiras entre legalidade, ciência e território. Assim, este trabalho adota uma perspectiva sociológica do monitoramento, entendendo-o como prática social e política de controle territorial e ambiental, na qual se articulam atores estatais, empresariais e comunitários em torno da atividade garimpeira. As mineralizações secundárias de ouro no Amazonas estão fortemente associadas aos rios meandantes (Marques, 2022). As partículas de ouro encontram-se dispersas entre os minerais que compõem os sedimentos ativos de corrente e os sedimentos estabilizados nas planícies aluvionares e que conformam as margens das drenagens; predominando nas frações de areia, grânulos e seixos. As ASGM atuam lavrando esses materiais nas margens, o que provoca alterações na morfologia dos vales, com desmatamento e degradação ambiental.

A mineração artesanal e de pequena escala (ASGM) modifica a geomorfologia fluvial ao remover sedimentos de leitos e margens, suprimir matas ciliares e descartar rejeitos e vegetação nos rios, intensificando o assoreamento. O beneficiamento com mercúrio gera contaminação geoquímica, resultando em impactos físicos, químicos e biológicos. Embora represente estratégia de subsistência, a expansão da ASGM causa desmatamento extensivo, conversão de margens em lagos artificiais e perda de hotspots de biodiversidade, com risco de extinção de espécies e poluição ambiental (Mestanza-Ramón et al., 2022a).

O termo impacto ambiental é compreendido como o conjunto de alterações físicas, químicas e biológicas provocadas pela atividade de mineração artesanal e de pequena escala (ASGM) sobre os ecossistemas fluviais amazônicos. Esses impactos manifestam-se em diferentes níveis de complexidade, como físicos, pela dragagem dos leitos e margens dos rios, que modifica a morfologia fluvial, promove erosão, instabiliza taludes e acelera o processo de assoreamento; químicos, pelo uso do mercúrio metálico no beneficiamento do ouro, que contamina sedimentos, águas e organismos aquáticos, integrando-se à cadeia trófica e comprometendo a qualidade ambiental; e biológicos, pela supressão das matas ciliares e consequente perda de habitats, redução da biodiversidade e interrupção de processos ecológicos essenciais à manutenção dos ecossistemas ribeirinhos (Mestanza-Ramón et al., 2022a) causando prejuízos a qualidade de vida humana. Assim, o impacto ambiental, no escopo deste artigo, resulta da interação sinérgica entre essas dimensões, expressa nas alterações geomorfológicas, geoquímicas e ecológicas observadas nas áreas de garimpo mapeadas, evidenciando a degradação progressiva dos sistemas fluviais

amazônicos e a urgência de políticas integradas de controle e recuperação ambiental.

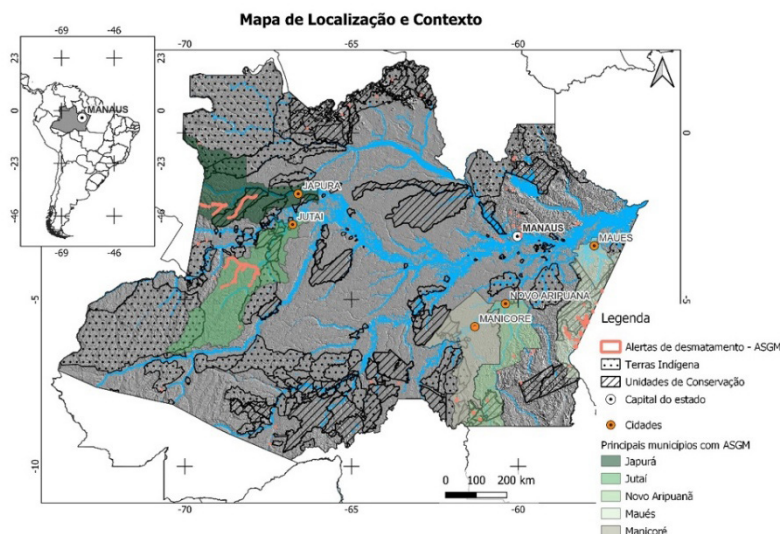
No Brasil, a atividade é formalmente regulamentada, mas a legislação não reflete sua complexidade em campo, marcada por dimensões sociais, econômicas e ambientais. Este estudo parte da hipótese de que a expansão da ASGM no Amazonas provoca alterações mensuráveis na morfodinâmica fluvial, na cobertura vegetal e na qualidade ambiental. Para tanto, utilizou sensoriamento remoto, geoprocessamento e análise espacial para monitorar as áreas impactadas, avaliar a eficiência de algoritmos de detecção de desmatamento e validar resultados por auditoria visual. As informações produzidas oferecem subsídios técnicos para estratégias de gestão ambiental voltadas à mitigação de danos, à proteção da biodiversidade e à preservação dos modos de vida locais. O objetivo deste estudo foi monitorar e analisar as áreas impactadas pela mineração artesanal e de pequena escala (ASGM) no estado do Amazonas, avaliando a eficiência dos algoritmos de detecção de desmatamento e validando os resultados por meio de auditoria visual a campo. Busca-se, ainda, compreender o garimpo artesanal e sua dinâmica socioeconômica, ambiental e a sua alta especialização no território amazônico, reconfigurando na prática em atividade tecnicizada, que traz prejuízos ao meio ambiente e à sociedade. O trabalho busca registrar resultados de atividades do homem e a complexidade do ASGM em ambiente de difícil acesso e muitas vezes na ausência da força e supervisão do “Estado”.

Material e Métodos

Área de estudo

Este estudo concentrou-se no estado do Amazonas (Figura 1), a maior unidade federativa do Brasil, inserida na região da Amazônia Legal. Ferramentas e metodologias de geoprocessamento foram empregadas para identificar, mapear e delimitar as bacias hidrográficas com maior incidência de ASGM ao longo do período estudado.

Figura 1 - **Mapa do Amazonas mostrando áreas impactadas pela ASGM, unidades de conservação e terras indígenas.**



Fonte: PlanetScope/Dashboard BRASIL M.A.I.S (10/08/2023).

O mapa (Figura 1) mostra os principais municípios impactados pela mineração artesanal e de pequena escala (ASGM) no Amazonas, com destaque para Japurá, Jutai, Novo Aripuanã, Maués e Manicoré. As áreas selecionadas concentram-se nas bacias dos rios Boia, Juami e Puruê, afluentes dos rios Jutai e Japurá, priorizadas pela elevada incidência de garimpos em depósitos aluvionares, segundo registros históricos, alertas de desmatamento e validações em imagens PLANET. O estudo também inclui outras localidades com indícios de impacto ambiental relevante, complementadas por registros fotográficos obtidos em campo a partir de pontos de alerta do PLANET.

Técnicas aplicadas

Rotina de processamento e análise de dados

A rotina de análise seguiu as seguintes etapas: (i) aquisição de imagens PlanetScope em ambiente SIG; (ii) aplicação de filtros espectrais e correções radiométricas; (iii) identificação automática de alterações pela ferramenta Dashboard; (iv) validação visual e classificação temática em três categorias (solo exposto, vegetação degradada e corpos hídricos); (v) integração espacial com bases cartográficas (hidrografia, unidades de conservação e limites municipais); e (vi) análise estatística e gráfica no software R. A fotointerpretação foi complementada por técnicas de fotogrametria digital, permitindo mensurar variações de relevo e modelar as feições geomorfológicas em 3D (James et al., 2012).

Para as análises, delimitou-se uma área de observação abrangendo os principais rios afetados. Foram utilizadas imagens PlanetScope integradas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), selecionadas por sua alta resolução espacial, frequência temporal diária e múltiplas bandas espectrais, possibilitando o monitoramento multitemporal de alterações na cobertura vegetal, solo exposto e corpos d'água. Essa abordagem permitiu detectar modificações sutis, mas recorrentes, na morfodinâmica e na geomorfologia fluvial. A acurácia foi assegurada por auditoria dos alertas automáticos de desmatamento e interpretação visual, complementadas por dados climáticos, econômicos e informações públicas sobre ações governamentais.

Ferramentas de Geoprocessamento no Mapeamento de Garimpos

As áreas afetadas pela ASGM foram identificadas por algoritmos de detecção de mudanças (*change detection*), que compararam imagens multitemporais e geraram polígonos de áreas impactadas. Esses produtos foram validados por fotointerpretação e análise multitemporal em ambiente SIG. A estratégia metodológica combinou processamento automatizado e verificação visual, resultando em um processo híbrido que aumentou a eficiência e a confiabilidade do mapeamento das áreas impactadas pela ASGM.

Fonte de Dados Geográficos

A plataforma BRASIL M.A.I.S. (BRASIL, 2024) disponibilizou imagens da constelação

PlanetScope, com mais de 130 satélites de observação (PLANET LABS, 2023). Entre suas ferramentas, destaca-se o Dashboard, sistema de alertas baseado em algoritmos de detecção automática de alterações multitemporais, que compararam imagens em diferentes datas e geraram “alertas” vetoriais. As transformações detectadas incluíram desmatamento associado à mineração, corte raso, queimadas, abertura de pistas e embarcações (BRASIL, 2024). A classificação utilizou parâmetros espectrais, texturais e geométricos, assegurando precisão espacial. A automatização dos alertas, filtráveis por tipo, localidade ou período, conferiu agilidade e objetividade às análises, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Plataforma de Alertas Dashboard para identificação de ASGM.



Fonte: <https://plataforma-pf.scon.com.br/#/> (10/03/2024).

A Figura 2 mostra a geração de “alertas” de alterações, representados por polígonos vetoriais integrados a Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como camadas temáticas. Essa integração possibilitou análises espaciais avançadas — interseção com Unidades de Conservação, Terras Indígenas e limites municipais —, além de cálculos de área, proximidade e estatísticas, evidenciando a utilidade dos SIG no diagnóstico e gestão territorial da ASGM (Longley et al., 2011). Foram utilizados alertas do Dashboard referentes à mineração de ouro no Amazonas, entre o 4º trimestre de 2020 e o 1º de 2024 (14 trimestres). A divisão trimestral assegurou consistência à série temporal, resultando em arquivos georreferenciados com atributos de data, área, perímetro e localização, que subsidiaram mapas, gráficos e tabelas sobre a evolução da ASGM.

As imagens PlanetScope (3–4 m de resolução, oito bandas espectrais, cobertura diária) foram aplicadas tanto na geração dos alertas quanto na validação visual, garantindo precisão temporal e espacial (Planet Labs, 2023). Processadas com correções radiométricas, geométricas e atmosféricas, são entregues ortorretificadas, adequadas a análises cartográficas, tornando o sistema Planet particularmente apropriado ao monitoramento sistemático das alterações ambientais associadas à ASGM.

Interpretação dos dados

A interpretação visual das imagens orbitais, integradas a dados vetoriais em ambiente SIG (alertas Dashboard, redes de drenagem, modelos hipsométricos), fundamentou-se nos princípios da fointerpretação aplicados à geologia e às paisagens tropicais, com ênfase na morfologia e geometria dos depósitos auríferos secundários, essenciais para a identificação de jazimentos garimpáveis (Evans, 2013; Robert et al., 2007). O método permitiu reconhecer padrões de cor, forma, textura e contexto, diferenciando feições naturais e antrópicas (James et al., 2018). Os principais alvos identificados foram: (i) solo

exposto, associado à extração e infraestrutura (Marques, 2022; Meneses et al., 2019); (ii) vegetação degradada e natural preservada (INPE, 2020; IBGE, 2020; Meneses et al., 2019); e (iii) corpos d'água, distinguindo ambientes naturais de cavas de garimpo e represamentos (Marques, 2022; Meneses et al., 2019). A análise foi realizada em softwares de código aberto — QGIS (QGIS, 2021), GRASS (GRASS, 2021) e SAGA (Conrad et al., 2015) —, que possibilitaram integração de dados multifonte, processamento das informações e avaliação detalhada dos impactos ambientais.

Resultados e discussão

Resultados descritivos e dados espaciais

Dragagem para obtenção do ouro e o Desmatamento nas Margens dos Rios Amazônicos

Os documentos analisados mostraram que a dragagem constitui a prática mais recorrente da ASGM na Amazônia, caracterizada pela remoção de sedimentos de leitos e margens fluviais. A atividade, condicionada à logística e à capacidade operacional, promove intensas alterações morfológicas, degradação de matas ciliares e assoreamento dos rios, configurando um dos principais vetores de transformação das paisagens ribeirinhas (Mestanza-Ramón, 2022).

No Amazonas foram identificadas duas técnicas principais de dragagem artesanal, condicionadas à morfologia do jazimento, isolamento geográfico, logística regional, cultura garimpeira e capacidade de investimento (Lívio, 2023). As plataformas com casco de madeira, menores e comuns em trechos acessíveis, atuam no leito principal com impacto limitado na vegetação ribeirinha; já as metálicas, mais robustas e autônomas, operam em áreas remotas, removendo integralmente a mata ciliar e provocando intensas alterações geomorfológicas e assoreamento (Lívio, 2023). A dragagem, regulamentada pela Resolução CONAMA n° 454/2012, consiste na escavação e remoção de sedimentos de leitos e margens por sistemas de sucção e desagregação, visando extrair partículas auríferas. O processo envolve coleta, separação do ouro e descarte de rejeitos, exemplificado nas balsas apresentadas na Figura 3.

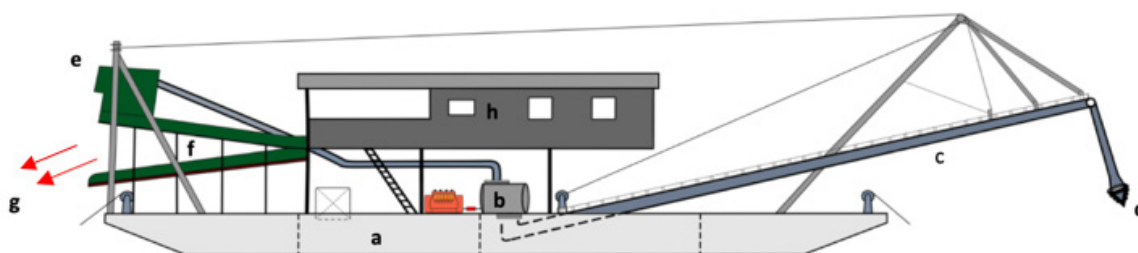
Figura 3 - Balsas metálicas em operação na ASGM amazônica



Acervo do autor: (10/09/2021). Fotografias e imagens aéreas mostram a estrutura flutuante, a lança de dragagem, as calhas de lavagem e os rejeitos acumulados a jusante.

Essas operações, embora distintas, geram alterações significativas na dinâmica fluvial e nos ecossistemas amazônicos. Esta pesquisa concentrou-se nas plataformas metálicas flutuantes, que, segundo observações de campo, sobrevoos, drones e imagens de satélite, são responsáveis pelos desmatamentos associados à dragagem das planícies aluvionares em rios meandrantos, resultando na supressão de matas ciliares, instabilização das margens e mudanças expressivas na morfologia fluvial. A dragagem de sedimentos inconsolidados, ativos ou relictuais, constitui o principal método de extração de ouro nos rios da Amazônia Ocidental, envolvendo escavação, escarificação e transporte do material, o que amplia os efeitos erosivos e a degradação local. As balsas típicas observadas (Figura 4), geralmente sem propulsão autônoma, operam de forma contínua em áreas remotas, funcionando como unidades semimecanizadas de pequeno porte. Sua estrutura inclui um casco metálico que sustenta a draga de sucção e recalque, equipada com bomba de alta potência e lança articulada com desagregador mecânico (“maraca”), responsável por revolver os sedimentos. O material bombeado passa por gradeamento inicial e segue para calhas de lavagem revestidas com carpetes, que concentram o ouro por gravidade. Os rejeitos, majoritariamente finos, são descartados a jusante, intensificando o assoreamento dos canais fluviais.

Figura 4 - **Diagrama esquemático de uma balsa de dragagem fluvial.**
Representação técnica da estrutura e dos componentes principais de uma balsa metálica típica operada por ASGM.



Acervo do autor: (05/06/2024).

A figura destaca os elementos funcionais do sistema, incluindo o casco metálico (a), bomba de sucção e recalque (b), lança articulada (c), desagregador mecânico (d), gradeamento (e), calhas de lavagem com carpetes (f), área de descarte de rejeitos (g) e centro de convivência (h).

A crescente complexidade das balsas na ASGM amazônica evidencia um processo de intensificação tecnológica que contrasta com a ideia de garimpo rudimentar. Estudos recentes mostram que, mesmo em contextos informais ou ilegais, essas unidades incorporam equipamentos de maior capacidade de sucção, beneficiamento e autonomia logística, ampliando os impactos ambientais. Sua operação contínua em margens fluviais vulneráveis intensifica o desmatamento ciliar, a instabilidade geomorfológica e o assoreamento (Molina et al., 2021; Telmer; Garrett, 2022). A caracterização técnica das balsas (Figura 4) demonstrou a relação direta entre sua estrutura física e funcional e a degradação de ecossistemas ripários, favorecendo a expansão das frentes de garimpo em áreas remotas. O beneficiamento do ouro prossegue com a despescagem: carpetes das calhas são lavados para liberar o concentrado de minério (ouro, areias e minerais pesados), que passa por mesa resumidora e segue ao tambor de amalgamação, onde se adiciona mercúrio metálico. A agitação forma o amálgama, posteriormente filtrado e submetido à

pirólise em maçaricos ou destiladores rudimentares, processo que volatiliza o mercúrio e recupera o ouro metálico.

Figura 5 - Alterações ambientais provocadas pela dragagem em garimpos de ouro na Amazônia.



Acervo do autor: (11/09/2021).

As imagens ilustram os principais impactos físicos da atividade garimpeira sobre os rios amazônicos: desmatamento das margens, erosão da vegetação ciliar, formação de praias de assoreamento e transformação das feições naturais do canal fluvial.

Os sistemas de dragagem na ASGM amazônica utilizam motores a diesel de alta potência, frequentemente adaptados de caminhões, valorizados pelo torque, resistência e eficiência energética, fundamentais em áreas remotas. Além de acionar bombas de sucção, esses motores sustentam geradores que alimentam sistemas mecânicos, hidráulicos, elétricos e instalações habitacionais (Molina et al., 2021). As balsas permitem a permanência da tripulação por semanas ou meses, dispondo de dormitórios, cozinha, despensa, banheiros e comunicação via satélite, além de oficinas embarcadas que garantem autonomia e continuidade operacional. A composição das equipes varia conforme o porte e grau de mecanização, envolvendo cozinheiro, mecânico, gerente de operações e três a cinco garimpeiros especializados.

As embarcações diferem em sofisticação, indo de modelos manuais a unidades com sistemas automatizados e maior capacidade de processamento (Telmer; Garrett, 2022). Nas operações analisadas, predominou a dragagem em margens de rios com lança e maraca, que desagregam sedimentos e cascalhos. Esse processo promove solapamento lateral, remoção da vegetação ciliar e supressão das florestas aluvionares, comprometendo a integridade ecológica e a biodiversidade local (Figura 5). A retirada de sedimentos e o descarte de rejeitos geram praias artificiais, rompimento de colos de meandro, novas barras arenosas e alargamento de margens (Marques, 2022). Em alguns locais, o uso de tratores e pás carregadeiras para derrubar a vegetação intensifica a descaracterização geomorfológica e as perdas das funções hidrológicas e ecológicas dos sistemas ribeirinhos (Cortinhas Ferreira Neto et al., 2024).

Identificação das Áreas Garimpadas com os Alertas Dashboard

Observou-se uma concentração das atividades garimpeiras em municípios, especialmente os de bacias hidrográficas com maior ocorrência de mineração (Tabela 1).

Tabela 1 - Resultados filtrados do número de alertas para os 14 trimestres.

Número do alerta	Municípios	2020	2021	2022	2023	2024	Soma de novos alertas
1	Apuí - AM	3	8	57	2	---	70
2	Atalaia do Norte - AM	---	2	3	---	---	5
3	Barcelos - AM	2	13	10	3	---	28
4	Benjamin Constant - AM	---	6	---	---	---	6
5	Boca do Acre - AM	---	3	2	3	---	8
6	Borba - AM	---	29	10	14	1	54
7	Canutama - AM	---	8	6	6	---	20
8	Codajás - AM	---	---	2	---	---	2
9	Envira - AM	---	7	---	1	---	8
10	Fonte Boa - AM	---	19	29	---	---	48
11	Humaitá - AM	2	5	2	2	1	12
12	Japurá - AM	374	2056	2197	1722	127	6476
13	Jutaí - AM	14	637	974	927	157	2709
14	Manacapuru - AM	2	6	3	6	---	17
15	Manaus - AM	---	7	2	24	5	38
16	Manicoré - AM	40	207	53	12	2	314
17	Maués - AM	277	1305	1068	760	104	3514
18	Novo Aripuanã - AM	31	47	24	130	86	318
19	Parintins - AM	3	10	2	---	---	15
20	Presidente Figueiredo - AM	3	10	7	16	1	37
21	Rio Preto da Eva - AM	3	---	10	8	8	29
22	Santo Antônio do Içá - AM	---	15	71	3	---	89
23	São Gabriel da Cachoeira - AM	6	16	8	9	---	39
24	São Paulo de Olivença - AM	3	16	52	1	---	72
25	Silves - AM	---	2	4	2	---	8
26	Uarini - AM	---	12	---	---	---	12
Soma		763	4446	4596	3651	492	13 948
Média trimestral		765	1112	1149	913	492	

A combinação dos alertas automáticos com a análise visual interativa das imagens ampliou a acurácia do mapeamento das áreas mineradas, contribuindo para o monitoramento contínuo e a avaliação espacial dos impactos causados pelas ASGM nas margens dos rios amazônicos.

Mapeamento de Alertas por Município

Na análise preliminar da distribuição espacial da ASGM pelo sistema Dashboard, entre o 4º trimestre de 2020 e o 1º trimestre de 2024 (14 trimestres), foram emitidos 14.005 alertas em 43 municípios amazonenses, abrangendo 9.293 ha. Após excluir municípios com apenas um alerta ou com área total inferior a 2 ha, restaram 26 municípios, responsáveis por 13.948 alertas em 9.268 ha. Apesar da redução de 39,5% no número de municípios, o volume de alertas e a área desmatada manteve-se praticamente inalterado (<0,5%), evidenciando a concentração espacial das atividades em localidades específicas.

A filtragem, de caráter empírico e exploratório, buscou reduzir ruídos estatísticos e eventos pontuais, permitindo focar em unidades territoriais com padrões consistentes de ocorrência e recorrência da ASGM, sem comprometer a representatividade da amostra.

Esse refinamento possibilitou aprofundar a análise espacial, destacando os municípios de maior incidência (Tabelas 1 e 2).

Tabela 2 - Resultados filtrados das áreas dos alertas para os 14 trimestres.

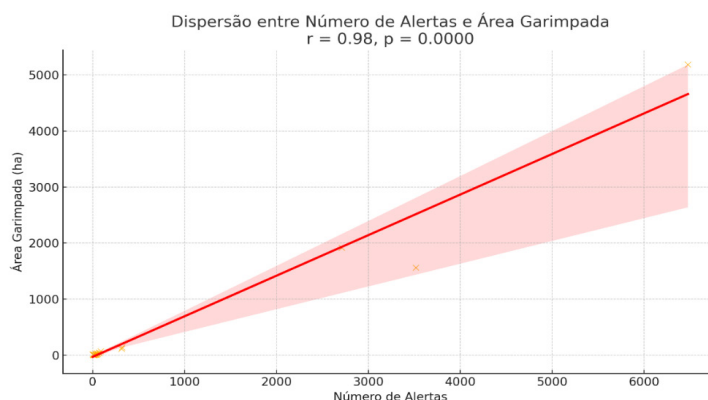
Número do alerta	Municípios	2020 4º	2021	2022	2023	2024 1º	Soma das áreas (ha)
1	Apuí - AM	0.19	2.25	29.3	0.57	---	32.28
2	Atalaia do Norte - AM	---	0.47	1.12	---	---	1.59
3	Barcelos - AM	0.15	14.2	19.9	0.75	---	35.05
4	Benjamin Constant - AM	---	4.36	---	---	---	4.36
5	Boca do Acre - AM	---	6.21	1.43	1.51	---	9.16
6	Borba - AM	---	7.15	3.67	4.25	0.23	15.3
7	Canutama - AM	---	2.51	1.85	1.47	---	5.83
8	Codajás - AM	---	---	15.6	---	---	15.58
9	Envira - AM	---	1.82	---	0.37	---	2.18
10	Fonte Boa - AM	---	14.1	21.4	---	---	35.49
11	Humaitá - AM	0.14	0.56	0.73	0.54	0.27	2.25
12	Japurá - AM	317.2	1859	1671	1241	98.03	5 185.48
13	Jutaí - AM	12.32	491	749	530	134.55	1 916.12
14	Manacapuru - AM	0.18	0.94	1.58	2.12	---	4.81
15	Manaus - AM	---	2.17	0.56	13.8	2.29	18.8
16	Manicoré - AM	9.21	69.9	29.8	6.58	0.7	116.24
17	Maués - AM	91.57	451	580	380	59.98	1 561.84
18	Novo Aripuanã - AM	5.04	17.2	8.85	62	43.87	136.92
19	Parintins - AM	0.14	1.31	0.73	---	---	2.19
20	Presidente Figueiredo - AM	0.34	5.69	3.14	8.06	0.23	17.46
21	Rio Preto da Eva - AM	0.42	---	6.57	2.58	2.29	11.86
22	Santo Antônio do Içá - AM	---	11.8	58.1	1.08	---	70.92
23	São Gabriel da Cachoeira - AM	0.38	2.98	3.77	4.63	---	11.76
24	São Paulo de Olivença - AM	0.47	13.8	30	0.36	---	44.66
25	Silves - AM	---	0.72	4.15	0.84	---	5.71
26	Uarini - AM	---	4.1	---	---	---	4.1
	Soma	437.75	2985	3241	2261	342.44	9 267.95
	Média trimestral	437.8	746	810	565	342.44	

Dentre os 26 municípios que apresentaram alertas de desmatamento relacionados à mineração, cinco deles, Japurá, Jutaí, Manicoré, Maués e Novo Aripuanã, concentram 96,21% da área total garimpada e 95,58% das ocorrências registradas ao longo dos 14 trimestres analisados (Tabela 3). A Figura 6 apresenta o gráfico de dispersão entre o número total de alertas e a área garimpada (em hectares) por município.

Tabela 3 - Resumos dos dados gerais para o período analisado.

Municípios	% de ocorrências	% de área
Japurá - AM	46.43%	55.95%
Jutaí - AM	19.42%	20.67%
Manicoré - AM	2.25%	1.25%
Maués - AM	25.19%	16.85%
Novo Aripuanã - AM	2.28%	1.48%
Total	95.58%	96.21%

Figura 6 - Gráfico de dispersão entre o número de alertas e a área garimpada nos municípios do estado do Amazonas.



Cada ponto representa um município com registros de ASGM entre o quarto trimestre de 2020 e o primeiro trimestre de 2024.

Na Figura 6, o eixo horizontal indica o número de alertas de desmatamento e o vertical a área desmatada (ha). A linha de tendência mostra forte correlação linear ($r \approx 0,97$; $p < 0,0001$), evidenciando associação estatisticamente significativa entre a frequência de alertas e a magnitude da área impactada. Esse resultado valida a abordagem metodológica e confirma que o aumento das ocorrências está diretamente relacionado à expansão da área desmatada. Observou-se ainda variação na área média por alerta: Japurá e Jutai apresentaram valores mais elevados, enquanto Manicoré, Maués e Novo Aripuanã registraram áreas menores. A Figura 7 e a Tabela 4 apresentam as médias anuais de novos garimpos e áreas associadas, consolidadas a partir das Tabelas 1 e 2.

Figura 7 - Evolução das médias trimestrais anuais das ocorrências de garimpo (linha escura) e das áreas desmatadas (linha clara) no estado do Amazonas entre o 4º trimestre de 2020 e o 1º trimestre de 2024.

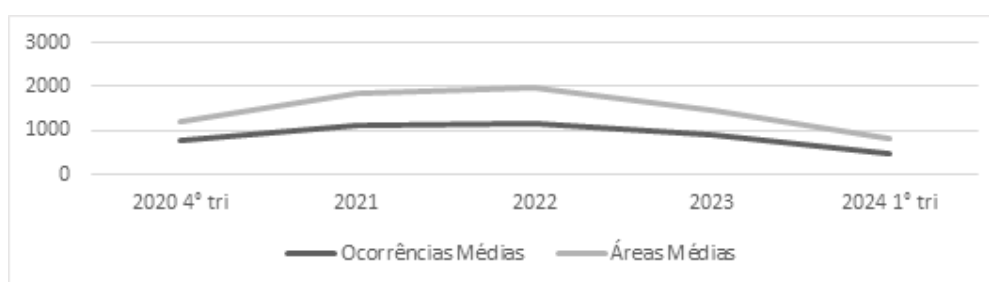


Tabela 4 - Médias anuais do número de ocorrências de garimpo e das áreas desmatadas associadas às ASGM no estado do Amazonas entre 2020 e 2024, com respectivas variações percentuais ano a ano.

Período	Ocorrências Médias	Áreas Médias (ha)
2020 4º tri	765	437.80
2021	1112	746.26
2022	1149	810.36
2023	913	565.32
2024 1º tri	492	342.44

Comparando o 4º trimestre de 2020 com a média de 2021, houve aumento de 45,29% no número médio de alertas e de 70,46% nas áreas desmatadas, indicando maior

frequência e abrangência dos eventos. A Figura 7 mostra crescimento contínuo até 2022, seguido de forte retração a partir de 2023. Entre 2021 e 2022, os acréscimos foram de 3,37% nos alertas e 8,59% nas áreas; já em 2023 verificou-se redução de 20,56% e 30,24%, respectivamente, intensificada no 1º trimestre de 2024 (-46,10% nos alertas e -39,43% nas áreas).

Esse padrão revela avanço da ASGM até 2022, impulsionado pela valorização do ouro durante a pandemia, que consolidou o metal como ativo de refúgio (Gasparinnetti et al., 2024), aliado a fragilidades institucionais e lacunas na fiscalização, fatores que favoreceram circuitos ilegais em áreas remotas e ecologicamente sensíveis (Quash et al., 2024). A retração observada desde 2023 relaciona-se à intensificação de políticas de repressão – apreensão e destruição de dragas, bloqueio logístico – medidas que, como evidenciado no Peru, reduzem diretamente a intensidade das atividades (Dethier et al., 2023). Além disso, barreiras logísticas e crescente pressão social e internacional, sobretudo frente à crise ambiental em terras indígenas, reduziram a atratividade econômica do garimpo, reforçando sua natureza cíclica (Donkor; Ghozeisi; Bonzongo, 2024).

Mapeamento Trimestral de Alertas com a Totalidade dos Dados

Para compreender a evolução da ASGM no Amazonas, os dados foram organizados em intervalos trimestrais ao longo de todo o período analisado. Essa abordagem temporal possibilita identificar flutuações na intensidade e na distribuição espacial das atividades, bem como padrões associados a fatores sazonais e climáticos, como regime de chuvas e nível dos rios, que influenciam a acessibilidade e a operação das dragas. Optou-se por utilizar a totalidade dos dados, sem restrição por município, já que a filtragem resultou em diferença inferior a 0,5%, assegurando maior robustez às tendências temporais. A Tabela 5 sintetiza os resultados.

Tabela 5 - Área desmatada trimestralmente para mineração de ouro por ASGM no estado do Amazonas, entre o quarto trimestre de 2020 e o primeiro trimestre de 2024.

Primeiro Trimestre		
Ano	Área	Variação (%)
2021_1º	708.13	
2022_1º	944.3	33.35%
2023_1º	1132.28	19.91%
2024_1º	342.44	-69.76%
Média	781.79	
Segundo Trimestre		
Ano	Área	Variação (%)
2021_2º	902.43	
2022_2º	1076.33	19.27%
2023_2º	592.13	-44.99%
Média	856.96	
Terceiro Trimestre		
Ano	Área	Variação (%)
2021_3º	517.91	
2022_3º	577.11	11.43%
2023_3º	388.51	-32.68%
Média	494.51	

Quarto Trimestre		
Ano	Área	Variação (%)
2020_4 ^o	438.83	
2021_4 ^o	861.34	96.28%
2022_4 ^o	650.84	-24.44%
2023_4 ^o	147.75	-77.30%
Média	524.69	

Os dados foram organizados por trimestre e por ano, permitindo analisar a evolução temporal das atividades de garimpo. As variações percentuais indicam crescimento ou retração da área desmatada em relação ao mesmo trimestre do ano anterior, e a média trimestral possibilitou comparações entre períodos. Observa-se aumento contínuo até o primeiro trimestre de 2023, seguido de queda acentuada.

A análise consolidada facilita a identificação de padrões temporais e o cruzamento com variáveis contextuais. A Tabela 5 mostra a evolução trimestral das áreas desmatadas pela ASGM no Amazonas, do quarto trimestre de 2020 ao primeiro trimestre de 2024, com expansão até 2022 e desaceleração progressiva a partir de 2023.

A Figura 8 e o Quadro 1 evidenciam os picos e declínios das áreas impactadas, com ápice no primeiro trimestre de 2023 (1.132 ha), seguido pelo segundo trimestre de 2022 (1.076 ha). O padrão geral indica crescimento até 2022, seguido de retração em todos os trimestres posteriores a 2023.

Figura 8. Evolução Trimestral das Áreas Desmatadas por ASGM no Amazonas.

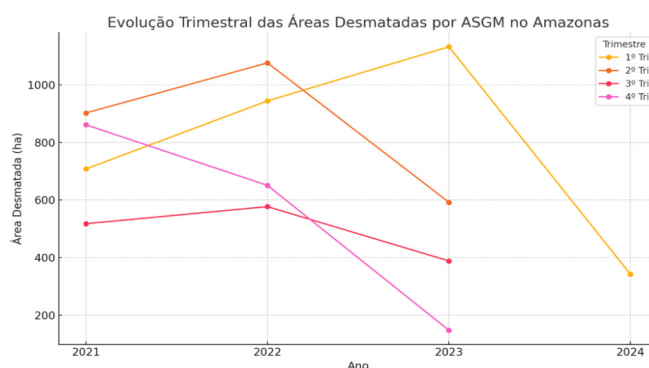


Gráfico de linhas mostrando a variação das áreas desmatadas por trimestre entre 2021 e o primeiro trimestre de 2024.

Quadro 1. Síntese Numérica dos Ciclos de Expansão e Retração da ASGM no Amazonas (2020-2024).

Ciclo Temporal	Tendência Observada	Variação Média por Trimestre (%)
2020-T4 a 2022-T4	Expansão contínua	+36,2
2023-T1	Pico absoluto de atividade	+19,9 em relação a 2022-T1
2023-T2 a 2024-T1	Retração sistemática	-62,5

Os dados indicam que as atividades de mineração artesanal e de pequena escala de ouro (ASGM) no Amazonas concentram-se, sobretudo, nos dois primeiros trimestres de cada ano. Entre 2021 e 2023, os primeiros trimestres apresentaram incremento contínuo nas áreas desmatadas, enquanto os segundos acompanharam a tendência até 2022, mas

caíram em 2023. Terceiros e quartos trimestres mostraram atividade sistematicamente menor, com pico atípico no quarto trimestre de 2021 e forte desaceleração em 2023. Essa dinâmica relaciona-se às condições pluviométricas sazonais, que limitam o acesso às frentes de garimpo nos meses mais chuvosos (Jia et al., 2023).

A tendência geral entre o quarto trimestre de 2020 e o primeiro de 2023 foi de crescimento progressivo, com aceleração média de 36% por período. Apesar da retração no final de 2022, houve recuperação imediata no início de 2023. A partir do segundo trimestre de 2023, entretanto, observou-se queda contínua, atingindo o menor valor da série no quarto trimestre, com redução de 77% em relação ao mesmo período do ano anterior, em consonância com análises que relacionam maior pluviosidade à menor pressão antrópica sobre a floresta (Beuchle et al., 2023; Jia et al., 2023).

Validação Espacial dos Alertas de ASGM com Imagens Multitemporais de Satélite – Interpretação Visual

Discussão sociológica e ambiental dos resultados

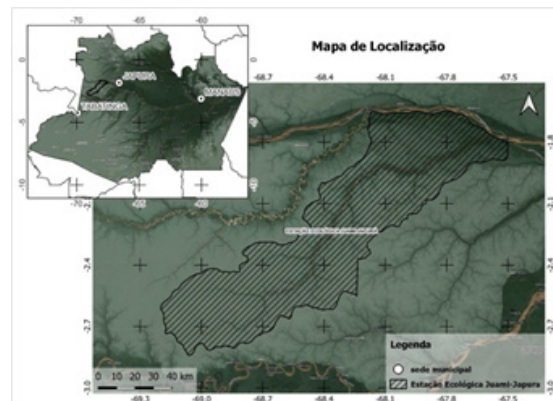
Os resultados apresentados a seguir descrevem as dimensões espaciais e temporais da mineração artesanal no Amazonas. Posteriormente, são discutidas as implicações sociais, econômicas e ambientais desses padrões à luz do debate sociológico sobre o controle territorial e a sustentabilidade regional.

A persistência da ASGM reflete processos de marginalização econômica e ausência de políticas estruturantes, aspectos que se inserem no campo da sociologia ambiental e do desenvolvimento (Martínez-Alier, 2014). A atividade, embora tecnicamente artesanal, expressa uma racionalidade socioeconômica complexa que combina sobrevivência, informalidade e dependência de redes de financiamento.

Para assegurar a confiabilidade dos dados gerados automaticamente pelo Dashboard PlanetScope, realizou-se validação visual com imagens multitemporais de alta resolução do próprio sistema. Essa etapa permitiu identificar áreas de ASGM, garimpos, vegetação e corpos d'água (Engstrand et al., 2024), confirmando a acuracidade dos alertas e revelando detalhes adicionais sobre a extensão e a localização das áreas afetadas. Foram identificados verdadeiros positivos e, em baixa proporção, falsos positivos e negativos.

A auditoria concentrou-se nas áreas críticas de desmatamento associadas à ASGM, localizadas nos rios dos municípios mais afetados (Tabela 5). Nelas aplicaram-se métodos clássicos de interpretação visual, relacionando feições de desmatamento às morfologias típicas da extração mineral, como margens desmatadas, canais escavados, balsas e corpos d'água artificiais (Figura 9).

Figura 9 - Localização da Estação Ecológica Juami-Japura no estado do Amazonas.



Mapa temático destacando os limites geográficos da Unidade de Conservação Federal, inserida no município de Japurá-AM. Acervo do autor: (11/11/2022).

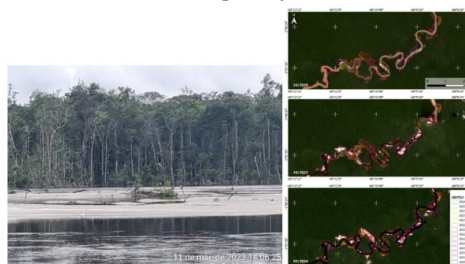
O mapa evidencia a sobreposição entre a área protegida e a bacia do rio Juami, destacando sua relevância ecológica e a vulnerabilidade frente às pressões da atividade garimpeira. A análise multitemporal de imagens de satélite busca comprovar se os desmatamentos resultam da mineração aluvionar de ouro. Estudos de caso nos rios Juami e Purue (Japurá), Boia (Jutaí) e no Garimpo do Abacaxis (Maués) demonstram, com base em imagens de satélite e registros de campo, a degradação ambiental progressiva causada pelas ASGM. As sequências temporais, mapas temáticos e fotografias de campo revelam alterações na cobertura vegetal, nos corpos hídricos e na geomorfologia local.

Rio Juami

Os alertas de desmatamento para o rio Juami (Japurá) apresentaram elevada correspondência com as alterações morfológicas observadas em imagens multitemporais do PLANET. As atividades de mineração artesanal e de pequena escala de ouro (ASGM) causaram intensas modificações fluviais entre o primeiro trimestre de 2021 e o quarto de 2022, incluindo corte artificial de meandros (neck e chute cutoff), assoreamento acelerado, alargamento do canal, erosão de margens, formação de barras sedimentares, praias e ilhas (Figura 10). Também se verificou aumento da carga de sedimentos e alterações na planície aluvial adjacente.

Essas transformações comprometem a integridade ecológica do rio Juami, integrante da Estação Ecológica Juami-Japurá, evidenciando a sobreposição de pressões antrópicas em território legalmente protegido e a necessidade de atenção ambiental e jurídica.

Figura 10 - Alterações geomorfológicas no rio Juami observadas entre 2021 e 2022.



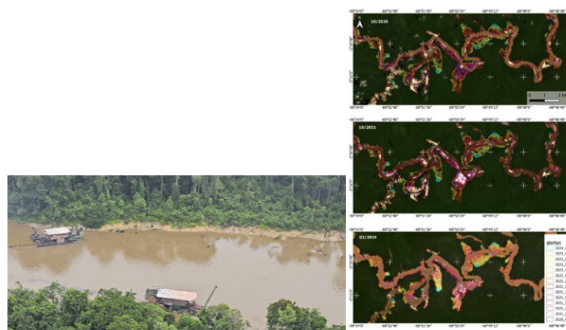
Acervo do autor: (11/05/2023).

As imagens multitemporais de satélite evidenciam o corte artificial de meandros, o assoreamento progressivo do canal, a formação de novas praias e a degradação das margens, associadas à atividade garimpeira.

Rio Puruê

No rio Puruê, também situado no município de Japurá, os alertas de desmatamento e degradação ambiental emitidos entre 2022 e 2024 apresentam forte concordância com as alterações observadas na paisagem por meio das imagens multitemporais de satélite (Figura 11).

Figura 11 - **Rio Puruê (Japurá/AM): imagens multitemporais de satélite mostram impactos da ASGM entre 2022 e 2024,**

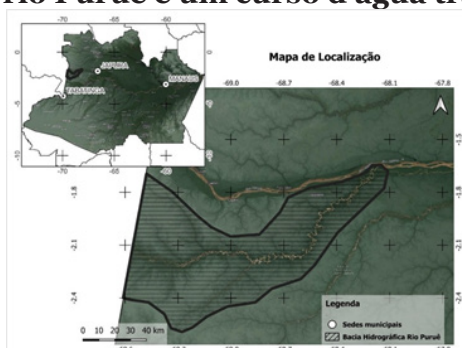


Incluindo cortes de meandros, assoreamento, alargamento do canal e formação de barras sedimentares. Acervo do autor: (11/05/2023).

A fotografia de campo registra duas dragas metálicas em operação no leito do rio.

O rio Puruê é transnacional, com nascente na Colômbia e curso que atravessa a Faixa de Fronteira em direção ao Brasil (Figura 12). Entre o segundo trimestre de 2022 e o primeiro de 2024, as atividades de mineração artesanal e de pequena escala (ASGM) promoveram intensas transformações geomorfológicas, como cortes artificiais de meandros (neck e chute cutoff), assoreamento, alargamento do canal, erosão de margens, formação de barras sedimentares, praias e ilhas, além do aumento da carga de sedimentos e degradação da planície aluvial. A localização em zona de fronteira internacional, marcada por baixa presença estatal e alto valor mineralógico, evidencia a necessidade de reforço na governança territorial no controle da atividade minerária.

Figura 12 - **O rio Puruê é um curso d'água transnacional,**

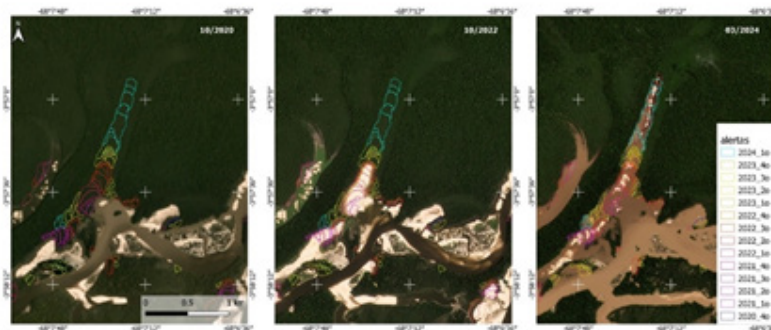


Com nascentes na Colômbia e curso inferior em território brasileiro, situado em zona de fronteira internacional. Acervo do autor: (11/12/2023).

Rio Boia

As áreas impactadas revelam intensa alteração da geomorfologia fluvial, com evidências de cortes artificiais de meandros, assoreamento e avanço das frentes de dragagem sobre a planície aluvial (Figura 13). A fotografia aérea, obtida em março de 2023, mostra o rio em período de cheia, com seu canal entrecortado por barras sedimentares e áreas alagadas decorrentes do assoreamento, ilustrando os efeitos cumulativos da atividade mineradora sobre a dinâmica hidrológica local.

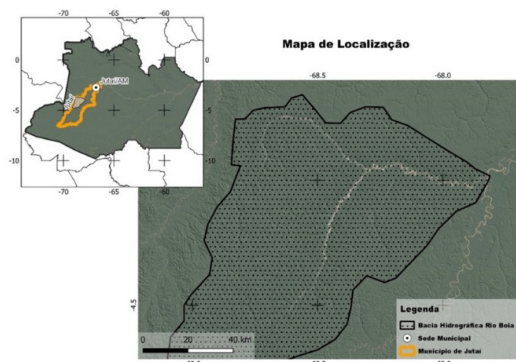
Figura 13 - Mapas e imagem aérea do rio Boia (Jutaí/AM)



Imagens multitemporais (2020–2024) evidenciam a progressão da ASGM na bacia, complementadas por fotografia aérea. Acervo do autor: (20/09/2021).

Os mapas da Figura 13 evidenciam atividades de mineração artesanal e de pequena escala (ASGM) na bacia do rio Boia, município de Jutaí (Figura 14), inclusive antes do intervalo analisado. Os alertas de desmatamento entre o quarto trimestre de 2020 e o primeiro de 2024 corresponderam fielmente às alterações detectadas. Entre o segundo trimestre de 2022 e o primeiro de 2024, intensificaram-se mudanças morfológicas típicas da ASGM, como cortes artificiais de meandros (neck e chute cutoff), assoreamento, alargamento do canal, erosão de margens, formação de barras, praias e ilhas, além do avanço das frentes de garimpo sobre a planície aluvial. A imagem de março de 2024, em período de cheia, mostra o encobrimento das praias formadas a partir dos sedimentos depositados nas vazantes.

Figura 14 - Localização do rio Boia (Jutaí/AM)

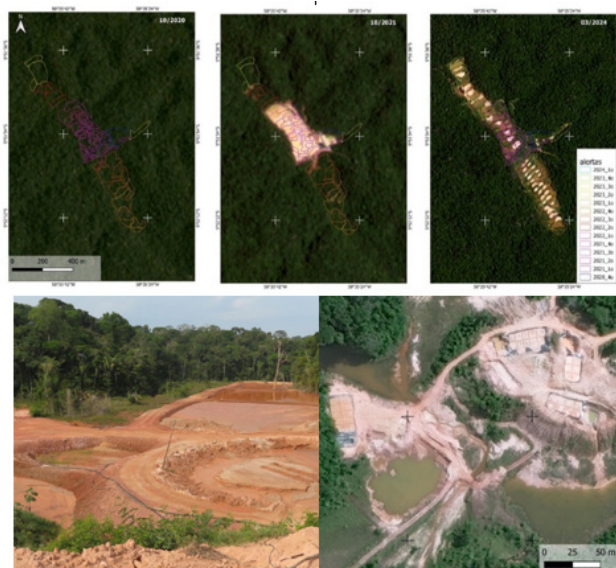


Mapa da bacia hidrográfica no Amazonas, com destaque para o recorte analisado das atividades de ASGM. Acervo do autor: (20/11/2023).

Garimpo do Abacaxis

No Garimpo do Abacaxis, em Maués, os alertas de desmatamento coincidem com as alterações observadas na paisagem (Figura 15). As atividades de mineração artesanal e de pequena escala (ASGM) foram mais intensas entre o segundo trimestre de 2022 e o segundo de 2023, causando supressão da cobertura vegetal e obliteração da rede de drenagem de pequeno porte e de sua planície aluvial. O garimpo migrou do leito aluvionar para zonas de saprólito, desenvolvendo lavra em minério oxidado com uso de insumos químicos, especialmente cianeto em pilhas de minério (Lívio, 2023).

Figura 15 - **Série multitemporal de imagens de satélite e fotografia aérea parte inferior da figura do Garimpo do Abacaxis no município de Maués (AM).**

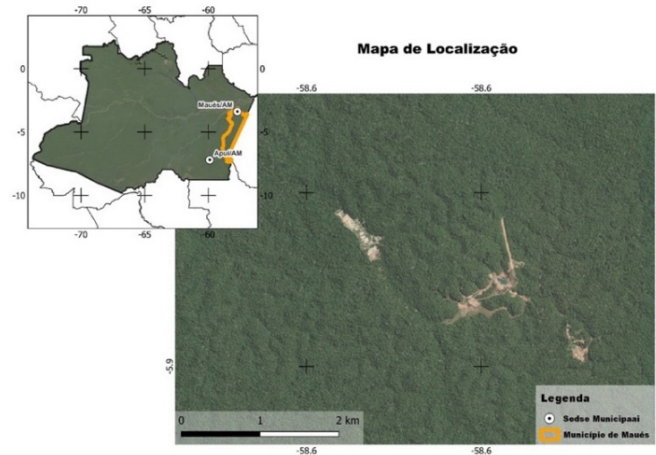


Acervo do autor: (20/04/2023).

A sequência multitemporal evidencia a rápida expansão do Garimpo do Abacaxis sobre áreas de floresta primária entre outubro de 2020 e março de 2024, com maior intensidade entre o 2º trimestre de 2022 e o 2º de 2023. Identificam-se cavas paralelas e alinhadas, associadas ao uso de escavadeiras hidráulicas e mangueiras de alta pressão para desmonte do solo, em substituição às dragas fluviais. Pequenas manchas de vegetação remanescente indicam barreiras naturais ao avanço da lavra.

As imagens do sistema Planet confirmam a correspondência entre áreas desmatadas e alertas de degradação, revelando a obliteração da drenagem original e a progressão da atividade minerária (Figura 16). Fotografias de campo mostram frentes de lavra escavadas, acúmulo de água, mangueiras de desmonte hidráulico e pilhas de lixiviação por cianetação, além da disposição desordenada das estruturas de processamento.

Figura 16 - Mapa de localização do garimpo do Abacaxis no estado do Amazonas, Brasil,



Evidenciando sua inserção geográfica em área de floresta densa e o isolamento logístico do garimpo. Acervo do autor: (15/11/2022).

Falsos positivos e falsos negativos

Durante o processo de auditoria visual conduzido com base nas imagens multitemporais do sistema Planet, identificaram-se tanto falsos positivos quanto falsos negativos nos dados fornecidos pelos alertas do Dashboard. Os falsos positivos referem-se a áreas incorretamente classificadas como garimpadas (Figura 17), enquanto os falsos negativos correspondem a áreas efetivamente mineradas que não foram detectadas pelos algoritmos (Figura 18).

Figura 17 - Exemplos de Falsos Positivos produzidos pelo algoritmo de Alertas Dashboard para mineração.



Acervo do autor: (20/07/2024).

Figura 18 - Falsos Negativos: imagem de satélite mostra pequenas feições de garimpo em drenagens estreitas não detectadas pelos algoritmos, mas visíveis na análise visual.



Acervo do autor: (20/07/2024).

Os falsos negativos concentram-se em feições de pequena escala (<1 ha) ou em áreas de vegetação esparsa, exigindo maior resolução interpretativa. Foram identificados com base em critérios técnicos de interpretação visual, padrões morfológicos de ASGM e conhecimento geográfico dos garimpos (Engstrand et al., 2024; Marques, 2022). Já os falsos positivos estão geralmente associados a processos naturais, como desbarrancamentos fluviais, ou a intervenções não auríferas, como supressões vegetais para açudes e obras civis, que os algoritmos confundem com mineração (Fonseca et al., 2024; Nursamsi et al., 2024). A ocorrência desses desvios é reduzida, mas revela limitações dos sistemas automatizados, especialmente diante da variabilidade sazonal, reforçando a importância da auditoria visual para garantir maior acurácia (Fonseca et al., 2024; Nursamsi et al., 2024). As imagens PlanetScope ilustram tais limitações, mostrando áreas identificadas incorretamente como garimpos ativos (Figura 17). A integração entre algoritmos e interpretação visual qualificada é, portanto, essencial para o refinamento dos dados e a fidelidade da análise de ASGM no Amazonas. Além disso, a extração de ouro na região depende de pré-financiamento para construção de balsas e manutenção da logística de insumos, equipamentos e mercúrio. Investidores assumem riscos e controlam o acesso ao mercado, repassando custos aos operadores locais, majoritariamente ribeirinhos. Esse modelo confronta a legislação minerária, que define o garimpo como atividade rudimentar e individual, mas na prática envolve empresários influentes e arranjos informais que garantem suporte logístico e proteção institucional (Júnior & Carvalho, 2023).

Em regiões remotas da Amazônia, onde o acesso é difícil e a presença do Estado é frágil ou inexistente, o ASGM assume caráter multifacetado, envolvendo desde a busca pela subsistência e renda imediata até redes informais de comércio e exploração. A ausência de fiscalização efetiva e de políticas públicas contínuas favorece a expansão desordenada dessas atividades, resultando em degradação ambiental, contaminação por mercúrio e conflitos territoriais com populações tradicionais e indígenas. Essa combinação de isolamento geográfico, vulnerabilidade social e desgovernança institucional transforma o ASGM em um fenômeno de alta complexidade, no qual as fronteiras entre legalidade e ilegalidade se tornam difusas e os impactos socioambientais, de difícil controle e reversão (Almeida et al., 2025).

Conclusão

O estudo comprovou que o monitoramento sistemático, baseado em sensoriamento remoto e validação visual, constitui um instrumento eficaz para compreender os impactos ambientais e sociais da ASGM. A abordagem híbrida combinando algoritmos automáticos e interpretação humana, revelou padrões espaciais e temporais que traduzem as transformações territoriais decorrentes da mineração artesanal com características semi-industriais disfarçadas como artesanais.

Os alertas automatizados, pela capacidade de triagem em larga escala, e as interpretações visuais, pela acurácia contextual, configuram ferramentas complementares indispensáveis ao diagnóstico de áreas mineradas. A integração desses métodos representa um avanço metodológico significativo, ao combinar eficiência técnica e precisão interpretativa no monitoramento regional ASGM.

A análise detalhada revelou limitações dos algoritmos na detecção de garimpos de pequena escala, resultado em falsos positivos e negativos. Esses desvios evidenciam a necessidade de uma abordagem crítica sobre as atividades ilegais e a complexa rede de atores, incluindo financiadores, operadores locais e intermediários que sustenta logisticamente a mineração do Amazonas. Essa estrutura contrasta com a concepção legal de garimpo artesanal e indica uma intensificação tecnológica e organizacional crescente, com uso de balsas metálicas, maquinário de alta potência e sistemas de beneficiamento semi-industrializado.

Embora formalmente enquadrada como atividade artesanal, opera em um modelo híbrido que combina práticas tradicionais e tecnologia avançadas, revelando uma dinâmica socioeconômica e ambiental mais ampla. A legislação vigente, portanto, mostra-se insuficiente para captar essa complexidade e regular adequadamente as interações entre economia informal, degradação ambiental e vulnerabilidade social. Assim, compreender a ASGM requer integrar dimensões técnicas, legais e humanas, de modo a orientar políticas públicas mais efetivas para o controle, a recuperação ambiental e a proteção dos territórios amazônicos.

Do ponto de vista sociológico, a ASGM configura uma rede socioeconômica complexa, marcada por assimetrias de poder, informalidade e dependência tecnológica. O monitoramento ambiental, nesse contexto, assume papel estratégico para revelar as interações entre sociedade e natureza e subsidiar políticas públicas que conciliem justiça social e conservação ambiental.

Referencias

ALMEIDA, I. B. LOPES, M. T. G. TOMAZ, J. S. BEZERRA, C. D. S. (2025) “Nem tudo que reluz é história do garimpo na Amazônia brasileira.” **Espacio Abierto: cuaderno venezolano de sociologia**. Volume 34, No 4, 77-95.

BECK, U. (1992) “Risk society: Towards a new modernity.”. **Sage google schola**. Volume 2, 53-74.

CAMPOS-SILVA, J. PERES, C. HAWES, J. HAUGAASEN, T. FREITAS, C. LADLE, R. LOPES, P. (2021) “Sustainable-use protected areas catalyze enhanced livelihoods in rural Amazonia”. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. Volume 118, No. 40, e2105480118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2105480118>.

CHRISTENSEN, N. (2023) **Gold's recent push near all-time highs was just a test run as Citigroup's Morse sees prices hitting \$2,400**. Disponível em: <https://www.kitco.com/news/article/2023-05-09/golds-recent-push-near-all-time-highs-was-just-test-run-citigroups-morse>. Acesso em: 21 jul. 2024.

ENGSTRAND, R. ESPEJO, J. SILMAN, M. ASNER, G. (2024) "Repeated mining accounts for the majority of artisanal and small-scale gold mining activity in Southeastern Peru". **Environmental Research Letters**, Volume 19, 064036. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad44b0>.

EVANS, A. M. (2013). **Ore Geology and Industrial Minerals: An Introduction**. Chichester: Wiley-Blackwell, 3. ed., 400 p. ISBN 978-1-118-68502-0.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (2000) **Introdução ao processamento digital de imagens: Manuais Técnicos em Geociências**, No 9. Rio de Janeiro: IBGE.

JAMES, S. ABER, I. MARZOLFF, J. RIES, B. J. ABER, S. E. W. (2018) "Visual image interpretation". Em: ABER, J. S.; MARZOLFF, I.; RIES, J. B.; ABER, S. E. W. (orgs.) **Small-Format Aerial Photography and UAS Imagery: Principles, Techniques and Geoscience Applications**. 2^a ed. Elsevier, p. 163-190. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812942-5.00010-0>.

JAMES, M. R. et al. (2012) "Geomorphic change detection using historic maps and DEM differencing: The temporal dimension of geospatial analysis." **Earth Surface Processes**. Volume 137, No 1, 181-198.

LATOUR, B. *Politics of Nature: How to Bring the Sciences into Democracy*. Harvard University Press, 2004.

LÍVIO, R. "Mercúrio no Amazonas: uma perspectiva forense em 2023." (2023) **Perícia Federal**. ano 5, No. 52, 42-51.

LONGLEY, P. A. et al. (2011) **"Geographic Information Systems and Science"**. 3. ed. Chichester: Wiley.

MARQUES, R. L. S. (2022) "Impactos Ambientais da Mineração Aluvionar de Ouro na Bacia do Rio Boia – Amazonas". Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 108 p.

MARSHALL, B. et al. (2020) "Oportunidades econômicas e atividades de mineração na Amazônia." **Environmental Research Letters**. Volume 15, 025-034.

MARTINEZ-ALIER, J. (2014) "The environmentalism of the poor." **Geoforum**. Volume 54, 239-241.

MENESES, P. R. ALMEIDA, T. (2012) **"Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto"** Brasília: Universidade de Brasília/CNPq.

MENESES, P. R., ALMEIDA, T. B. (2019) **"Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação"** São Paulo: Oficina de Textos.

MESTANZA-RAMÓN, C. et al. (2022) "Gold mining in the Amazon: A technical and environmental review of recent developments". **Environmental Science & Policy**. Volume 11, No 2, 221. DOI: <https://doi.org/10.3390/land11020221>

MESTANZA-RAMÓN, C. MORA-SILVA, D. D'ORIO, G. TAPIA-SEGARRA, E. GAIBOR, I. PARRA, J. VELÁSQUEZ, C. STRAFACE, S. (2022) "Artisanal and Small-Scale Gold Mining (ASGM): Management and Socioenvironmental Impacts in the Northern

Amazon of Ecuador”. **Sustainability**. Volume 14, No. 11, 6854 <https://doi.org/10.3390/su14116854>

MONTEIRO, M. A., COELHO, M. C. N., COTA, R. G., BARBOSA, E.J. D. S. (2010) “Ouro, empresas e garimpeiros na Amazônia: o caso emblemático de Serra Pelada”. **Revista Pós Ciências Sociais**. Volume 7, No 13.

NOVO, M., EVLYN, M. L. (2010) “**Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**”. 4. ed. São Paulo: Blucher, 388 p. ISBN 978-8521205401.

JIA, L. XU, R. WU, J. SONG, M. & CHEN, X. (2023) “Impacts of geopolitical risk and economic policy uncertainty on metal futures price volatility: Evidence from China.” **Resources Policy**. Volume 87, 104328.

<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104328>

ROWE, R. R., ZHOU, X. (2007) “Models and exploration methods for major gold deposit types”. In: **Proceedings of exploration**. p. 691-711.

SAHAKYAN, H. GEVORGYAN, A. MALKJYAN, A. (2025) “From Disciplinary Societies to Algorithmic Control: Rethinking Foucault’s Human Subject in the Digital Age.” **Philosophies**. Volume 10, No 4, 73. <https://doi.org/10.3390/philosophies10040073>

TEIXEIRA, W. et al. (2021) “Influência do mercado macroeconômico nas atividades de ASGM na Amazônia”. **Journal of Environmental Management**. Volume 301, 113-126.

TELMER, K. GARRETT, N. (2022) “Insight into the dynamics of artisanal and small-scale gold mining and the role of technology in environmental degradation”. **Resources Policy**. Volume 75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102470>.

Documentos oficiais e institucionais

1967. BRASIL: Decreto-Lei n.º 227, de 28 de fevereiro de 1967. Código de Mineração. Diário Oficial da União, Brasília, DF, (1967). Consultado na Internet em 24/07/2024. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Delo227.htm.

1988. BRASIL: Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Consultado na Internet em 24/07/2024. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm.

2008. BRASIL: Lei nº 11.685, de 2 de junho de 2008. Institui o Estatuto do Garimpeiro e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 jun. (2008). Consultado na Internet em 24/07/2024. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Lei/L11685.htm.

2012. BRASIL: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 454, de 1º de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 66, p. 66-69, 8 nov. (2012). Consultado na Internet em 24/07/2024 Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?codlegitipo=3&ano=2012>.

2020. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (2020), Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite – Projeto Prodes. Consultado em: 30/07 2025. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>

2021. POLÍCIA FEDERAL. PF realiza Operação Alóctonas para desarticular

garimpos ilegais no Amazonas (2021), consultado em: 19/07/2024. Disponível em: <https://www.gov.br/pf/pt-br/assuntos/noticias/2021/08/pf-realiza-operacao-alocionas-para-desarticular-garimpos-ilegais-no-amazonas>.

2021. WORLD GOLD COUNCIL. Gold Demand Trends Full Year (2021), consultado em: 21/07/2024. Disponível em: <https://www.gold.org/goldhub/research/gold-demand-trends/gold-demand-trends-full-year-2021>

2021. WORLD GOLD COUNCIL. Gold Market Commentary (2021), consultado em: 10/07/2023. Disponível em: <https://www.gold.org>

2022. 18 HORAS: Polícia Federal destrói balsa destinada ao garimpo ilegal no Médio Juruá. (2022). Consultado na Internet em 19/07/2024. Disponível em: <https://18horas.com.br/amazonas/policia-federal-destroi-balsa-destinada-ao-garimpo-ilegal-no-medio-juruá/>.

2022. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022), Área Territorial Brasileira. (2022), consultado na internet em 30/07/2025 em <https://www.ibge.gov.br>.

2022. POLÍCIA FEDERAL. PF deflagra operação para reprimir garimpo ilegal em Jutai/AM. (2022)., consultado em: 19/07/2024. Disponível em: <https://www.gov.br/pf/pt-br/assuntos/noticias/2022/07/pf-deflagra-operacao-para-reprimir-garimpo-ilegal-em-jutai-am>.

2023. AGÊNCIA BRASIL: Operação Fronteira de Ouro. 2023. Consultado na Internet em 19/07/2024. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/tags/operacao-fronteira-de-ouro>.

2023. AGÊNCIA GOV: Exército avança na repressão a crimes ambientais na fronteira norte. (2023). Consultado na Internet em 19/07/2024. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202309/exercito-avanca-na-repressao-de-crimes-ambientais-na-fronteira-norte>.

2023. DEFESA EM FOCO: Operação “A Praia é Nossa” combate ao garimpo ilegal no Amazonas. (2023). Consultado na Internet em 19/07/2024. Disponível em: <https://www.defesaemfoco.com.br/operacao-a-praia-e-nossa-combate-ao-garimpo-ilegal-no-amazonas/>.

2023. EXÉRCITO BRASILEIRO: Operação Tucandeira. (2023). Consultado na Internet em 19/07/2024. Disponível em: <https://12rm.eb.mil.br/index.php/ultimas-noticias/651-opera%C3%A7%C3%A3o-tucandeira>.

2023. G1: Operação da PF e IBAMA destrói 26 dragas e balsas no Vale do Javari (AM). (2023). Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-hoje/noticia/2023/11/09/operacao-da-pf-e-ibama-destroi-26-dragas-e-balsas-no-vale-do-javari-am.ghtml>. Acesso em: 19 jul. 2024.

2023. G1: Operação da PF destrói dragas do garimpo ilegal no Amazonas. (2023). Consultado na Internet em 19/07/2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2023/09/02/operacao-da-pf-destroi-dragas-do-garimpo-ilegal-no-amazonas.ghtml>.

2023. G1: Operação da PF e IBAMA destrói balsas usadas em garimpos ilegais na orla de Manaus. (2023). Consultado na Internet em 19/07/2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2023/12/06/operacao-da-pf-e-ibama-destroi-balsas-usadas-em-garimpos-ilegais-na-orla-de-manaus.ghtml>.

2023. G1: PF cumpre mandados contra mineração ilegal de ouro no AM e em outros cinco estados. (2023). Consultado na Internet em 19/07/2024. Disponível em:

<https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2023/09/20/pf-cumpre-mandados-contramineracao-ilegal-de-ouro-no-am-e-em-outros-cinco-estados.ghtml>.

2023. G1: PF e ICMBio destroem 5 dragas usadas pelo garimpo ilegal no AM. 2023. Consultado na Internet em 19/07/2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2023/05/11/pf-e-icmbio-destroem-5-dragas-usadas-pelo-garimpo-ilegal-no-am.ghtml>.

2023. GLOBOPF destrói quatro barcas que eram usadas para garimpo ilegal no Amazonas. (2023). Consultado na Internet em 19/07/2024. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/noticia/2023/06/pf-destroi-quatro-barcas-que-eram-usadas-para-garimpo-ilegal-no-amazonas-video.ghtml>.

2023. GOLDPRICE: Gold Price Historical Data. (2023). Consultado na Internet em 10/07/2023. Disponível em: <https://goldprice.org>.

2023. PLANET LABS PBC. Product Specifications (2023a), consultado em: 18/07/2024. Disponível em: <https://www.planet.com/products/specifications>

2023. PLANET LABS, PlanetScope Satellite Constellation (2023b), San Francisco: Planet Labs Inc. Consultado em: 30/07/2025. Disponível em: <https://www.planet.com>

2023. POLÍCIA FEDERAL, Força Tarefa de Segurança Pública Ambiental realiza operação por 17 dias consecutivos no Amazonas (2023a), consultado em: 19/07/2024. Disponível em: <https://www.gov.br/pf/pt-br/assuntos/noticias/2023/06/forca-tarefa-de-seguranca-publica-ambiental-realiza-operacao-por-17-dias-consecutivos-no-amazonas>.

2023. POLÍCIA FEDERAL. PF combate garimpo ilegal no AM (2023b), consultado em: 19/07/2024. Disponível em: <https://www.gov.br/pf/pt-br/assuntos/noticias/2023/04/pf-combate-garimpo-ilegal-no-am>.

2023. POLÍCIA FEDERAL. PF destrói dragas destinadas ao garimpo ilegal (2023a), consultado em: 19/07/2024. Disponível em: <https://www.gov.br/pf/pt-br/assuntos/noticias/2023/10/pf-destroi-dragas-destinadas-ao-garimpo-ilegal>.

2023. POLÍCIA FEDERAL. PF e ICMBio combatem garimpo ilegal de ouro em área de proteção ambiental (2023b), consultado em: 19/07/2024. Disponível em: <https://www.gov.br/pf/pt-br/assuntos/noticias/2023/12/pf-e-icmbio-combatem-garimpo-ilegal-de-ouro-em-area-de-protecao-ambiental>.

2023. PORTAL DA FLORESTA. Draga de garimpo invade Áreas Protegidas do Amazonas com ‘autorização’ oficial e gera revolta (2023a). consultado em: 19/07/2024. Disponível em: <https://portaldafloresta.com.br/draga-de-garimpo-invade-areas-protegidas-do-am-com-autorizacao-oficial-e-gera-revolta/>.

2024. AGÊNCIA BRASIL: Garimpo ilegal no Amazonas é alvo de operação da Polícia Federal. (2024). Consultado na Internet em 19/07/2024. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-01/garimpo-ilegal-no-amazonas-e-alvo-de-operacao-da-policia-federal>.

2024. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM): Sistema Cadastro Mineiro. 2024. Consultado na Internet em 24/07/2024. Disponível em: <https://sistemas.anm.gov.br/scm/extra/site/admin/default.aspx>.

2024. BRASIL: Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Atualizada até a Emenda Constitucional nº 132, de 20 de dezembro de 2023. Brasília, DF: Presidência da República, (2024). Consultado na Internet em 01/08/2025. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm.

2024. BRASIL: Ministério da Justiça e Segurança Pública. *Plataforma BRASIL M.A.I.S.* Brasília: MJSP, (2024). Consultado na Internet em 30/07/2025. Disponível em: <https://mais.dados.gov.br>.

2024. BRASIL: Ministério da Justiça e Segurança Pública. Programa Brasil M.A.I.S – Meio Ambiente Integrado e Seguro. Subprograma de Consciência Situacional por Sensoriamento Remoto. (2024). Consultado na Internet em 15/07/2025. Disponível em: <https://plataforma-pf.scon.com.br/#/>.

2024. GOLDPRICE.ORG: Gold Price Chart. (2024). Consultado na Internet em 02/07/2024. Disponível em: <https://goldprice.org/gold-price-chart.html>.

2024. GOLDPRICE.ORG: Gold Price Charts & Historical Data. (2024). Consultado na Internet em 21/07/2024. Disponível em: <https://goldprice.org/>.

2024. GOLDPRICE.ORG: Gold Price History. (2024). Consultado na Internet em 21/07/2024. Disponível em: <https://www.goldprice.org/gold-price-history.html>.

2024. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Portal INMET (2024), consultado em: 21/07/2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>

2024. WORLD SOIL INFORMATION (ISRIC). SoilGrids - global gridded soil information (2024), consultado em: 6/02/2024. Disponível em: <https://www.isric.org/explore/soilgrids>