UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA

RAFAELA BRANDÃO DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA ATIVIDADE DE GARIMPO DE OURO NO RIO MADEIRA (AMAZONAS)

MANAUS – AM

JUNHO/2025

RAFAELA BRANDÃO DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA ATIVIDADE DE GARIMPO DE OURO NO RIO MADEIRA (AMAZONAS)

Linha De Pesquisa – Dinâmicas Socioambientais

Dissertação (mestrado) apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia pela Universidade Federal do Amazonas.

ORIENTADORA:
SUZY CRISTINA PEDROZA DA SILVA, Dra.

MANAUS – AM

JUNHO/2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S237a Santos, Rafaela Brandao dos
Avaliação dos impactos ambientais da atividade de garimpo de ouro no rio Madeira (Amazonas) / Rafaela Brandao dos Santos. - 2025.
186 f. : il., color. ; 31 cm.

Orientador(a): Suzy Cristina Pedroza da Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, Manaus, 2025.

1. garimpo de ouro ilegal. 2. imagens de satélites. 3. valoração dos impactos. 4. avaliação ambiental multifacetada. I. Silva, Suzy Cristina Pedroza da. II. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia. III. Título

---

RAFAELA BRANDÃO DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA ATIVIDADE DE GARIMPO DE OURO NO RIO MADEIRA (AMAZONAS)

Dissertação (mestrado) apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia pela Universidade Federal do Amazonas.

Aprovado em quatro de julho de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Profª Drª Suzy Cristina Pedroza da Silva, Presidente
Universidade Federal do Amazonas

Profª Drª Andrea Viviana Waichman, Membro
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Tiago Felipe Arruda Maia, Membro
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista, Membro
Universidade de Brasília

AGRADECIMENTOS

Expresso minha profunda gratidão a Deus, pela dádiva da vida que me permite realizar esta jornada.

Agradeço imensamente à minha família e aos meus amigos, cujo apoio constante foi fundamental em todos os momentos.

Sou grata aos meus professores, em especial à minha orientadora, pela dedicação, paciência e valiosa orientação ao longo deste processo.

Por fim, reconheço e agradeço à universidade, este espaço essencial de resistência, aprendizado e fomento do desenvolvimento científico.

RESUMO

A atividade de garimpo fluvial de ouro no rio Madeira representa uma pauta importante devido aos impactos socioambientais associados. Esta dissertação realizou uma avaliação dos impactos ambientais dessa atividade entre 2021 e 2024, na porção do rio Madeira localizada no estado do Amazonas, com base em três eixos principais: o mapeamento sistemático dos equipamentos de garimpo por imagens de satélite, a análise qualitativa dos impactos ambientais por meio da Matriz RIAM (*Rapid Impact Assessment Matrix*) e a estimativa de valoração econômica dos danos utilizando a Calculadora de Impactos Ambientais do Garimpo (CSF/MPF). A metodologia integrou sensoriamento remoto óptico e radar (Google Earth Pro e Sentinel-1), análise documental, cruzamento de dados de bases públicas e jornalísticas e aplicação de análises técnicas-empíricas. O mapeamento revelou uma elevada densidade de dragas e balsas ao longo dos 700 km do rio, incluindo reincidência em áreas já fiscalizadas. Os impactos identificados extrapolam a degradação física do ambiente aquático, atingindo a biodiversidade, a estrutura socioeconômica, agravando desigualdades históricas e produzindo riscos à saúde pública, sobretudo pela contaminação por mercúrio. A valoração econômica confirmou perdas ambientais que por vezes não são consideradas nos processos decisórios. Os resultados demonstram a existência de um modelo operacional ilegal estruturado e recorrente, sustentado por lacunas normativas, fragilidade institucional e ausência de rastreabilidade efetiva dessas operações clandestinas. O garimpo é um fenômeno multidimensional que exige políticas públicas científicas, uso ampliado de tecnologias de monitoramento, controle interfederativo e alternativas econômicas que reconheçam sua possibilidade de legalização.

Palavras-chave: Garimpo de ouro ilegal. Imagens de satélite. Valoração dos impactos. Avaliação ambiental multifacetada.

ABSTRAT

The activity of fluvial gold mining in the Madeira River constitutes a significant issue due to its associated socio-environmental impacts. This dissertation conducted an environmental impact assessment of this activity between 2021 and 2024, focusing on the section of the Madeira River located within the state of Amazonas, based on three main pillars: the systematic mapping of mining equipment using satellite imagery, a qualitative analysis of environmental impacts through the Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM), and an economic valuation of damages using the Environmental Impact Calculator for Gold Mining (CSF/MPF). The methodology integrated optical and radar remote sensing (Google Earth Pro and Sentinel-1), document analysis, cross-referencing of public and journalistic databases, and the application of empirical-technical analyses. The mapping revealed a high density of dredges and barges along the 700 km stretch of the river, including repeated occurrences in areas previously subjected to enforcement actions. The identified impacts go beyond physical degradation of the aquatic environment, affecting biodiversity, the socioeconomic structure, exacerbating historical inequalities, and posing risks to public health, particularly due to mercury contamination. The economic valuation confirmed environmental losses that are often disregarded in decision-making processes. The results highlight the existence of a recurring and structured illegal operational model, sustained by regulatory gaps, institutional fragility, and the absence of effective traceability of these clandestine operations. Gold mining is a multidimensional phenomenon that requires science-based public policies, expanded use of monitoring technologies, intergovernmental control, and economic alternatives that recognize its potential for formalization.

Keywords: Illegal gold mining. Satellite imagery. Impact valuation. Multifaceted environmental assessment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de situação dos polígonos caracterizados pela ANM , portal SIGMINE, com a situação atual da solIcitação de Permissão de Lavra Garimpeira no rio Madeira. 25

Figura 2 - Portal da transparência da CFEM com arrecadação no munícipio de Jutaí/AM para exploração de Minério de Ouro. 27

Figura 3 - Comparação entre uma imagem óptica e uma imagem de Radar na Amazônia. 33

Figura 4 - Quadro da sequências das etapas metodológicas utilizadas nesta dissertação. 35

Figura 5 – Mapa de Localização da área de estudo (rio Madeira – Amazonas).....36

Figura 6 - Fluxograma de aquisição de imagens de radar SENTINEL 1.....43

Figura 7 - Layout da Calculadora de Impactos Ambientais do Garimpo - CSF/MPF.53

Figura 8 - Construção de equipamento de garimpo no rio Madeira, por moradores locais. 57

Figura 9 - Equipamento de Garimpo: Balsinhas de dragagem de ouro no rio Madeira. 58

Figura 10 - Croqui esquemático de equipamento de garimpo comumente conhecido como "balsinha de garimpo". 58

Figura 11 - Imagens de equipamento de garimpo, comumente conhecidas como balsas de garimpo. 59

Figura 12. Estrutura interna, compartimento destinado a máquinas e tubulações de uma balsa de garimpo. 60

Figura 13 - Estrutura externa (traseira) de uma balsa de garimpo. 60

Figura 14 - Estrutura externa (lateral) de uma balsa de garimpo. 61

Figura 15 - Equipamento de Garimpo: Draga com sua estrutura completa operacional e de hospedagem, vista lateral.....62

Figura 16 - Equipamento de Garimpo: Draga com sua estrutura completa operacional e de hospedagem, vista frontal. 62

Figura 17 - Projeto arquitetônico de uma draga com dimensões de 33 x 12 metros.64

Figura 18 - Áreas portuárias ou áreas com construções nas margens do rio, locais que não foram considerados para fins de levantamento de equipamentos de garimpo...66

Figura 19 - Mapa de Localização dos pontos de observação de balsas/dragas de garimpo na área de estudo no rio Madeira no levantamento com imagens ópticas do Google Earth. 73

Figura 20 - Aglomerações de Equipamentos de garimpo nas observações do levantamento realizado no Google Earth. 74

Figura 21 - Distribuição dos equipamentos de garimpo entre os anos de 2021 e 2024, por munícipios. 75

Figura 22 - Distribuição dos equipamentos de garimpo nos levantamentos do Google Earth distribuídos por ano. 75

Figura 23 - Imagens de embarcações de cargas com maior extensão longitudinal e proa afunilada....76

Figura 24 - Imagens representativas de diferenças tonalidades de telhadas dos equipamentos, podem possivelmente evidenciar estratégias de camuflagem de detecção por imagem de satélite....77

Figura 25 - Imagens de feições de deposição conhecidas como "arrotos" provocadas pela atividade de garimpo fluvial. 78

Figura 26 - Imagens de aglomerações padronizadas de equipamentos de garimpo, evidenciando aglomerações que chegam a 25 dragas. 79

Figura 27 – Imagens onde se é possível visualizar componentes típicos de equipamentos de garimpo, como: lanças, empurradores e esteiras. 80

Figura 28 - Modelo de avaliação cruzada das imagens SAR e imagens ópticas do Google Earth. 81

Figura 29 - Análise cruzada de imagem SAR com detecção de alvo com alto contrate de sinal identificado como ilha fluvial vegetada....83

Figura 30 - Análise cruzada de imagem SAR com detecção de alvo com alto contrate possivelmente de embarcações de carga pela proximidade de área de atracação. .84

Figura 31 - Análise cruzada de imagem SAR com detecção de alvo com alto contrate identificado com balsa de transporte de carga e passageiros na travessia da rodovia. 84

Figura 32 - Análise cruzada de imagem SAR com detecção de alvo com alto contrate indicando trajeto de navegação no meio do curso do rio, típico de embarcações de carga. 84

Figura 33 – Análise cruzada de imagem SAR com detecção de alvo com alto contrate de uma estrutura flutuante fixa na margem do rio Madeira. 85

Figura 34 - Comparação das Imagens Sentinel 2 (à esquerda) e Sentinel 1 (à direita), em uma mesma região e na mesma data, indicando alta incidência de nuvens mascarando as feições de garimpo....91

Figura 35 – Mapa de disposição dos pontos classificados como prováveis na análise das imagens de radar SAR. 92

Figura 36 - Avaliação de impacto com cenário geral de todas as componentes comparativos dos dois cenários (garimpo ilegal e garimpo legalizado)....99

Figura 37 – Avaliação de impacto ambiental dos componentes físico/químico e biológico/ecológico para os dois cenários (garimpo ilegal/garimpo legalizado). 99

Figura 38 - Avaliação de impacto ambiental dos componentes social/cultural e econômico/infraestrutura para os dois cenários (garimpo ilegal/garimpo legalizado). 100
Figura 39 – Fotografias de protestos com faixas de equipamentos de garimpo no rio Madeira. 102
Figura 40 - Resultados da Calculadora - Impactos Monetários.....105
Figura 41 - Resultados da Calculadora - Assoreamento dos rios 107
Figura 42 – Resultados da Calculadora – Contaminação por mercúrio 108
Figura 43 - Resultados da Calculadora - Impactos não monetários.....109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de aspectos metodológicos para descrição das operações de fiscalização de garimpo. 38

Tabela 2 – Aspectos metodológicos para a identificação de equipamento ou aglomerações. 41

Tabela 3 - Resultados da avaliação de impactos realizados pelo RIAM. 48

Tabela 4. Descrição geral da calculadora como categorias de impacto, abordagem para valoração econômica e atividade específicas de impacto por tipo de garimpo. 50

Tabela 5 - Parâmetros e Fórmulas Utilizados na Calculadora de Impactos do Garimpo 51

Tabela 6 - Operações de Fiscalização de Garimpo Ilegal no Rio Madeira (Amazonas) - 2021 a 2024 55

Tabela 7 - Principais características dos equipamentos de garimpos. 65

Tabela 8 - Levantamento sistemático dos equipamentos de garimpo fluvial identificadas por meio de imagens da plataforma Google Earth Pro..... 66

Tabela 9 - Dados dos alvos classificados como prováveis equipamentos de garimpo fluvial no rio Madeira em imagens SAR. 86

Tabela 10 – Matriz Rápida de Avaliação de Impacto para o cenário hipotético de impactos do garimpo legalizado. 97

Tabela 11 - Matriz Rápida de Avaliação de Impacto para o cenário de impactos do garimpo ilegal. 98

Tabela 12 - Critérios e parâmetros utilizados na Calculadora de Impactos de Garimpo. 104

LISTA DE SIGLAS E SIMBOLOS

AM – Amazonas
AU - Ouro
BE – Componente Biológico/Ecológico
CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
CSF – Fundo de Conservação Estratégica
CV ou HP– Medida de Potência (cavalo-vapor)
DEGEO – Departamento de Geociências
DNPM – Departamento Nacional Produção Mineral
EIA/RIMA – Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental
EO – Econômico/Infraestrutura
ET AL – E outros
EW – *Extra-Wide Swath Mode*
EX – Exemplo
FUNAI – Fundação Nacional dos Povos Indígenas
G - Grama
GHZ – Gigahertz
GRD - *Ground Range Detected*
HÁ - Hectare
HG – Mercúrio
HH – Horizontal/Horizontal
HUW - Humaitá
HV – Horizontal/Vertical
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
ID - Identificação
IPAAM – Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas
IW – *Wave Mode*
KG - Kilograma
KM – Quilômetro
M - Metro
MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia
MNX - Manicoré
MPF – Ministério Público Federal

NVP – Novo Aripuanã
PC – Componente Físico/Químico
PCA – Plano de Controle Ambiental
PF – Polícia Federal
PISAR - Processamento de Imagens de Radar de Abertura Sintética
PLG – Permissão de Lavra Garimpeira
PRAD – Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
QI – Quociente de Inteligência
RBB – Borba
RIAM – *Rapid Impact Assessment Matrix*
SAR – *Synthetic Aperture Radar*
SC – Componente Social/Cultural
SLC - *Single Look Complex*
SM – *Strimap Mode*
TON - Tonelada
UFAM – Universidade Federal do Amazonas
VH – Vertical/Horizontal
VV – Vertical/Vertical
WV – *Wave Mode*
3D – Tridimensional
+E – Grandes mudanças/Impacto positivo
+D – Mudanças significativas/Impactos positivos
+C – Mudanças moderadas/Impactos positivos
+B – Mudanças/Impactos positivos
+A – Mudanças incipientes/Impactos negativos
N – Sem mudança da situação atual
-A – Mudanças incipiente/Impactos negativos
-B – Mudanças/Impactos negativos
-C – Mudanças moderadas/Impactos negativos
-D – Mudanças significativas/Impactos negativos
-E – Grandes mudanças/Impactos negativos
µG - Micrograma

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 15
2. OBJETIVOS 18
2.1 Objetivo Geral 18
2.2 Objetivos Específicos 18
3. REFERENCIAL TEÓRICO 19
3.1 Garimpo na Amazônia e sua atuação no rio Madeira 19
3.2 Terminologias do Garimpo 21
3.3 Modos operantes do garimpo 22
3.4 Situação Legal da Mineração no rio Madeira (Amazonas) 23
3.5 Impactos ambientais gerados pelo garimpo 27
3.6 Uma visão geral do sensoriamento remoto e análises ambientais por imageamento 30
3.6.1 Imagens ópticas – Google Earth 31
3.6.2 Imagens óticas – Radar SAR 32
4. METODOLOGIA 34
4.1 Método e tipo de Pesquisa 34
4.2 Área de estudo 36
4.3 Período Amostral 37
4.4 Levantamento de operações de fiscalização de garimpo ilegal 37
4.5 Caracterização de Equipamentos de Garimpo Fluvial 38
4.6 Mapeamento Primário de Imagens no Google Earth Pro 39
4.7 Obtenção e processamento de imagens de radar 42
4.8 Matriz de avaliação rápida de impacto - RIAM 45
4.9 Calculadora de impactos do garimpo 49
4.10 Análise integrada dos dados e discussão das abordagens ambientais 54
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 55
5.1 Levantamento das Operações de Fiscalização de Garimpo Ilegal 55
5.2 Caracterização de Equipamentos de Garimpo Fluvial 56
5.3 Mapeamento primário imagens ópticas Google Earth Pro 65
5.3.1 Análise Estatística dos dados obtidos 66
5.3.2 Principais feições observadas no levantamento 75

5.4 Mapeamento imagem de radar 81
5.4.1 Detecção de alvos em imagens SAR 81
5.4.2 Validação com imagens ópticas 81
5.4.3 Limitações e possíveis fontes de erro na identificação dos alvos 83
5.4.4 Mapeamento de evidências de possíveis embarcações 85
5.5 Avaliação de Impactos Ambiental 93
5.6 Valoração dos Impactos do Garimpo 102
5.6.1 Valoração de impactos de Garimpo na área de estudo 104
5.7 Análise integrada dos dados e discussão das abordagens ambientais 110
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 113
REFERÊNCIAS 115
APÊNDICE A – IDENTIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE GARIMPO EM IMAGENS DO GOOGLE EARTH PRO 126
APÊNDICE B – IDENTIFICAÇÃO DE FEIÇÕES DE ALTO CONTRASTE EM IMAGENS SAR 167

1. INTRODUÇÃO

"A balança da riqueza deve pesar a natureza"
Rafaela Brandão

A região amazônica, com sua riqueza em biodiversidade e ecossistemas imprescindíveis para a estabilidade global do clima, enfrenta ameaças cada vez maiores devido à degradação causada pelo garimpo ilegal. O garimpo de ouro na Amazônia emerge como um tópico de crescente preocupação devido aos seus profundos impactos socioambientais, econômicos e legais. A Amazônia abriga inúmeras operações de mineração ilegal, principalmente de garimpo fluvial, que resultam em degradação ambiental, contaminação hídrica, conflitos sociais, desmatamento e riscos a biodiversidade. Logo, o desenvolvimento de estudos a respeito da atuação e relações de impactos gerados pela atividade garimpeira se faz necessário nas mais diversas áreas relacionadas as ciências ambientais.

Nesse contexto, trata-se de uma atividade preocupante por remeter-se ao uso excessivo do mercúrio. O mercúrio é utilizado no processo de aglutinação das partículas do metal de ouro, para amalgamação. Para Rodrigues *et al* (1994) quanto às questões ambientais e de saúde pública, o uso de mercúrio e seu descarte incorreto provocam poluição/contaminação dos rios e do solo e podem provocar doenças nos trabalhadores e nas populações ribeirinhas que fazem uso dos recursos naturais dos rios.

O rio Madeira, no Amazonas é um rio rico em minerais, tendo como principal minério, proveniente do degelo do Andes, o ouro. De acordo com Adamy (2016) o transporte de sedimentos no rio Madeira é realizado por solução (materiais dissolvidos), suspensão (partículas finas, como ouro aluvionar) e saltação (partículas maiores).

A propagação da notícia da existência de minerais no rio e a existência de aluviões mineralizados de ouro se iniciou por meio de relatos informais, popularmente conhecidos pelo termo "fofocas" entre os próprios garimpeiros, fato que intensificou o fluxo de garimpeiros na década de 80 (Fonseca, 2021). Até os dias atuais o garimpo se encontra atuante na região do rio Madeira.

A atuação de balsas e dragas de garimpo ilegal na região do rio Madeira é notória e é de fundamental importância analisar a ocorrência da extração mineral e correlacionar com os aspectos ambientais da região e socioeconômico da população afetada.

O desenvolvimento de técnicas e produtos por meio do sensoriamento remoto, tem apresentado grande eficácia no monitoramento da atuação de atividades de garimpo, em especial por imagens ópticas de alta resolução possibilitando a detecção de equipamentos fluviais e sensores de radar que possibilitam a visualização de imagens da superfície com menos interferência de nuvens que são características na região da Amazônia.

Sabendo da peculiaridade da logística dos rios que recobrem a Amazônia, em especial o estado do Amazonas, o uso de tecnologias a favor do combate às atividades de garimpo ilegal precisa ser alavancado. O uso de imagens de satélites é um recurso muito abundante, haja vista que existem satélites com imagens públicas disponíveis com boa resolução temporal.

O garimpo de ouro tem sido uma fonte de subsistência e desenvolvimento econômico para muitas comunidades locais, porém, frequentemente, está relacionado a sérios problemas ambientais, como desmatamento, contaminação por mercúrio e destruição de ecossistemas aquáticos.

Assim, está dissertação se justificou pela necessidade de ampliar o conhecimento técnico e científico sobre a expansão do garimpo de ouro na região do rio Madeira, entre os anos de 2021 à 2024. Com base em imagens de satélite provenientes de diferentes plataformas, mapeou-se e quantificou-se empiricamente a ocorrência dessa atividade, contribuindo para uma compreensão espacial e temporal e sua dinâmica. Além disso, analisaram-se os impactos ambientais associados à mineração de garimpo, considerando aspectos como a qualidade da água, a biodiversidade local e outros efeitos relevantes sobre o ecossistema da área estudada. Por fim, procedeu-se à valoração econômica dos danos ambientais identificados, com o objetivo de expressar, em termos monetários, as perdas ecológicas e os custos sociais decorrentes da atividade garimpeira.

Ao reunir e sintetizar uma ampla variedade de perspectivas e descobertas, esta pesquisa pretende contribuir para a compreensão holística do garimpo na Amazônia, na região do rio Madeira. Busca-se oferecer subsídios para políticas públicas mais efetivas com formulação de estratégias de conservação ambiental, gestão sustentável dos recursos e melhoria das condições sociais e ambientais na região.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Conduzir uma avaliação multifacetada dos impactos ambientais da mineração de garimpo fluvial de ouro em uma região do rio Madeira (Amazonas), por meio do mapeamento espacial, da análise detalhada e da valoração dos impactos.

2.2 Objetivos Específicos

- Mapear e quantificar a ocorrência da mineração de garimpo de ouro entre 2021 e 2024 na região de estudo do rio Madeira utilizando imagens de satélite de diferentes plataformas.
- Analisar os impactos ambientais da mineração de garimpo de ouro sobre a qualidade da água, biodiversidade e outros efeitos na área de estudo.
- Realizar uma estimativa de valoração econômica dos danos ambientais identificados, buscando expressar em termos monetários as perdas ecológicas e os custos para a sociedade.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Garimpo na Amazônia e sua atuação no rio Madeira

O rio Madeira é um dos maiores rios do mundo em volume d'água. A hidro química do rio é controlada pelos flancos Andinos, embora a terra baixa, que é pobre em nutrientes, tenha um papel importante por limitar a produção primária nos lagos e nas lagoas da planície inundada (Goulding, 1979). Segundo Gibbs (1967) pelo fato do rio Madeira ter seus afluentes originando-se nos Andes, sua condutividade elétrica e as concentrações de material em suspensão estão entre as mais elevadas dos rios amazônicos, rico em matérias em suspensão, possui visibilidade de 0,1 a 0,5m.

É nesses sedimentos carregados pela corrente do Madeira que o ouro é transportado desde as cabeceiras dos tributários, até as planícies e várzeas da bacia amazônica no Brasil, onde se tem registro de exploração por garimpeiros deste 1972, com consequentes alterações no meio ambiente e social dessa região (Herraiz & Silva, 2015).

Para Gomes (2016) a garimpagem é um megaprocesso de extração e purificação do ouro, partindo de toneladas de matéria prima (água e sedimentos de rio) para as gramas finais de ouro. E essa dinâmica de exploração causa intensa sedimentação e consequentemente o aumento da turbidez da água. Para Ioris (2008), o garimpo associado a agricultura, hidrelétricas e outras minerações têm causado impactos consideráveis sobre as águas da Amazônia.

O ciclo da atividade de garimpagem perpassa pela descoberta do potencial mineral, imigração de garimpeiros, relativa prosperidade econômica, exaustão do recurso mineral, migração e decadência econômica. O padrão produtivo atual mecanizado dos garimpos acelerou ainda mais este ciclo e segundo Veiga, Silva & Hinton (2002) os impactos socioeconômicos da ocupação caótica de garimpo são: drogas, prostituição, doenças, jogo, abuso de álcool e degradação de princípios morais.

O rio Madeira é um rio de grande porte e de grande volume d'água, e que periodicamente é afetado por enchentes e secas expressivas. Trata-se de um rio com comportamento tipicamente sazonal. É considerado o segundo maior rio de toda a região amazônica, possuindo uma extensão de aproximadamente 1.450 km dentro do

território brasileiro. É classificado como um rio de águas brancas, por transportar grande quantidade de material em suspensão (Siole, 1968 e Horbe *et al*, 2013).

Para Adamy (2016) os rios de traçado meandrantes favorecem a estocagem de sedimentos, e rios de traçados retilíneo possuem alta competência de transporte de sedimentos. É importante destacar que o rio Madeira possui em toda sua extensão comportamento de meandros e retilíneo. Tal característica explica o transporte de partículas de ouro e as acumulações em aluviões recentes.

A atividade de garimpagem neste rio é comumente restrita a temporadas coincidentes ao período de estiagem quando a lâmina d'água reduz. O garimpo em leito de rio tem como primícias a recuperação do material aurífero contido nas aluviões quaternárias, depositadas marginalmente ao rio ou a profundidades maiores na calha do rio (Brasil, 1982).

De acordo com o projeto de garimpos brasileiros (Brasil, 1982) a atividade de garimpo de ouro no rio Madeira com registros deu início no ano de 1972. De acordo com Fonseca (2021), na década de 80, estimava-se que cerca de até quinze mil pessoas ocupavam o garimpo no rio Madeira. Após o demasiado crescimento de ocupação de garimpagem entre 1978 e 1991 quando se deu início o declínio do ouro nesta região.

O crescimento da ocupação do garimpo se estabeleceu devido as características de novos métodos de produção, a lavra manual (1978 a 1981), a extração por meio de balsas (1981 a 1985) e as dragas garimpeiras (a partir de 1986) (Linhares, 2017).

Um dos eventos recentes de garimpagem em larga escala foi o caso da vila flutuante no rio Madeira nas proximidades da Comunidade de Rosarinho em Autazes (Pestana *et al*, 2022; Sousa, Vieira & Follmann, 2023), embora tenha causado grande repercussão na mídia, e tenha ocorrida uma ação conjunta em combate a esta atividade ilegal, as ações tomadas diante desses episódios são sempre de caráter repressivo com as queimas dos equipamentos e afundamento dos equipamentos no próprio rio, causando mais um passivo ambiental. Não há soluções adequadas para que se resolva de fato a problemática da ilegalidade da atividade.

O ordenamento da atividade garimpeira é um debate que engloba a importância econômica da atividade para o desenvolvimento do município afetado, canalização de receitas perdidas pela ilegalidade e dificuldades de regulamentação ambiental da atividade. É necessário a implantação de alternativas para sua implementação, com seu devido monitoramento e regulação, assim como a prestação de apoio e assessoria técnica para os garimpeiros (Baía Junior & Mathis, 2016).

3.2 Terminologias do Garimpo

Para fins de legislação a atividade de garimpo, é definida segundo o Estatuto do Garimpeiro (Brasil, 2008), como:

> *"uma localidade onde é desenvolvida a atividade de extração de substâncias minerais garimpáveis, com aproveitamento imediato do jazimento mineral, que por sua natureza, dimensão, localização e utilização econômica, possam ser lavradas, independentes de prévios trabalhos de pesquisa..."*

Durante a evolução dos acontecimentos históricos e emergentes avanços tecnológicos o termo garimpeiro e a própria atividade de garimpagem foram substituídos na esfera legislativa pelo conceito de lavra garimpeira (Brasil/MPF, 2020). Essa substituição se configurou como uma legislação minerária conexa à legislação protetiva ao meio ambiente, que criou o regime minerário para aproveitamento do ouro por meio de uma PLG (Permissão de Lavra Garimpeira), que não possui a exigência de pesquisa prévia para a execução da lavra.

O antagonismo que permeia a definição conceitual do garimpo perpassa pelas normas legislativas de maneira controversa. Uma vez que no Estatuto do Garimpeiro não há especificação de parâmetros relacionados à forma de utilização econômico da jazida ou as técnicas e tecnológias aplicáveis à lavra (Brasil, 2008). De acordo com Brasil/MPF (2020), o conceito de lavra garimpeira se desvincula das ideias de rudimentariedade, tradicionalidade e de historicidade, pois a exploração segundo conceito legislativo independe de porte, natureza e técnica adotadas.

A falta de exigência de uma pesquisa prévia para determinar o potencial e o dimensionamento da jazida pode acarretar atividade de garimpos ilegais ganhando ares de legalidade. A falta de caracterização da jazida não permite obter o "DNA do ouro" e sua rastreabilidade, portanto, bastando o garimpeiro declarar a legalidade do

minério extraído ilegalmente em localização declarada legal, que o ouro ganha valor em todo mercado nacional, tento a possibilidade de mascarar o ato ilícito como efetivamente lícito.

Um outro ponto a ser discutido é quanto à definição do termo “garimpeiro”, que acaba sendo associado aos: garimpeiros artesanais, percentistas, donos de garimpos, balseiros e dragueiros de portes variados, financiadores de maquinários, até mesmo os investidores que aplicam em garimpo (Coelho, Wanderley & Costa, 2017; Theije, 2020), o que dificulta na identificação adequada dos atores envolvidos na atividade de garimpo de ouro.

3.3 Modos operantes do garimpo

Atualmente, o funcionamento do garimpo nos rios da Amazônia se desenvolve por dois principais sistemas de extração mecanizada: as balsas e as dragas. As balsas são pequenas casas flutuantes, dotadas de motor acoplado a uma bomba que por meio de mangueiras, suga o material do leito do rio. As dragas são sistemas dotados de bomba de sucção de maiores diâmetros, acopladas a motores de maior potência, contendo uma lança de ferro de tamanho suficiente para alcançar a profundidade do leito do rio (Herraiz & Silva, 2015). Logo, a grande diferença entre essas modalidades de extração está na rentabilidade superior das dragas em relação aos sistemas de balsas, devido a sua elevada capacidade de movimentar grande quantidade de material, obtendo quantidades maiores de ouro.

Em regra, a atividade de garimpagem caracteriza-se pela utilização do mercúrio em sua cadeia produtiva, para a amalgamação do ouro (Brasil/MPF, 2020). De acordo com CETEM/MCT (2007):

> “amalgamação é um processo de concentração aplicado a minérios que contêm metais preciosos. O processo baseia-se na aderência preferencial desses metais com o mercúrio, quando em contato com água, ar e outros minerais, com a consequente formação de um composto intermetálico”.

Após a agitação e separação da amalgama da ganga (rejeito), o mercúrio é evaporado através do aquecimento, deixando o ouro puro. Apesar de eficaz, esse método apresenta sérios riscos ambientais e para a saúde devido à liberação de

vapores de mercúrio e destinação inadequada do mercúrio reciclado que causa contaminação ambiental.

A operação de dragas e balsas no garimpo de ouro é comumente realizada sem licenciamento ambiental, o que caracteriza a atividade como ilegal em muitos casos. Esse tipo de mineração não só prejudica a qualidade da água e o ecossistema aquático, mas contribui para prejuízos na região, uma vez que as áreas de mineração muitas vezes estão localizadas em terras públicas ou em áreas de proteção ambiental. De acordo com consulta minuciosa ao portal de transparência técnica do órgão IPAAM (AMAZONAS, acesso em 27 abril de 2025), não há nenhuma atividade de garimpo fluvial licenciada no estado Amazonas nos anos de 2021 até o presente momento (2025).

3.4 Situação Legal da Mineração no rio Madeira (Amazonas)

A atividade de mineração no rio Madeira, no trecho localizado no estado do Amazonas, tem sido objeto de debates jurídicos e ambientais relevantes nos últimos anos. A região, caracterizada por sua elevada sensibilidade ecológica e pela presença de comunidades tradicionais, foi palco de intensas operações de lavra garimpeira, em especial para a extração de ouro, por meio de dragas e balsas flutuantes. Embora parte significativa dessas atividades tenham sido licenciadas em um dado período, especialmente em 2017, posteriormente tais licenças foram consideradas irregulares pela Justiça Federal, com isso é necessário compreender o contexto administrativo e normativo que permitiu a emissão de tais licenças e qual a situação legal atual da região. O portal da transparência IPAAM possui dados apenas a partir de 2018, não sendo possível nomear quais licenças foram emitidas com precisão (Amazonas, acesso em 27 abril de 2025).

A Resolução CEMAAM nº 11, de 9 de maio de 2012, foi criada pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente do Amazonas com o objetivo de regulamentar o licenciamento ambiental das atividades de lavra garimpeira de ouro no estado. Essa norma orientava o Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) a adotar critérios técnicos específicos para a concessão de licenças, buscando conciliar a exploração mineral com a proteção ambiental (Amazonas, 2012a). A Resolução CEMAAM n° 14, de 18 de outubro de 2012, promoveu ajustes na Resolução 11/2012,

incluindo requisitos mais específicos sobre o uso e a origem do mercúrio. Para lavras de pequeno porte, essas resoluções permitia o licenciamento com base no Plano de Controle Ambiental (PCA), um estudo mais simplificado em relação ao EIA/RIMA, mas que ainda exigia a apresentação de medidas de controle e monitoramento, incluindo o uso obrigatório de cadinho e a comprovação da origem do mercúrio (Amazonas, 2012b).

Conforme decisão do Tribunal Regional Federal da 1° Região (TRF1) (Brasil, 2025), o MPF ajuizou a ação com o objetivo de suspender as licenças concedidas pelo IPAAM para atividades de extração de ouro no leito do rio Madeira. A argumentação central foi de que o IPAAM não detinha competência legal para emitir tais licenças, pois a atividade minerária em leitos de rios federais está sob a jurisdição do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Além disso, o MPF apontou que as licenças foram concedidas sem a realização de estudos de impacto ambiental adequados e sem a devida consulta a órgãos federais competentes, como o ICMBio e a FUNAI, considerando impactos as unidades de conservação e terras indígenas (AMAZONAS/MPF, 2021).

Com essa decisão judicial, houve a consolidação do entendimento, por parte da Justiça Federal, de que a mineração no leito de rios federais, como é o caso do rio Madeira, está sob jurisdição federal, devendo, portanto, passar pelo crivo do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), e não exclusivamente dos órgãos estaduais, apesar de pareceres e Ofícios emitidos pelos IBAMA no decorrer do processo da Ação Civil pública serem contrários a essa decisão. Essa interpretação, embora posterior à emissão das licenças estaduais, serviu de base para a suspensão das atividades já licenciadas, bem como para a proibição de novas concessões estaduais de lavra garimpeira diretamente no leito do rio federal.

No âmbito do Direito Minerário, a Permissão de Lavra Garimpeira (PLG) (Lei 7.805/1989 e Decreto 9.406/2018) constitui o regime simplificado que autoriza a extração de substâncias consideradas garimpáveis (como ouro, diamante, cassiterita etc.) sem a exigência de prévia pesquisa mineral. Todavia, conforme previsto no art. 5º da Lei 7.805/1989, essa permissão só pode ser efetivamente concedida após a

apresentação de licença ambiental emitida pelo órgão competente (Brasil, 1989; Brasil, 2018).

Conforme informações disponíveis na página oficial da Agência Nacional de Mineração (BRASIL/ANM, 2025a), o procedimento começa com o requerimento da PLG, por pessoa física ou cooperativa, sendo necessário delimitar a poligonal da área de interesse com coordenadas georreferenciadas (Datum SIRGAS), conforme art. 38 da Portaria DNPM 155/2016 (Brasil, 2016). A área a ser solicitada pode alcançar até 50 ha para indivíduos (pessoa física) e até 10.000 ha para cooperativas na Amazônia Legal, conforme limites definidos nos Arts. 44 e 44-A da mesma norma. Após o protocolo, os requerimentos não conferem qualquer direito imediato de exploração, sendo meramente uma manifestação de intenção, somente tornam-se título minerário após a análise e parecer favorável da ANM e apresentação da licença ambiental.

Figura 1 - Mapa de situação dos polígonos caracterizados pela ANM, portal SIGMINE, com a situação atual da solIcitação de Permissão de Lavra Garimpeira no rio Madeira.



Fonte: Autora, com base nos dados do SIGMINE (ANM), 2025.

Na região de estudo há diversos polígonos de requerimentos de PLG (Permissão de Lavra Garimpeira) (figura 1). Observa-se que embora o sistema da ANM permita apenas 50 ha para Pessoa física e 10.000 ha para cooperativas, observa-se que esse limite é frequentemente extrapolado por meio de múltiplos requerimentos solicitados por uma única cooperativa, em sequência ou sobre áreas contínuas. Tal prática é possível porque o sistema da ANM não bloqueia automaticamente a sobreposição ou a multiplicidade de requerimentos por um mesmo CPF ou Cooperativas, o que resulta em um acúmulo de áreas controladas por grandes cooperativas. Na prática, isso tem levado muitos desses trabalhadores familiares a se filiarem a cooperativas para poderem obter regularização, já que a titularidade da área pertence exclusivamente à cooperativa e não ao garimpeiro individual.

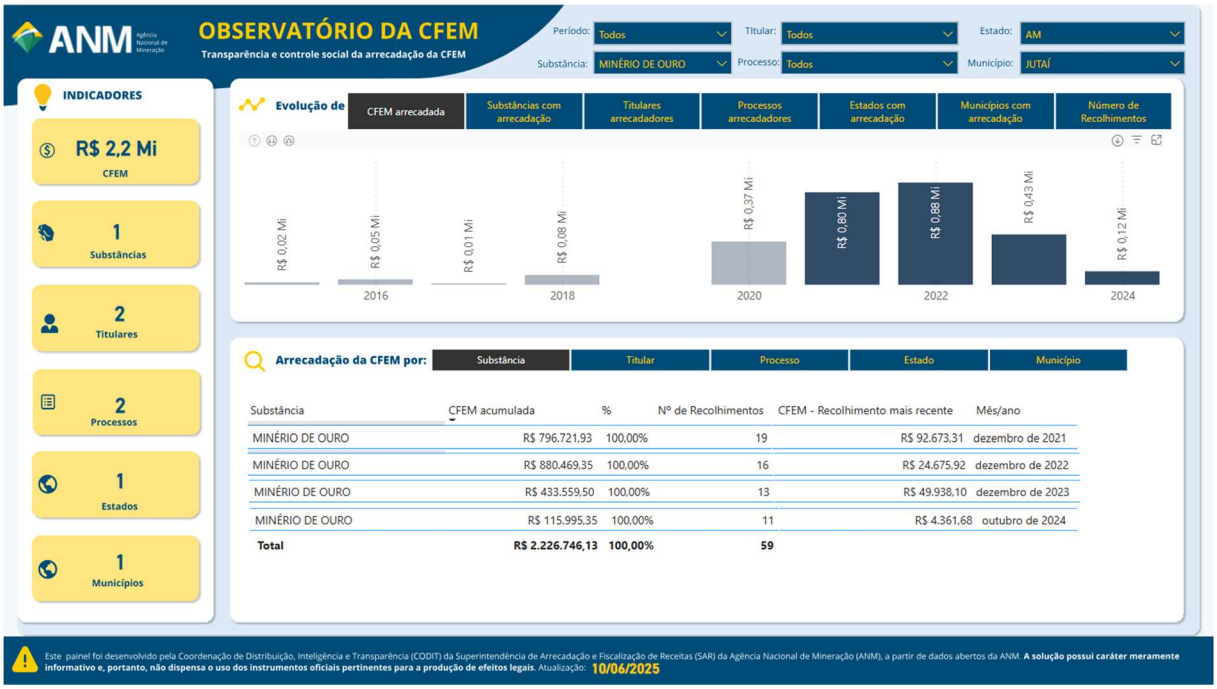
No contexto estadual estratégico, destaca-se a atuação da Secretaria de Estado de Energia, Mineração e Gás do Amazonas (SEMIG), criada em 2023 com o objetivo de formular, coordenar e articular políticas públicas voltadas aos setores mineral, energético e de gás no estado (Amazonas, 2023). Embora não possua competência legal para conceder títulos minerários ou licenças ambientais, a SEMIG atua como instância de articulação institucional e técnica, promovendo o diálogo entre cooperativas, empresas, comunidades tradicionais, órgãos ambientais e reguladores federais, como a ANM, IPAAM e IBAMA.

Assim como cooperação técnica entre a Universidade Estadual do Amazonas e cooperativas para desenvolvimento de ações mais sustentáveis substitutas ao uso do mercúrio, como o projeto denominado *Ochroma* que propõe uma forma de substituir o mercúrio utilizado na extração de ouro pelo extrato da *Ochroma Pyramidale*, popularmente conhecida como pau-de-balsa (Amazonas, 2024). Além de realização de Seminário de Mineração nos dias 28 e 29 de maio de 2025, discutindo temas relevantes como o painel 4 “Potencial do Ouro no Amazonas”, painel 7 “Avanços e tendências da legislação em licenciamento e monitoramento ambiental no Amazonas e o painel 9 “O papel das cooperativas na mineração: casos de sucesso em outros estados.

Neste mesmo Seminário de Mineração durante o painel 6 “Tributação, arrecadação e distribuição do setor mineral no estado do Amazonas” foi exposto uma situação curiosa com relação a dados divulgados da arrecadação da CFEM

(Compensação Financeira pela Exploração de Mineração), no munícipio de Jutaí (figura 2). Os dados apresentados foram declarados nos últimos anos um valor expressivo neste município, e segundo informações no portal de transparência do IPAAM não há nenhuma licença ambiental válida para exploração de ouro no Amazonas desde 2021.

Figura 2 - Portal da transparência da CFEM com arrecadação no munícipio de Jutaí/AM para exploração de Minério de Ouro.



Fonte: BRASIL/ANM, 2025b.

Esse cenário, ainda que não diretamente relacionado ao rio Madeira, levanta um questionamento relevante: como se mantém ativa a exploração mineral declarada de exploração de ouro, mesmo na ausência de licenças ambientais válidas? A situação sugere a possibilidade de falhas na comunicação e no cruzamento de dados entre os sistemas da Agência Nacional de Mineração (ANM) e os órgãos ambientais estaduais**,** o que pode gerar uma aparência de legalidade formal sem o respaldo ambiental correspondente.

3.5 Impactos ambientais gerados pelo garimpo

Em contrapartida com a riqueza mineral, Kitamura (1994) atribui o processo de ocupação da Amazônia para extração mineral um grande contraste excludente quando comparado a pobreza social de grande parte da população. Para Drummond (2002), há uma percepção enraizada de que regiões ou países ricos em recursos

naturais deveriam ter populações prósperas, saudáveis e felizes. E se tratando da Amazônia, Bunker (1984) descreve-a como uma região extrativa periférica, que é sustentada por ciclos extrativistas que afetam a economia e confundem a prosperidade financeira temporária com desenvolvimento.

A atividade de garimpo de ouro é apresentada como um fator contribuinte para a desconstrução da Amazônia indígena e suas práticas tradicionais (Ramos *et al*., 2020a; Santos *et al*., 2021; Martins, 2022; MacDonald, 2016), e essa questão se dá devido à ausência do poder estatal na proteção da tutela ambiental e social (Ramos *et al*., 2020b; Santana Neto & Pontes Filho, 2022). As intensas ações de fiscalização registram as ocorrências de crimes ambientais de extração irregular de minério (Gomes, 2016).

A atividade de garimpo na Amazônia também está associada a geração de impactos como alterações no corpo hídrico como a cor, turbidez, até acidez da água. E como consequência dessas alterações físico-químicas há uma destruição de nichos ecológicos e intoxicação da biota por mercúrio e até mesmo a contaminação por mercúrio da população que pode ter sua saúde afetada. Além, de impactos sociais voltados para falta de direitos trabalhistas e direito ambiental, falta de segurança pública e o sistema abusivos de comercio que fere as leis de defesa ao consumidor (Rodrigues *et al*, 1994).

A relação entre o garimpo na Amazônia e os estudos da biogeoquímica ambiental apresentam contribuições para compreender como os processos químicos afetam o ambiente natural, o ecossistema e a vida. No tocante ao mercúrio, a questão preocupante para a contaminação hídrica está na sua forma de metilmercúrio, que é a reação química de metilação do mercúrio, segundo Marrugo-Negrete (2015) estudos indicam uma aceleração desse processo em corpos hídricos ricos em matéria orgânica. Estudos desenvolvidos por bioacumulação de mercúrio em peixes, plantas e seres vivos na sua grande maioria está na forma de metilmercúrio (Malm *et al*., 1995).

A presença de mercúrio nos corpos hídricos possui concentrações naturais e são equilibradas pelos ciclos de elementos químicos na natureza (Lino, 2019). Quando por meio de uma intervenção antrópica para exploração de recursos minerais, a exemplo do ouro, adicionamos um elemento químico em larga escala ao

ecossistema, os ciclos dos elementos apresentam outros comportamentos desconhecidos. Então, como esse elemento é absorvido, transportado e se acumula em diferentes níveis tróficos, tem sido a grande pergunta de vários pesquisadores.

A contaminação de Hg nos recursos hídricos, além do processo de perda na operação do garimpo para amalgamação do ouro, de acordo com Telmer *et al.* (2006) “a perturbação e mobilização de grandes quantidades de sedimentos ricos em Hg e solo da várzea na coluna de água durante as operações de mineração” também é uma fonte significativa de contaminação por Hg.

O garimpo na Amazônia é um desafio complexo, com relação a mão de obra dos trabalhadores é quase sempre não qualificada, super explorada por conta da vulnerabilidade socioeconômica (Viega & Araujo, 2023; Rodrigues, 2020). Há estudos que apontam a existência de trabalho análogo a escravidão e trabalho degradante, com situações de assédio moral e sexual, aliciamento, isolamento, sem condições dignas de saneamento, alimentação, locação e higiene, além de jornadas extremamente exaustivas (Ferreira & Jacob, 2021; Santos & Castravechi, 2014).

Além das dificuldades de condições de trabalho, é necessário levar em consideração que os garimpeiros são pessoas que na sua maioria não possuem ensino fundamental ou médio completo, pois o acesso nas suas regiões a escola é precário (Herraiz & Silva, 2015; Nascimento, 2019; Urnau, 2013). De acordo com Viega & Araújo (2023), “o garimpo é visto como um trabalho de fácil acesso financeiro, pois é um meio de trabalho sem exigências de mão de obra qualificada, faixa etária ou escolaridade”. Tais trabalhadores, dependem dessa atividade extrativista para sua economia familiar. Há um agravante ainda no contexto de mulheres garimpeiras que possuem sobreposição de vulnerabilidades, onde estão expostas a violência, exploração sexual, silenciamento, conflitos e assassinatos, acabam se acostumando com o luto, a dor, o sofrimento e a solidão no garimpo amazônico (Mendes *et al.*, 2022; Mello, 2022).

Se para alguns os garimpeiros são os malfeitores do meio ambiente, por outro lado, há uma identidade e uma cultura histórica enraizada na região amazônica e segue acompanhada por um sentimento de orgulho e de autonomia (Massaro, 2022). A visão de mundo do garimpeiro, contempla a perspectiva do trabalho, exercido na sua maioria na clandestinidade, na qual a sua principal luta, vai além do fator

financeiro, mas, no reconhecimento da sua profissão e na possibilidade de liberação de áreas para exercê-las (Santos & Soares, 2016).

3.6 Uma visão geral do sensoriamento remoto e análises ambientais por imageamento

O sensoriamento remoto constitui uma ferramenta essencial para o monitoramento e análise ambiental, permitindo a coleta de dados em grandes áreas sem a necessidade de contato direto com a superfície terrestre. Esse tipo de tecnologia utiliza sensores para captar informações sobre a superfície do planeta, sendo amplamente aplicada em diversas áreas, como a agricultura, o monitoramento de desastres naturais, e a gestão ambiental (Mascarenhas, Ferreira & Ferreira, 2009; Almeida, 2010).

Para Meneses & Almeida (2012), Sensoriamento Remoto é “uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres”.

Esta ciência faz uso de sensores, que são equipamentos capazes de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações. Tais sensores podem ser divididos em função da fonte de energia em passivos e ativos. Os sensores passivos não possuem fonte própria de radiação e medem a radiação solar refletida ou radiação emitida pelos alvos. Em contrapartida os sensores ativos possuem sua própria fonte de radiação eletromagnética, trabalhando em faixas restritas do espectro, é o caso do radar (DPI/INPE, s.d.).

As imagens de sensoriamento remoto, tanto ópticas quanto de radar, desempenham um papel central na análise ambiental de áreas remotas. As imagens ópticas, como as disponíveis no Google Earth Pro, oferecem visualizações detalhadas e históricas da superfície terrestre, permitindo identificar alterações no uso da terra e estruturas antrópicas (Gomes, Araujo & Galvíncio 2021). Já os sensores de radar, como os do satélite Sentinel-1, são capazes de captar informações mesmo em condições de nuvens densas ou ausência de luz solar, o que é especialmente útil em regiões tropicais como a Amazônia (Dias, 2020).

De acordo com pesquisa realizada por Santos (2024, submetido à publicação) os resultados apontam que nos últimos anos foram publicados pelo menos 05 artigos aplicando o uso de sensoriamento remoto para estudo e análise da atividade de garimpo na Amazônia brasileira. As pesquisas desenvolvidas com uso do sensoriamento remoto ambiental são fontes bibliográficas importantes pois desenvolvem métodos, estudos e *insights* sobre a atividade de garimpo na Amazônia. A detecção de áreas de garimpo por imagens de satélites, auxiliam no mapeamento da distribuição geográfica da atividade e o monitoramento de mudanças de uso da terra e das águas, são realizados por meio de análises temporais de imagens de satélite, que permitem mapear áreas com impactos ambientais ao longo do tempo (Lobo et al, 2016; Lobo, Costa & Novo, 2015; Marinho & Ribeiro, 2023; Semionato, Bertani & Osako, 2021; Almeida-Filho & Shimabukuro, 2002); como também melhorar a fiscalização das atividades de garimpo ilegal, identificando as áreas de alto risco e priorização de ações de fiscalização e intervenções estatais.

3.6.1 Imagens ópticas – Google Earth

O Google Earth funciona como um cliente de serviços de mapas da web, combinando diferentes tipos de dados geoespaciais em uma interface 3D interativa. A plataforma processa e sobrepõe imagens de satélite, fotografias aéreas, dados de elevação (topografia 3D) e dados vetoriais (como estradas, fronteiras e nomes de lugares) para criar uma representação visual da Terra[1].

Entre os aspectos mais relevantes para diversas finalidades está a disponibilidade de um amplo banco de imagens históricas, possibilitando a análise de mudanças na superfície terrestre ao longo do tempo. Como apontam Zhao *et al.* (2021), o Google Earth tem sido extensivamente utilizado pela comunidade de sensoriamento remoto como uma ferramenta multidisciplinar, de exibição visual e pesquisa dinâmica, apesar de possuir deficiência na função de análise espacial de SIG.

Para Lopes (2009), que realizou teste numéricos para validação das imagens do Google Earth, o autor avaliou como eficiente a realidade geométrica e posicional das imagens do banco de dados do Google Earth e destacou ainda que um grande benefício da plataforma, está na disponibilidade de imagens de alta resolução, tendo em vista, que o Google possui diversos convênios com as maiores distribuidoras de

imagens de satélite pelo mundo, possibilitando um mosaico de imagens de alta resoluções.

3.6.2 Imagens óticas – Radar SAR

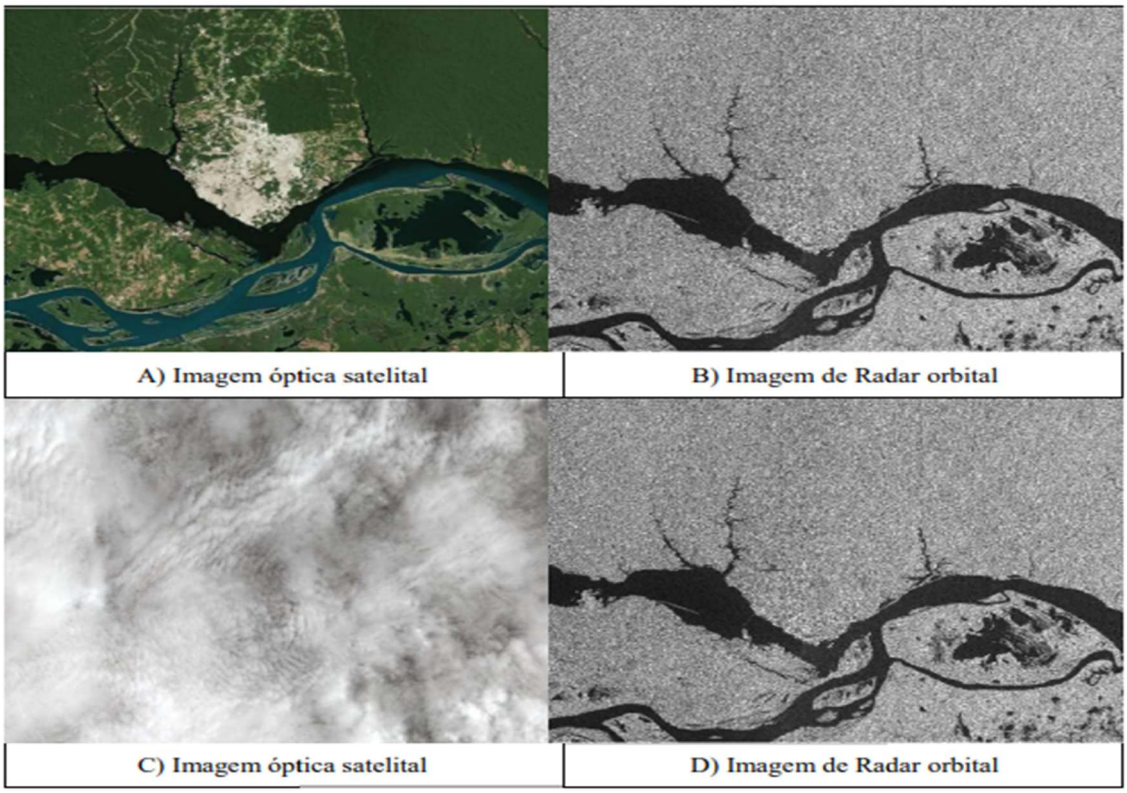
O radar (*Radio Detection And Ranging*) é um sistema que utiliza a propagação e reflexão de ondas eletromagnéticas, na faixa de rádio frequência (Barbosa Filho, Gomes Neto & Sousa Junior, 2018). De forma geral, o radar emiti pulsos de ondas eletromagnéticas em direção a um alvo e recebendo o eco dessas ondas refletidas pelo objeto. Com base no tempo do eco e nas características das ondas recebidas, o radar é capaz de determinar a distância, velocidade, direção, produzir imagens e adquirir outras informações relevantes sobre o alvo, transmitindo um feixe de radiação eletromagnética centrada na região de micro-ondas (Novo, 2010).

O desenvolvimento dos Sistemas de Radar de Abertura Sintética (SAR), potencializou-se o completo aproveitamento de todas as informações permitindo o aumento da resolução espacial da imagem obtida do terreno independentemente da altitude da plataforma, realizando está síntese digitalmente em um computador (Novo, 2010).

Os satélites da missão Sentinel-1 possuem um radar imageador de abertura sintética que opera na banda C com uma frequência de 5.405 GHz. O sistema imageador pode operar com dupla polarização (HH/HV ou VV/VH) e polarização única (HH ou VV), possuindo quatro modos de aquisição: SM (*Stripmap Mode*), IW (*Interferometric Wide Swath Mode*), EW (*Extra-Wide Swath Mode*) e WV (*Wave Mode*) (Silva de Sá *et al*, 2019).

Considerando a realidade climática um aspecto limitante do emprego das técnicas de sensoriamento remoto, a presença de nuvens na região da Amazônia, dificulta a utilização de imagens de sensores imageadores passivos em períodos contínuos e recorrentes (Dias, 2020). A figura 3 apresenta registros de sensores ópticos e de radar em condições climáticas distintas, sendo possível observar que por vezes a presença e nuvens inviabiliza a utilização de sensores passivos para imageamento na região. Apesar dos sensores radar não serem totalmente isentos de interferências de nuvens (Baptista, s.d.) em comparação com as imagens ópticas são superiores.

Figura 3 - Comparação entre uma imagem óptica e uma imagem de Radar na Amazônia.



Fonte: Dias, 2020.

4. METODOLOGIA

4.1 Método e tipo de Pesquisa

A metodologia da pesquisa foi baseada na modalidade de “estudo de caso”. Para Ventura (2007) o estudo de caso considera a unidade como um todo, incluindo o seu desenvolvimento, não apenas como algo à parte, mas o que ele representa dentro do todo. Logo, por meio do estudo de caso investiga-se um caso específico, bem delimitado, contextualizado em tempo e lugar obtendo uma busca de informações em prol de um resultado.

Esta pesquisa levou em consideração a definição do método de pesquisa de estudo de caso, conforme, define Yin (2015): “O estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno de mundo real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto puderem não ser claramente evidentes”. Assim, ansiou-se entender um fenômeno ambiental do mundo real buscando evidências e discussões da relação dos contextos pertinentes (economia, social e meio ambiente).

Para o desenvolvimento da pesquisa, se tratando de estudo de caso não foi regida por um roteiro rígido, mas para fins de planejamento e estruturação da dissertação foi definida em 04 etapas principais adaptadas das propostas sugeridas por Gil (1995):

- Delimitação da unidade-caso, o garimpo de ouro no rio Madeira (Amazonas);
- Obtenção, processamento e uso de imagens de satélites, referencial teórico e documentos complementares, que embasaram a próxima etapa;
- Seleção, análise e interpretação dos dados, a partir do mapeamento espacial, realização da avaliação de impactos ambientais e valoração dos impactos com uso de ferramentas digitais (softwares de geoprocessamento, matriz de impactos e calculadora de impactos ambientais de garimpo);
- Elaboração do relatório e conclusões do estudo.

Inicialmente para conhecer e analisar o tema problema da pesquisa, foi realizada a pesquisa bibliográfica. Para Fonseca (2002) a pesquisa bibliografia ocorre “a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites”. Assim

como para Lakatos e Marconi (2003): “a pesquisa bibliográfica não é mera repetição do que já foi dito ou escrito sobre certo assunto, mas propicia o exame de um tema sob novo enfoque ou abordagem, chegando a conclusões inovadoras”.

Em consonância com os objetivos desta pesquisa, que buscam compreender os impactos ambientais da mineração de garimpo de ouro no rio Madeira, o estudo adotou uma abordagem exploratória e descritiva.

Para Selltiz, Wrightsman e Cook (1987), o modelo de pesquisa exploratória se utiliza principalmente de técnicas de pesquisas qualitativas baseadas em observações e análises empíricas. Assim o desenvolvimento da pesquisa exploratória se deu pela interpretação empírica dos resultados obtidos do mapeamento, assim como pela avaliação e valoração dos impactos ambientais realizada pelas ferramentas digitais subscritas.

Para a condução da avaliação multifacetada da atividade de garimpo de ouro fluvial foram realizadas as etapas dispostas na Figura 4.

Figura 4 - Quadro da sequências das etapas metodológicas utilizadas nesta dissertação.



Fonte: Autora, 2025.

4.2 Área de estudo

A área de estudo compreende aproximadamente uma extensão linear de 700 km pelo rio Madeira na porção do estado do Amazonas, abrangendo parte dos municípios de Autazes, Borba, Humaitá, Manicoré e Novo Aripuanã. No mapa de localização (Figura 5), a área de estudo está delimitada pelo polígono de cor vermelha que foi elaborado por um buffer de 11000 metros da linha central do rio Madeira. É importante destacar que o mapeamento compreendeu apenas atividade de garimpo fluvial, ou seja, a área delimitada em vermelha foi um critério adotado afim de facilitar as análises ambientais emergentes apenas o canal fluvial principal do rio Madeira, e o polígono foi delimitado para ser representativo para fins de análises.

A pesquisa compreendeu apenas a atividade de garimpo fluvial, ou seja, restringiu-se ao canal principal do rio Madeira. A área delimitada em vermelho foi adotada como critério para facilitar as análises ambientais emergentes, sendo o polígono traçado de forma a representar adequadamente a região para fins analíticos.

Figura 5 – Mapa de Localização da área de estudo (rio Madeira – Amazonas)



Fonte: Autora, 2023.

4.3 Período Amostral

A amostragem e o mapeamento da atividade de garimpo de ouro no rio Madeira foram realizados dentro do período compreendido entre os anos de 2021 e 2024. Contudo, para fins de mapeamento foi adotada uma abordagem seletiva, focando em períodos estratégicos. Dessa forma, o mapeamento não abrangeu a totalidade dos quatro anos em um levantamento contínuo, mas momentos específicos e relevantes dentro desse intervalo temporal, permitindo uma análise direcionada das atividades de garimpo em momentos relevantes. Os períodos estratégicos foram definidos pelos critérios detalhados na Tabela 1.

4.4 Levantamento de operações de fiscalização de garimpo ilegal

Para auxiliar na definição dos períodos estratégicos de mapeamento e fornecer um panorama das áreas de intensa atividade de garimpo ilegal, foi realizado um levantamento documental de notícias divulgadas por órgãos oficiais de fiscalização (como Polícia Federal, IBAMA, ICMBio, Forças Armadas etc.) e outras fontes de informação confiáveis (como agências de notícias com cobertura ambiental reconhecida).

O objetivo deste levantamento foi identificar e registrar operações de fiscalização que confirmem a presença de equipamentos de garimpo (dragas, balsas etc.) em atividade no leito do rio Madeira. A ocorrência de missões de fiscalização, especialmente aquelas que resultaram na apreensão ou destruição de equipamentos, servirá como um indicativo da persistência da atividade garimpeira em determinadas áreas e períodos.

A análise destas informações permitiu identificar padrões espaço-temporais da atuação do garimpo ilegal, auxiliando na seleção de períodos estratégicos para o mapeamento por sensoriamento remoto, otimizando a identificação de áreas com maior probabilidade de ocorrência da atividade.

O produto desta etapa foi uma tabela contendo as descrições de identificação das operações de fiscalização levantadas (Tabela 1).

Tabela 1 - Tabela de aspectos metodológicos para descrição das operações de fiscalização de garimpo.

Campo	Descrição
Nome da Operação	Nome da operação de fiscalização.
Órgãos Envolvidos	Lista dos órgãos oficiais que participaram da operação (ex. PF, IBAMA, Exército).
Localização Aproximada	Descrição da localização da operação (ex. trecho do rio próximo a qual município).
Equipamentos Apreendidos/Destruídos	Número de equipamentos de garimpo (dragas, balsas etc.) que foram apreendidos ou destruídos durante a operação.
Data da Operação	Período em que a operação de fiscalização foi realizada ou divulgada.
Referência da Notícia	Link ou citação da fonte da notícia ou documento oficial que reporta a operação.

Fonte: Autora, 2025.

A coleta e organização destes dados forneceram uma base informativa para o planejamento das etapas subsequentes da pesquisa, especialmente na definição dos momentos estratégicos para a aquisição e análise de imagens de satélite, direcionando o esforço de mapeamento para áreas com histórico recente de atividade de garimpo ilegal confirmada por órgãos de fiscalização.

4.5 Caracterização de Equipamentos de Garimpo Fluvial

A caracterização da atividade de garimpo fluvial de ouro no rio Madeira abrangeu aspectos como dimensões comuns, potência dos motores, materiais de construção predominantes e outras características específicas relevantes para a identificação e análise por sensoriamento remoto e para a compreensão da escala da operação.

Para esta caracterização, foi utilizada uma abordagem que integrou o levantamento teórico e documental. A revisão bibliográfica incluiu estudos existentes sobre técnicas de garimpo fluvial na Amazônia e descrições de equipamentos encontrados na literatura científica e em informações técnicas de embarcações.

Adicionalmente foram exploradas fontes documentais obtidas por meio de contatos estratégicos com profissionais de empresas certificadoras de embarcações. Estes profissionais forneceram os documentos técnicos sobre as características de embarcações, comumente utilizadas no garimpo fluvial, incluindo dimensões, potência de motores e especificações de construção.

A colaboração com profissionais de certificadoras de embarcações representou uma oportunidade única para acessar informações detalhadas e precisas

sobre os equipamentos de garimpo fluvial. No entanto, foi fundamental garantir a confidencialidade das informações sensíveis, como nomes de proprietários e características que possam levar à identificação direta de embarcações específicas. A utilização destes documentos foi realizada na caracterização dos equipamentos de maneira anônima, apenas foi apresentado dado técnico e nenhuma informação de identificação.

Para a caracterização dos equipamentos foram elaborados os seguintes produtos:

a) Descrição dos principais tipos de equipamentos de garimpo fluvial identificados (ex. dragas de sucção, balsas caseiras etc.), com suas funcionalidades básicas e formas de operação.

b) Croquis esquemáticos dos principais tipos de equipamentos, ilustrando suas dimensões relativas e componentes principais.

c) Foi criada uma tabela resumindo as características comuns dos equipamentos, incluindo:

- Tipo de Equipamento
- Dimensões Comuns (aproximadas)
- Potência Comum do Motor (faixa)
- Principais Componentes
- Materiais de Construção Comuns
- Outras Características Específicas Relevantes

4.6 Mapeamento Primário de Imagens no Google Earth Pro

A seleção desta ferramenta se fundamenta nos avanços significativos na disponibilidade de imagens de satélites de alta resolução ao longo dos últimos anos permitindo a captura e o download de imagens com detalhes consideráveis (até 4.800 x 4.800 pixels), adequados para a identificação de equipamentos de garimpo fluvial.

O avanço da utilização desta ferramenta para o uso em visualização, mapeamento e análise de formas tem aumentado, evidenciado nos estudos desenvolvidos por Batista, Vieira & Marinho (2019) que fizeram uso do Google Earth

Pro no mapeamento de voçorocas e Polizel e Rossetti (2014) que utilizou a ferramenta para análise morfológica com uso de multisensores.

O mapeamento primário foi realizado de forma manual e sistemática, percorrendo a área de estudo previamente delimitada no leito principal do rio Madeira (conforme definido na delimitação da área de estudo sobrescrito).

Para garantir a acurácia na identificação dos equipamentos de garimpo, a análise visual das imagens de satélite foi realizada com o auxílio de ferramentas de *zoom* da plataforma, permitindo a inspeção detalhada de objetos flutuantes e estruturas presentes no rio. A varredura do rio foi feita de forma sequencial, seguindo o curso principal do rio, garantindo uma cobertura completa da área de interesse. A identificação das dragas foi baseada nas características morfológicas previamente definidas na etapa de caracterização dos equipamentos, como o formato retangular das balsas, a presença de lanças de sucção, e a aglomeração de múltiplas embarcações em áreas remotas. A análise visual das imagens permitiu identificar potenciais embarcações de garimpo e registrar sua localização.

Para garantir a precisão e a relevância do mapeamento, foram estabelecidos critérios de exclusão para evitar a identificação incorreta de outras embarcações ou estruturas flutuantes. Assim foram excluídas:

- Embarcações claramente atracadas em portos ou áreas portuárias identificadas nas imagens;
- Embarcações paradas em locais próximos a construções terrestres (casas, edificações), que poderiam indicar se tratar de residências flutuantes ou outras embarcações não relacionadas à atividade de garimpo;
- Embarcações com morfologias diferenciadas das obtidas na caracterização realizada na seção anterior;

Em contrapartida, as embarcações encontradas em áreas de margem e remotas do rio, desprovidas de construções em terra firme, foram consideradas como potenciais equipamentos de garimpo. Um critério adicional para a identificação de dragas foi a presença de estruturas de lançamento (lanças) ou esteiras visíveis nas imagens, frequentemente associadas às operações de extração.

Para a quantificação da concentração de equipamentos foi adotado o critério de aglomeração. Embarcações de garimpo que estiverem a uma distância de até 30 metros umas das outras foram consideradas como parte de um mesmo aglomerado, refletindo uma possível operação conjunta ou proximidade operacional. É importante ressaltar que as datas das imagens analisadas foram relacionadas, sempre que possível, com as datas das operações de fiscalização levantadas na etapa anterior, buscando identificar a persistência da atividade garimpeira em áreas fiscalizadas.

Uma planilha eletrônica foi criada para registrar os dados extraídos da análise das imagens do Google Earth Pro, contendo as informações para cada aglomerado de dragas identificado (Tabela 02).

Tabela 2 – Aspectos metodológicos para a identificação de equipamento ou aglomerações.

Campo	**Descrição**
Código de Identificação do Aglomerado	Um código único para identificar cada aglomerado de dragas mapeado. O código foi definido com o sequencial: sigla de três caracteres do munícipio (RBB – Borba, NVP – Novo Aripuanã, MNX – Manicoré, HUW – Humaitá), número sequencial, *underline*, data em ordem ano/mês/dia, *underline* e a letra D seguida do número de dragas aglomeradas. Ex. NVP01_20221009_D02 (Município Novo Aripuanã, sequencial 01, data 09/10/2022, com duas dragas aglomeradas).
Número de Dragas Aglomeradas	O número de embarcações de garimpo identificadas dentro de um raio de 30 metros umas das outras.
Município	O município da localização do equipamento ou aglomerado de dragas onde está geograficamente inserida.
Data da Imagem	A data da imagem do Google Earth Pro utilizada para identificar o aglomerado. Esta informação é crucial para a análise temporal e para a relação com as datas das operações de fiscalização.
Latitude (Centroide Aproximado)	A latitude aproximada do centroide do aglomerado de dragas.
Longitude (Centroide Aproximado)	A longitude aproximada do centroide do aglomerado de dragas.

Fonte: Autora, 2025.

Foi elaborada uma lista de figuras contendo todos os equipamentos de garimpo fluvial identificados durante a avaliação visual no Google Earth Pro. Estas figuras, baseadas na caracterização dos equipamentos realizada anteriormente e devido ao volume expressivo de imagens mapeadas foram inseridas no Apêndice A. No entanto para ilustrar os exemplos representativos de diferentes tipos de equipamentos, e diferentes feições morfológicas de caraterização dos equipamentos e de operações de garimpo fluvial foram inseridas nos resultados algumas figuras, como exemplos de feições e aspectos encontrados.

4.7 Obtenção e processamento de imagens de radar

Nesta etapa foi utilizado imagens do satélite Sentinel 1A, que fazem parte do Programa de Observação da Terra da União Europeia intitulado “Copernicus” que possuem acesso gratuito em seu portal na rede de internet, definido pelo sítio https://dataspace.copernicus.eu/browser.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados:

- Imagens de Radar: Satélites SENTINEL-1
- Software: SNAP.

O sentinel-1 fornece imagens de radar para todas as condições meteorológicas, diurnas e noturnas, para serviços terrestres e marítimos. A plataforma Copernicus Browser fornece os dados adquiridos nos modos SM (3,5m x 3,5m), IW (10m x 10m) e EW (40m x 40m) processados para nível 1 de faixa de solo detectada (GRD).

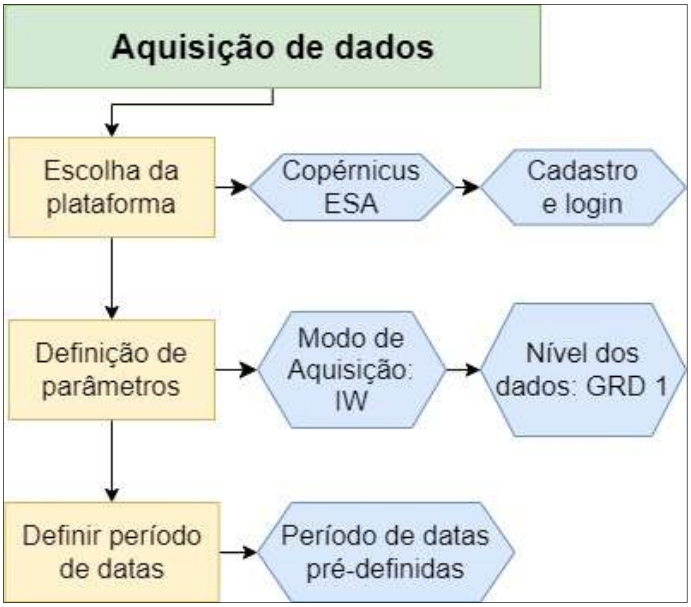
Os dados podem ser adquiridos em polarização simples HH ou VV ou em polarização dupla HH&HV ou VV&VH, dependendo do modo do instrumento. As siglas de polarização indicam com qual polarização os dados foram adquiridos. A primeira letra indica a polarização ao enviar o sinal, a segunda letra ao receber o sinal, por exemplo, HV = polarização horizontal ao enviar o sinal e polarização vertical ao receber.

Nesta pesquisa foram adquiridas imagens IW e SM (dependendo da disponibilidade), processadas no nível 1 GRD, e polarização VV & VH, com resolução espacial de 10m ou 3,5m.

Dos métodos utilizados para a fase de aquisição da imagem até sua análise, com a geração de uma série histórica de mapas com imagens digitais de radar, foram realizadas as seguintes fases, embasadas no curso do Professor Gustavo Baptista e Prof. Gustavo Ferreira, denominado PSISAR - Curso Processamento de Imagens de Radar de Abertura Sintética, disponível no portal Hotmart (Baptista, s.d), assim como vídeo-aulas da Professora Dr. Solange dos Santos Costa - DEGEO/UFAM (Costa, 2023).

a) Aquisição de dados (figura 6)

Figura 6 - Fluxograma de aquisição de imagens de radar SENTINEL



Fonte: Autora, 2024.

b) Tratamento no SNAP

Foram realizadas as seguintes etapas no processamento das imagens de radar:

- Calibração de Órbita: aplicando Apply Orbit File

A calibração aprimora as informações de deslocamento da plataforma do satélite para correção de velocidade e posicionamento, a fim de se manter a fase correta.

- Remoção de Ruídos Termais: aplicando S1 Thermal Noise Removal.

A remoção do ruído térmico é um passo fundamental para uma calibração Radiométrica precisa de dados SAR. Nos dados TOPSAR do Sentinel-1 (S1) o ruído térmico consiste em duas fontes aditivas, principalmente no canal VH: a primeira relacionada com o padrão da antena e, portanto, varia na direção do range, a segunda é o ruído recortado, que varia ao longo da direção do azimute.

- Calibração Radiométrica: aplicando Calibrate.

O objetivo da calibração de SAR é fornecer imagens nas quais os valores de pixel podem estar diretamente relacionados com a retroespalhamento da cena no radar. O processamento típico de dados SAR, que produz imagens de nível 1, não

inclui correções radiométricas permanece um viés radiométrico significativo. Portanto, é necessário aplicar a correção radiométrica às imagens SAR representem verdadeiramente a retroespalhamento da superfície refletora no radar.

- Aplicação de Filtros: aplicar o filtro Single Product Speckle Filter

A correção Speckle foi realizado com o filtro de Refined Lee, para corrigir na imagem o efeito sal e pimenta, tornando a imagem com menos manchas e mais uniforme.

- Multilooking

É um procedimento de subdivisão da abertura sintética em várias visadas, isso faz com que após a aplicação do *Multilooking*. Se tenha uma média das diversas visadas aumentando a relação sinal/ruído, ou seja, diminui ruído e aumenta sinal, logo reduz *speckle*.

- Correção do Terreno

Devido às variações topográficas de uma cena e a inclinação do sensor do satélite, as distâncias poder ser distorcidas nas imagens SAR. Os dados da imagem não encontrados diretamente na localização do nadir do sensor terão alguma distorção. As correções do terreno destinam-se a compensar essas distorções, de modo que a representação geométrica da imagem seja a mais próxima possível do mundo real.

d) Identificação dos alvos

A fase de identificação baseou-se na análise integrada de imagens de satélite do tipo radar (SAR) e imagens ópticas, com o objetivo de identificar embarcações associadas à atividade de garimpo fluvial. Esse procedimento foi realizado em três etapas:

- Detecção preliminar nas imagens SAR

Os alvos de interesse foram identificados visualmente com base em altos retornos de sinal sobre a superfície escura do rio. Esses alvos, que se destacam por contraste, foram considerados pontos de interesse de análise para possíveis dragas ou balsas de garimpo.

- Validação visual em imagens ópticas

Para evitar falsos positivos — comuns em áreas com ilhas, casas flutuantes ou embarcações de transporte — cada alvo detectado foi georreferenciado e confrontado com imagens ópticas de alta resolução, principalmente do Google Earth, preferencialmente em datas próximas ao registro SAR. A validação considerou:

a) Padrões espaciais (formação de agrupamentos);
b) Contexto do entorno (proximidade de comunidades, ilhas ou margens);
c) Permanência no local (presença em diferentes datas);
d) Características visuais associadas à atividade garimpeira.

- Classificação dos alvos

Com base na análise integrada, cada ponto foi classificado em três categorias:

a) Confirmado: embarcação claramente identificada como draga ou balsa de garimpo.
b) Provável: embarcação com características compatíveis, mas sem confirmação visual completa.
c) Descartado: elemento fixo ou embarcação sem vínculo aparente com a atividade minerária.

Os pontos confirmados e prováveis foram organizados no Apêndice B e suas camadas vetoriais representados em mapa esquemático.

4.8 Matriz de avaliação rápida de impacto - RIAM

Como método de avaliação de impactos, o RIAM (*Rapid Impact Assessment Matrix*) reflete o reconhecimento de que ferramentas simples e semiquantitativas de avaliação podem ser apropriadas e benéficas (Pastakia e Jensen, 1998).

Sabendo da heterogeneidade dos processos da mineração/garimpo com suas complexidades de modos operantes e as situações locacionais que compreende os aspectos social e ambiental. O RIAM pode ser usado como um instrumento para comparar o impacto ambiental e social mesmo quando os projetos são muito diferentes e não estão vinculados por opção de apenas um projeto. Permitindo, mesmo que os resultados sejam considerados imprecisos, um

projeto/empreendimento ser rotulado ambientalmente nocivo ou prejudicial (Kwitunen, Jalava & Hirnoven, 2008).

No RIAM a avaliação de impactos é baseada na definição de componentes ambientais e critérios de avaliação. As técnicas do RIAM têm sido utilizadas em diversos estudos ambientais, como aterros sanitários (Mondal, Rashmi & Dasgupta, 2010), projetos de bioenergia (Uphan & Smith, 2014), e projetos de planejamento urbano (Li et al., 2014).

O programa RIAM que consiste em uma matriz de avaliação de impactos computadorizada, baseia-se na pontuação de componentes de impactos ambientais em relação a critérios pré-definidos com valores semiquantitativos em dois grupos:

Grupo A: Critérios de importância para a condição e que podem mudar o valor do impacto individualmente. Esses critérios são subdivididos em:

A1: Importância da condição - de acordo com os limites geográficos do impacto ou o tamanho das populações humanas afetadas:

4 – Importante para na dimensão nacional/internacional

3 – Importante na dimensão regional/nacional

2 – Importante para as áreas imediatamente fora da condição local

1 – Importante somente para a condição local

0 – Sem importância

A2: Magnitude das mudanças/efeitos - medida de escala de impactos negativos/benefícios. O impacto é determinado como a extensão da mudança causada pelo projeto:

3 – Grandes benefícios

2 – Significativa melhoria no estado geral

1 – Melhoria no estado geral

0 – Sem mudança

-1 – Impactos negativos no estado geral

-2 – Significativos impactos negativos no estado geral

-3 – Grandes impactos negativos

Grupo B: Critérios que são importantes para a situação, mas que individualmente não são capazes de mudar o valor atribuído ao impacto. Esses critérios são subdivido em:

B1: Permanência do impacto, define a temporalidade do impacto da condição:

1 – Sem mudança

2 – Temporária

3– Permanente

B2: Reversibilidade, o impacto significa uma situação em que o estado original será restaurado após o término da atividade:

1 – Sem Mudança

2 – Reversível

3 – Irreversível

B3: Cumulatividade, o projeto ou atividade tem impacto combinado com outros projetos ou atividades na mesma área.

1 – Sem mudança/não aplicável

2 – Não cumulativa/simples

3 – Cumulativa/sinergética

Pastakia e Jensen (1998) expressam a relação descrita entre os critérios da seguinte forma (Equações 1, 2 e 3):

$$(A1) \times (A2) = AT \qquad (1)$$

$$B1 + B2 + B3 = BT \qquad (2)$$

$$(AT) \times (BT) = ES \qquad (3)$$

Onde: A1 e A2 são os valores dos atributos dos impactos, no grupo (A), B1 até B3 são os valores dos atributos dos impactos, no grupo (B); AT é o resultado da multiplicação das contagens de (A); BT é o resultado do somatório de todas as contagens de (B), ES é o resultado da agregação dos atributos no impacto ou contagem de avaliação final. Uma vez que a contagem do ES é ajustada em uma faixa

de escalas, estes podem ser apresentados individualmente ou agrupados de acordo com o tipo de componente (Tabela 3).

Os impactos avaliados, como mencionado, foram enquadrados em quatro categorias:

- Físico/Químico: aspectos físicos e químicos do meio ambiente, incluindo recursos naturais finitos e a degradação física pela destruição.
- Biológico/Ecológico: aspectos biológicos do meio ambiente, recursos naturais renováveis e poluição na biosfera.
- Social/Cultural: questões sociais e culturais como conservação de patrimônio físico e imaterial e o desenvolvimento humano.
- Econômico/Operacional: impactos e benefícios econômicos gerados.

Tabela 3 - Resultados da avaliação de impactos realizados pelo RIAM.

Intervalo	Código	Descrição
+108 a +72	A	Grandes mudanças/ Impacto positivo
+71 a +36	+D	Mudanças significativas/ Impactos positivos
+35 a +19	+C	Mudanças moderadas/ Impactos positivos
+18 a +10	+B	Mudanças/ Impactos positivos
+9 a +1	+A	Mudanças incipientes/ Impactos positivos
0	N	Sem mudança da situação atual
-1 a -9	-A	Mudanças incipientes/ Impactos negativos
-10 a -18	-B	Mudanças/ Impactos negativos
-19 a -35	-C	Mudanças moderadas/ Impactos negativos
-36 a -71	-D	Mudanças significativas/ Impactos negativos
-72 a -108	-E	Grandes mudanças/ Impacto negativos

Fonte: Pastakia & Jensen, 1998.

Para a área de garimpo avaliada, foram definidos os componentes ambientais relevantes (ex. qualidade da água, biodiversidade, saúde da comunidade). Em seguida, cada componente foi pontuado de acordo com os critérios do RIAM, e os resultados foram calculados para obter o escore final (ES). As avaliações contemplaram toda a área de estudo, ao longo do período amostral entre os anos de 2021 e 2024 com a realização de avaliação de impacto para dois cenários, o cenário atual atividades de garimpo de ouro ilegais e um cenário hipotético de atividade de garimpo de ouro legalizado (com licenciamento ambiental e autorização da União).

A título de exemplo: no contexto do garimpo, A1 (Importância da condição) pode ser avaliado considerando se o impacto na qualidade da água afeta apenas a comunidade local ou várias comunidades ao longo do rio; A2 (Magnitude das

mudanças) pode ser avaliado pela extensão da contaminação por mercúrio e seus efeitos na saúde da população.

Embora o RIAM seja útil para uma avaliação rápida e comparativa, ele pode simplificar excessivamente a complexidade dos impactos ambientais. A subjetividade na atribuição de pontuações é uma limitação inerente ao método. Portanto, os resultados do RIAM foram interpretados em conjunto com os demais dados de referencial teórico que apontam os impactos ambientais avaliadas por outras metodologias.

4.9 Calculadora de impactos do garimpo

A utilização da Calculadora de Impactos do Garimpo, desenvolvida pela organização Conservação Estratégica (CSF Brasil) em parceria com o Ministério Público Federal (MPF), representa uma importante ferramenta para a estimativa dos custos associados aos danos socioambientais causados pela atividade garimpeira ilegal.

Conforme descrito pela própria CSF (s.d.), trata-se de um instrumento de valoração econômica que considera os efeitos esperados no ambiente e na sociedade com base em variáveis como o tipo e porte da mineração, a produção de ouro e o tempo de operação. A fórmula, automatizada, utiliza parâmetros médios de produtividade e impacto extraídos da literatura científica e de entrevistas com pesquisadores e garimpeiros, fornecendo ao usuário resultados contextualizados com base empírica.

A Tabela 4 apresenta uma descrição geral da estrutura conceitual adotada pela Calculadora de Impactos do Garimpo, organizada por categoria de impacto, método de valoração econômica e tipo de garimpo associado. A ferramenta considera três grandes grupos de impacto: i) decapeamento/desmatamento; ii) recuperação do meio ambiente em camadas profundas; e iii) impactos à saúde decorrente da exposição ao mercúrio. Para cada categoria, são indicadas as abordagens utilizadas na valoração — seja pelo custo de oportunidade (benefícios cessantes dos serviços ecossistêmicos) ou pelo custo de recuperação da área degradada — além das atividades específicas afetadas.

Tabela 4. Descrição geral da calculadora como categorias de impacto, abordagem para valoração econômica e atividade específicas de impacto por tipo de garimpo.

Categoria de Impacto	Abordagem/Método de valoração	Atividades específicas de impacto	Aluvião	Balsa	oço
Decapeamento /Desmatamento	Custo de oportunidade do garimpo	Bioprospecção; Carbono; Produtos não madeireiros e madeireiros; Recreação; Cultura/ Espécies	*		
	Custo de recuperação da área de garimpo	Recuperação florestal	*		
Recuperação do meio ambiente em camadas profundas	Custo de oportunidade do garimpo	Serviços Ecossistêmicos - assoreamento	*	*	
	Custo de recuperação da área de garimpo	Estabilização do solo	*		
		Dragagem de sedimentos/ Retificação do leito do rio	*		
Impactos do mercúrio	Custo de oportunidade do garimpo	Doenças cardiovasculares	*	*	
		Perda de QI em crianças	*	*	
		Sintomas neuropsicológicos em garimpeiros	*	*	
	Custo de recuperação da área de garimpo	Aplicação de técnicas para remediação de solos contaminados por mercúrio	*		

Fonte: Gasparinetti *et al* (2021).

A tabela também identifica quais tipos de garimpo (aluvião, balsa ou poço) estão relacionados a cada tipo de impacto, destacando as particularidades de cada operação. Por exemplo, o impacto sobre o desmatamento e a necessidade de recuperação florestal são atribuídos ao garimpo de aluvião e poço, enquanto os danos associados ao assoreamento de rios, estabilização do solo e dragagem de sedimentos são mais amplamente distribuídos entre os três tipos. Já os efeitos do mercúrio sobre a saúde humana, como doenças cardiovasculares e perda de QI em crianças, aparecem como comuns a todas as modalidades de garimpo.

Essa classificação sistematiza os vínculos entre tipo de garimpo, danos gerados e métodos de valoração, permitindo maior clareza na aplicação da metodologia e servindo como base para os cálculos automatizados da calculadora.

Na tabela 5 apresenta-se os principais parâmetros operacionais e fórmulas aplicadas na Calculadora de Impactos do Garimpo. Esses elementos constituem a base técnica dos cálculos utilizados para estimar os impactos ambientais e

econômicos da atividade garimpeira, especialmente no contexto da mineração ilegal de ouro por balsas.

Os itens apresentados abrangem desde classificações dos tipos de garimpo (aluvião, poço e balsa) e as formas de entrada de dados (gramas de ouro, hectares, tempo de operação), até parâmetros físico-operacionais como produtividade média, capacidade de dragagem, potência de motor, vazão de lama, densidade da mistura, e perda de carga hidráulica.

A tabela 5 apresenta fórmulas essenciais para a estimativa de variáveis intermediárias, como a quantidade de sedimento pluma gerada, a conversão para hectares impactados e a valoração monetária dos danos por assoreamento. Esses cálculos são fundamentais para traduzir a operação mecânica das dragas em indicadores ambientais quantificáveis, permitindo a conversão dos impactos biofísicos em valores econômicos.

Assim pode-se notar na tabela 5 um exemplo prático de aplicação dos parâmetros: uma balsa com motor de 57 cv, operando durante um mês, pode produzir 0,33 kg de ouro, gerar mais de 2 mil toneladas de sedimentos e impactar aproximadamente 176 hectares, com um dano ambiental estimado em R$ 11.646,00.

Os dados inseridos na calculadora, neste estudo, foram derivados das análises empíricas realizadas nas etapas anteriores da pesquisa, como mapeamentos geoespaciais e estimativas de produção associadas à atividade garimpeira em áreas específicas.

De acordo com Gasparinetti *et al.* (2021), os valores estimados pela ferramenta dependem de parâmetros como tipo de garimpo (aluvião, balsa ou poço), região geográfica e tempo de operação.

Tabela 5 - Parâmetros e Fórmulas Utilizados na Calculadora de Impactos do Garimpo

Item	**Descrição**	**Valor/Equação**
Tipos de Garimpo	Classificações da atividade garimpeira consideradas	Aluvião, Poço, Balsa
Unidades de Entrada	Formas de parametrização de acordo com o tipo de garimpo	Gramas de ouro, hectares, anos ou meses de operação
Produtividade Média	Quantidade de ouro por m³ de material lavrado	0,0022 g/m³
Produção Média por Balsa	Quantidade estimada mensal e anual	0,48 kg/mês ou 5,71 kg/ano

Capacidade de Dragagem	Volume médio de material lavrado por balsa	216.000 m³/mês ou 2.592.000 m³/ano
Potência do Motor (cv)	Base para cálculo de produção de ouro	Produção = M × E × 0,006 × 1.000
Vazão de Lama (Q)	Estimativa de fluxo de lama a partir da potência da bomba	Q = (Pcv × n × 75) / (γ × Hm)
Densidade da Lama	Considerando 10% de sólidos	1,1425 (peso específico = 11.142 Kgf/m³)
Altura Manométrica Média	Média de sucção para rios Tapajós e Madeira	10 metros
Perda de Carga	Estimada por metro de tubulação	0,28 m/m (2,8 m em 10 m)
Sedimento Pluma (Sp)	Estimativa da carga de sedimentos com potencial de impacto	Sp = M × E × 38,82
Conversão para Hectares Impactados	Conversão de sedimentos para área impactada	Eq = Sp / 12,54
Valoração do Assoreamento	Conversão para danos monetários	Cs = (Sp / 12,54) × R$ 66
Perda de Mercúrio (água)	Percentuais estimados para balsas	Mín: 12,6%; Médio: 21,8%; Máx: 35%
Exemplo	Balsa com motor de 57 cv operando 1 mês	0,33 kg ouro; 2.213 ton sedimento; 176 ha; R$ 11.646,00

Fonte: Adaptado de Gasparinetti et al. (2021); CSF Brasil (s.d.).

As unidades de entrada variam conforme o tipo de garimpo:

- **Garimpo de aluvião**: grama de ouro ou hectare;
- **Garimpo de poço**: grama de ouro ou anos de operação;
- **Garimpo de balsa**: grama de ouro ou meses de operação.

A figura 7 apresenta o *layout* e unidades de entrada da calculadora, para fins dessa pesquisa, onde foram informadas na calculadora os seguintes dados:

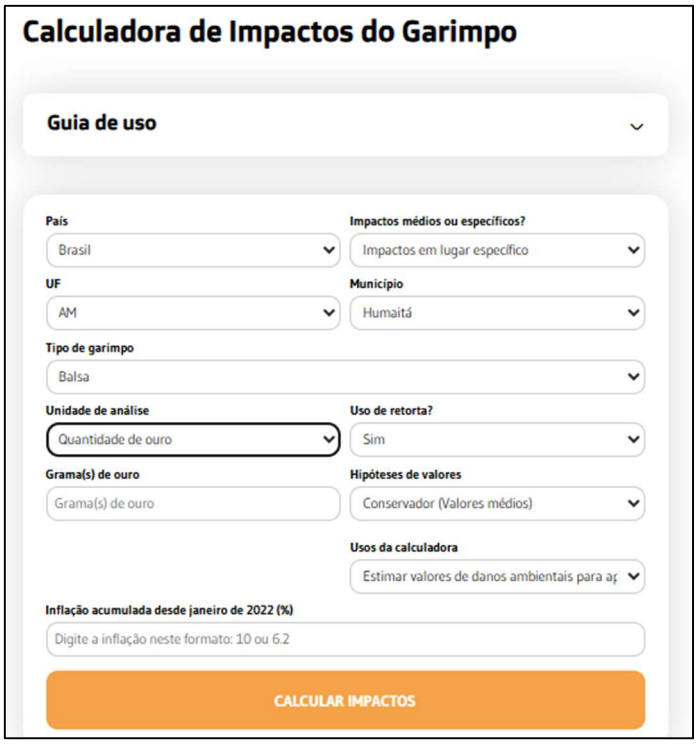
- País: Brasil;
- Impactos médios ou específicos: serão realizados cenários por munícipio em específico e gerais médios;
- Tipo de garimpo: balsa;
- Uso de retorta: Sim (como não se tem como definir esse parâmetro será realizado a avaliação de que todas possuam retorta [método conservador]);
- Unidade de análise: quantidade de ouro (devido o mapeamento não permitir determinar a quantidade de balsa em um ano).
- Grama (s) de ouro: será considerado 330 gramas de ouro por equipamento/mês.
- Hipóteses de valores: conservador (valores médios)

- Inflação acumulada desde janeiro de 2022 (%): pesquisar valor em site oficial.

i. Usos da calculadora: será realizado o cálculo para o cenário:

Estimar valores de danos ambientais para apoiar a definição compensações e indenizações;

Figura 7 - Layout da Calculadora de Impactos Ambientais do Garimpo - CSF/MPF.



Fonte: CFS, s.d.

Esses cálculos e resultados reforçam a utilidade da ferramenta como apoio técnico e jurídico na quantificação de impactos do garimpo ilegal. Mesmo reconhecendo que os cálculos não possuem um caráter estritamente fechado e específico, e que se baseiam em dados secundários para alguns de seus parâmetros, a ferramenta oferece uma estimativa genérica, porém válida e significativa da magnitude dos efeitos que mesmo uma única unidade de garimpo pode causar sobre os ecossistemas amazônicos. Dessa forma, contribuiu para fundamentar empiricamente processos de responsabilização e políticas públicas voltadas à conservação ambiental na Amazônia.

4.10 Análise integrada dos dados e discussão das abordagens ambientais

Nesta etapa final da metodologia, será realizada uma análise integrada dos dados obtidos ao longo do estudo, com o objetivo de promover uma discussão crítica e aprofundada sobre as perspectivas da exploração mineral e seus reflexos ambientais e socioeconômicos na região do rio Madeira. A abordagem adotada buscará identificar as inter-relações entre a atividade mineral ilegal (garimpo) e os impactos ambientais diretos e indiretos decorrentes dessa prática, considerando a complexidade e a dinâmica da região analisada.

A análise integrará os diversos instrumentos metodológicos aplicados, tais como o mapeamento da ocupação do espelho d'água, avaliação dos impactos socioambientais, e a valoração desses impactos. Essa integração visa possibilitar uma visão holística e sistêmica da atuação do garimpo ilegal, permitindo compreender não apenas os efeitos imediatos da atividade, mas também suas repercussões de médio e longo prazo no ecossistema e nas comunidades locais.

A discussão também considerará o contexto regulatório e as políticas públicas associadas à mineração e ao uso dos recursos naturais na Amazônia, buscando estabelecer correlações entre os dados empíricos obtidos e as abordagens teóricas discutidas na fundamentação do estudo. Dessa forma, pretende-se oferecer subsídios para uma reflexão crítica sobre os desafios e possibilidades de gestão ambiental na região do rio Madeira, contribuindo para o avanço do conhecimento científico e para a formulação de estratégias mais eficazes de enfrentamento ao garimpo ilegal.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Levantamento das Operações de Fiscalização de Garimpo Ilegal

Apresentam-se, inicialmente, os resultados obtidos a partir do levantamento documental das operações de fiscalização de garimpo ilegal no rio Madeira, no estado do Amazonas, realizadas no período de 2021 a 2024. Esse levantamento, conforme descrito na seção de procedimentos metodológicos, teve por finalidade identificar as áreas com maior intensidade de atividade garimpeira, devidamente confirmadas por órgãos oficiais, servindo de subsídio para a definição dos períodos mais adequados à realização do mapeamento por meio de técnicas de sensoriamento remoto.

Os resultados apresentados na Tabela 6 apontam um panorama das principais operações de fiscalização voltadas ao combate do garimpo ilegal de ouro no rio Madeira, no estado do Amazonas, entre os anos de 2021 e 2024. Foram identificadas cinco grandes operações realizadas por diferentes órgãos federais, com destaque para a atuação recorrente da Polícia Federal e do IBAMA, evidenciando uma articulação institucional consolidada no enfrentamento a essa atividade ilícita. Em alguns casos, como na primeira fase da Operação Uiara, também houve a participação das Forças Armadas, o que reforça a complexidade e a escala dessas ações.

Tabela 6 - Operações de Fiscalização de Garimpo Ilegal no Rio Madeira (Amazonas) - 2021 a 2024

Nome da Operação	**Órgãos envolvidos**	**Localização aproximada**	**Equipamentos envolvidos**	**Data das operações**	**Referências**
Uiara I – 1° fase	Polícia Federal, IBAMA e Exército	Autazes, Rosarinho – Rio Madeira	131 balsas destruídas	27 a 29 nov. 2021	Portal Policia Federal (Brasil/PF, 2021)
Uiara II	Polícia Federal e IBAMA	Borba – Rio Madeira	34 balsas destruídas	15 dez. 2021	G1 Amazonas (Branches, 2021)
Lex Et Ordo	Polícia Federal e Ibama	Fronteira entre Amazonas/Rondônia – Rio Madeira	121 Equipamentos apreendidos	14 out. 2022	G1 Globo RO (G1 Rondônia,2022)
Draga Zero	Polícia Federal e Ibama	Autazes, Manicoré, Nova Olinda do Norte, Borba e Novo Aripuanã	302 balsas/dragas destruídas	21 ago. 2023 a 02 set. 2023	Portal Polícia Federal (Brasil/PF, 2023)
Prensa	Funai, Polícia Federal e IBAMA	Munícipio do sul do Amazonas (calha do rio Madeira)	459 balsas/dragas destruídas	20 ago. 2024 a 30 ago. 2024	Portal Fundação Nacional dos Povos Indígenas (BRASIL/FUNAI, 2024)

Fonte: A autora (2025)

A primeira fase da Operação Uiara, realizada entre os dias 27 e 29 de novembro de 2021, marcou o início dessas ações, com a destruição de 131 balsas na região de Autazes e Rosarinho. Ainda no final de 2021, a segunda fase da mesma operação (Uiara II) e a destruição de 34 balsas em Borba reforçam a intensidade do esforço fiscalizatório nesse período. Em 2022, a Operação *Lex Et Ordo*, localizada na divisa entre Amazonas e Rondônia, apreendeu 121 equipamentos, indicando a disseminação do garimpo ilegal também para áreas limítrofes entre estados. Já a Operação Draga Zero, realizada entre agosto e setembro de 2023, apresentou a destruição de 302 balsas e dragas em cinco municípios da calha do rio Madeira. Por fim, a Operação Prensa, em agosto de 2024, com maior impacto numérico envolveu a destruição de 459 balsas e dragas, ainda que com localização menos específica, voltada a áreas de influência em comunidades tradicionais e indígenas.

A análise dos dados evidencia padrões importantes. Há uma recorrência de atividades ilegais ao longo de toda calha do rio Madeira, com grandes aglomerações nos trechos próximos aos municípios de Autazes e Borba, alvos de múltiplas operações, com destaque principal para a grande aglomeração ocorrida em 2021 de grande cobertura jornalística na época (Sousa, 2023). Esses locais despontam como áreas críticas no contexto da degradação ambiental provocada pelo garimpo. Além disso, os períodos com maior concentração de operações — especialmente o final de 2021 e o segundo semestre de 2023, indicam momentos estratégicos para o uso de técnicas de monitoramento por sensoriamento remoto.

Essas informações foram marcos importantes para orientar o recorte temporal e espacial da análise de imagens de satélite na pesquisa. As operações registradas não apenas demonstram os esforços estatais de repressão ao garimpo ilegal, mas fornecem indícios sobre a dinâmica territorial dessa atividade ao longo do tempo.

5.2 Caracterização de Equipamentos de Garimpo Fluvial

No âmbito do garimpo fluvial e aluvionar, destacam-se três principais tipos de equipamentos empregados na exploração de ouro: as balsinhas, as balsas e as dragas. Embora, tecnicamente, todas essas estruturas possam ser classificadas como dragas, em virtude da operação de dragagem que realizam, prevalece, entre os garimpeiros, o uso de denominações específicas, balsinhas, balsas e dragas, que expressam tanto a diversidade operacional quanto os distintos níveis de complexidade

e sofisticação envolvidos nos processos de extração aurífera. Em sua maioria, essas embarcações compartilham a particularidade de não possuírem sistema próprio de propulsão, dependendo, para a navegação, de uma embarcação auxiliar, usualmente denominada 'empurrador'.

a) **Balsinhas de garimpo:** são estruturas de dragagem com construção mais improvisada e de baixo custo, como madeira e lonas, que contemplam uma base flutuante, com tamanho estimado de 8 x 3 metros, são de fácil operação e possuem uma bomba de baixa sucção e operam com uma capacidade reduzida, adequadas principalmente para áreas de aluviões (figura 8, 9 e 10).

Figura 8 - Construção de equipamento de garimpo no rio Madeira, por moradores locais.



Fonte: Sousa, [s.d.].

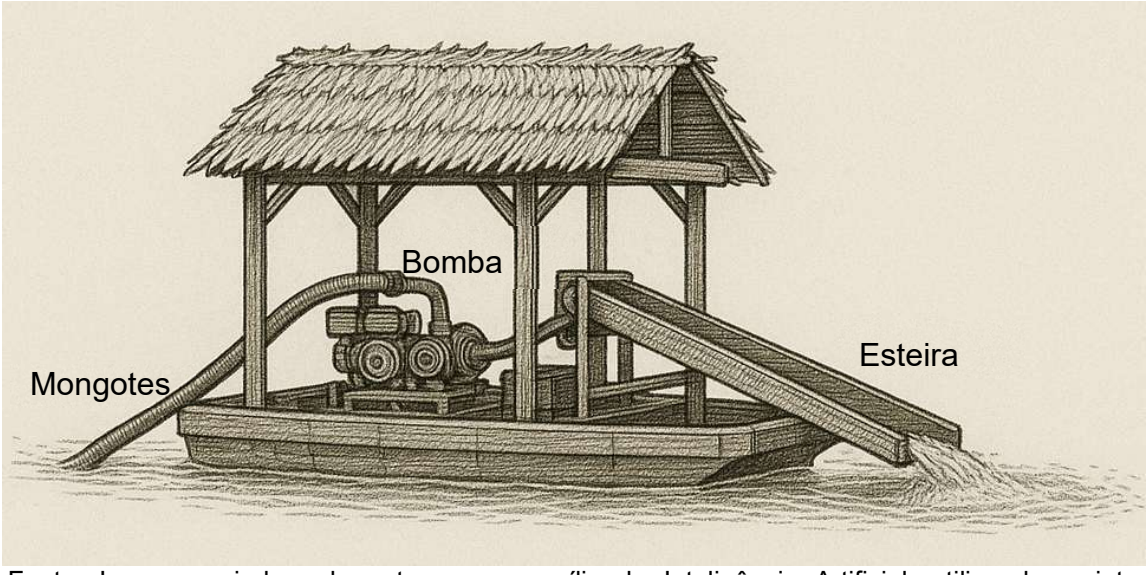
Comumente as balsinhas são construídas de maneira artesanal e familiar pelos moradores locais, de acordo com Souza (s.d.) em uma das suas excursões pelo rio Madeira o mesmo visualizou a construção de uma dessas estruturas (Figura 8) e também a sua operação que se dá comumente em “baixões” (Figura 9), termo utilizado nas comunidades locais, que são áreas onde há inundação sazonais que permitem a formação de aluviões, que são materiais sedimentares transportados e depositados pelo regime fluvial em área de relevo de planície.

Figura 9 - Equipamento de Garimpo: Balsinhas de dragagem de ouro no rio Madeira.



Fonte: Sousa, [s.d.]

Figura 10 - Croqui esquemático de equipamento de garimpo comumente conhecido como "balsinha de garimpo".



Fonte: Imagem criada pela autora com auxílio de Inteligência Artificial, utilizando script específico (ChatGPT) desenvolvido para este estudo, 2025.

b) Balsas de garimpo: são estruturas de garimpo fluvial com construção mais robusta e padronizada que as balsinhas, geralmente são fabricadas com materiais metálicos e madeira reforçada, apresentando dimensões maiores, em torno de 12 x 5 metros ou mais (Figura 11). São utilizadas em operações com maior capacidade de extração, equipados com motores de média potência e sistemas de sucção mais eficiente, podendo operar por períodos prolongados. Costumam ser construídas por grupos organizados ou pequenas cooperativas locais, e são adaptadas a operar tanto em aluviões quanto no leito do rio.

Este tipo de equipamento é composto de uma base flutuante e possuem em sua estrutura área de hospedagem para alguns operadores, de maneira mais rustica se comparado as grandes dragas, seu sistema operacional permite a atividade de dragagem por longos períodos, porém geralmente não possuem geradores de energia o que dificulta a sua operação noturna. Sua característica é que possui apenas uma esteira separadora, diferenciando-se das dragas que possuem duas esteiras devido ao seu motor de potência avançada.

Figura 11 - Imagens de equipamento de garimpo, comumente conhecidas como balsas de garimpo.



Fonte: Bruno Kelly | Greenpeace (s.d)

Quando se trata de equipamentos de garimpo, observa-se que não há um padrão consolidado do layout e estrutura construtiva das embarcações utilizadas, especialmente no que diz respeito aos layouts das balsas de garimpo. Essas unidades apresentam configurações bastante distintas entre si, e sua função operacional está diretamente ligada à potência do motor acoplado, que influencia na sua capacidade de bombear sedimentos. Apesar da ausência de padronização, é possível observar

elementos recorrentes, a figura 11 quando comparadas as figuras 12 a 14 apresentam um exemplo visual de diferentes tipos balsa de garimpo, apresentando, detalhes da estrutura externa, e na segunda embarcação sendo ainda possível visualizar seu compartimento interno destinado a máquinas e tubulações.

Figura 12. Estrutura interna, compartimento destinado a máquinas e tubulações de uma balsa de garimpo.



Fonte: Santos, 2025a.

Figura 13 - Estrutura externa (traseira) de uma balsa de garimpo.



Fonte: Santos, 2025a.

Figura 14 - Estrutura externa (lateral) de uma balsa de garimpo.



Fonte: Santos, 2025a.

c) Dragas de garimpo: são as estruturas de dragagem fluvial maiores e mais complexas, com características industriais, geralmente compostas por plataformas metálicas com sistema flutuantes de grande porte, possuindo dimensões que podem ultrapassar os 25 x 8 metros. São equipadas com bombas de alta capacidade de sucção, com polegadas que chegam a 16, operando com duas esteiras classificadoras que facilitam a separação dos materiais dragados. Além dos itens operacionais, as dragas contam com áreas destinadas à hospedagem, cozinhas, banheiros e até mesmo serviços de internet via satélite, permitindo longas jornadas de trabalho, de até 07 tripulantes, sem necessidade de retorno frequente a sede municipal ou local (figuras 15, 16 e 17). Esses equipamentos podem operar em regiões profundas dos rios devido a seus equipamentos de lanças e inclusive sua operação pode ser no período noturno devido possuir sistemas de geração de energia e iluminação própria.

Para fins de aprofundamento técnico, foi possível ter acesso a um projeto arquitetônico completo (figura 17) de uma draga fluvial de grande porte. O referido material, obtido a partir do acervo pessoal de uma profissional certificadora de embarcações, foi utilizado estritamente com fins acadêmicos e didáticos. Em respeito

à confidencialidade técnica e à ética profissional, optou-se por omitir o nome da embarcação em todas as seções deste trabalho.

Figura 15 - Equipamento de Garimpo: Draga com sua estrutura completa operacional e de hospedagem, vista lateral.



Fonte: Santos, 2025a.

Figura 16 - Equipamento de Garimpo: Draga com sua estrutura completa operacional e de hospedagem, vista frontal.



Fonte: Santos, 2025a.

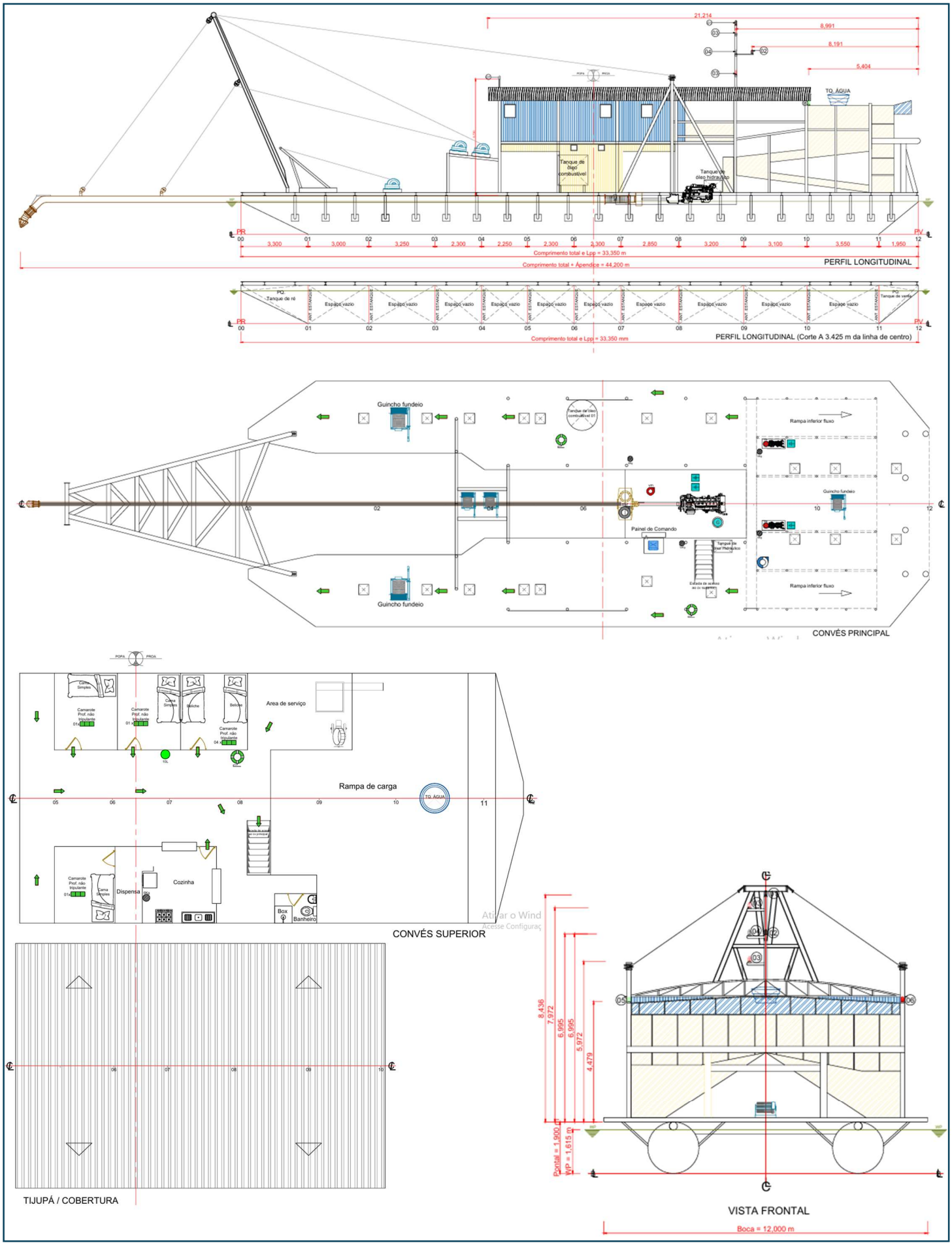
A embarcação analisada possui sua construção com estrutura metálica (aço), com comprimento do casco em 33,35 metro, com boca moldada de 12 metros. Indicando sua grande extensão, possui motor com potência de 440 HP, sendo movida a diesel, é do tipo embarcação empurrada, exigindo a presença de um outro equipamento para seu deslocamento, denominado de “empurrador”. Do ponto de vista ambiental, observou-se que esse equipamento possui tanque para óleos hidráulico, diesel e água doce, porém não possuem sistemas integrados de contenção de vazamentos ou separadores de água e óleo em operação contínua, apresentando um risco sob a ótica da possibilidade de poluição hídrica. A falta de um sistema de tratamento de esgoto sanitário também são fatores de risco na qualidade da água, visto que o mesmo possui capacidade operacional para 7 tripulantes e em horário contínuos diurnos e noturnos.

A Tabela 7 apresenta uma sistematização das principais características dos equipamentos de garimpo utilizados em atividades fluviais, com destaque para as diferenças estruturais, operacionais e de investimento entre balsinhas, balsas e dragas.

A elaboração desta seção contou com o auxílio de relatos obtidos em conversa informal com um profissional atuante na área de certificações e despacho de embarcações de garimpo, residente em outro estado da Amazônia. Por razões pessoais, o colaborador preferiu não ser identificado, mas sua experiência e conhecimento sobre a operação e regularização de embarcações de garimpo contribuíram para uma compreensão mais abrangente da tipologia e das variações estruturais presentes nesses equipamentos.

As denominações utilizadas para identificar os equipamentos de garimpo fluvial foram baseadas em termos recorrentes observados na literatura e em conhecimento empírico da autora. No entanto, considerando que a atividade garimpeira é desenvolvida em diferentes regiões e contextos, é comum haver variações terminológicas. Assim, ressalta-se que as nomenclaturas aqui adotadas não são oficiais nem exclusivas, tampouco devem ser interpretadas como verdades absolutas, mas sim como representações relevantes para fins de compreensão e análise das estruturas e equipamentos aqui ilustrados

Figura 17 - Projeto arquitetônico de uma draga com dimensões de 33 x 12 metros.



Fonte: Santos, 2025b.

Tabela 7 - Principais características dos equipamentos de garimpos.

Tipo de equipamento	Balsinhas de garimpo	Balsas de garimpo	Dragas de garimpo
Dimensões comuns (m)	8 x 3 m	10 x 6 m	25 x 8 32 x 12
Potência do motor	5 a 15 HP	30 a 120	150 a 500
Principais componentes	Bomba pequena, motor leve, operação manual	Bomba média, motor estacionário diesel, com apenas 1 esteira	Bomba de alta vazão, com motores grandes, e com duas esteiras
Materiais comuns	Estrutura de Madeira, telhados de lona ou palhas, chapas galvanizadas	Estrutura de Madeira reforçada ou metálica, chapas de ferro ou alumínio, esteira simples com tapete ou carpete	Estrutura metálica ou mista (aço e madeira), chapas pesadas, esteiras separadoras duplas mais complexas
Estimativa de Investimento	30 mil a 70 mil.	80 mil a 300 mil	500 mil a 3 milhões

Fonte: Autora, 2025.

5.3 Mapeamento primário imagens ópticas Google Earth Pro

Com base na metodologia descrita na Seção 4.6, foram mapeadas, por meio de análise visual na plataforma Google Earth Pro, 315 observações de equipamentos de garimpo, com aglomerações variando de 1 a 25 unidades. Ao todo, contabilizou-se um total de 891 equipamentos distribuídos nos municípios de Borba, Novo Aripuanã,

Manicoré e Humaitá, no estado do Amazonas, ao longo do período de 2021 a 2024, considerando datas específicas nas quais estavam disponíveis imagens de alta resolução na plataforma.

As aglomerações de garimpo foram contabilizadas para os equipamentos que possuíam de 0 a 30 metros de distância uma da outra. Para fins, de aprimoramento da técnica de levantamento foram excluídos do levantamento os equipamentos com feições típicas de garimpo que estavam localizadas em áreas portuárias ou em áreas próximas a residências ou estruturas terrestres (Figura 18), pois poderiam ser equipamentos de moradias ou comércios flutuantes, na intenção de inibir possíveis erros.

Figura 18 - Áreas portuárias ou áreas com construções nas margens do rio, locais que não foram considerados para fins de levantamento de equipamentos de garimpo.



Fonte: Google Earth, acesso em 2025.

5.3.1 Análise Estatística dos dados obtidos

Na Tabela 8 apresenta-se os registros dos dados obtidos no levantamento sistemático dos equipamentos sistemáticos nas imagens disponíveis no Google Earth. Nestas imagens, os equipamentos foram registrados com um ID (Identificação) em cada observação, com coordenadas geográficas, número de equipamentos individuais ou aglomerados, munícipio onde se localizava e data da imagem.

Tabela 8 - Levantamento sistemático dos equipamentos de garimpo fluvial identificadas por meio de imagens da plataforma Google Earth Pro.

ID_OBSERVAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	N_DRAGAS	MUNICÍPIO	DATA	ANO
RBB01_20240910_D03	4°13'11,82"S	59°22'39,01"W	3	Borba	10/09/2024	2024
RBB02_20241116_D24	4°17'6,75"S	59°29'45,49"W	24	Borba	16/11/2024	2024
RBB03_20230925_D03	4°42'25,74"S	59°56'25,67W	3	Borba	25/09/2023	2023
RBB04_20230925_D01	4°42'32,06"S	59°56'21,96"W	1	Borba	25/09/2023	2023
RBB06_20230925_D02	4°42'42,72"S	59°56'25,66"W	2	Borba	25/09/2023	2023
RBB07_20230925_D02	4°42'59,21"S	59°56'30,87"W	2	Borba	25/09/2023	2023
RBB08_20230925_D02	4°43'2,27"S	59°56'30,43"W	2	Borba	25/09/2023	2023
RBB09_20230925_D01	4°43'55,90"S	59°56'22,46"W	1	Borba	25/09/2023	2023
RBB10_20230925_D03	4°41'30,78"S	59°55'20,81"W	3	Borba	25/09/2023	2023
RBB11_20230925_D08	4°43'14,25"S	59°55'19,97"W	8	Borba	25/09/2023	2023

RBB12_20230925_D01	4°43'34,22"S	59°55'11,49"W	1	Borba	25/09/2023	2023
RBB13_20230719_D04	4°53'36,99"S	60° 8'54,13"W	4	Borba	19/07/2023	2023
RBB14_20230719_D01	4°53'47,43"S	60° 9'11,41"W	1	Borba	19/07/2023	2023
RBB15_20230719_D02	4°53'41,51"S	60° 9'36,90"W	2	Borba	19/07/2023	2023
RBB16_20230719_D06	4°53'42,21"S	60° 9'50,66"W	6	Borba	19/07/2023	2023
NVP01_20230719_D02	5°5'43,55"S	60°22'48,89"W	2	Novo Aripuanã	19/07/2023	2023
NVP02_20230719_D05	5°6'37,44"S	60°22'40,40"W	5	Novo Aripuanã	19/07/2023	2023
NVP03_20230719_D06	5°6'38,91"S	60°22'44,52"W	6	Novo Aripuanã	19/07/2023	2023
NVP04_20230719_D03	5°6'39,52"S	60°23'53,89"W	3	Novo Aripuanã	19/07/2023	2023
NVP05_20230719_D01	5°6'48,66"S	60°23'50,48"W	1	Novo Aripuanã	19/07/2023	2023
NVP06_20230719_D03	5°6'47.39"S	60°23'59,71"W	3	Novo Aripuanã	19/07/2023	2023
NVP07_20230719_D02	5°6'49,80"S	60°24'9,02"W	2	Novo Aripuanã	19/07/2023	2023
NVP08_20230626_D02	5°16'57,41"S	60°36'13,70"W	2	Novo Aripuanã	26/06/2023	2023
NVP09_20220710_D03	5°18'14,86"S	60°41'33,58"W	3	Novo Aripuanã	07/10/2022	2022
NVP10_20220710_D03	5°18'20,34"S	60°41'44,03"W	3	Novo Aripuanã	07/10/2022	2022
MNX01_20240715_D15	5°31'36,77"S	60°51'48,92"W	15	Manicoré	15/07/2024	2024
MNX02_20240715_D11	5°32'54,40"S	60°53'31,63"W	11	Manicoré	15/07/2024	2024
MNX03_20240920_D06	5°32'27,87"S	60°54'10,14"W	6	Manicoré	20/09/2023	2023
MNX04_20240920_D06	5°32'27,79"S	60°54'12,89"W	6	Manicoré	20/09/2023	2023
MNX05_20240920_D08	5°35'53,54"S	61°0'15,52"W	8	Manicoré	20/09/2023	2023
MNX06_20240728_D01	5°38'24,90"S	61°10'49,79"W	1	Manicoré	28/07/2024	2024
MNX07_20240728_D10	5°38'20,62"S	61°10'53,36"W	2	Manicoré	28/07/2024	2024
MNX08_20240920_D11	5°38'15,62"S	61°11'3,97"W	2	Manicoré	28/07/2024	2024
MNX09_20220522_D08	5°49'58,73"S	61°19'16,19"W	8	Manicoré	22/05/2022	2022
MNX10_20220522_D02	5°50'3,43"S	61°19'35,29"W	2	Manicoré	22/05/2022	2022
MNX11_20220522_D03	5°50'1,33"S	61°20'2,16"W	3	Manicoré	22/05/2022	2022
MNX12_20220511_D01	5°49'59,61"S	61°21'21,64"W	1	Manicoré	11/05/2022	2022
MNX13_20220511_D01	5°49'57,50"S	61°21'25,17"W	1	Manicoré	11/05/2022	2022
MNX14_20220511_D02	5°49'55,24"S	61°21'27,00"W	2	Manicoré	11/05/2022	2022
MNX15_20210727_D01	5°47'52,23"S	61°23'32,13"W	1	Manicoré	27/07/2021	2021
MNX16_20210727_D02	5°47'52,04"S	61°23'36,35"W	2	Manicoré	27/07/2021	2021
MNX17_20210807_D02	5°51'30,90"S	61°30'10,28"W	2	Manicoré	07/08/2021	2021
MNX18_20210807_D01	5°52'6,85"S	61°37'58,33"W	1	Manicoré	07/08/2021	2021
MNX19_20221010_D08	5°56'40,06"S	61°40'57,69"W	8	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX20_20221010_D02	5°56'49,44"S	61°40'59,26"W	2	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX21_20221010_D01	5°56'49,07"S	61°40'54,45"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX22_20221010_D01	5°57'3,98"S	61°40'31,44"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX23_20221010_D02	5°57'7,03"S	61°40'29,36"W	2	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX24_20221010_D05	5°57'19,39"S	61°40'12,26"W	5	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX25_20221010_D02	5°57'42,67"S	61°39'49,19"W	2	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX26_20221010_D01	5°59'13,65"S	61°39'49,85"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX27_20221010_D02	5°59'21,42"S	61°39'45,75"W	2	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX28_20221010_D02	5°59'49,89"S	61°40'21,90"W	2	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX29_20221010_D03	5°59'53,06"S	61°40'27,21"W	3	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX30_20221010_D04	6°0'24,69"S	61°40'43,74"W	4	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX31_20221010_D01	6°0'48,18"S	61°41'1,02"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX32_20221010_D01	6°0'50,24"S	61°41'2,85"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX33_20210501_D01	6°0'52,77"S	61°40'10,66"W	1	Manicoré	05/01/2021	2021
MNX34_20221010_D01	6°1'11,34"S	61°40'27,95"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX35_20221010_D01	6°1'15,07"S	61°40'32,97"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX36_20221010_D01	6°2'14,97"S	61°42'32,67"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX37_20221010_D04	6°2'24,32"S	61°42'33,52"W	4	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX38_20221010_D01	6°2'22.89"S	61°42'35.36"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX39_20221010_D01	6°2'30,25"S	61°42'51,89"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX40_20221010_D01	6°2'34,92"S	61°43'4,35"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX41_20221010_D01	6°2'59,79"S	61°43'35,88"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX42_20221010_D01	6°3'33,15"S	61°43'20,64"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX43_20221010_D01	6°3'9.45"S	61°43'50.89"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX44_20221010_D04	6°3'18,40"S	61°44'1,93"W	4	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX45_20221010_D02	6°3'25,36"S	1°43'58,23"W	2	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX46_20221010_D01	6°3'23.92"S	61°44'13.31"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX47_20221010_D03	6°3'56,26"S	61°44'9,25"W	3	Manicoré	10/10/2022	2022

MNX48_20221010_D01	6°4'34,40"S	61°44'55,49"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX49_20221010_D02	6°4'35,57"S	61°44'58,88"W	2	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX50_20221010_D01	6°4'56.05"S	61°45'33.04"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX51_20221010_D09	6°4'49.22"S	61°45'53.55"W	9	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX52_20221010_D02	6°4'50,00"S	61°46'27,56"W	2	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX53_20221010_D01	6°5'50,80"S	61°45'53,40"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX54_20221010_D01	6°5'56,74"S	61°45'48,87"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX55_20221010_D01	6°5'59,04"S	61°45'46,37"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX56_20221010_D13	6°7'44.57"S	61°45'51,23"W	13	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX57_20221010_D01	6°7'42,63"S	61°45'55,01"W	1	Manicoré	10/10/2022	2022
MNX58_20220619_D01	6°8'29,83"S	61°49'46,08"W	1	Manicoré	19/06/2022	2022
MNX59_20230730_D02	6°12'32,35"S	61°50'8,44"W	2	Manicoré	30/07/2023	2023
MNX60_20230730_D02	6°13'25,39"S	61°50'12,44"W	2	Manicoré	30/07/2023	2023
MNX61_20230730_D01	6°15'3,78"S	61°52'50,72"W	1	Manicoré	30/07/2023	2023
MNX62_20230915_D03	6°14'47,88"S	61°57'50,29"W	3	Manicoré	15/09/2023	2023
MNX63_20230915_D16	6°12'54,37"S	62°5'29,80"W	16	Manicoré	15/09/2023	2023
MNX64_20240805_D02	6°12'1,34"S	62°11'56,06"W	2	Manicoré	05/08/2024	2024
MNX65_20240805_D04	6°12'23,05"S	62°12'29,02"W	4	Manicoré	05/08/2024	2024
MNX66_20240805_D01	6°12'46,30"S	62°13'16,79"W	1	Manicoré	05/08/2024	2024
HUW01_20220619_D02	6°8'24,79"S	61°49'5,99"W	2	Humaitá	19/06/2022	2022
HUW02_20220619_D02	6°8'26,90"S	61°49'10,05"W	2	Humaitá	19/06/2022	2022
HUW03_20220619_D02	6°8'57,04"S	61°49'39,57"W	2	Humaitá	19/06/2022	2022
HUW04_20220619_D02	6°10'44,15"S	61°49'52,91"W	2	Humaitá	19/06/2022	2022
HUW05_20230730_D01	6°15'35,77"S	61°52'6,55"W	1	Humaitá	30/07/2023	2023
HUW06_20230730_D01	6°15'24,70"S	61°52'59,45"W	1	Humaitá	30/07/2023	2023
HUW07_20230730_D12	6°15'22,50"S	61°53'2,57"W	12	Humaitá	30/07/2023	2023
HUW08_20230730_D03	6°15'22,11"S	61°53'9,88"W	3	Humaitá	30/07/2023	2023
HUW09_20230730_D01	6°15'19,72"S	61°53'16,75"W	1	Humaitá	30/07/2023	2023
HUW10_20230730_D03	6°15'8,71"S	61°55'42,87"W	3	Humaitá	30/07/2023	2023
HUW11_20230730_D01	6°16'17,05"S	61°53'9,87"W	1	Humaitá	30/07/2023	2023
HUW12_20230730_D03	6°16'26,85"S	61°53'12,91"W	3	Humaitá	30/07/2023	2023
HUW13_20230730_D02	6°16'31,51"S	61°53'31,83"W	2	Humaitá	30/07/2023	2023
HUW14_20230730_D06	6°16'35,19"S	61°53'31,09"W	6	Humaitá	30/07/2023	2023
HUW15_20230730_D01	6°16'35,84"S	61°53'32,58"W	1	Humaitá	30/07/2023	2023
HUW16_20230730_D17	6°16'35,30"S	61°53'45,03"W	17	Humaitá	30/07/2023	2023
HUW17_20230730_D03	6°16'30,89"S	61°55'19,40"W	3	Humaitá	30/07/2023	2023
HUW18_20230730_D03	6°16'6,68"S	61°56'15,79"W	3	Humaitá	30/07/2023	2023
HUW19_20230915_D04	6°14'6,44"S	62°2'50,28"W	4	Humaitá	15/09/2023	2023
HUW20_20230915_D01	6°13'54,33"S	62°3'28,35"W	1	Humaitá	15/09/2023	2023
HUW21_20230915_D03	6°13'52,20"S	62°3'28,90"W	3	Humaitá	15/09/2023	2023
HUW22_20230915_D08	6°13'45,72"S	62°3'32,60"W	8	Humaitá	15/09/2023	2023
HUW23_20230915_D04	6°13'28,38"S	62°4'51,73"W	4	Humaitá	15/09/2023	2023
HUW24_20230915_D06	6°13'30,85"S	62°4'54,44"	6	Humaitá	15/09/2023	2023
HUW25_20230915_D01	6°13'17,27"S	62°5'40,00"W	1	Humaitá	15/09/2023	2023
HUW26_20230915_D01	6°13'2,60"S	62°5'38,12"W	1	Humaitá	15/09/2023	2023
HUW27_20240805_D01	6°13'49,45"S	62°13'59,71"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW28_20240805_D04	6°14'9.27"S	62°14'14.62"	4	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW29_20240805_D01	6°14'17,55"S	62°14'17,96"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW30_20240805_D02	6°14'24,23"S	62°14'29,17"W	2	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW31_20240805_D01	6°14'27,49"S	62°14'21,88"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW32_20240805_D02	6°17'5,90"S	62°14'34,43"W	2	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW33_20240805_D01	6°17'53,43"S	62°14'6,89"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW34_20240805_D03	6°18'3,07"S	62°14'11,22"W	3	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW35_20240805_D01	6°18'2,19"S	62°14'9,15"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW36_20240805_D01	6°18'5,27"S	62°14'21,81"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW37_20240805_D02	6°18'14,20"S	62°14'11,43"W	2	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW38_20240805_D02	6°18'43,28"S	62°14'26,99"W	2	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW39_20240805_D03	6°19'8,02"S	62°14'0,29"W	3	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW40_20240805_D01	6°19'9,52"S	62°14'35,79"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW41_20240805_D01	6°19'15,30"S	62°14'38,22"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW42_20240805_D01	6°19'21,03"S	62°14'36,69"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW43_20240805_D02	6°19'23,12"S	62°14'31,42"W	2	Humaitá	05/08/2024	2024

HUW44_20240805_D04	6°19'27,09"S	62°14'37,69"W	4	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW45_20240805_D01	6°19'29,66"S	62°14'38,34"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW46_20240805_D01	6°19'32,05"S	62°14'45,05"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW47_20240805_D02	6°19'34,77"S	62°14'41,74"W	2	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW48_20240805_D03	6°19'59,41"S	62°14'45,95"W	3	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW49_20240805_D02	6°20'7,47"S	62°14'45,59"W	2	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW50_20240805_D01	6°20'41,39"S	62°14'52,07"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW51_20240805_D01	6°20'49,75"	62°14'53,76"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW52_20240805_D03	6°22'36,30"S	62°15'21,00"W	3	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW53_20240805_D07	6°22'40,09"S	62°15'23,55"W	7	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW54_20240805_D03	6°23'14,24"S	62°15'21,10"W	3	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW55_20240805_D15	6°24'20,11"S	62°15'46,26"W	15	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW56_20240805_D01	6°24'24,95"S	62°15'43,29"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW57_20240805_D01	6°24'23,04"S	62°15'55,69"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW58_20240805_D02	6°24'33,59"S	62°15'50,82"W	2	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW59_20240805_D01	6°24'51,40"S	62°15'51,05"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW60_20240805_D05	6°25'10,31"S	62°16'3,00"W	5	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW61_20240805_D01	6°25'19,27"S	62°16'26,17"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW62_20240805_D01	6°25'43,44"S	62°16'19,19"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW63_20240805_D02	6°26'0,10"S	62°16'21,46"W	3	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW64_20240805_D02	6°26'10,70"S	62°16'24,05"W	2	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW65_20240805_D01	6°27'12,60"S	62°16'33,80"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW66_20240805_D01	6°27'15,70"S	62°16'30,83"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW67_20240805_D02	6°27'16,12"S	62°16'33,93"W	2	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW68_20240805_D01	6°27'19,34"S	62°16'32,30"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW69_20240805_D01	6°28'21,76"S	62°16'34,15"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW70_20240805_D01	6°28'26,66"S	62°16'34,94"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW71_20240805_D01	6°28'34,18"S	62°16'34,93"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW72_20240805_D01	6°28'39,88"S	62°16'38,10"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW73_20240805_D01	6°28'41,80"S	62°16'39,37"W	1	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW74_20240805_D02	6°28'40,54"S	62°16'58,83"W	2	Humaitá	05/08/2024	2024
HUW75_20230805_D07	6°30'13,32"S	62°17'33,61"W	7	Humaitá	05/08/2023	2023
HUW76_20230805_D01	6°30'33,54"S	62°18'41,72"W	1	Humaitá	05/08/2023	2023
HUW77_20230805_D01	6°27'49,22"S	62°18'13,44"W	1	Humaitá	05/08/2023	2023
HUW78_20230805_D02	6°27'52,33"S	62°18'14,73"W	2	Humaitá	05/08/2023	2023
HUW79_20230805_D01	6°27'56,25"S	62°18'15,98"W	1	Humaitá	05/08/2023	2023
HUW80_20230805_D01	6°28'14,83"S	62°18'5,15"W	1	Humaitá	05/08/2023	2023
HUW81_20230805_D01	6°28'43,90"S	62°18'12,28"W	1	Humaitá	05/08/2023	2023
HUW82_20230725_D01	6°32'59,10"S	62°22'16,53"W	1	Humaitá	25/07/2023	2023
HUW83_20230725_D02	6°33'4,74"S	62°22'15,19"W	2	Humaitá	25/07/2023	2023
HUW84_20230725_D01	6°33'35,06"S	62°22'5.98"W	1	Humaitá	25/07/2023	2023
HUW85_20230725_D01	6°33'43,15"S	62°22'3,19"W	1	Humaitá	25/07/2023	2023
HUW86_20230725_D01	6°33'49,27"S	62°22'0,40"W	1	Humaitá	25/07/2023	2023
HUW87_20230725_D02	6°33'56,35"S	62°21'58,26"W	2	Humaitá	25/07/2023	2023
HUW88_20230725_D03	6°34'0,01"S	62°21'53,06"W	3	Humaitá	25/07/2023	2023
HUW89_20230725_D01	6°35'58,79"S	62°20'15,40"W	1	Humaitá	25/07/2023	2023
HUW90_20230725_D05	6°38'2,28"S	62°19'47,37"W	5	Humaitá	25/07/2023	2023
HUW91_20240818_D01	6°44'51,24"S	62°30'15,37"W	1	Humaitá	18/08/2024	2024
HUW92_20240818_D01	6°44'49,87"S	62°30'19,50"W	1	Humaitá	18/08/2024	2024
HUW93_20240818_D05	6°44'47,26"S	62°30'23,58"W	5	Humaitá	18/08/2024	2024
HUW94_20240818_D02	6°45'18,51"S	62°30'44,52"W	2	Humaitá	18/08/2024	2024
HUW95_20240818_D01	6°45'16,08"S	62°30'45,92"W	1	Humaitá	18/08/2024	2024
HUW96_20240818_D01	6°45'5,43"S	62°30'49,22"W	1	Humaitá	25/07/2023	2023
HUW97_20240818_D03	6°44'40,34"S	62°31'5,83"W	3	Humaitá	18/08/2024	2024
HUW98_20240818_D01	6°45'16,65"S	62°31'3,31"W	1	Humaitá	18/08/2024	2024
HUW99_20240818_D01	6°45'13,23"S	62°31'7,71"W	1	Humaitá	18/08/2024	2024
HUW100_20210807_D07	6°52'13,81"S	62°39'0,41"W	7	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW101_20210807_D01	6°52'40,06"S	62°38'52,22"W	1	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW102_20210807_D01	6°52'47,84"S	62°38'49,75"W	1	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW103_20210807_D03	6°53'13,77"S	62°39'9,65"W	3	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW104_20210807_D02	6°53'55,90"S	62°39'13,65"W	2	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW105_20210807_D02	6°54'9,30"S	62°39'14,96"W	2	Humaitá	07/08/2021	2021

HUW106_20210807_D02	6°54'10,93"S	62°39'13,23"W	2	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW107_20210807_D02	6°54'28,21"S	62°39'18,17"W	2	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW108_20210807_D02	6°54'45.08"S	62°39'23.44"W	2	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW109_20210807_D02	6°54'55,37"S	62°39'24,99"W	2	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW110_20210807_D11	6°55'15,23"S	62°39'32,74"W	11	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW111_20210807_D07	6°55'42,70"S	62°39'42,52"W	7	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW112_20210807_D03	6°55'45,11"S	62°39'41,77"W	3	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW113_20210807_D05	6°55'48,43"S	62°39'47,12"W	5	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW114_20210807_D02	6°57'37,54"S	62°39'58,07"W	2	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW115_20210807_D02	6°57'46,97"S	62°40'13,53"W	2	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW116_20210807_D07	6°57'51,37"S	62°40'13,63"W	7	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW117_20210807_D01	6°57'59,01"S	62°40'15,94"W	1	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW118_20210807_D03	6°57'21,74"S	62°40'42,32"W	3	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW119_20210807_D09	6°58'37,28"S	62°40'42,31"W	9	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW120_20210807_D09	6°58'40.11"S	62°40'43,83"W	9	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW121_20210807_D01	6°58'44,86"S	62°41'28,88"W	1	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW122_20210807_D02	6°59'33,52"S	62°41'14,92"W	2	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW123_20210807_D05	6°59'36,84"S	62°41'16,75"W	5	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW124_20210807_D04	6°59'55,19"S	62°43'27,89"W	4	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW125_20210716_D01	7°0'37,66"S	62°41'52,99"W	1	Humaitá	16/07/2021	2021
HUW126_20210716_D03	7°0'53,90"S	62°42'31,27"W	3	Humaitá	16/07/2021	2021
HUW127_20210716_D01	7°0'58,54"S	62°42'35,74"W	1	Humaitá	16/07/2021	2021
HUW128_20210716_D01	7°1'12,03"S	62°42'11,91"W	1	Humaitá	16/07/2021	2021
HUW129_20210716_D01	7°1'16.12"S	62°42'15,32"W	1	Humaitá	16/07/2021	2021
HUW130_20210716_D01	7°1'6,57"S	62°42'33,87"W	1	Humaitá	16/07/2021	2021
HUW131_20210716_D03	7°1'7,04"S	62°42'37.22"W	3	Humaitá	16/07/2021	2021
HUW132_20210716_D01	7°1'25,89"S	62°42'22,23"W	1	Humaitá	16/07/2021	2021
HUW133_20210716_D01	7°1'31,15"S	62°42'21,05"W	1	Humaitá	16/07/2021	2021
HUW134_20210716_D01	7°1'34,93"S	62°42'26,05"W	1	Humaitá	16/07/2021	2021
HUW135_20210716_D02	7°1'37,19"S	62°42'26,84"W	5	Humaitá	16/07/2021	2021
HUW136_20210716_D01	7°1'39,72"S	62°42'25,88"W	1	Humaitá	16/07/2021	2021
HUW137_20210807_D03	7°0'1,27"S	62°44'10,00"W	3	Humaitá	07/08/2021	2021
HUW138_20210716_D02	7°1'44,85"S	62°42'49,66"W	2	Humaitá	16/07/2021	2021
HUW139_20210716_D01	7°1'53,16"S	62°42'32,80"W	1	Humaitá	16/07/2021	2021
HUW140_20210716_D01	7°2'18,62"S	62°45'7,34"W	1	Humaitá	16/07/2021	2021
HUW141_20241017_D01	7°3'51,57"S	62°52'18,59"W	1	Humaitá	17/10/2024	2024
HUW142_20241017_D01	7°6'2,94"S	62°52'4,43"W	1	Humaitá	17/10/2024	2024
HUW143_20241017_D01	7°6'44,46"S	62°52'26,10"W	1	Humaitá	17/10/2024	2024
HUW144_20241017_D01	7°7'40,58"S	62°52'47,26"W	1	Humaitá	17/10/2024	2024
HUW145_20241017_D05	7°7'52,58"S	62°53'8,40"W	5	Humaitá	17/10/2024	2024
HUW146_20241017_D01	7°7'53.49"S	62°53'14,21"W	1	Humaitá	17/10/2024	2024
HUW147_20241017_D02	7°7'59,67"S	62°53'14,67"W	2	Humaitá	17/10/2024	2024
HUW148_20241017_D01	7°8'2,01"S	62°53'12,54"W	1	Humaitá	17/10/2024	2024
HUW149_20241017_D03	7°8'9,53"S	62°53'14.59"W	3	Humaitá	17/10/2024	2024
HUW150_20241017_D01	7°8'31,73"S	62°53'27,79"W	1	Humaitá	17/10/2024	2024
HUW151_20241017_D01	7°8'51,61"S	62°53'1,51"W	1	Humaitá	17/10/2024	2024
HUW152_20241017_D01	7°8'58,89"S	62°52'55,38"W	1	Humaitá	17/10/2024	2024
HUW153_20241017_D01	7°9'9,80"S	62°53'2,24"W	1	Humaitá	17/10/2024	2024
HUW154_20241017_D01	7°10'21,71"S	62°53'40,93"W	1	Humaitá	17/10/2024	2024
HUW155_20241017_D04	7°11'20,91"S	62°54'24,12"W	4	Humaitá	17/10/2024	2024
HUW156_20241017_D01	7°12'11,88"S	62°54'16,05"W	1	Humaitá	17/10/2024	2024
HUW157_20240731_D02	7°14'22,30"S	62°54'52,53"W	2	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW158_20240731_D01	7°14'35,27"S	62°55'40,78"W	1	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW159_20240731_D01	7°14'50,00"S	62°55'45,24"W	1	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW160_20240731_D01	7°14'59,35"S	62°55'49,53"W	1	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW161_20240731_D02	7°16'30,66"S	62°56'30,39"W	2	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW162_20240731_D03	7°16'53,00"S	62°57'30,15"W	3	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW163_20240731_D03	7°17'9,82"S	62°57'56,66"W	3	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW164_20240731_D01	7°17'12,63"S	62°57'59,19"W	1	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW165_20240731_D01	7°17'25,09"S	62°57'47,73"W	1	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW166_20240731_D02	7°17'29,97"S	62°58'9,97"W	2	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW167_20240731_D02	7°18'1,15"S	2°58'23,47"W	2	Humaitá	31/07/2024	2024

HUW168_20240731_D01	7°19'30,37"S	62°58'25,99"W	1	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW169_20240731_D05	7°19'33,38"S	62°58'25,27"W	5	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW170_20240731_D01	7°19'36,09"S	62°58'9,29"W	1	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW171_20240731_D01	7°19'43,02"S	62°58'11,51"W	1	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW172_20240731_D01	7°19'49,11"S	62°58'13,14"W	1	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW173_20240731_D01	7°21'27,13"S	62°58'39,29"W	1	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW174_20240731_D03	7°21'32,59"S	62°58'44,75"W	3	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW175_20240731_D01	7°21'34,18"S	62°58'43,14"W	1	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW176_20240731_D01	7°21'35,58"S	62°58'44,06"W	1	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW177_20230728_D01	7°21'47,88"S	62°59'7,98"W	1	Humaitá	28/07/2023	2023
HUW178_20230728_D09	7°21'52,42"S	62°59'9,84"W	9	Humaitá	28/07/2023	2023
HUW179_20240731_D25	7°22'20,95"S	62°58'28,51"W	25	Humaitá	31/07/2024	2024
HUW180_20230728_D12	7°22'35,63"S	62°59'22,91"W	12	Humaitá	28/07/2023	2023
HUW181_20230728_D09	7°23'10,69"S	62°59'43,13"W	9	Humaitá	28/07/2023	2023
HUW182_20230728_D01	7°23'11,09"S	62°59'40,56"W	1	Humaitá	28/07/2023	2023
HUW183_20230728_D02	7°23'28,47"S	62°59'14,89"W	2	Humaitá	28/07/2023	2023
HUW184_20230728_D02	7°23'33,40"S	62°59'17,66"W	2	Humaitá	28/07/2023	2023
HUW185_20230728_D02	7°23'25,36"S	63°0'4,82"W	2	Humaitá	28/07/2023	2023
HUW186_20230728_D01	7°23'42,57"S	63° 0'12,48"W	1	Humaitá	28/07/2023	2023
HUW187_20230728_D01	7°24'2,09"S	62°59'34,65"W	1	Humaitá	28/07/2023	2023
HUW188_20230728_D01	7°31'47,62"S	62°59'47,43"W	1	Humaitá	28/07/2023	2023
HUW189_20230728_D04	7°32'31,46"S	62°59'54,72"W	4	Humaitá	28/07/2023	2023
HUW190_20230728_D02	7°32'52,69"S	62°59'22,25"W	2	Humaitá	28/07/2023	2023
HUW191_20210730_D06	7°35'20,38"S	62°56'9,80"W	6	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW192_20210730_D01	7°35'13,34"S	62°56'4,13"W	1	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW193_20210730_D02	7°36'15.08"S	62°53'46,25"W	2	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW194_20210730_D02	7°37'17,04"S	62°56'52,51"W	2	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW195_20210730_D01	7°38'23,69"S	62°55'54,83"W	1	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW196_20210730_D01	7°38'25,62"S	62°56'0,16"W	1	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW197_20210730_D02	7°38'29,57"S	62°55'52,88"W	2	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW198_20210730_D01	7°38'38,86"S	62°54'32,09"W	1	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW199_20210730_D03	7°38'45,75"S	62°54'41,36"W	3	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW200_20210730_D01	7°39'48,94"S	62°55'53,10"W	1	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW201_20210730_D01	7°39'53,38"S	62°55'50,42"W	1	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW202_20210730_D02	7°40'2,59"S	62°55'44,65"W	2	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW203_20210730_D02	7°40'30,08"S	62°55'22,71"W	2	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW204_20210730_D07	7°40'33,23"S	62°55'7,08"W	4	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW205_20210730_D01	7°43'36,67"S	62°56'18,32"W	1	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW206_20210730_D04	7°44'4,24"S	62°56'23,89"W	4	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW207_20210730_D02	7°44'24,34"S	62°57'5,44"W	2	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW208_20210730_D03	7°44'35,22"S	62°56'43,90"W	3	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW209_20210730_D03	7°44'37,32"S	62°56'24,02"W	3	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW210_20210730_D03	7°45'15,47"S	62°56'38,56"W	1	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW211_20210730_D03	7°46'16,66"S	62°55'25,66"W	1	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW212_20210730_D03	7°46'39,01"S	62°55'17,82"W	1	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW213_20210730_D03	7°46'52,10"S	62°55'38,86"W	1	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW214_20210730_D05	7°47'47,65"S	62°55'30,65"W	5	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW215_20210730_D08	7°47'53,61"S	62°55'31,44"W	8	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW216_20210730_D06	7°47'54,15"S	62°55'29,03"W	6	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW217_20210730_D14	7°48'14,16"S	62°55'18,82"W	14	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW218_20210730_D13	7°48'14,11"S	62°55'15,33"W	13	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW219_20210730_D01	7°48'7,92"S	62°55'2,12"	1	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW220_20210730_D04	7°48'11.25"S	62°55'4,31"W	4	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW221_20210730_D03	7°48'36,99"S	62°55'42,90"W	3	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW222_20210730_D03	7°49'28,58"S	62°55'10,23"W	3	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW223_20210730_D02	7°50'25,18"S	62°54'18.43"	2	Humaitá	30/07/2021	2021
HUW224_20210730_D01	7°53'9,79"S	62°53'33,90"	1	Humaitá	30/07/2021	2021

Fonte: Autora, 2025.

Para uma visualização da distribuição dos pontos de observação de draga e aglomerações de dragas foi elaborado o mapa de distribuição das dragas, onde é possível identificas a sua localização e sua classificação por ano na figura 19.

A variável de “N_Dragas” (número de dragas em uma observação) apresentaram os seguintes comportamentos estatísticos:

- Média: 2,85
- Desvio padrão: 3,27
- Mediana: 2
- Moda: 1
- Máximo: 25

A disparidade entre a média e o desvio padrão indicam uma distribuição assimétrica, significando que a maioria dos dados de números de dragas observadas exibem valores baixos, com amostras menores representando valores significativamente mais elevados. Como podemos observar na figura 20 o número de observações relacionado ao número de equipamentos observados, indicou que a maioria das observações, cerca de 88% apresentaram valores de 1 a 5 dragas aglomeradas, com destaque para observações de apenas 1 equipamento totalizando 142 de um total de 315 observações. Esse comportamento estatístico sugere que a maioria das operações ocorrem com poucos equipamentos aglomerados, enquanto que a minoria atuando de 6 a 25 equipamentos totalizam apenas 12% das observações. A maior aglomeração foi visualizada com um total de 25 equipamentos, inserida no munícipio de Humaitá no ano de 2024.

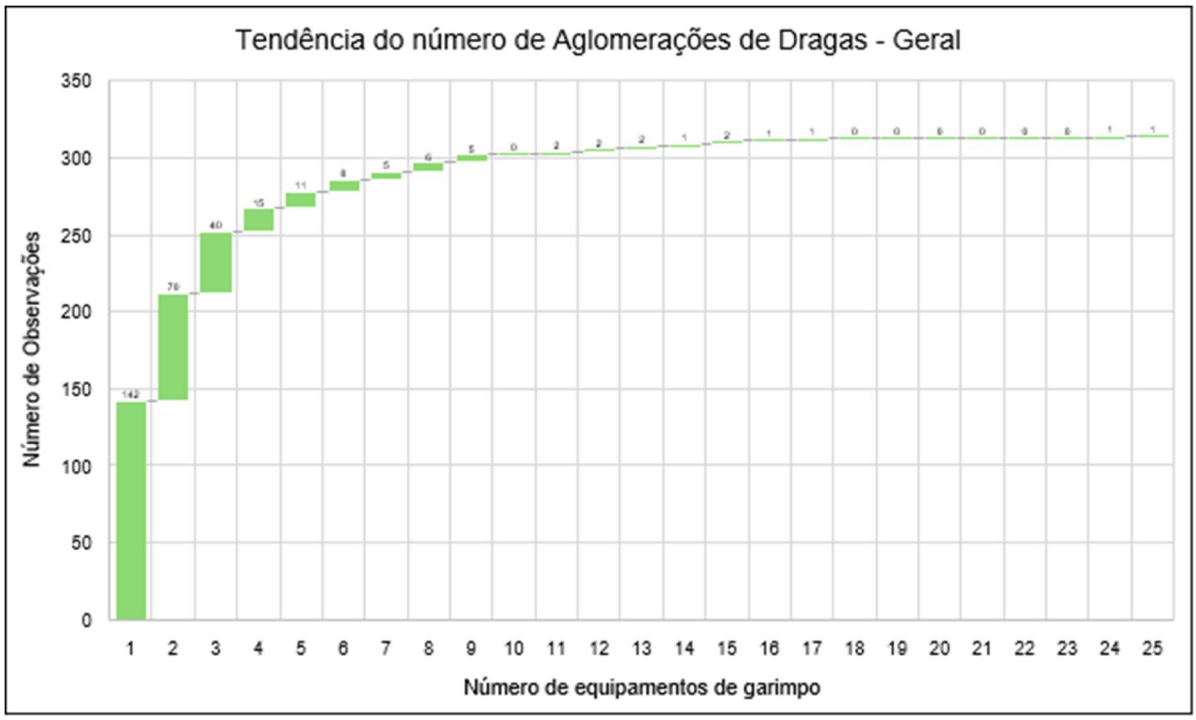
A análise da frequência das observações por munícipio (figura 21) revela que Humaitá concentram a maioria das amostras totalizando 71%, seguido do munícipio de Manicoré com 21%. Os munícipios de Borba (5%) e Novo Aripuanã (3%) exibem um número substancialmente menor de amostras. É possível que essa diferença reflita variações na intensidade da operação de garimpo, no entanto podem indicar as limitações na amostragem que apenas foram coletadas em períodos específicos de imagens disponíveis na plataforma.

Figura 19 - Mapa de Localização dos pontos de observação de balsas/dragas de garimpo na área de estudo no rio Madeira no levantamento com imagens ópticas do Google Earth.



Fonte: A autora (2025).

Figura 20 - Aglomerações de Equipamentos de garimpo nas observações do levantamento realizado no Google Earth.

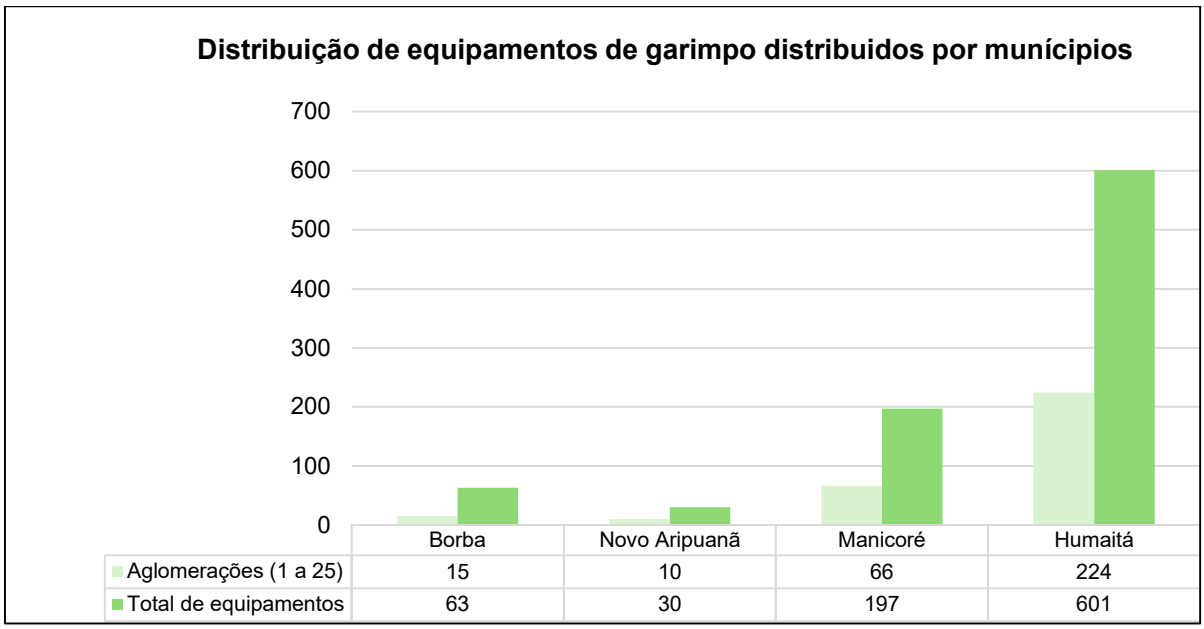


Fonte: Autora, 2025.

A distribuição das amostras ao longo dos anos representa uma tendência relativamente equilibrada, com o maior número de observações com 103 no ano de 2024 (266 equipamentos), seguida de 81 no ano de 2023 (268 equipamentos), com 51 observações em 2022 (122 equipamentos) e em 2021 80 observações (235 observações). A tendência apresentada quando comparada com os dados levantados de equipamentos inutilizados e/ou destruídos pelas operações de fiscalização nesses anos apresentam tendência semelhante, como pode-se observar na figura 22.

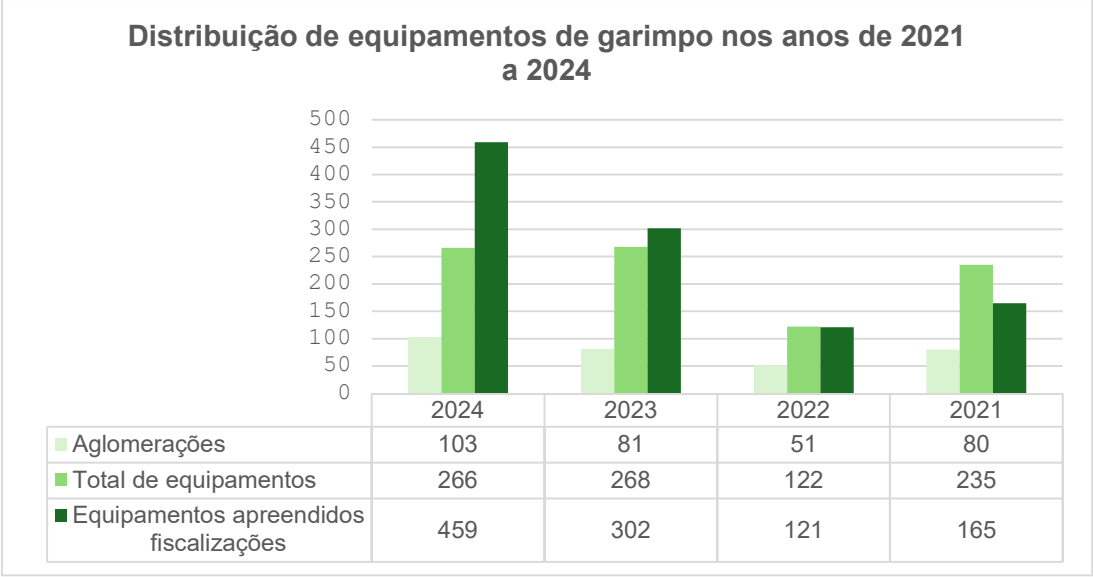
Este levantamento primário de equipamentos de garimpo, realizado por meio da plataforma do Google Earth, trata-se de uma análise empírica que não considerou séries temporais capazes de identificar tendências de longo prazo, sazonalidade ou ciclos operacionais. Além disso, a casualidade dos intervalos entre as imagens disponíveis pode representar uma limitação metodológica. Ainda assim, o objetivo principal é realizar um levantamento amostral da presença desses equipamentos atuando de forma ilegal no rio Madeira, de modo a subsidiar uma inferência empírica posterior sobre a avaliação e valoração dos impactos ambientais decorrentes dessa atividade.

Figura 21 - Distribuição dos equipamentos de garimpo entre os anos de 2021 e 2024, por munícipios.



Fonte: Autora, 2025.

Figura 22 - Distribuição dos equipamentos de garimpo nos levantamentos do Google Earth distribuídos por ano.



Fonte: Autora, 2025.

5.3.2 Principais feições observadas no levantamento

I. Diferentes tipos de embarcações presentes no rio Madeira

Em geral, embarcações de uso convencional, como barcos de transporte ou navegação pessoal, apresentam a proa afunilada, com formato hidrodinâmico típico

(Figura 23). Em contraste, as estruturas utilizadas no garimpo, como balsinhas, balsas e dragas possuem formatos mais retangulares, como plataformas flutuantes.

É possível diferenciar visualmente os equipamentos de garimpo das grandes balsas de transporte de contêineres ou materiais, comuns na região do rio Madeira. Estas últimas se destacam por sua maior extensão longitudinal e pela disposição dos volumes (caixas ou cargas visíveis) sobre a plataforma (Figura 23), enquanto os garimpos costumam apresentar esteiras, bombas, lanças ou pequenas construções acopladas, configurando um arranjo operacional típico.

Figura 23 - Imagens de embarcações de cargas com maior extensão longitudinal e proa afunilada.

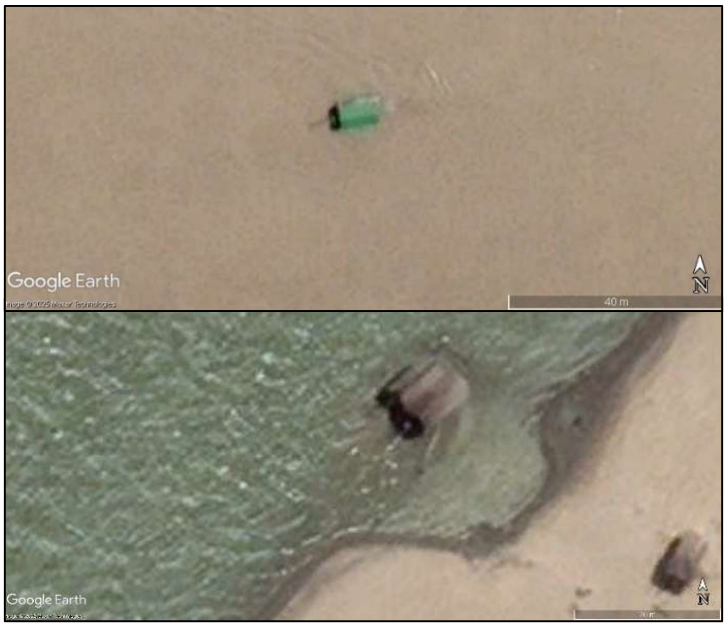


Fonte: Google Earth, 2025.

II. Estratégias de camuflagem visual nas estruturas de garimpo

Outra feição observada durante o levantamento é a adoção de estratégias visuais adaptadas nos equipamentos de garimpo, possivelmente com o objetivo de dificultar sua detecção em fiscalizações por meio de imagens de satélite. Um exemplo notável é o uso de coberturas ou telhados pintados em cores que se confundem com o entorno, como tons terrosos, esverdeados ou acinzentados, que podem se camuflar com a paisagem natural do rio e da floresta (figura 24). Essa prática sugere uma tentativa deliberada de mascarar a presença das estruturas, reduzindo o contraste visual com o ambiente nas imagens de sensoriamento remoto.

Figura 24 - Imagens representativas de diferenças tonalidades de telhadas dos equipamentos, podem possivelmente evidenciar estratégias de camuflagem de detecção por imagem de satélite.



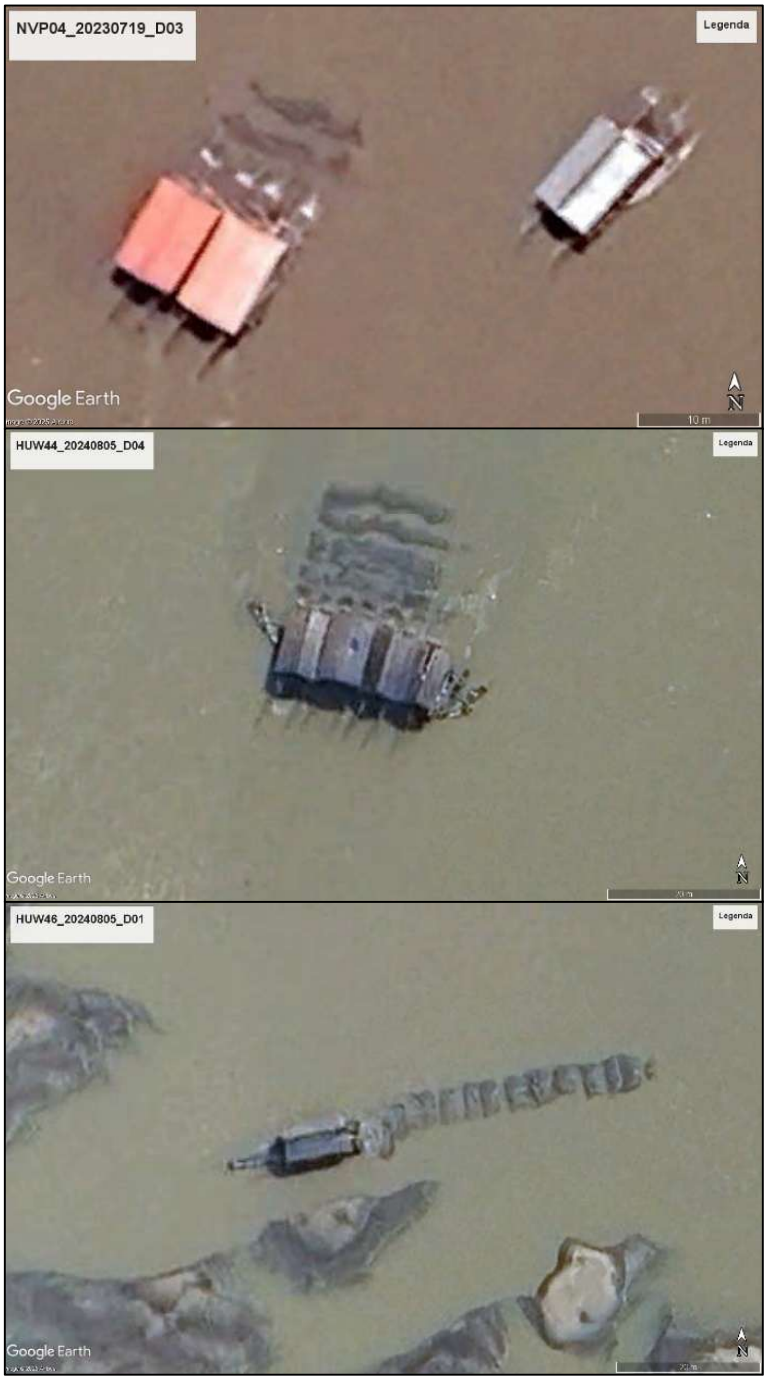
Fonte: Google Earth, 2025.

III. Feições de assoreamento causadas pela atividade de garimpo

Feições de deposição conhecidas comumente como “arrotos” foram identificadas em áreas de intensa atividade de garimpo, evidenciando alterações no regime sedimentar do leito do rio ou aluviões. Essas feições nas imagens indicam o assoreamento local provocado pelo despejo de sedimentos durante o funcionamento das dragas, sendo possível observar padrões sequenciais que acompanham o deslocamento das embarcações (figura 25).

O impacto se intensifica em regiões com aglomeração de equipamentos, tornando-se crítico tanto do ponto de vista ambiental, por comprometer a dinâmica fluvial, quanto da segurança da navegação, devido à possibilidade de alterações morfológicas repentinas. Em questão de dias ou semanas, essas estruturas são capazes de dragar e redistribuir grandes volumes de sedimentos, promovendo modificações significativas no fundo do rio.

Figura 25 - Imagens de feições de deposição conhecidas como "arrotos" provocadas pela atividade de garimpo fluvial.



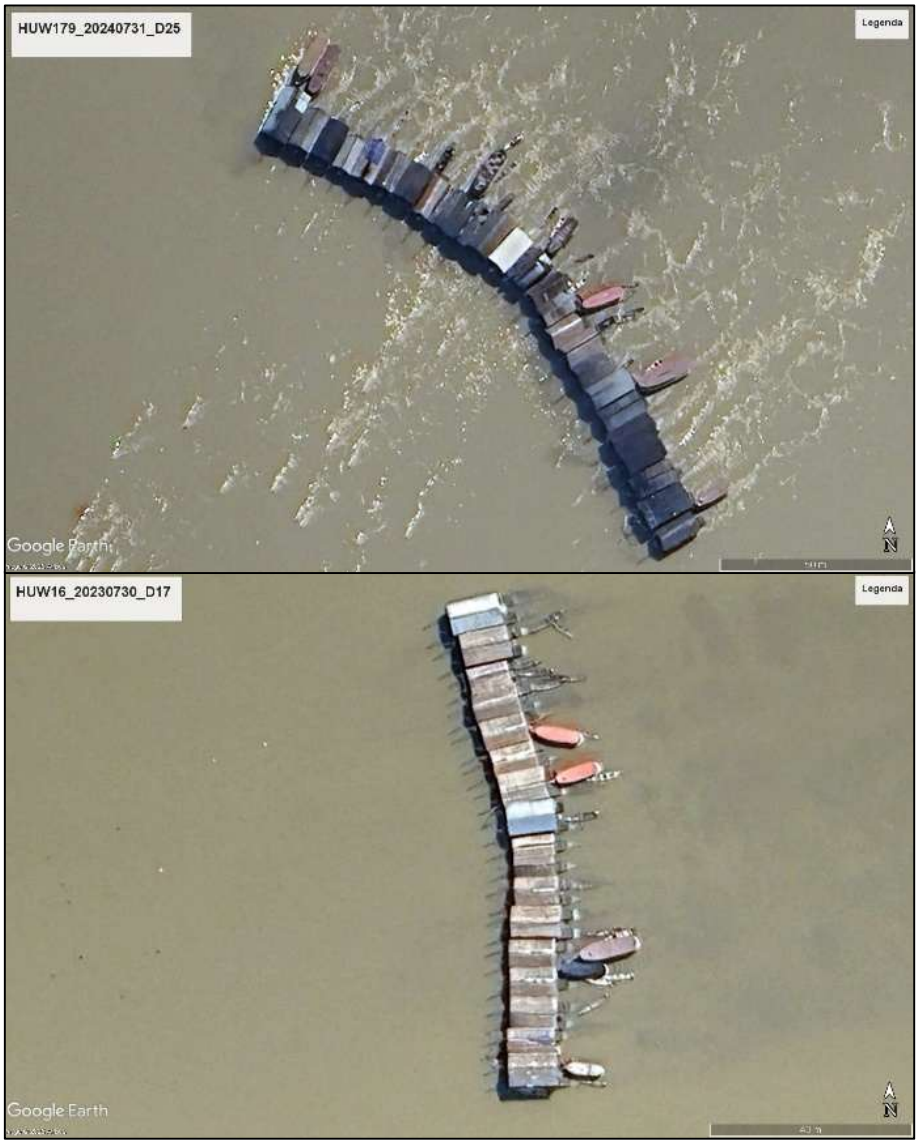
Fonte: Google Earth, 2025.

IV. Aglomeração padronizada de equipamentos

Em determinados trechos do rio Madeira, observou-se a formação de aglomerados organizados de dragas, que variavam de 2 a 25 equipamentos dispostos de forma linear ou em grupos paralelos ao eixo do rio (figura 26). Essa disposição padronizada pode possivelmente indicar ações coordenadas entre operadores de

garimpo, sugerindo uma estrutura de operação coletiva ou mesmo controle territorial sobre certos trechos do rio. A organização das embarcações aumenta o impacto ambiental cumulativo na área e dificulta a fiscalização de forma individualizada, pois ao agrupar as atividades em um único bloco de operações, fica mais difícil identificar e responsabilizar a origem específica de cada uma delas e monitorar suas ações.

Figura 26 - Imagens de aglomerações padronizadas de equipamentos de garimpo, evidenciando aglomerações que chegam a 25 dragas.



Fonte: Google Earth, 2025.

Do ponto de vista da morfologia fluvial, essas concentrações elevam a pressão sobre a dinâmica local de sedimentação e erosão, além de representar um risco à navegabilidade em função do estreitamento de trechos e possíveis alterações súbitas no relevo subaquático.

V. Presença de estruturas anexas às dragas

Foi possível observar a presença de diversas estruturas que compõem ao equipamento flutuante, como as esteiras de beneficiamento, que desempenham um papel na separação do ouro dos sedimentos dragados, também foram identificadas as lanças que apoiam o direcionamento mangueiras de sucção, que indicam que quando maior o tamanho das lanças maior o alcance de dragagem em termos de extensão de área. Foi possível observar até mesmo a diferença de alguns equipamentos que são diferenciados pela quantidade de esteiras, determinando que possuem um motor mais potente que outros equipamentos com apenas uma esteira (figura 27).

Figura 27 – Imagens onde se é possível visualizar componentes típicos de equipamentos de garimpo, como: lanças, empurradores e esteiras.



Fonte: Google Earth, 2025.

5.4 Mapeamento imagem de radar

5.4.1 Detecção de alvos em imagens SAR

A área de estudo é coberta por quatro ou cinco cenas distintas de imagens SAR, abrangendo o trecho da área de estudo no rio Madeira. No total foram avaliadas em média 20 cenas de radar, sendo quatro ou cinco cenas para cada ano no período de 2021 a 2024. A seleção de datas considerou a disponibilidade de imagens dentro do período levantado das operações de fiscalizações realizadas por órgãos públicos. Devidamente descritas na seção 5.1, tabela 6 deste estudo. Dessa forma buscou-se analisar períodos próximos a momentos de maior intensidade operacional, para aumentar a probabilidade de detecção de alvos.

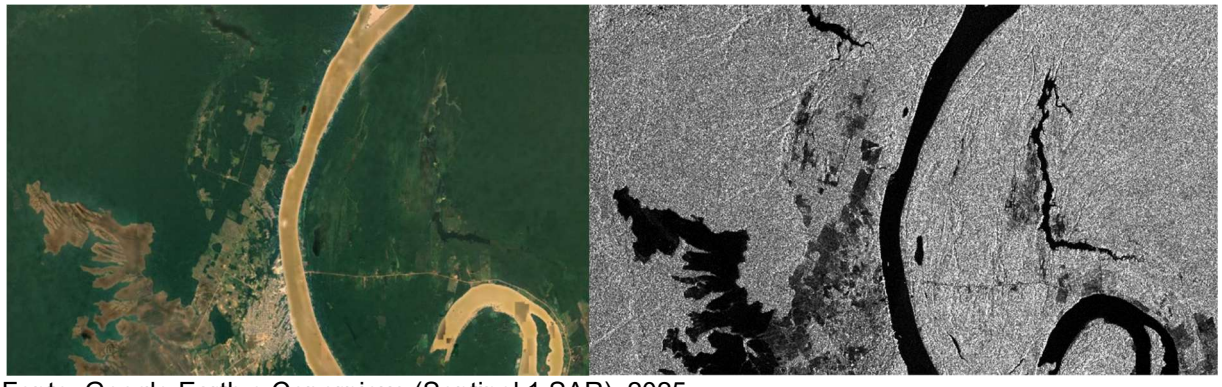
A análise visual das imagens SAR permitiu a identificação de 60 pontos com alto retorno de sinal sobre a lâmina d'água escura do rio. Esses alvos se destacavam visualmente por contraste, sugerindo a presença de alguma estrutura ou elemento, possivelmente compatíveis com dragas ou balsas utilizadas na atividade de garimpo.

5.4.2 Validação com imagens ópticas

Após a identificação inicial dos alvos com alto retorno nas imagens SAR, cada ponto foi georreferenciado e analisado em imagens ópticas disponíveis na plataforma Google Earth (figura 28), com datas mais próximas possível das cenas de radar avaliadas.

A validação teve como objetivo diferenciar estruturas móveis (embarcações) de elementos fixos da paisagem (como ilhas, casas flutuantes ou vegetação densa) que poderiam gerar falsos positivos.

Figura 28 - Modelo de avaliação cruzada das imagens SAR e imagens ópticas do Google Earth.



Fonte: Google Earth e Copernicus (Sentinel 1 SAR), 2025.

A análise foi realizada com base em observações empíricas obtidas no levantamento primário no Google Earth da seção anterior 5.3, utilizando os seguintes critérios:

- Agrupamento horizontal típico de dragas operando em conjunto: em grande parte dos registros confirmados, as embarcações apareciam organizadas de forma perpendicular ao curso do rio, em fileiras horizontais, sugerindo operação simultânea em áreas de extração concentrada. Esse padrão se repetiu em diferentes datas e locais, indicando uma lógica operacional recorrente.
- Afastamento da margem e ausência de conexão com comunidades ribeirinhas: as dragas detectadas geralmente estavam posicionadas no canal principal, sem ligação com áreas urbanas ou vilas. Isso difere de balsas de transporte ou casas flutuantes, que costumam permanecer próximas a atracadouros, margens ou estruturas comunitárias.
- Padrão de permanência na mesma região de coordenadas ao longo do tempo: diversos pontos identificados apresentaram reincidência em cenas de anos diferentes, sugerindo a manutenção prolongada das atividades de garimpo nos mesmos trechos do rio. Essa repetição temporal contribuiu para reforçar a confiabilidade da detecção, especialmente em áreas mais remotas. Isso se deve, em grande parte, à geodinâmica do rio, que influencia diretamente a formação e a concentração de depósitos aluvionares de ouro. A movimentação natural das águas, associada a processos de erosão, sedimentação e transporte de material, favorece o acúmulo de minerais pesados em determinados pontos, tornando essas áreas recorrentes e atrativas para a atividade garimpeira ao longo do tempo.
- Distribuição diferenciada no canal do rio entre dragas e embarcações de transporte: as embarcações de transporte tendem a se posicionar mais próximas ao centro do canal, onde a profundidade é maior e há maior espaço para navegação segura, apresentando trajetos regulares. Já as dragas operam preferencialmente em áreas marginais do canal, próximas a praias de areia, bancos fluviais e aluviões, locais com profundidade intermediária favorável para extração mineral. Essa distribuição permite que as dragas estejam em áreas produtivas e menos navegadas, facilitando a operação e reduzindo interferências.

Com base nessa verificação, os alvos detectados foram classificados em três categorias:

- Confirmados: embarcações compatíveis com dragas ou balsas de garimpo, visíveis em imagens ópticas;
- Prováveis: ausência de imagem clara ou cobertura de nuvens, mas padrão SAR e contexto espacial compatíveis possivelmente com a atividade de garimpo;
- Descartados: estruturas fixas (ilhas, casas flutuantes, vegetação) ou indícios de embarcações de transporte comum de passageiros ou de carga.

5.4.3 Limitações e possíveis fontes de erro na identificação dos alvos

Durante a análise das imagens SAR, foram identificados diversos alvos com forte retorno de sinal que, à primeira vista, poderiam ser interpretados como aglomerações e/ou embarcações de garimpo. No entanto, a verificação posterior com imagens ópticas revelou a presença de estruturas de outras embarcações ou feições naturais fixas, caracterizando-se como falsos positivos.

Entre os principais exemplos identificados, destacam-se:

- Ilhas de pequeno porte ou bancos de areia com vegetação (figura 29), que produzem retorno especular semelhante ao de estruturas metálicas, especialmente quando parcialmente submersas ou com formas alongadas;

Figura 29 - Análise cruzada de imagem SAR com detecção de alvo com alto contrate de sinal identificado como ilha fluvial vegetada.



Fonte: Google Earth e Copernicus (Sentinel 1 SAR), 2025.

- Balsas de transporte de carga ou passageiros, que também aparecem como alvos brilhantes nas imagens SAR, mas que possuem trajetos regulares, pontos de atracação definidos e menor permanência em pontos isolados do rio (figuras 30 a 32);

Figura 30 - Análise cruzada de imagem SAR com detecção de alvo com alto contrate possivelmente de embarcações de carga pela proximidade de área de atracação.



Fonte: Google Earth e Copernicus (Sentinel 1 SAR), 2025.

Figura 31 - Análise cruzada de imagem SAR com detecção de alvo com alto contrate identificado com balsa de transporte de carga e passageiros na travessia da rodovia.



Fonte: Google Earth e Copernicus (Sentinel 1 SAR), 2025.

Figura 32 - Análise cruzada de imagem SAR com detecção de alvo com alto contrate indicando trajeto de navegação no meio do curso do rio, típico de embarcações de carga.



Fonte: Google Earth e Copernicus (Sentinel 1 SAR), 2025.

- Casas flutuantes ou estruturas ribeirinhas fixas, comuns em comunidades locais, que geram confusão visual por sua posição marginal e composição de materiais que também refletem bem o sinal do radar.

Figura 33 – Análise cruzada de imagem SAR com detecção de alvo com alto contrate de uma estrutura flutuante fixa na margem do rio Madeira.



Fonte: Google Earth e Copernicus (Sentinel 1 SAR), 2025.

As cenas SAR possuem baixa qualidade geométrica, observou-se saturação dos pixels ("estouro"), dificultando a definição de formas típicas como o casco da embarcação, a lança ou o conjunto de elementos de embarcações de garimpo, identificadas em imagens ópticas. Nesses casos, para este estudo a interpretação se baseou mais no padrão de localização, repetição ao longo das imagens e demais atributos supracitados, cruzando com o histórico visual de imagens ópticas da mesma área, a fim de garantir maior acurácia na detecção de atividades de garimpo fluvial.

5.4.4 Mapeamento de evidências de possíveis embarcações

Nesta subseção, são apresentados os resultados do mapeamento de embarcações compatíveis com características de atividade garimpeira fluvial ao longo do rio Madeira, organizados por ano, no período de 2021 a 2024. A análise considera apenas os casos classificados como confirmados e prováveis, houve apenas uma cena classificada como confirmado, haja vista a falta de disponibilidade de cenas ópticas em mesma data das imagens SAR dificultando a validação cruzada das imagens SAR com as imagens ópticas. Logo, aqueles que apresentaram padrões espaciais típicos (agrupamentos marginais, alinhamento horizontal, localização de

ocupação histórica etc.) e que foram validados por meio do cruzamento com imagens ópticas de alta resolução, foram classificados como prováveis.

Situações classificadas como falsos positivos, alvos fixos ou ambíguos, como casas flutuantes, pequenas embarcações de transporte ou sinais pouco definidos, foram excluídas desta etapa, visto que já foram apresentadas e discutidas na subseção 5.4.3, dedicada às incertezas do processo de identificação.

Os alvos identificados e classificados como confirmado e prováveis por meio da análise cruzada das imagens óticas e ópticas, foram identificados e inseridos na tabela 9 com os dados de data da cena SAR, coordenadas do centroide e a observação realizada na comparação com a imagens óptica do Google Earth. Para melhor visualização dos pontos o mapa disponível na figura 34 demonstrando a distribuição dos alvos na área de estudo. Devido à ampla quantidade de alvos detectados, as imagens correspondentes foram disponibilizadas no Apêndice 2, onde cada ocorrência está identificada de acordo com o código ID descrito na Tabela 9. Em destaque os círculos em branco comparam as feições das imagens SAR e imagens ópticas, e os círculos amarelos destacam avistamento de equipamentos de garimpo próximo a área em datas diferente da imagem SAR, mas que pode inferir local propício a exploração.

Tabela 9 - Dados dos alvos classificados como prováveis equipamentos de garimpo fluvial no rio Madeira em imagens SAR.

ALVOS CLASSIFICADOS COMO PROVÁVEIS					
ID	**DATA**	**MUNICIPIO**	**X**	**Y**	**OBS OPTICA**
1	20240831	HUMAITA	59°05'205"W	3°42'26"S	Feições transversais ao leito do rio Madeira em local confirmado, por fiscalizações, a presença de equipamentos de garimpo – Rosarinho/Autazes
02	20211122	NOVA OLINDA DO NORTE	59°03'28"W	3°49'43"S	Feição em área típica de deposição fluvial com histórico de garimpo fluvial em outras datas
03	20211128	BORBA	52°06'60"W	4°53'55"S	Feição em área típica de deposição fluvial com histórico de garimpo fluvial em outras datas
04	20211128	NOVO ARPUANÃ	60°23'56"W	5°07'11"S	Feições em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
05	20211127	MANICORÉ	61°27'16"W	5°50'45"S	Feições em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
06	20211127	MANICORÉ	61°39'46"W	5°52'0"S	Feições em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas

07	20211127	MANICORÉ	61°46'23"W	6°05'20"S	Feições em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
08	20211127	MANICORÉ	61°48'19"W	6°08'10"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
09	20211127	MANICORÉ	62°12'19"W	6°12'30"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas e disposição na transversal do leito do rio
10	20211127	HUMAITÁ	62°19'45"W	6°38'14"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas, a feição alongada irregular diferente das típicas de embarcações de carga
11	20211127	HUMAITÁ	62°42'43"W	7°01'59"S	Área próxima de exploração em outras datas, feição alongada irregular diferente das típicas de embarcações de carga
12	20211127	HUMAITÁ	63°0'13"W	7°32'08"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
13	20211127	HUMAITÁ	62°56'28"W	7°43'01"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
14	20221012	BORBA	59°53'21"W	4°34'43"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
15	20221012	BORBA	59°55'25"W	4°39'28"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
16	20221012	BORBA	59°56'15"W	4°42'22"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
17	20221012	BORBA	59°59'35"W	4°52'24"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
18	20221012	NOVO ARIPUANÃ	66°24'34"W	5°06'43"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
19	20221012	NOVO ARIPUANÃ	60°37'10"W	5°17'33"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
20	20221012	MANICORÉ	60°45'12"W	5°28'19"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
21	20221012	MANICORÉ	60°55'25"W	5°33'55"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
22	20221017	MANICORÉ	61°18'37"W	5°50'0"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
23	20221017	MANICORÉ	61°28'17"W	5°52'21"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
24	20221017	MANICORÉ	61°37'51"W	5°51'39"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
25	20221017	MANICORÉ	61°46'33"W	6°5'3"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
26	20221017	MANICORÉ	61°52'30"W	6°15'30"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
27	20221017	MANICORÉ	62°03'30"W	6°13'50"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
28	20221017	HUMAITÁ	62°16'47"W	6°26'37"S	Feição em área de deposição com disposição concava diferente das embarcações de carga que são mais retilíneas

29	20221017	HUMAITÁ	62°18'22"W	6°30'34"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
30	20221017	HUMAITÁ	62°26'11"W	6°45'59"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
31	20221017	HUMAITÁ	62°41'41"W	7°0'13"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas com disposição alongada irregular diferente das embarcações de carga que são regular
32	20221017	HUMAITÁ	62°42'48"W	7°1'45"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
33	20221017	HUMAITÁ	62°55'19"W	7°13'57"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
34	20221017	HUMAITÁ	62°59'0"W	7°22'8"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
35	20221017	HUMAITÁ	63°0'41"W	7°25'19"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas e disposição transversal ao leito do rio Madeira
36	20230901	BORBA	59°56'21"W	4°42'4"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
37	20230901	BORBA	59°32'30"W	4°18'19"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
38	20230901	NOVO ARIPUANÃ	60°24'37"W	5°7'49"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
39	20230901	MANICORÉ	60°44'15"W	5°24'1"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
40	20230901	MANICORÉ	60°44'54"W	5°28'19"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
41	20230901	MANICORÉ	60°24'37"W	5°7'49"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
42	20230901	MANICORÉ	61°7'38"W	53°36'11"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
43	20230825	MANICORÉ	61°41'42"W	5°55'31"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
44	20230825	MANICORÉ	61°46'30"W	6°4'58"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas e disposição transversal ao leito do rio Madeira
45	20230825	HUMAITÁ	61°52'39"W	6°16'17"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
46	20230825	HUMAITÁ	62°6'38"W	6°12'10"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas e disposição transversal ao leito do rio Madeira
47	20230825	HUMAITÁ	62°15'29"W	6°21'57"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
48	20230825	HUMAITÁ	62°18'235"W	6°29'49"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
49	20230825	HUMAITÁ	62°20'52"W	6°42'01"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
50	20230825	HUMAITÁ	62°32'24"W	6°45'51"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
51	20230825	HUMAITÁ	62°33'38"W	6°46'13"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas

52	20230825	HUMAITÁ	62°56'15"W	7°46'38"S	Feições em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
53	20230825	HUMAITÁ	62°55'32"W	7°48'49"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
54	20240826	BORBA	59°48'3"W	4°25'16"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
55	20240826	MANICORÉ	61°4’17"W	5°34'47"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
56	20240831	MANICORÉ	61°11’15"W	5°38'15"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
57	20240831	HUMAITÁ	62°16’58"W	6°28'41"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
58	20240831	HUMAITÁ	62°21’002"W	6°35'36"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas
59	20240831	HUMAITÁ	62°36’00"W	6°47'27"S	Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas
60	20240831	HUMAITÁ	62°47’59"W	7°00'13"S	Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas

Fonte: Autora, 2025.

A interpretação dos alvos identificados nas imagens SAR considerou não apenas o padrão visual de retro espalhamento, mas também a compreensão espacial e funcional do rio Madeira enquanto via de transporte regional. O rio Madeira trata-se de um rio com tráfego fluvial intenso, principalmente voltado ao transporte de carga, o que implica a presença recorrente de balsas e embarcações comerciais de grande porte. No entanto, diferentemente de outras rotas fluviais, o transporte regular de passageiros ocorre com baixa frequência e geralmente por meio de embarcações menores, com baixa permanência em áreas isoladas. Esse fator foi fundamental para eliminar possíveis confusões entre embarcações regulares e estruturas associadas ao garimpo.

Durante o processo de análise, observou-se que embarcações de carga apresentam, nas imagens SAR, feições mais alongadas e retilíneas, com posição alinhada ao eixo longitudinal do canal principal, enquanto os alvos compatíveis com dragas ou balsas de garimpo se destacam por seu formato mais compacto ou irregular, por vezes com disposição transversal ao curso do rio quando estão dispostos aglomerados mais de um equipamentos. A presença dessas feições em áreas de deposição fluvial, caracterizadas por bancos de areia, águas rasas e baixa velocidade de corrente, fortaleceu a hipótese de que possivelmente se tratava de estruturas voltadas à atividade garimpeira.

A análise empírica, realizada a partir do cruzamento entre imagens SAR e imagens ópticas de alta resolução disponíveis no Google Earth, permitiu identificar padrões operacionais compatíveis com a extração mineral, como agrupamentos horizontais de embarcações, afastamento das margens urbanas e permanência em determinadas feições ao longo do tempo. No entanto, a ausência de imagens ópticas conflitantes com as datas das cenas SAR em grande parte das ocorrências limitou a possibilidade de confirmação direta, dificultando a validação completa dos alvos detectados.

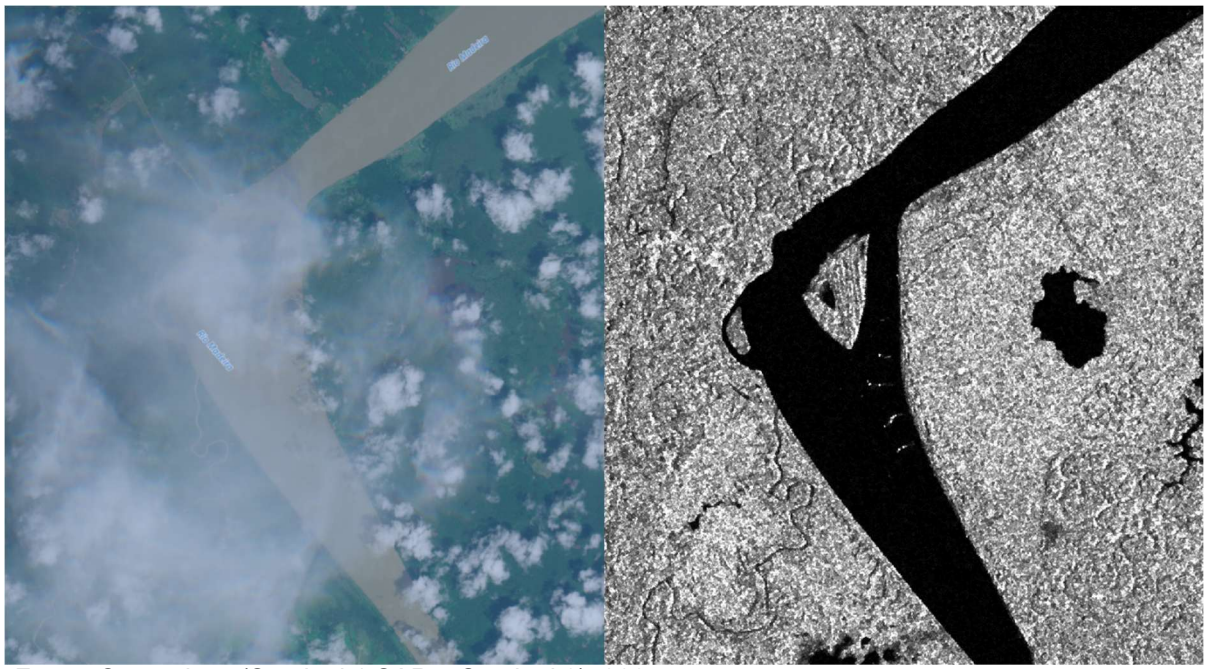
Diante disso, adotou-se um critério conservador para a classificação dos alvos, priorizando a consistência dos indícios e evitando extrapolações. Apenas o alvo ID 01, registrado em 22/11/2024 na localidade do Rosarinho (Autazes/AM), foi classificado como confirmado. Esse caso em particular reúne múltiplos elementos de verificação: forte sinal de retro espalhamento, disposição transversal ao leito do rio, localização em área de deposição fluvial e comprovação por meio de registros de fiscalização pública ocorrida no ano de 2021, além de registros jornalísticos amplamente divulgados. Os demais alvos, embora não possam ser confirmados pela ausência de imagens ópticas na mesma data, apresentaram características espaciais e operacionais compatíveis com dragas, sendo classificados como prováveis.

Esse processo reforça a importância do uso combinado de sensores SAR e dados ópticos para o monitoramento da atividade garimpeira em regiões de difícil acesso, como o rio Madeira. Apesar das limitações técnicas, como a resolução espacial e a saturação dos pixels nas imagens SAR, a metodologia adotada demonstrou ser eficaz na identificação de padrões recorrentes e na diferenciação entre estruturas de garimpo e embarcações de outras finalidades. A associação dos alvos a áreas com histórico de exploração, somada à disposição e ao formato das feições, foi decisiva para o mapeamento sistemático das evidências de possível atividade garimpeira ao longo do período analisado de 2021 a 2024.

O uso de imagens SAR apresenta vantagens importantes para o monitoramento de áreas remotas e de difícil acesso, especialmente em regiões amazônicas com alta frequência de cobertura de nuvens, como é o caso do rio Madeira. Um exemplo representativo é o alvo ID 01, do ano de 2021, classificado como confirmado, cuja imagem óptica correspondente (Sentinel 2) encontra-se

encoberta por nuvens, impossibilitando a visualização direta do alvo. Nessa situação, a imagem SAR (Sentinel 1) foi essencial para a detecção das feições sobre a lâmina d'água (Figura 34). No entanto, cenas SAR também apresentam limitações significativas, como a necessidade de análise cruzada com dados ópticos para confirmação da natureza dos alvos e a impossibilidade de visualização de detalhes específicos das embarcações, como o tipo de equipamento, grau de atividade operacional, acessórios típicos das embarcações (lanças, esteiras etc.). Essas restrições tornam a interpretação dependente de critérios espaciais e padrões recorrentes, o que reforça a importância de abordagens integradas e de uma leitura crítica dos dados para aumentar a confiabilidade dos resultados.

Figura 34 - Comparação das Imagens Sentinel 2 (à esquerda) e Sentinel 1 (à direita), em uma mesma região e na mesma data, indicando alta incidência de nuvens mascarando as feições de garimpo.



Fonte: Copernicus (Sentinel 1 SAR e Sentinel 2), 2025.

Figura 35 – Mapa de disposição dos pontos classificados como prováveis na análise das imagens de radar SAR.



Fonte: Autora, 2025.

5.5 Avaliação de Impactos Ambiental

A análise dos impactos ambientais foi conduzida utilizando a Matriz RIAM, permitindo uma comparação estruturada entre dois cenários distintos de atividade garimpeira ao longo do rio Madeira, na porção localizada no estado do Amazonas: o garimpo fluvial ilegal, atualmente predominante na região, e um cenário hipotético de garimpo legalizado, com adoção de boas práticas e controle ambiental.

Em consulta ao portal de transparência técnica do site oficial do IPAAM - Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (AMAZONAS/IPAAM, s.d.), verificou-se que não há no estado do Amazonas nenhuma atividade de lavra garimpeira de ouro licenciada (2021 a 2024). Considera-se, contudo, que todos os empreendimentos atualmente em operação nesse trecho do rio Madeira são ilegais, sem qualquer tipo de licenciamento ambiental válido no estado.

Essa abordagem comparativa tem o objetivo de demonstrar, de forma coesa, como a regularização e o monitoramento podem reduzir os impactos socioambientais, o que reforça a importância de compreender as diferenças entre os dois contextos para embasar estratégias de mitigação, fiscalização e políticas públicas voltadas à sustentabilidade da região.

Para a realização da Avaliação de Impacto Ambiental, com o uso da ferramenta digital RIAM, os seguintes componentes ambientais foram divididos em quatro categorias:

Componente Físico/Químico – PC

- ✓ **PC1 - Contaminação das águas (superficiais e subterrâneas):** Presença de mercúrio (Hg) e outros contaminantes nas águas de igarapés, rios e aquíferos, com risco de bioacumulação e degradação da qualidade da água.
- ✓ **PC2 - Contaminação química do solo e sedimentos:** Deposição de metais pesados (especialmente mercúrio) nos solos das margens e sedimentos do leito fluvial, com riscos de transporte e recontaminação.
- ✓ **PC3 - Degradação física do solo e margens:** Remoção do solo por escavações e dragagens, ocasionando instabilidade de margens, erosão e assoreamento dos cursos d’água.

✓ **PC4 - Turbidez e assoreamento:** Aumento da turbidez da água e acúmulo de sedimentos, afetando a transparência, a luz solar incidente e o funcionamento ecológico dos sistemas aquáticos.

✓ **PC5 - Disposição inadequada de rejeitos e efluentes:** Lançamento direto de efluentes líquidos e rejeitos sólidos no ambiente sem tratamento, afetando a qualidade ambiental local.

✓ **PC6 - Emissões atmosféricas e vapores tóxicos:** Emissão de vapores de mercúrio durante a queima do amálgama, além de gases oriundos de motores de dragas, barcos e geradores.

✓ **PC7 - Níveis de ruído e perturbação sonora:** Níveis de ruído elevados provenientes de motores náuticos e equipamentos operando nas balsas, com perturbação à fauna e moradores locais.

Componente Biológico/Ecológico – BE

✓ **BE1 - Alteração de habitats fluviais e marginais:** Destruição ou modificação de habitats aquáticos, matas ciliares e zonas úmidas, comprometendo corredores ecológicos.

✓ **BE2 - Impacto sobre a biodiversidade aquática:** Redução da diversidade de peixes e organismos aquáticos devido à contaminação, alteração de hábitat e bioacumulação de mercúrio.

✓ **BE3 - Impacto sobre a biodiversidade terrestre:** Redução de espécies sensíveis em áreas de margem e floresta próxima devido ao barulho, poluição e movimentação humana.

✓ **BE4 - Remoção e degradação da vegetação ciliar:** Desmatamento seletivo ou total da vegetação ribeirinha, com perda da função de proteção das margens e filtragem natural da água.

✓ **BE5 - Bioacumulação e contaminação da fauna:** Presença de mercúrio em níveis elevados na cadeia alimentar, especialmente em peixes carnívoros consumidos por humanos e fauna.

Componente Social/Cultural – SC

✓ **SC1 - Saúde pública e contaminação humana:** Casos potenciais de intoxicação por mercúrio em populações ribeirinhas (adultos e crianças), além de doenças relacionadas à água contaminada.

- ✓ **SC2 - Dinâmica populacional e migração:** Entrada de garimpeiros, aumento de população flutuante e pressão sobre os serviços locais, alterando a demografia da região.
- ✓ **SC3 - Aumento da violência e insegurança:** Crescimento da criminalidade e presença de facções ligadas ao controle do garimpo ilegal, intensificando riscos à segurança.
- ✓ **SC4 - Conflitos territoriais e socioambientais:** Disputas entre garimpeiros, populações tradicionais e indígenas pela ocupação do território e uso dos recursos naturais.
- ✓ **SC5 - Impactos sobre comunidades tradicionais:** Redução da disponibilidade de recursos naturais, degradação ambiental e perda de modos de vida tradicionais (pesca, extrativismo, etc.).
- ✓ **SC6 - Patrimônio cultural e arqueológico:** Risco de destruição de sítios arqueológicos e culturais em áreas próximas aos garimpos.
- ✓ **SC7 - Estrutura de poder paralela e informalidade:** Consolidação de redes informais de autoridade e comando, esvaziando lideranças locais e tradicionais.

Componente Econômico/Infraestrutura – EO

- ✓ **EO1 - Substituição de atividades sustentáveis:** Perda de atividades econômicas de baixo impacto (pesca, agricultura, extrativismo) em detrimento da atividade garimpeira.
- ✓ **EO2 - Aumento nos preços locais e inflação:** Inflação local devido ao fluxo de dinheiro informal, encarecendo bens e serviços essenciais para as comunidades locais.
- ✓ **EO3 - Empregos e informalidade:** Geração de empregos precários, sem garantias trabalhistas ou benefícios sociais, com forte apelo ao trabalho informal e muitas vezes análogo à escravidão.
- ✓ **EO4 - Evasão fiscal e perda de arrecadação:** Ausência de licenciamento implica em não arrecadação de tributos municipais, estaduais e federais.
- ✓ **EO5 - Pressão sobre infraestrutura local:** Sobrecarga de sistemas de saúde, transporte fluvial e moradia, sem planejamento ou aporte estatal adequado.

✓ **EO6 - Corrupção e facilitação ilegal:** Presença de esquemas de corrupção, pagamento de propinas e uso de documentos falsos para facilitar a continuidade da atividade.

✓ **EO7 - Economia paralela e lavagem de dinheiro:** Estabelecimento de circuitos econômicos ilícitos baseados na comercialização clandestina de ouro e circulação de grandes quantias sem controle.

✓ **EO8 - Volatilidade econômica e dependência:** Criação de ciclos de "bonanças e colapso" econômico local, tornando a economia regional instável e dependente da atividade ilegal.

Com base nos componentes definidos e a metodologia da RIAM procedeu-se à etapa de preenchimento da matriz. Para cada componente ambiental analisado, foram atribuídas pontuações específicas conforme os parâmetros da ferramenta RIAM, considerando a magnitude, permanência, reversibilidade e abrangência dos impactos identificados. Essa abordagem permitiu avaliar a intensidade e a relevância dos efeitos em ambos os contextos, oferecendo uma visão mais clara sobre os riscos e benefícios relativos à legalização da atividade.

Nas tabelas 10 e 11, encontram-se a descrição detalhada dos parâmetros utilizados, os valores adotados empiricamente e as respectivas justificativas técnicas que embasaram a pontuação dos impactos em cada cenário. Essa sistematização garante transparência na análise e reforça o caráter comparativo da aplicação da matriz.

Na figura 36 observa-se os dois cenários de garimpo ilegal (modelo atual) com o cenário de garimpo hipoteticamente legalizado, observa-se um acumulado de 18 componentes classificadas como "-E", que significa "Grandes Mudanças/Impactos Negativos", enquanto no cenário hipotético a pontuação mais baixa está na categoria "-B" que significa "Mudanças/Impactos Negativos", podendo até mesmo observar componentes classificadas com impactos positivos. Nos gráficos abaixo (figura 37 e 38), apresenta-se o detalhe das avaliações por tipo de componente, foram analisados:

- 7 (sete) itens no componente PC (Físico/Químico);
- 5 (cinco) itens no componente BE (Biológico/Ecológico);
- 7 (sete) itens no componente SC (Social/Cultural); e
- 8 (oito) itens no componente EO (Econômico/Infraestrutura).

Tabela 10 – Matriz Rápida de Avaliação de Impacto para o cenário hipotético de impactos do garimpo legalizado.

Componente	Descrição das componentes	A1	A2	B1	B2	B3	ES	RV	Justificativa Pontuação A1	Justificativa Pontuação A2	Justificativa Pontuação B1	Justificativa Pontuação B2	Justificativa Pontuação B3
PC01	Contaminação das águas (superficiais e subterrâneas)	2	-1	2	2	2	-12	-B	Impacto localizado em áreas de operação	Possível alteração da água com risco controlado	Efeito limitado ao período de operação	Possível reversão com boas práticas e monitoramento	Baixa sinergia se houver controle das frentes de operação
PC02	Contaminação química do solo e sedimentos	2	-1	2	2	2	-12	-B	Risco localizado e controlado pela gestão de resíduos	Possibilidade de contaminação leve por mau manejo	Impacto temporário se controlado	Possível remediação em caso de falha	Baixa sinergia com outras áreas impactadas
PC03	Degradação física do solo e margens	2	-1	2	2	2	-12	-B	Ocorre apenas na zona de atividade delimitada	Baixo nível de remoção de solo com métodos controlados	Ocorre apenas durante operação	Possibilidade de recuperação assistida	Pequena contribuição para impactos acumulados
PC04	Turbidez e assoreamento	2	-1	2	2	2	-12	-B	Afetando apenas corpo hídrico adjacente	Nível de turbidez pouco alterado com boas práticas	Dura enquanto o processo estiver ativo	Retorno rápido da condição natural	Baixo acúmulo regional
PC05	Disposição inadequada de rejeitos e efluentes	2	-1	2	2	2	-12	-B	Rejeitos tratados e monitorados	Risco limitado a falhas operacionais	Impacto apenas durante o ciclo de vida do projeto	Reversível com plano de contingência	Efeito limitado a uma unidade de produção
PC06	Emissões atmosféricas e vapores tóxicos	1	-1	2	2	2	-6	-A	Uso controlado de substâncias, com EPI e ventilação	Possibilidade de emissão leve e pontual	Ocorre durante operação, mas é limitada	Reversível com interrupção da exposição	Baixa acumulação regional
PC07	Níveis de ruído e perturbação sonora	1	-1	2	2	2	-6	-A	Operação em áreas controladas com menor alcance	Baixo nível de ruído com manutenção e controle de horários	Impacto temporário	Interrupção da fonte elimina o ruído	Pouco efeito acumulativo
BE01	Alteração de habitats fluviais e marginais	2	-1	2	2	2	-12	-B	Os impactos se concentram nas áreas próximas à operação	Apesar do controle, há modificação do leito e margens em áreas de operação	Com planos de recuperação, os impactos podem ser mitigados	A recomposição ambiental é possível com manejo adequado	O controle e licenciamento reduzem sinergias com outros impactos
BE02	Impacto sobre a biodiversidade aquática	2	-1	2	2	2	-12	-B	Afeta diretamente peixes e invertebrados da região de influência	Alteração da qualidade da água e habitat aquático	Suspenso o garimpo, a recuperação pode ocorrer naturalmente	Ecossistemas aquáticos podem se reequilibrar com o tempo	Impactos são pontuais e monitorados
BE03	Impacto sobre a biodiversidade terrestre	1	-1	2	2	2	-6	-A	Afeta fauna da margem e de pequenas clareiras	Presença humana e ruídos afastam fauna sensível	Os animais tendem a retornar após o fim das atividades	A fauna recoloniza áreas desocupadas	Impacto localizado
BE04	Remoção e degradação da vegetação ciliar	2	-1	2	2	2	-12	-B	As APPs têm função ecológica regional	Pode haver retirada pontual da vegetação	Há obrigação de recuperação após o uso	Planos de recuperação de APPs são exigidos no licenciamento	Ações são monitoradas e mitigadas individualmente
BE05	Bioacumulação e contaminação da fauna	2	-1	2	2	2	-12	-B	Impactos químicos podem atingir espécies consumidas pela população	Mesmo com controle, há risco de contaminação por mercúrio se técnicas forem inadequadas	Níveis de contaminação podem cair com monitoramento e boas práticas	Redução da exposição permite reequilíbrio dos níveis	Uso controlado de insumos reduz disseminação
SC01	Saúde pública e contaminação humana	2	-1	2	2	2	-12	-B	Afeta populações locais, mas com possibilidade de controle e monitoramento	Pode haver exposição a contaminantes, porém com menor intensidade	Impactos de menor duração com medidas corretivas	Há possibilidade de reversão parcial com assistência à saúde	Impacto pode se somar, mas em menor escala
SC02	Dinâmica populacional e migração	2	-1	2	2	2	-12	-B	Há chegada de pessoas, porém de forma controlada	Mudança é mais gradual e com algum planejamento	Pode cessar com o fim da atividade	Em parte reversível com políticas públicas	Impacto acumulado é menor que no ilegal
SC03	Aumento da violência e insegurança	2	1	2	2	2	12	B	Redução da ilegalidade tende a reduzir violência associada	Reforço institucional melhora segurança local	Melhora de forma gradual	Pode ser revertido com estabilidade	Atenua cumulatividade de crimes ambientais e sociais
SC04	Conflitos territoriais e socioambientais	2	-1	2	2	2	-12	-B	Conflitos ocorrem, mas há exigência de consulta prévia	Conflitos podem ser mediados pelo licenciamento	Tende a reduzir com gestão territorial clara	Pode ser revertido com diálogo e compensações	Menor acúmulo de tensões quando formalizado
SC05	Impactos sobre comunidades tradicionais	2	-1	2	2	2	-12	-B	Pode afetar comunidades, mas há obrigação de mitigar impactos	Riscos são menores com planejamento participativo	Impactos menos duradouros com ações sociais	Pode ser revertido parcialmente com apoio técnico e social	Menos cumulativo se comparado ao cenário ilegal
SC06	Patrimônio cultural e arqueológico	1	-1	2	2	1	-5	-A	Áreas são avaliadas previamente no licenciamento	Danos ocorrem se houver falhas, mas são mais raros	Impactos tendem a ser localizados e mitigáveis	Pode ser evitado com resgate e proteção do patrimônio	Baixa cumulatividade se regras forem seguidas
SC07	Estrutura de poder paralela e informalidade	2	1	2	2	2	12	B	Reduz a necessidade de estruturas paralelas	Fortalece presença estatal e transparência	Impactos positivos duradouros se houver fiscalização	Reversão gradual da informalidade	Ajuda a conter a cumulatividade da ilegalidade
EO01	Substituição de atividades sustentáveis	2	-1	2	2	2	-12	-B	Impacto mais localizado com possibilidade de coexistência parcial com outras atividades	Redução de atratividade de alternativas sustentáveis, mas com regulamentação possível	Controlável com salvaguardas	Pode ser compensado com medidas de fomento	Risco acumulado moderado
EO02	Aumento nos preços locais e inflação	1	-1	2	2	2	-6	-A	Impacto localizado a centros operacionais	Pode gerar aumento de preços, mas há controle possível	Controlável com salvaguardas	Pode ser compensado com política local	Risco acumulado reduzido
EO03	Empregos e informalidade	2	1	2	2	2	12	B	Geração de empregos localmente relevantes	Oferece ocupação com possibilidade de formalização	Controlável com normas de segurança e trabalho	Pode ser compensado com qualificação e registro	Risco acumulado reduzido
EO04	Evasão fiscal e perda de arrecadação	2	2	2	2	2	24	C	Possibilidade de arrecadação local e estadual	Contribui com recolhimento de tributos	Controlável com sistema de monitoramento fiscal	Pode ser mantido com regularização constante	Risco acumulado reduzido
EO05	Pressão sobre infraestrutura local	2	-1	2	2	2	-12	-B	Amplia demanda, mas pode ser planejada	Aumento pontual de sobrecarga em serviços públicos	Controlável com infraestrutura adequada	Pode ser compensado com planejamento urbano	Risco acumulado reduzido
EO06	Corrupção e facilitação ilegal	1	-1	2	2	2	-6	-A	Risco presente, mas sujeito a regulação	Pode haver desvios, mas em menor escala	Controlável com transparência	Pode ser mitigado com fiscalização	Risco acumulado moderado
EO07	Economia paralela e lavagem de dinheiro	1	-1	2	2	2	-6	-A	Pode haver brechas, mas com controle possível	Riscos reduzidos com rastreabilidade	Controlável com auditoria	Pode ser compensado com políticas de transparência	Risco acumulado reduzido
EO08	Volatilidade econômica e dependência	1	-1	2	2	2	-6	-A	Dependência reduzida com diversificação econômica possível	Oscilação menor com estabilidade contratual	Controlável com transição econômica	Pode ser compensado com programas de diversificação	Risco acumulado reduzido

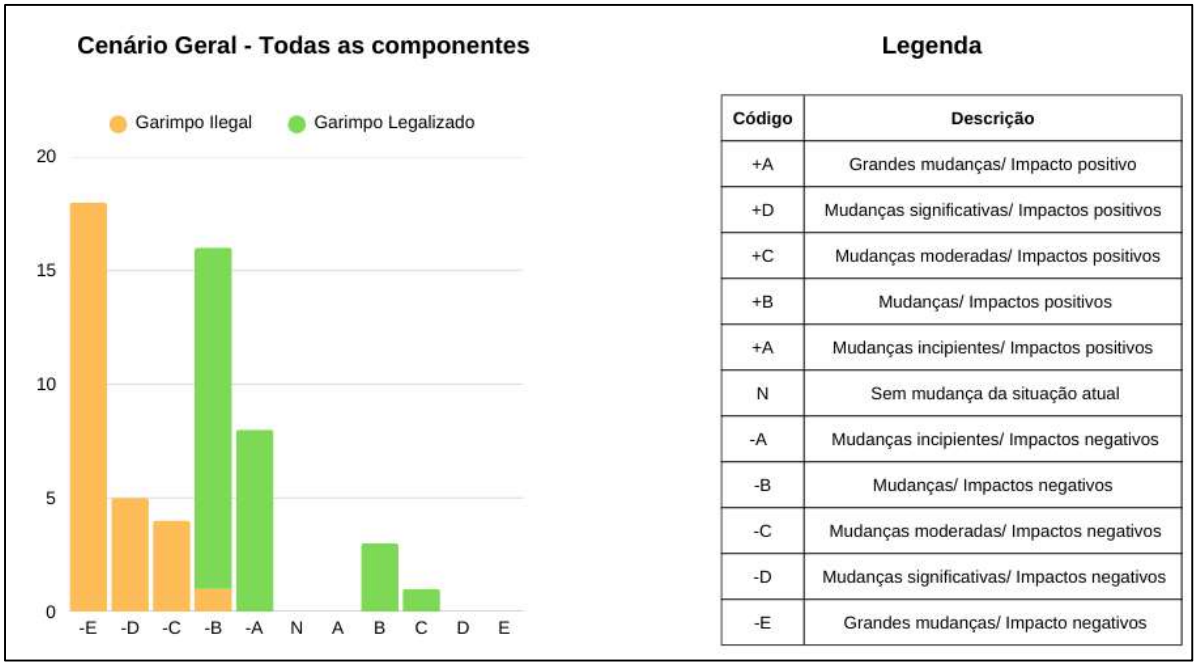
Fonte: Autora (de acordo com Pastakia e Jensen, 1998), 2025.

Tabela 11 - Matriz Rápida de Avaliação de Impacto para o cenário de impactos do garimpo ilegal.

Componente	Descrição das componentes	A1	A2	B1	B2	B3	ES	RV	Justificativa Pontuação A1	Justificativa Pontuação A2	Justificativa Pontuação B1	Justificativa Pontuação B2	Justificativa Pontuação B3
PC01	Contaminação das águas (superficiais e subterrâneas)	4	-3	3	3	3	-108	-E	Impacto se estende a bacias hidrográficas e populações ribeirinhas	Uso de mercúrio gera contaminação severa e persistente	Contaminação permanece mesmo após o fim da atividade	Impossível reverter integralmente a qualidade da água	Efeito somado de várias frentes de garimpo ao longo do rio
PC02	Contaminação química do solo e sedimentos	3	-3	3	3	3	-81	-E	Impacta o solo das margens e leito do rio em grande escala	Sedimentos contaminados com metais persistem por décadas	O impacto permanece no solo por longo prazo	Solos contaminados têm difícil reversão	Diversos pontos de contaminação simultâneos
PC03	Degradação física do solo e margens	3	-3	3	3	2	-72	-E	Erosão e instabilidade das margens afetam o curso do rio	Dragagem desestrutura o solo de forma intensa	Impacto físico permanece sem intervenção	Recomposição natural é extremamente lenta	sinergia moderada com outras frentes de impacto físico
PC04	Turbidez e assoreamento	3	-3	2	2	3	-63	-D	Impacto regional sobre rios e igarapés	Grande aumento de sólidos suspensos	Dura enquanto a atividade estiver em curso	Águas podem clarear, mas o assoreamento permanece	Múltiplos garimpos intensificam o efeito em cadeia
PC05	Disposição inadequada de rejeitos e efluentes	3	-3	3	3	2	-72	-E	Rejeitos despejados diretamente no ambiente	Resíduos químicos e sólidos contaminam recursos naturais	Impacto persiste após a interrupção da atividade	Recuperação ambiental é difícil sem intervenção ativa	Alguma sinergia com outras fontes de poluição local
PC06	Emissões atmosféricas e vapores tóxicos	2	-1	2	3	3	-16	-B	Impacto direto na saúde de trabalhadores e moradores próximos	Vapores de mercúrio contaminam o ar e alimentos	Emissão ocorre durante a atividade	Inalação pode causar danos irreversíveis	Efeito somado de vários pontos de queima e exposição
PC07	Níveis de ruído e perturbação sonora	2	-2	2	2	2	-24	-C	Ruído afeta fauna e comunidades nas redondezas	Equipamentos ruidosos operam de forma ininterrupta	Ruído ocorre enquanto houver atividade	Cessa após fim da atividade	Efeito moderado se vários garimpos estiverem operando
BE01	Alteração de habitats fluviais e marginais	3	-3	3	3	3	-81	-E	Impactados a bacia hidrográfica com influência ampla sobre a biodiversidade amazônica	Destruição de bancos de areia, remanso e matas ciliares modifica drasticamente o ambiente natural	Os habitats não se regeneram facilmente após a destruição	Difícil restauração sem projetos específicos de recomposição ambienta	Impactos somam-se a outros desmatamentos e alterações hidrológicas
BE02	Impacto sobre a biodiversidade aquática	3	-3	3	3	3	-81	-E	Peixes e organismos aquáticos são base da cadeia alimentar e recursos pesqueiros da região	Contaminação, perda de habitat e turbidez afetam a reprodução e alimentação das espécies	Extinções locais e colapsos populacionais podem não se recuperar	Desequilíbrio ecológico é difícil de reverter naturalmente	Sinergia com outros fatores de pressão ambiental
BE03	Impacto sobre a biodiversidade terrestre	2	-2	3	2	3	-32	-C	Afeta principalmente fauna de margens e bordas florestais	Ruídos afugentam espécies sensíveis e provocam alterações de comportamento	Algumas espécies abandonam os locais ou perdem habitats	Parte das espécies pode retornar com cessação da atividade	Efeito somado a desmatamentos e queimadas locais
BE04	Remoção e degradação da vegetação ciliar	3	-3	3	3	3	-81	-E	A vegetação ciliar tem função ecológica essencial na proteção de corpos hídricos	Remoção direta da vegetação altera microclima, solos e fluxo de nutrientes	Regeneração natural é lenta ou impedida	Sem intervenção, dificilmente se reestabelece a vegetação nativa	Ocorre em diversos pontos ao longo do rio simultaneamente
BE05	Bioacumulação e contaminação da fauna	3	-3	3	3	3	-81	-E	Contaminação da fauna impacta toda a cadeia trófica e representa risco à saúde humana	Níveis de mercúrio podem ser muito altos, afetando também humanos e animais que os consomem	Mercúrio permanece na cadeia alimentar por muito tempo	Não há tecnologia eficaz de descontaminação ambiental nessa escala	Os efeitos se somam aos de outros pontos de contaminação na bacia
SC01	Saúde pública e contaminação humana	3	-3	3	3	3	-81	-E	Afeta populações ribeirinhas em toda a região do médio e alto Madeira	Causa intoxicação por mercúrio, doenças de veiculação hídrica e riscos crônicos à saúde	Consequências à saúde podem ser duradouras ou permanentes	Contaminação por mercúrio é irreversível no organismo	Impacto se soma a outras fontes de poluição da bacia
SC02	Dinâmica populacional e migração	3	-2	3	3	3	-54	-D	Desencadeia fluxo migratório intenso e desordenado	Sobrecarrega serviços e muda composição populacional	Impacto tende a se manter ao longo da atividade	Migração altera a estrutura social de forma difícil de reverter	Se soma a pressões antrópicas já existentes na região
SC03	Aumento da violência e insegurança	3	-3	3	3	3	-81	-E	Expande redes de crime e conflito na região amazônica	Favorece domínio de facções armadas e conflitos diretos	Presença de facções pode se perpetua	Difícil reverter áreas dominadas por crime organizado	Atua em sinergia com outras ilegalidades da fronteira amazônica
SC04	Conflitos territoriais e socioambientais	3	-3	3	3	3	-81	-E	Conflitos com comunidades e povos indígenas são amplos	Confrontos armados, ameaças e expulsões de territórios	Conflitos persistem enquanto houver exploração	Dificilmente são resolvidos sem intervenção estatal	Se soma a outras disputas fundiárias e ambientais
SC05	Impactos sobre comunidades tradicionais	3	-3	3	3	3	-81	-E	Afeta diretamente modos de vida de populações tradicionais	Destruição de territórios de pesca, coleta e moradia	Impactos tendem a permanecer por gerações	Perda cultural e territorial é, em muitos casos, irreversível	Se soma a processos históricos de vulnerabilização
SC06	Patrimônio cultural e arqueológico	2	-2	3	3	2	-32	-C	Pode afetar sítios ainda não identificados	Destruição irreversível de vestígios arqueológicos	Sítios danificados não podem ser recuperados	Perda de valor cultural é irreversível	Se soma a ausência de inventários prévios na região
SC07	Estrutura de poder paralela e informalidade	3	-3	3	3	3	-81	-E	Estabelece redes paralelas de poder e comércio	Esvazia a autoridade do Estado e das lideranças locais	Impacto persiste enquanto houver operação ilegal	Difícil reversão sem repressão e ocupação institucional	Potencializa o ciclo de ilegalidades
EO01	Substituição de atividades sustentáveis	3	-3	3	3	3	-81	-E	Afeta economicamente as comunidades com forte perda de base produtiva tradicional	Desloca e inviabiliza a continuidade de atividades sustentáveis	Afetações persistem após o fim da atividade	Difícil recuperação das cadeias produtivas substituídas	Soma-se a outras atividades degradantes na região
EO02	Aumento nos preços locais e inflação	2	-2	3	3	3	-36	B	Elevação de preços em centros ribeirinhos com grande circulação garimpeira	Desestrutura a economia local, criando inflação pontual e desigualdade	Efeito persiste mesmo após fim das atividades	Não há controle direto sobre os preços	Soma-se a outros fluxos externos não regulados
EO03	Empregos e informalidade	3	-3	3	3	3	-81	-E	Alta atratividade da mão de obra informal na região	Precarização e risco de trabalho análogo à escravidão	Persistência de relações de trabalho irregulares	Dificuldade de reintegração em mercados formais	Reforça dinâmicas econômicas já existentes
EO04	Evasão fiscal e perda de arrecadação	3	-3	3	3	3	-81	-E	Prejuízo direto à arrecadação em várias esferas públicas	Alto volume de ouro não declarado e não tributado	Ausência fiscal é contínua	Não há como recuperar tributos não recolhidos	Potencializa desfinanciamento público com outras ilegalidades
EO05	Pressão sobre infraestrutura local	2	-2	3	3	3	-36	-D	Demanda por saúde, moradia e transporte aumenta drasticamente	Desorganiza a rede de serviços locais	Demanda continua mesmo com fim da atividade	Difícil reorganização dos serviços	Somado à precariedade estrutural existente
EO06	Corrupção e facilitação ilegal	3	-3	3	3	3	-81	-E	Altamente dependente de esquemas ilegais para operar	Favorece redes ilícitas e enfraquece instituições	Redes ilegais se mantêm	Difícil extinção das práticas associadas	Potencializa outras formas de corrupção regional
EO07	Economia paralela e lavagem de dinheiro	3	-3	3	3	3	-81	-E	Fomenta circuito de ouro e recursos fora do controle estatal	Base da economia ilegal local e regional	Sistema informal é mantido por anos	Praticamente irreversível na prática	Somado a outros mercados ilegais da região
EO08	Volatilidade econômica e dependência	2	-2	3	3	3	-36	-D	Afeta economia local com ciclos instáveis de entrada e saída de recursos	Gera dependência e instabilidade econômica	Impacto se prolonga com saída repentina da atividade	Regiões tendem a não se recuperar facilmente	Somado à falta de alternativas

Fonte: Autora (de acordo com Pastakia e Jensen, 1998), 2025.

Figura 36 - Avaliação de impacto com cenário geral de todas as componentes comparativos dos dois cenários (garimpo ilegal e garimpo legalizado).

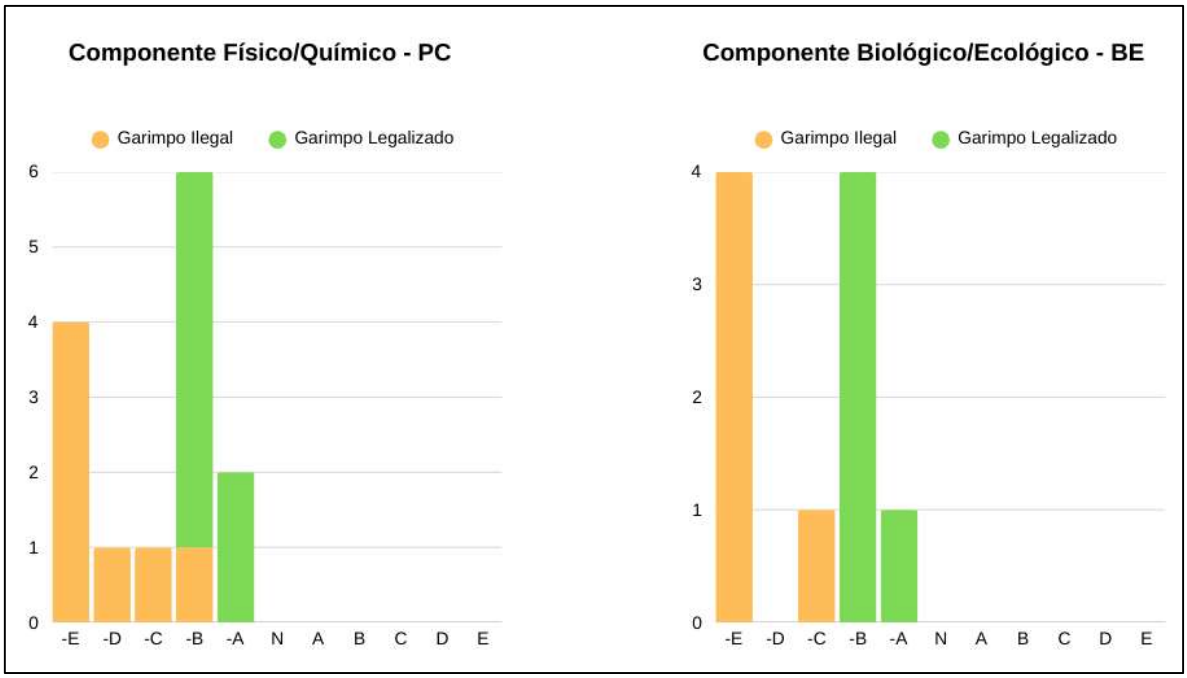


Legenda

Código	Descrição
+A	Grandes mudanças/ Impacto positivo
+D	Mudanças significativas/ Impactos positivos
+C	Mudanças moderadas/ Impactos positivos
+B	Mudanças/ Impactos positivos
+A	Mudanças incipientes/ Impactos positivos
N	Sem mudança da situação atual
-A	Mudanças incipientes/ Impactos negativos
-B	Mudanças/ Impactos negativos
-C	Mudanças moderadas/ Impactos negativos
-D	Mudanças significativas/ Impactos negativos
-E	Grandes mudanças/ Impacto negativos

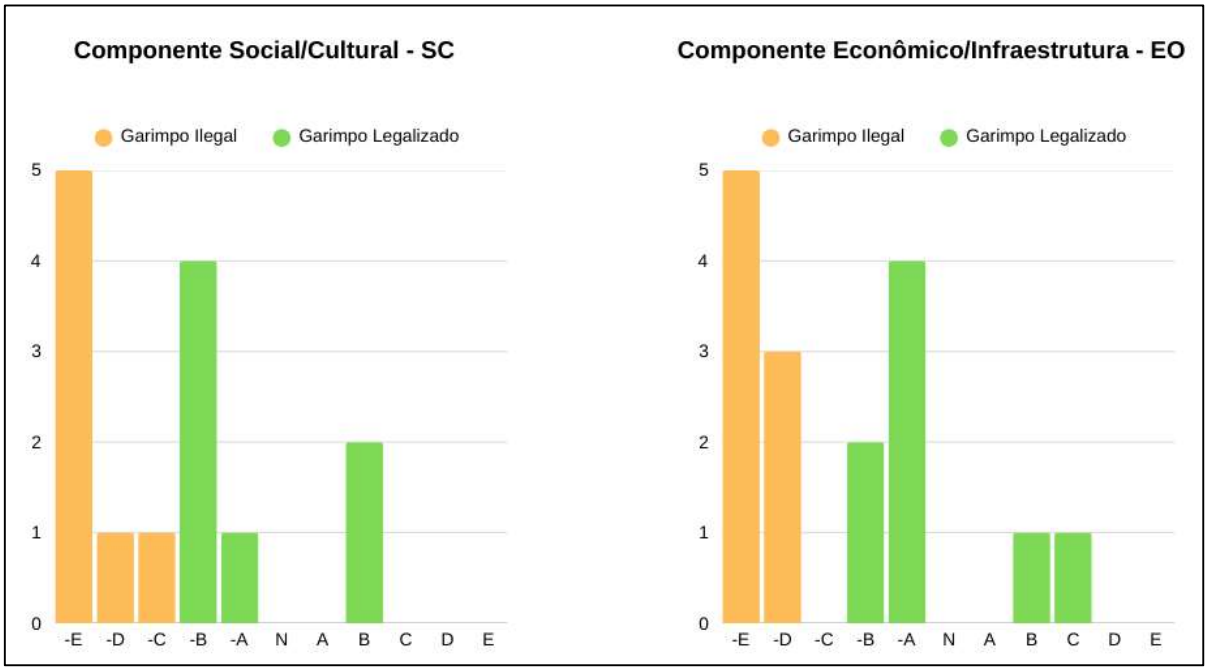
Fonte: Autora, 2025.

Figura 37 – Avaliação de impacto ambiental dos componentes físico/químico e biológico/ecológico para os dois cenários (garimpo ilegal/garimpo legalizado).



Fonte: Autora, 2025.

Figura 38 - Avaliação de impacto ambiental dos componentes social/cultural e econômico/infraestrutura para os dois cenários (garimpo ilegal/garimpo legalizado).



Fonte: Autora, 2025.

De acordo com o exposto nas figuras 36 a 38 a avaliação dos quatros componentes (físico/químico, biológico/ecológico, social/cultural e econômico/infraestrutura) no cenário de garimpo ilegal apresentou resultados com classificação do impactos nas categorias “-E” (grandes mudanças/impactos negativos), “-D” (mudanças significativas/impactos negativos), “-C” (mudanças moderadas/impactos negativos) e “-B” (mudanças/impactos negativos), que são resultados de maiores valores negativos, estando 64% das componentes avaliada na “-E” que é a última escala negativa. Enquanto no cenário hipotético de garimpo legalizado, as avaliações apresentaram-se nas categorias “-B” (mudanças/impactos negativos), “-A” (mudanças incipientes/impactos negativos), “+B” (mudanças/impactos positivos) e “+C” mudanças moderadas/impactos positivos, com 82% classificadas nos campos negativos mais brandos com mudanças incipientes e também apresentando 18% com impactos positivos. Indicando que ambos cenários os impactos foram negativos, porém quando comparados o garimpo ilegal apresentou avaliações negativas.

A comparação entre os cenários de garimpo ilegal e garimpo legalizado ao longo do rio Madeira revela contrastes expressivos nos impactos ambientais e socioeconômicos associados a cada modelo de exploração. No cenário ilegal,

observa-se uma concentração de impactos severamente negativos em quase todas as componentes analisadas, com destaque para os elementos físico-químicos e biológicos/ecológicos. Parâmetros como qualidade da água (PC01), solo/sedimentos (PC02) e fauna aquática (BE02) apresentaram pontuações ES extremamente baixas (-E | Grandes Mudanças/Impactos Negativos), refletindo o caráter descontrolado e poluente da atividade ilegal, especialmente devido ao uso indiscriminado de mercúrio e à ausência de qualquer medida de contenção ou recuperação ambiental.

Do ponto de vista social e econômico, o garimpo ilegal gera efeitos prejudiciais, como o agravamento de conflitos com comunidades locais, precarização das condições de trabalho e impacto sobre atividades sustentáveis alternativas, como a pesca e o turismo. Embora esse modelo possa gerar renda rápida para alguns grupos, os danos coletivos superam largamente os benefícios de curto prazo.

Já no cenário simulado de garimpo legalizado, os impactos são menores, com pontuações ES próximas de neutras ou levemente negativas na maioria dos componentes. Isso demonstra o potencial de mitigação por meio de técnicas mais adequadas de operação, controle de efluentes, uso de tecnologias limpas, e cumprimento de exigências legais como Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), gestão de resíduos e salvaguardas à biodiversidade. O componente econômico apresenta até mesmo sinais positivos (EI03), sugerindo que a legalização pode contribuir para maior estabilidade, arrecadação fiscal e desenvolvimento local mais estruturado.

A diferença de impacto entre os cenários é drástica. A ausência de licenciamento intensifica impactos permanentes, irreversíveis e cumulativos. No cenário legalizado, embora os impactos existam, são reduzidos, monitoráveis e mitigáveis.

Ao final da análise dos impactos nos dois cenários propostos, torna-se impossível ignorar o aspecto humano e social que permeia a atividade garimpeira. Para muitos, o garimpo representa mais do que um meio de subsistência, é parte da identidade, da cultura e do orgulho de uma classe trabalhadora historicamente marginalizada. Esse sentimento é visivelmente expresso em manifestações públicas (figura 39), como a de balsas com faixas que diziam: “Queremos solução, não pressão”, “Não somos bandidos, só queremos o direito de trabalhar”. Essas

mensagens reforçam o apelo por reconhecimento, dignidade e, sobretudo, por caminhos viáveis de legalização e orientação técnica.

Apesar dos impactos ambientais associados à prática do garimpo, especialmente no modelo ilegal, os resultados da avaliação apontam que a legalização acompanhada de medidas de gestão adequadas tem o potencial de reduzir significativamente a magnitude dos efeitos negativos. Nesse sentido, mais do que criminalizar, é preciso integrar os garimpeiros a uma lógica de manejo responsável e sustentável, construindo alternativas que respeitem o meio ambiente sem apagar a importância social da atividade.

Figura 39 – Fotografias de protestos com faixas de equipamentos de garimpo no rio Madeira.



Fonte: Agência Cenarium, 2022.

5.6 Valoração dos Impactos do Garimpo

Devido à natureza do estudo não ser de um período contínuo específico de mapeamento e depender da disponibilidade de imagens de satélites nas plataformas, optou-se por uma abordagem conservadora para valoração dos impactos do garimpo fluvial, conduzindo assim a aplicação dos parâmetros mínimos e mais conservadores possíveis a fim de garantir a precisão e evitar superestimações.

Considerando a metodologia conservadora definida os dados utilizados na calculadora foram padronizados nos menores parâmetros possíveis, de acordo com essas considerações:

- **Equipamentos Observados:** Quando um equipamento (por exemplo, uma draga) foi identificado em um mapeamento de satélite, a operação desse equipamento foi registrada considerando que ele tenha operado apenas no dia específico em que foi observado, mesmo que exista a possibilidade de operação em outros dias não detectados. Esse método evita a atribuição de dias adicionais de operação sem a confirmação direta.
- **Potência dos Motores:** Para os equipamentos observados, foi adotado um valor padrão e conservador, considerando a potência mínima geralmente associada ao tipo de equipamento observado, para reduzir a possibilidade de extrapolação, o valor padrão mínimo indicado pela Calculadora é de 35cv, que foi o valor adotado para todos os equipamentos.
- **Dados considerados:** foram considerados exclusivamente os alvos confirmados a partir da análise multitemporal de imagens ópticas disponíveis na plataforma Google Earth. Embora as imagens SAR tenham permitido a identificação preliminar de diversos alvos com alta probabilidade de serem dragas de garimpo, a classificação destes ficou como provável, logo, optou-se por uma abordagem fundamentada na possibilidade de confirmação empírica, alinhada à natureza precaucionaria da mensuração de danos. Embora obteve-se uma classificação confirmada na área do Rosarinho em Autazes em 2021, este também não foi considerada devida a impossibilidade de contabilizar de maneira coerente o número de equipamentos vistos as particularidades da imagem SAR.
- **Considerações sobre uso de retorta:** Devido à limitação das imagens, não foi possível identificar com precisão a presença ou ausência de retorta (equipamento utilizado para recuperar o mercúrio durante o processo de extração do ouro), equipamento fundamental para o processamento do mercúrio e ouro. Assim, para garantir uma estimativa conservadora e segura, assumiu-se que todas as embarcações utilizam retorta em operação.
- **Unidade de análise utilizada:** A calculadora permite que os dados de entrada sejam inseridos de duas formas principais, por quantidade de balsas por ano

e quantidade de ouro produzido em gramas. No entanto, durante a aplicação prática da calculadora, constatou-se que a conversão de balsas dia (dado obtido) em balsa ano resultou em número fracionado, não aceito pela calculadora. Logo, optou-se por converter a quantidade de balsas dia por gramas de ouro produzidas. Para isso adotou-se uma produtividade média de 7g de ouro por balsa, valor compatível com equipamentos operando com motores menores de 35cv (potência mínima), de acordo com o manual metodológico da calculadora a média produção de 2.577 g/ano o que convertendo obtém-se 7g/dia. O manual metodológico foi construído os dados a partir de levantamentos em literatura existentes.

Essa abordagem conservadora visa reduzir os riscos de sobrestimação dos impactos ambientais e garantir que os resultados estejam dentro de uma margem de segurança, proporcionando uma avaliação mais confiável e cautelosa. Para melhor transparência e demonstração dos dados utilizados na calculada a tabela 12.

Tabela 12 - Critérios e parâmetros utilizados na Calculadora de Impactos de Garimpo.

CRITÉRIOS	PARÂMETROS UTILIZADOS
Impactos médios ou específicos?	Impactos Gerais Médios
Tipo de Garimpo?	Balsa
Unidade de análise?	Quantidade de ouro
Uso de retorta?	Sim
Gramas de ouro?	7g por balsa/dia
Hipóteses de valores?	Conservador (valores médios)
Usos da calculadora	Estimar valores de danos ambientais para apoiar a definição de compensação e indenizações
Inflação acumulada desde janeiro de 2022 (%)	17% (site oficial)

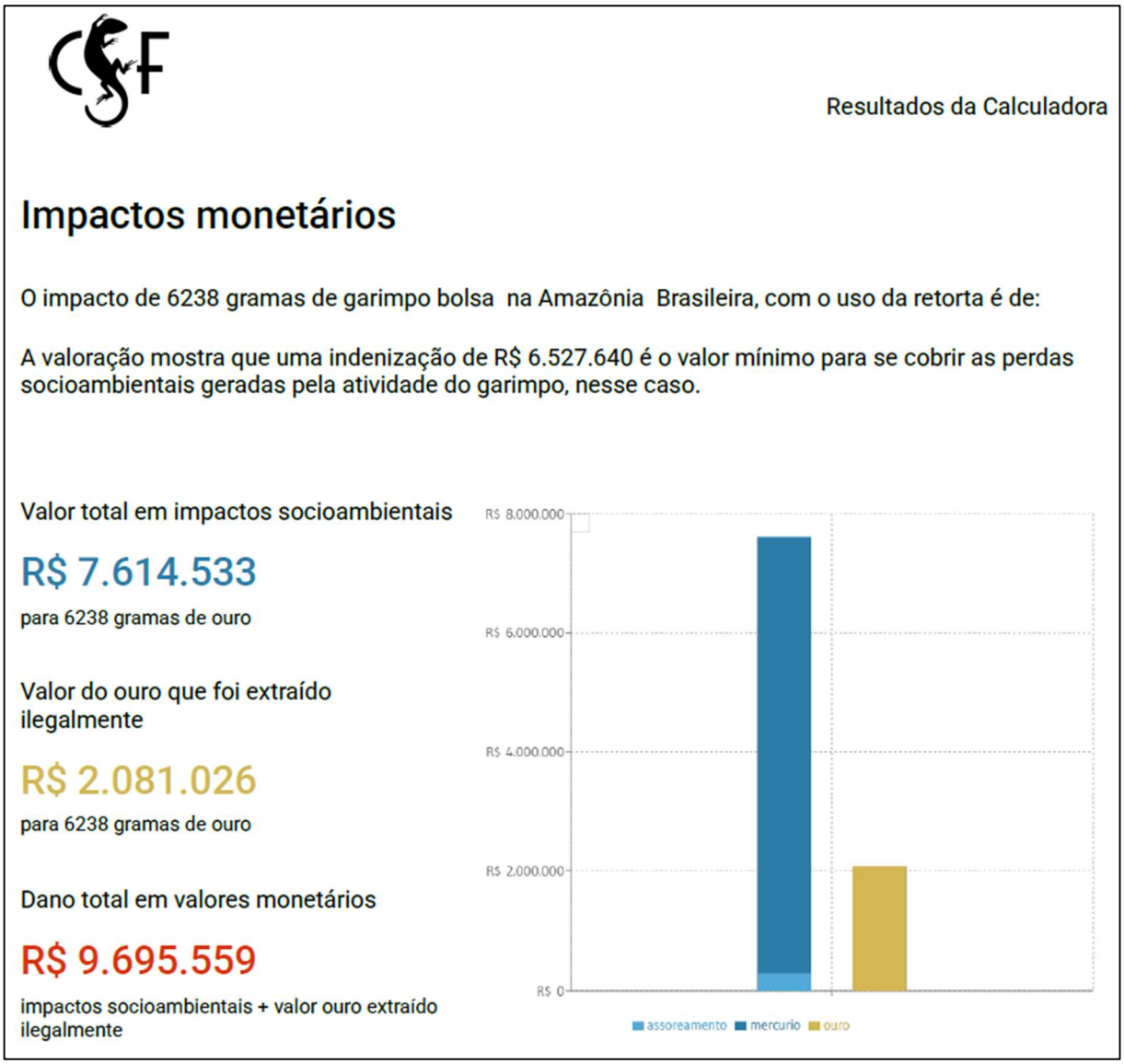
Fonte: Autora com base na Calculadora da CSF, 2025.

5.6.1 Valoração de impactos de Garimpo na área de estudo

Com base no mapeamento por imagens de satélite óptica do Google Earth com validação visual, foram identificados 601 equipamentos de garimpo fluviais no munícipio de Humaitá, 197 em Manicoré, 30 em Novo Aripuanã e 63 em Borba, no Amazonas, em períodos específicos de 2021 a 2024 (figura 21). Contudo totalizando 891 equipamentos mapeados.

De acordo com os parâmetros definidos para unidade de uso na calculadora, foi multiplicado a quantidade de balsa/dia (891) pela produção de ouro/dia definido como padrão conservador por 7g/dia, totalizando 6.238 g de ouro produzida

Figura 40 - Resultados da Calculadora - Impactos Monetários.



Fonte: Autora com base na Calculadora da CSF, 2025.

Os impactos monetários (figura 40) apresentaram o valor de R$ 7.614.533,00 (sete milhões, seiscentos e quatorze mil, quinhentos e tinta e três reais) para impactos socioambientais, divididos em R$ 290.119,00 (duzentos e noventa mil, cento e dezenove reais) com assoreamento e R$ 7.324.414,00 (sete milhões, trezentos e vinte e quatro mil, quatrocentos e quatorze reais) com mercúrio. Além de R$ 2.081.026,00 (dois milhões, oitenta e um mil, vinte e seis reais) do valor do ouro que foi extraído ilegalmente levando em consideração que não há nenhuma operação com licenciamento ambiental na região.

A calculadora também ilustra de forma clara (figura 41) o ciclo de assoreamento dos rios causado pela extração de ouro. A extração de 6.238 gramas

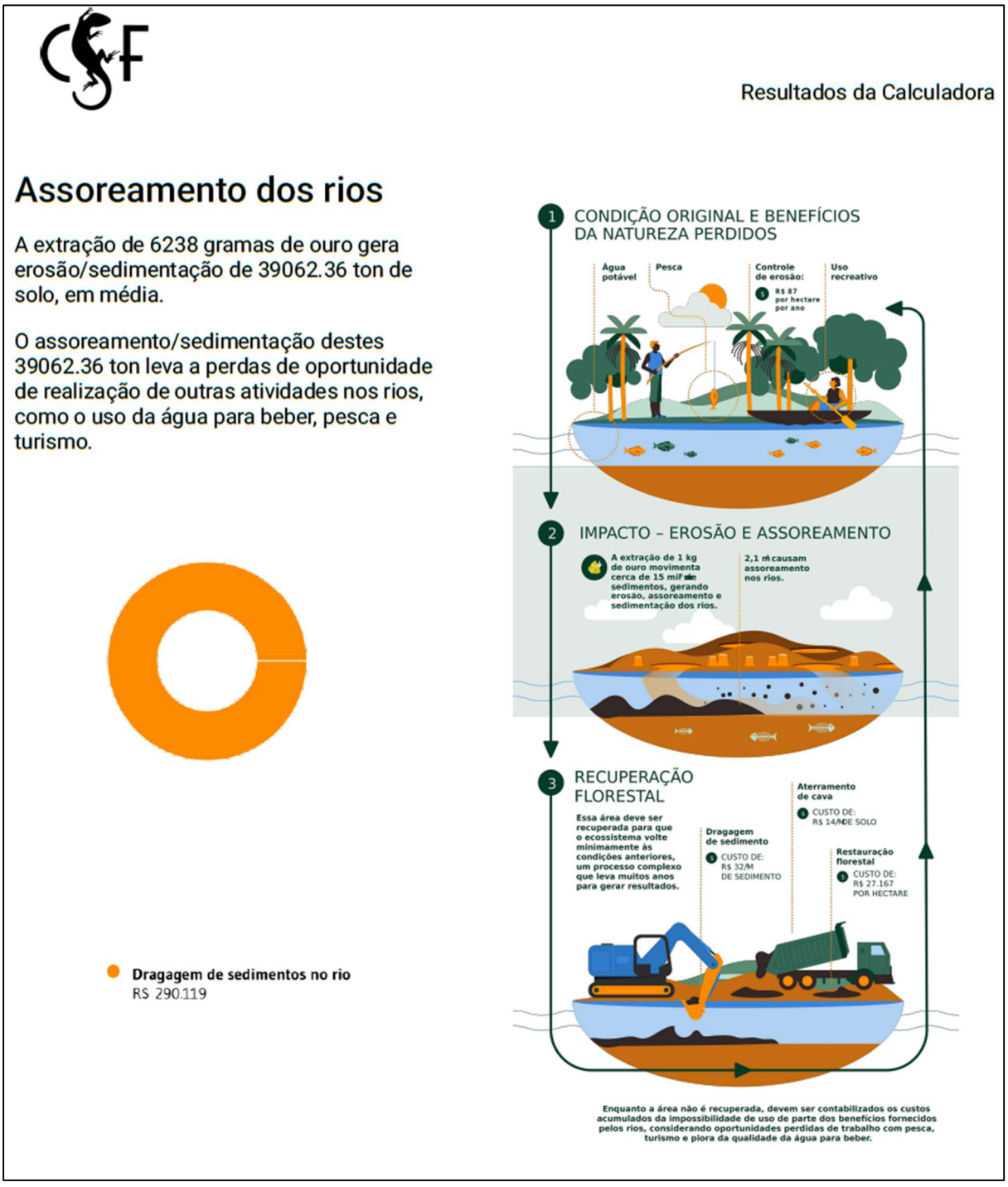
de ouro resulta na sedimentação média de 39.062,36 toneladas de material, provocando erosão e assoreamento que comprometem os benefícios naturais do rio, como o uso da água para consumo, pesca e turismo. A perda da condição original do ambiente fluvial impacta a biodiversidade e a qualidade de vida das comunidades locais.

Com base nos resultados gerados pela Calculadora de Impactos do Garimpo Ilegal de Ouro, é possível observar a gravidade da contaminação por mercúrio decorrente da atividade garimpeira (Figura 42). Para cada 1 kg de ouro extraído, são utilizados em média 2,6 kg de mercúrio, dos quais aproximadamente 13% são descartados nos cursos d'água. Desse total, cerca de 3% sofrem metilação, transformando-se em compostos ainda mais tóxicos, que são absorvidos pela biota aquática, especialmente peixes, e podem se dispersar por até 2.000 km na bacia hidrográfica.

Mesmo utilizando um raio de dispersão conservador de 100 km, estima-se que 188.495 pessoas estejam expostas a riscos aumentados de saúde devido ao contato direto ou indireto com o mercúrio proveniente do garimpo. Os impactos à saúde pública são significativos: há evidências de perda de QI em fetos, com valor monetário estimado em R$ 73.421 (setenta e três mil e quatrocentos e vinte e um reais), além de doenças cardiovasculares, que representam um custo estimado de R$ 7.250.993 (sete milhões, duzentos e cinquenta mil, novecentos e noventa e três reais), conforme demonstrado na Figura 42.

Adicionalmente, observa-se que garimpeiros ilegais apresentam 35% mais chance de desenvolver problemas neurológicos, e até 25% das crianças nascidas em comunidades expostas ao mercúrio apresentam redução de QI superior a dois pontos. A população contaminada também tem probabilidade 69% maior de errar um teste de memória em comparação com populações não expostas. Esses dados evidenciam os efeitos persistentes e cumulativos da exposição ao mercúrio, que transcendem os danos ambientais e se manifestam como um grave problema de saúde coletiva.

Figura 41 - Resultados da Calculadora - Assoreamento dos rios



Fonte: Autora com base na Calculadora da CSF, 2025.

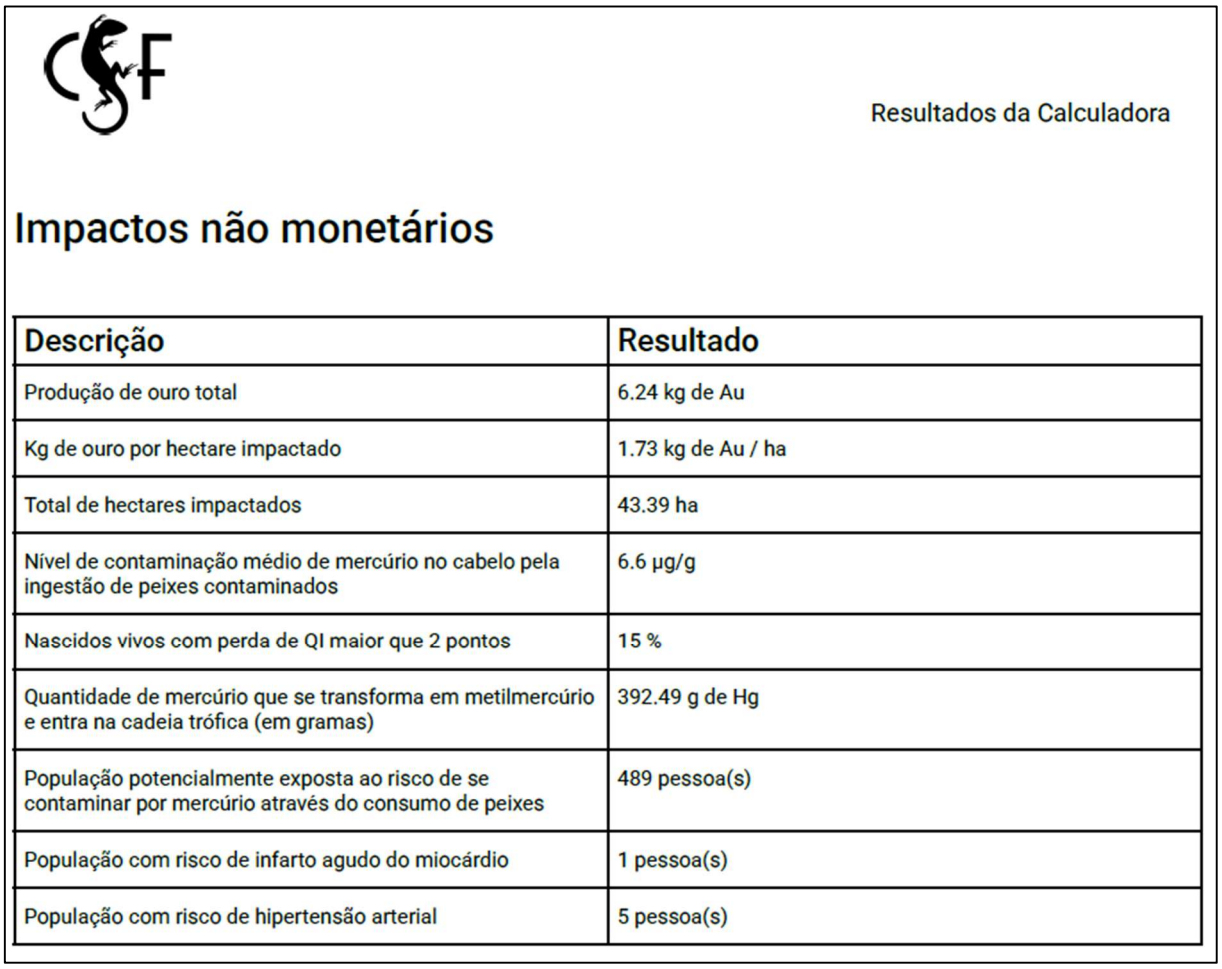
Figura 42 – Resultados da Calculadora – Contaminação por mercúrio



Fonte: Autora com base na Calculadora da CSF, 2025.

Os impactos não monetários estimados a partir da simulação com a Calculadora de Impactos do Garimpo Ilegal de Ouro (Figura 43) reforçam os riscos socioambientais associados à atividade garimpeira. A produção total estimada foi de 6,24 kg de ouro, resultando em um impacto direto sobre 43,39 hectares de área, com produtividade média de 1,73 kg de ouro por hectare.

Figura 43 - Resultados da Calculadora - Impactos não monetários



Resultados da Calculadora

Impactos não monetários

Descrição	Resultado
Produção de ouro total	6.24 kg de Au
Kg de ouro por hectare impactado	1.73 kg de Au / ha
Total de hectares impactados	43.39 ha
Nível de contaminação médio de mercúrio no cabelo pela ingestão de peixes contaminados	6.6 µg/g
Nascidos vivos com perda de QI maior que 2 pontos	15 %
Quantidade de mercúrio que se transforma em metilmercúrio e entra na cadeia trófica (em gramas)	392.49 g de Hg
População potencialmente exposta ao risco de se contaminar por mercúrio através do consumo de peixes	489 pessoa(s)
População com risco de infarto agudo do miocárdio	1 pessoa(s)
População com risco de hipertensão arterial	5 pessoa(s)

Fonte: Autora com base na Calculadora da CSF, 2025.

A contaminação por mercúrio apresenta níveis alarmantes, sendo estimado um valor médio de 6,6 µg/g de mercúrio no cabelo das pessoas que consomem peixes contaminados. Isso representa um risco substancial à saúde pública, especialmente em populações ribeirinhas e dependentes da pesca. Aproximadamente 15% dos nascidos vivos nas regiões afetadas podem apresentar perda de QI superior a dois

pontos, o que tem implicações diretas no desenvolvimento cognitivo das novas gerações.

A quantidade de mercúrio que se transforma em metilmercúrio e entra na cadeia trófica foi estimada em 392,49 g, reforçando os riscos persistentes da bioacumulação. Como consequência, 489 pessoas estariam potencialmente expostas à contaminação por meio do consumo de pescado.

Além dos efeitos neurológicos, também foram estimados riscos cardiovasculares associados: uma pessoa com risco elevado de infarto agudo do miocárdio e cinco pessoas com risco aumentado de hipertensão arterial, conforme os modelos de exposição adotados. Esses dados indicam que, mesmo em escala local, os danos à saúde humana são mensuráveis e devem ser considerados nos processos de tomada de decisão e licenciamento ambiental.

5.7 Análise integrada dos dados e discussão das abordagens ambientais

A análise integrada dos dados levantados ao longo desta pesquisa mostra uma realidade preocupante sobre os impactos causados pelo garimpo de ouro ilegal no rio Madeira. O uso combinado das imagens de satélite (ópticas e de radar), da Matriz de Avaliação Rápida de Impactos (RIAM) e da Calculadora de Impactos Ambientais permitiu uma compreensão mais completa da situação. Os resultados mostraram que o garimpo ilegal não acontece de forma isolada e esporádica, mas de maneira estruturada e contínua em várias áreas da região. Mesmo após diversas operações de fiscalização, como as operações Uiara, Lex Et Ordo e Draga Zero, os equipamentos voltam a aparecer na mesma região, o que mostra que as operações, quando realizadas de forma pontual e isolada, não têm sido suficientes para resolver o problema.

O cenário atual da mineração legal no rio Madeira (Amazonas) revela um exemplo emblemático da sobreposição de competências administrativas, da fragilidade de critérios técnicos de licenciamento e da constante tensão entre os interesses econômicos e a preservação ambiental. Como já discutido por Acselrad, Mello & Bezerra (2009), o sistema ambiental brasileiro, embora tenha sido criado para fortalecer a proteção ambiental, muitas vezes se mostra frágil justamente por causa da falta de articulação entre os diferentes níveis de governo. Essa situação indica a

necessidade urgente de aprimoramento na governança ambiental integrada, com maior clareza normativa, articulação interinstitucional e previsibilidade regulatória, especialmente em áreas ambientalmente sensíveis e socialmente vulneráveis, como é o caso da calha do rio Madeira no estado do Amazonas. Pois, a falta de regras claras e o desencontro de informações entre os órgãos contribuem para que atividades ilegais se mantenham ativas.

Além disso, observa-se uma tensão normativa entre a legislação federal e a realidade socioeconômica e territorial da Amazônia. As normas que regulamentam os regimes minerários e o uso das áreas, embora de alcance nacional, nem sempre consideram as especificidades da ocupação tradicional, da mobilidade dos garimpeiros, ou da dinâmica hídrica e comunitária dos rios amazônicos. Como resultado, surgem distorções na distribuição do direito de acesso às áreas para exploração pelos moradores locais, concentrando poder decisório e jurídico em poucas entidades cooperadas em detrimento de arranjos mais comunitários ou familiares.

O uso de ferramentas como o Google Earth Pro e o acesso às imagens do satélite Sentinel-1, ambos de acesso gratuito, representaram um grande avanço na obtenção de dados em uma região tão extensa e de difícil acesso como o rio Madeira. A gratuidade dessas plataformas é um fator positivo, pois permite que pesquisadores, órgãos de fiscalização e até comunidades locais possam acessar informações atualizadas sobre a atividade garimpeira. No entanto, é importante destacar que essas ferramentas apresentam limitações técnicas e de disponibilidade de imagens que precisam ser consideradas. No caso das imagens ópticas, por exemplo, a cobertura frequente de nuvens na região amazônica pode dificultar a visualização em determinados períodos do ano. Já as imagens de radar, apesar de úteis em condições climáticas adversas, exigem maior conhecimento técnico para processamento e interpretação, e ainda assim podem gerar confusão entre embarcações de carga, balsas residenciais e dragas de garimpo, como apontado na validação cruzada realizada neste estudo.

A aplicação da matriz RIAM foi fundamental para comparar os dois cenários avaliados: o do garimpo ilegal e o de um possível garimpo legalizado. O primeiro apresentou a maioria dos impactos classificados como negativos graves, enquanto o

segundo mostrou uma melhora significativa em todos os aspectos analisados. Ou seja, a legalização acompanhada de exigências ambientais e controle pode ajudar a reduzir os danos ao meio ambiente.

Com a estimativa realizada de valoração econômica dos impactos ambientais neste estudo, estimou-se que os prejuízos causados pelo garimpo ilegal no período analisado chegam a mais de R$ 7,6 milhões, considerando tanto os danos ambientais quanto os prejuízos econômicos relacionados ao uso indevido dos recursos naturais. Esse tipo de avaliação é essencial porque permite que os custos ambientais sejam levados em conta nas decisões públicas e nas políticas de fiscalização. Como já defendiam Pearce e Turner (1990), dar um valor econômico ao que se perde ambientalmente é uma forma de responsabilizar quem causa os danos e de orientar melhor as escolhas de uso dos recursos.

Por fim, é importante destacar que o objetivo desta discussão não é condenar o garimpo como forma de sustento, mas sim criticar a forma como ele vem sendo praticado. Muitos garimpeiros atuam em situação de vulnerabilidade social e dependem dessa atividade para sua subsistência. Além disso, o garimpo faz parte da identidade e da cultura de muitas comunidades amazônicas. Como mostram autores como Massaro (2022) e Mendes et al. (2022), é possível encontrar entre esses trabalhadores um sentimento de orgulho e resistência. Por isso, políticas públicas mais inclusivas, com oferta de capacitação, incentivo ao uso de tecnologias mais seguras e apoio técnico, podem ser um caminho para tornar a atividade mais justa e menos destrutiva para o meio ambiente.

Contudo, o uso de tecnologias de monitoramento, ferramentas de análise ambiental e o conhecimento sobre a realidade da região pode contribuir muito para enfrentar os desafios do garimpo de ouro no rio Madeira. No entanto, é preciso que essas ferramentas venham acompanhadas de políticas públicas mais eficientes, socialmente sensíveis e sustentadas por uma governança ambiental articulada. É justamente a união entre ciência, gestão e justiça social que pode construir alternativas viáveis e sustentáveis.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação desenvolvida ao longo desta pesquisa evidenciou que o garimpo fluvial de ouro no rio Madeira (AM) configura-se como um processo estruturado, persistente e disseminado em larga escala, com implicações ambientais, sociais e institucionais de elevada complexidade.

A diversidade técnica e estrutural dos equipamentos observados, que variam de balsinhas artesanais a dragas de grande porte, associada à ausência de controle ambiental (como manejo no uso de mercúrio, assoreamento do leito do rio e emissões atmosféricas) reforça o potencial poluidor da atividade.

A aplicação combinada de técnicas de sensoriamento remoto, análises de impactos por meio da Matriz RIAM e valoração econômica com base em parâmetros conservadores permitiu cumprir integralmente os objetivos traçados.

O mapeamento detalhado da atividade ao longo de 700 km do leito principal do rio, entre 2021 e 2024, revelou um padrão sistemático de ocupação e reincidência, mesmo após operações de fiscalização. Ao combinar os dados espaciais com o contexto normativo e os aspectos técnicos da operação garimpeira, foi possível demonstrar que os danos ambientais extrapolam o meio físico, alcançando a saúde pública, o funcionamento dos ecossistemas e a vulnerabilidade social das comunidades ribeirinhas.

A comparação entre os cenários de garimpo ilegal e legalizado mostrou que, embora o garimpo de ouro fluvial seja por natureza impactante, há margem para mitigação de danos quando submetida a exigências técnicas e controle institucional, promovendo o controle ambiental da atividade. O cenário atual apresentou 64% dos componentes classificados com impactos severos (“-E”), enquanto o cenário legalizado demonstrou 82% de impactos menos intensos, incluindo 18% com potencial positivo. Essa diferença confirma que, embora o garimpo seja uma atividade intrinsecamente impactante, seus danos podem ser significativamente mitigados mediante regulamentação, práticas adequadas e monitoramento ambiental.

Contudo, a manutenção do modelo predominante informal, associado a falhas na articulação entre as esferas federal e estadual, dificulta a efetividade das ações de ordenamento territorial e ambiental da região. A governança sobre a atividade

garimpeira ainda é frágil e fragmentada, com lacunas legais, sobreposição de competências e limitada rastreabilidade das operações.

A valoração econômica dos impactos, mesmo baseada em parâmetros conservadores e em apenas quatro datas pontuais (aproximadamente 0,27% do período total analisado), estimou mais de R$ 7,6 milhões em danos socioambientais e R$ 2 milhões referentes ao valor do ouro extraído ilegalmente. Os efeitos à saúde humana, como riscos neurológicos e cardiovasculares, também foram evidenciados, atingindo centenas de pessoas potencialmente expostas à contaminação por mercúrio.

Ao evidenciar os custos ambientais “invisíveis” e estimar economicamente os danos gerados, esta pesquisa fornece uma abordagem técnica que pode subsidiar decisões de política pública, demonstrando que o combate ao garimpo ilegal apenas com repressão pontual é limitado. O controle socioambiental da atividade exige políticas sustentáveis, ações articuladas, políticas públicas mais eficazes, investimentos em tecnologias mais seguras e reconhecimento das dinâmicas socioculturais locais.

Dessa forma, espera-se que esta pesquisa contribua para o debate técnico e institucional sobre o ordenamento da atividade garimpeira, estimulando soluções que conciliem desenvolvimento socioeconômico e a proteção ambiental da Amazônia. Consolidando modelos de regulação que integrem ciência, justiça social e monitoramento ambiental como base para alternativas viáveis à exploração mineral na Amazônia.

REFERÊNCIAS

ACSELRAD, Henri. MELLO, Cecilia C. A. BEZERRA, Gustavo N. **O que é justiça ambiental.** Rio de Janeiro: Garamond. 2009. 156p.

ADAMY, Amilcar. Dinâmica fluvial do rio Madeira. In: COSTA, Ricardo Gilson (Org.). **Porto Velho: cultura, natureza e território**. Porto Velho: Temática Editora; Edufro, 2016. p. 120-147. Disponível em: https://edufro.unir.br/uploads/08899242/ebooks/ebook%20porto_velho,_cultura,_natureza_e_territorio_17.10.16.pdf.

ALMEIDA-FILHO, Raimundo; SHIMABUKURO, Yosio E. Digital processing of a Landsat-TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon**. Remote Sensing of Enviornment**, v. 79, p. 42-50, 2002. DOI: https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00237-1.

ALMEIDA, Cláudia Maria de. Aplicação dos sistemas de sensoriamento remoto por imagens e o planejamento urbano regional**. arq.Urb,** (3), 98–123. 2010. Disponível em: https://revistaarqurb.com.br/arqurb/article/view/120/106.

AMAZONAS. Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas. **Transparência Técnica – Licenças Ambientais Concedidas**. Disponível em: https://www.ipaam.am.gov.br/transparencia-tecnica-licencas-ambientais-concedidadas/. Acesso em: 27 abr. 2025.

AMAZONAS. Conselho Estadual de Meio Ambiente – CEMAAM. **Resolução CEMAAM nº 11, de 9 de maio de 2012.** Estabelece procedimentos a serem observados no licenciamento ambiental para a atividade de lavra garimpeira de ouro no Estado do Amazonas. Diário Oficial do Estado do Amazonas, Manaus, AM, 15 jun. 2012a. Disponível em: https://ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/Res-CEMMAM-15-12-Licenciamento.pdf. Acesso em: 09 jun. 2025.

AMAZONAS. MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **Sentença judicial anula licenciamento ambiental de garimpo de ouro no rio Madeira.** Manaus: MPF, 2021. Disponível em: https://www.mpf.mp.br/am/sala-de-imprensa/docs/sentenca-acao-mpf-licenciamento-ipaam-garimpo-no-rio-madeira. Acesso em: 11 jun. 2025.

AMAZONAS. Conselho Estadual de Meio Ambiente – CEMAAM. **Resolução CEMAAM nº 14, de 18 de outubro de 2012.** Altera a Resolução CEMAAM nº 11, de 9 de maio de 2012, que estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental da atividade de lavra garimpeira de ouro no Estado do Amazonas. Diário Oficial do Estado do Amazonas, Manaus, AM, 22 out. 2012b. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=246312. Acesso em: 09 jun. 2025.

AMAZONAS. Secretaria de Estado de Energia, Mineração e Gás – SEMIG. **Quem somos**. Manaus: SEMIG, 2023. Disponível em: https://www.semig.am.gov.br/quem-somos/. Acesso em: 19 jun. 2025.

AMAZONAS. Secretaria de Estado de Energia, Mineração e Gás – SEMIG. **Pau-de-balsa: Projeto com planta nativa pode ser a solução para a mineração sustentável.** Manaus: SEMIG, 9 jul. 2024. Disponível em: https://www.semig.am.gov.br/pau-de-balsa-projeto-com-planta-nativa-pode-ser-a-solucao-para-a-mineracao-sustentavel/. Acesso em: 19 jun. 2025.

BAÍA JUNIOR, Pedro Chaves; MATHIS, Amin. Garimpos e unidades de conservação na Amazônia: uma década de experiências na região de itaituba, pará, brasil. In: PEZZUTI, Juarez; AZEVEDO-RAMOS, Claudia (org.). **Desafios Amazônicos:** série desenvolvimento e sustentabilidade. Belém: Naea, 2016. p. 329-356. Disponível em: https://www.livroaberto.ufpa.br/jspui/bitstream/prefix/755/1/Livro_DesafiosAmazonicos.pdf#page=329.

BAPTISTA, Gustavo M. M. PSISAR – Curso de Processamento de Imagens de Radar de Abertura Sintética. **Curso online. Hotmart.** Disponível em: https://pdisar.club.hotmart.com/login Acesso em: 19 jan. 2024.

BARBOSA FILHO, J. M. L. GOMES NETO, S. F. SOUSA JUNIOR, V. A. de. Aplicações em Radar: Uma Análise Prospectiva. In: VIII Fórum de Pesquisa e Inovação - Ciclo de Desenvolvimento e Operações Aeroespaciais, 2018, Parnamirim. **Anais do VIII Fórum de Pesquisa e Inovação**. Parnamirim: UFRN, 2018. p. 21-25. Disponível em: https://gppcom.ct.ufrn.br/wp-content/uploads/2018/10/Aplicacoes_em_Radar_Uma_Analise_Prospectiva.pdf. Acesso em: 21 de junho de 2023.

BATISTA, Daiane C. L. VIEIRA, Antônio F. S. G. MARINHO, Rogério R. Uso do "Google Earth Pro" no mapeamento de voçorocas na área urbana de Manaus (AM), Brasil. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 10, n. 20, p. 1-12, jan./abr. 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/54737/1/2018_art_dclbatista.pdf.

BUNKER, Stephen G. Modes of Extraction, Unequal Exchange, and the Progressive Underdevelopment of an Extreme Periphery: the brazilian amazon, 1600-1980. **American Journal Of Sociology**, [S.L.], v. 89, n. 5, p. 1017-1064, mar. 1984. University of Chicago Press. http://dx.doi.org/10.1086/227983.

BRANCHES, Daniella. **Nova operação da PF contra garimpo ilegal no rio Madeira destrói 34 balsas.** G1 Amazonas, 17 dez. 2021. Disponível em: https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2021/12/17/nova-operacao-da-pf-contra-garimpo-ilegal-no-rio-madeira-destroi-34-balsas.ghtml. Acesso em: 19 jun. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração – ANM. **Permissão de Lavra Garimpeira. Brasília**, DF: ANM, 2025a. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/exploracao-mineral/regimes-de-exploracao-mineral/permissao-de-lavra-garimpeira. Acesso em: 09 jun. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração – ANM. **Painel interativo observatório da CFEM – ANM.** Dado consultado: processos ativos de ouro no município de Jutaí (AM). [Power BI]. Brasília, DF: ANM, 2025b. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZDA5NGMyYmYtOWQyMi00NzA1LWFhOTQtNmU5NjEyMTI3ZDMxIiwidCI6ImEzMDgzZTIxLTc0OWItNDUzNC05YWZhLTU0Y2MzMTg4OTdiOCJ9&pageName=ReportSection7a43f884dc43352e5953. Acesso em: 19 jun. 2025.

BRASIL, Congresso-Senado. Lei nº 11685, de 02 de junho de 2008. Institui o Estatuto do Garimpeiro e dá outras providências. **Lei N° 11.685**. 1. ed. Brasília, 2008. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/l11685.htm.

BRASIL. **Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018.** Regulamenta o Código de Mineração (Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967). Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 13 jun. 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9406.htm. Acesso em: 10 jun. 2025.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. **Portaria nº 155, de 12 de maio de 2016.** Aprova a Consolidação Normativa do DNPM e revoga os atos normativos consolidados. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 mai. 2016. Disponível em: https://anmlegis.datalegis.net/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&cod_menu=7909&cod_modulo=351&link=S&numeroAto=00000155&orgao=DNPM/MME&seqAto=000&tipo=POR&valorAno=2016. Acesso em: 12 jun. 2025.

BRASIL. Fundação Nacional dos Povos Indígenas. **Operação Prensa: FUNAI, PF e IBAMA desmontam esquema de garimpeiros que usavam indígenas para trabalho escravo.** Brasília, DF, 30 ago 2024. Disponível em: https://www.gov.br/funai/pt-br/assuntos/noticias/2024/funai-pf-e-ibama-destroem-100-balsas-de-garimpo-em-terras-indigenas-no-amazonas-e-desmontam-esquema-de-trabalho-escravo. Acesso em: 08 jan 2025.

BRASIL. **Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989.** Dispõe sobre o regime de permissão de lavra garimpeira e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 19 jul. 1989. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7805.htm. Acesso em: 01 jun. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Projeto estudo de garimpos brasileiros: subprojeto rio madeira.** Autor: Amilcar Adamy. Brasília: DNPM/CPRM, 1982. 28 p. (Relatório de atividades - 1° semestre). Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/3152/1/rel_garimpos_sub_rio_madeira.pdf.

BRASIL/MPF, Ministério Público Federal. **Mineração ilegal de ouro na Amazônia: marcos jurídicos e questões controversas.** Brasília: 4° Câmara de Coordenação e Revisão (Org.) 2020. 259 p. (Série Manuais de Atuação v. 7). Disponível em: https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/publicacoes/roteiros-da-4a-ccr/ManualMineraoIlegaldoOuronaAmazniaVF.pdf.

BRASIL. Polícia Federal. **PF combate atividade ilegal de ouro na calha do rio Madeira.** Brasília, DF, 30 nov. 2021. Disponível em: https://www.gov.br/pf/pt-br/assuntos/noticias/2021/12/pf-combate-atividade-ilegal-de-ouro-na-calha-do-rio-madeira. Acesso em: 18 jan 2024.

BRASIL. Polícia Federal. **PF inutiliza 302 balsas de garimpo ilegal em operação no Amazonas.** Brasília, DF, 02 set 2023. Disponível em: https://www.gov.br/pf/pt-br/assuntos/noticias/2023/09/pf-inutiliza-302-balsas-de-garimpo-ilegal-em-operacao-no-amazonas. Acesso em: 18 jan 2024.

CETEM/MCT, Centro de Tecnologia Mineral/ Ministério da Ciência e Tecnologia. **Tratamento de Minérios: práticas laboratoriais.** Ed. João Alves Sampaio, Silvia Cristina Alves França, Paulo Fernando Almeida Braga. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/544.

COELHO, Maria Célia; WANDERLEY, Luiz Jardim; COSTA, Reinaldo. Garimpeiros de Ouro e Cooperativismo no século XXI: Exemplos nos rios Tapajós, Juma e Madeira no Sudoeste da Amazônia Brasileira. **Revista franco-brasileira de geografia**, n. 33, 2017. DOI: https://doi.org/10.4000/confins.12445.

COSTA, Solange dos Santos. Vídeo-aula Processamento básico – Imagem de radar. Material didático compartilhado por e-mail pessoal. Manaus: Universidade Federal do Amazonas – UFAM, 2023. Não publicado.

CSF, Conservation Strategy Fund. **Mining Calculator – Calculadora de Impactos do Garimpo.** Disponível em: https://miningcalculator.conservation-strategy.org/calculator.

DIAS, Jean Carlos. **Elaboração de diagnósticos ambientais com apoio de imagens de radar sentinel-1: uma proposta de ensino-aprendizagem para cursos superiores relacionados ao meio ambiente.** 2020. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Ensino Tecnológico, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Manaus, 2020. Disponível em: http://repositorio.ifam.edu.br/jspui/bitstream/4321/422/1/Elaboracao%20diagnostico%20imagens%20Santinel-1_DIAS-2020.pdf.

DPI/INPE, Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Tutorial de Geoprocessamento: Introdução ao geoprocessamento.** Material de apoio do SPRING. Disponível em: https://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html. Acesso em: 01 nov. 2023.

DRUMMOND, José Augusto. Natureza rica, povos pobres? - Questões conceituais e analíticas sobre o papel dos recursos naturais na prosperidade contemporânea. **Ambiente & Sociedade**, [S.L.], n. 10, p. 45-68, jun. 2002. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/s1414-753x2002000100004.

FERREIRA, Otávio Bruno da Silva; JACOB, Valena. A permanência da escravidão nos garimpos do estado do Pará a partir da utilização de instrumentos estatais: a necessidade de fiscalização e controle eficientes. **Revista do Direito do Trabalho e Meio Ambiente do Trabalho**, Encontro Virtual, v. 7, n. 2, p. 38-54, 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.26668/IndexLawJournals/2525-9857/2021.v7i2.8235.

FONSECA, Dante Ribeiro da. O garimpo de ouro no rio Madeira durante a década de 1980 segundo a percepção de um garimpeiro. **Afros & Amazônicos**, [S.l.], v. 2, n. 4, p. 36-48, 15 dez. 2021. Disponível em: https://periodicos.unir.br/index.php/afroseamazonicos/article/view/6994.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica.** Fortaleza: UEC, 2002. Apostila. Disponível em: http://www.ia.ufrrj.br/ppgea/conteudo/conteudo-2012-1/1SF/Sandra/apostilaMetodologia.pdf.

G1 RONDÔNIA. **Em três dias, operação explode 121 dragas usadas no garimpo ilegal no rio Madeira.** G1 Rondônia – G1 RO, 14 out. 2022. Disponível em: https://g1.globo.com/ro/rondonia/natureza/amazonia/noticia/2022/10/14/sobe-para-121-numero-de-dragas-destruidas-em-operacao-contra-garimpo-ilegal-no-rio-madeira.ghtml. Acesso em: 10 out 2024.

GASPARINETTI, Pedro et al. **Metodologia de Valoração de Impactos do Garimpo Ilegal de Ouro na Amazônia**. Conservation Strategy Fund, Conservação Estratégica, Série Técnica, Edição 53. 2021. Disponível em: https://miningcalculator.conservation-strategy.org/assets/download/metodologia.pdf. Acesso em: 15. Out. 2024.

GIBBS, R. J. The Geochemistry of the Amazon River System: Part I. The Factors that Control the Salinity and the Composition and Concentration of the Suspended Solids. **SGA Bulletin**, v.78, p. 1203-1232, 1967. DOI: https://doi.org/10.1130/0016-7606(1967)78[1203:TGOTAR]2.0.CO;2.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos e pesquisa**. 3ª ed. São Paulo: Atlas; 1995.

GOMES, Marlon Bruno Barbosa. **"A SAGA DO OURO" – Avaliação das ocorrências por extração irregular de minérios na Bacia Hidrográfica Rio Madeira (RO).** 2016. 65 f. Monografia (Especialização) - Curso de Segurança Pública e Direitos Humanos, Departamento de Ciências Sociais, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2016. Disponível em: https://dspace.mj.gov.br/handle/1/8598.

GOMES, Viviane Pedroso. ARAÚJO, Maria do Socorro Bezerra de. GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano. Mudanças espaço-temporais no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Pontal a partir de dados referenciais do Google Earth Pro. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v. 14, n. 07, 2021. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.7.p4148-4160.

GOULDING, Michael. **Ecologia de pesca no Rio Madeira**. Manaus: CNPq/INPA, 1979. 172p.

HERRAIZ, Aurélio Diaz; SILVA, Maria de Nazaré Souza da. Diagnóstico socioambiental do extrativismo mineral familiar garimpo na calha do rio Madeira, em Humaitá, Amazonas. **Pegada - A Revista da Geografia do Trabalho**, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 202-226, 4 abr. 2015. Pegada Eletrônica. DOI: http://dx.doi.org/10.33026/peg.v16i2.3892.

HORBE, Adriana Maria Coimbra; QUEIROZ, Maria Mireide de Andrade; MOURA, Cândido Augusto Veloso; TORO, Marco Antonio Galarza. Geoquímica das águas do médio e baixo rio Madeira e seus principais tributários - Amazonas - Brasil. **Acta Amazônica,** [S.L.], v. 43, n. 4, p. 489-504, dez. 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/j/aa/a/zWpSYMk7RkdzQFnHQwG7Rkz/?format=pdf&lang=pt.

IORIS, Antônio Augusto Rossotto. Águas que não correm mais para o mar. **Interações**, Campo Grande, v. 9, n. 1, p. 9-17, jan/jun. 2008. Disponível em: https://interacoes.ucdb.br/interacoes/article/view/421/468.

KITAMURA, Paulo Choji. **A Amazônia e o desenvolvimento sustentável.** Brasília: Embrapa-Spi, 1994. 182 p.

KUITUNEN, M.; JALAVA, K.; HIRVONEN, K. Testing the usability of the Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM) method for comparison of EIA and SEA results. **Environmental Impact Assessment Review**, vol. 28, p. 312-320. 2008. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195925507000807. Acesso em: 06 de junho de 2023.

LAKATOS, Eva Maria. MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5° ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LI, W.; XIE, Y.; HAO, F. Applying na improved rapid impact assessment matrix method to strategic environmental assessment of urban planning in China. **Environmental Impact Assessment Review**. Vol 46, April 2014, p. 13-24. Doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2014.01.001.

LINHARES, Joiada Moreira da Silva; RODRIGUES, Wanderley Bastos; MARTA, José Manoel Carvalho. Exploração aurífera artesal e a migração de garimpos para o território rondoniense. **Fronteiras: Revista de História.** Dourados, v. 19, n. 33, p. 43-69, jun. 2017. Dossiê 11: migrações e fronteiras amazônicas. DOI: https://doi.org/10.30612/frh.v19i33.6764.

LINO, Adan Santos et al..Total and methyl mercury distribution in water, sediment, plankton and fish along the Tapajós River basin in the Brazilian Amazon. **Chemosphere**, v. 235, p. 690-700, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.212.

LOBO, Felipe de Lucia et al. Distribution of Artisanal and Small-Scale Gold Mining in the Tapajós River Basin (Brazilian Amazon) over the Past 40 Years and Relationship with Water Siltation. **Remote Sensing.** 2016. Disponível em: https://doi.org/10.3390/rs8070579. Acesso em: 05 jul. 2023.

LOBO, Felipe de Lucia, COSTA, Maycira P. F.; NOVO, Evlyn, M. L. M. Time-series analysis of Landsat-MSS/TM/OLI images over Amazonian waters impacted by gold mining activities. **Remote Sensing of Environment**, v. 157, p. 170-184, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.030.

LOPES, Edésio Elias. **Proposta Metodológica para Validação de Imagens de Alta Resolução do Google Earth para a Produção de Mapas**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/92563/276060.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

MACDONALD, Katherine. The Geopolitics of Gold in Northern Amazonia. **The Extractive Industries and Society**, v. 3, p. 659-668, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.exis.2016.02.012.

MALM, Olaf et al. An Assessment pf Hg pollution in diferente goldmining áreas, Amazon Brasil. **The Science of the Total Environment**, v. 175, p. 127-140. 1995. DOI: https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04909-6.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de. **Processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Unb/Cnpq, 2012. Disponível em: https://cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8. Acesso em: 15 de abril de 2023.

MONDAL, M. K.; RASHMI; DASGUPTA, B. V.. EIA of municipal solid waste disposal site in Varanasi using RIAM analysis. **Resources, Conservation and Recycling**. Vol, 54, p. 541 - 546. 2010. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344909002353. Acesso em: 06 de maio de 2023.

MARINHO, Rogério Ribeiro; RIBEIRO, Diogo Ferreira. Impactos do garimpo de ouro na Bacia do rio Amanã (AM-PA). **Revista Verde Grande**: geografia e interdisciplinaridade, v. 5, n. 2, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/373670149_IMPACTOS_DO_GARIMPO_DE_OURO_NA_BACIA_DO_RIO_AMANA_AM-PA.

MARRUGO-NEGRETE, J., PINEDO-HERNANDEZ, J., DÍEZ, S. Geoquímica do mercúrio em pântanos tropicais impactados pela mineração de ouro. **Quimosfera,** ed. 134, p. 44 e 51. 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/ j.chemosphere.2015.03.012.

MARTINS, Renata Kruger**. Divulgação Científica para a Conscientização Sobre a Exposição ao Mercúrio em Populações Indígenas e Ribeirinhas na Amazônia.** Trabalho de Conclusão do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2022. Disponível em: http://hdl.handle.net/10183/251608.

MASSARO, Luciana et al. Balancing economic development and environmental responsibility: Perceptions from communities of garimpeiros in the Brazilian Amazon. **Resources Policy**, v. 79, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103063.

MASCARENHAS, Luciane Martins de Araújo. FERREIRA, Manuel Educardo. FERREIRA, Laerte Guimarães. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na Bacia do Rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, 21, (1), 2009. DOI: https://doi.org/10.1590/S1982-45132009000100001.

MASSARO, Luciana et al. Balancing economic development and environmental responsibility: Perceptions from communities of garimpeiros in the Brazilian Amazon. **Resources Policy,** v. 79, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103063.

MELLO, Januária. A mulher do garimpo: o romance autobiográfico de Nenê Macaggi em Roraima. **Cadernos Pagu**, v. 65, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/18094449202200650008.

MENDES, Lise Maria Carvalho et al. Mulheres que vivem em garimpos da fronteira franco-brasileira: desafios cotidianos. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 75, n. 6, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/0034-7167-2021-0688pt.

NASCIMENTO, Vagner Ferreira do. Vulnerabilidades em saúde de garimpeiros de uma região amazônica**. Revista Electrónica Enfermería Actual en Costa Rica**, n. 37, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.15517/revenf.v0ino.37.34931.

NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 387 p.

PASTAKIA, C, JENSEN, A. The Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM) for Environmental Impact Assessment. VKI Institute for the Water Environment. **Environ Impact Assess Rev**, vol. 18. New York, 1998, p. 461-482. Disponível em: https://moradi-env.iut.ac.ir/sites/moradi-env.iut.ac.ir/files/files_course/the_rapid_impact_assessment.pdf. Acesso em: 05 de junho de 2023.

PEARCE, David W. TURNER, R. Kerry. Economics of Natural Resourses and the Environment. **Johns Hopkins University**. Press, 1990. 378p.

PESTANA, Inácio Abreu et al. Let's talk about mercury contamination in the Amazon (again): The case of the floating gold miners' village on the Madeira River**. The Extractive Industries and Society**, v. 11, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101122.

POLIZEL, S. P. ROSSETTI, D. de F. Caracterização Morfológica do Delta do Rio Doce (Es) com Base em Análise Multissensor. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, 15(2), 2014. https://doi.org/10.20502/rbg.v15i2.530.

RAMOS, Alan Robson Alexandrino et al. Mercúrio nos Garimpos da Terra Indígena Yanomami e Responsabilidades. **Revista Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 23, 2020a. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20180326r2vu2020L5AO.

RAMOS, Alan Robson Alexandrino et al. Vazios de poder estatal no garimpo Yanomami – Amazônia Brasileira. **Brazilian Hournal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 15.753-15771, 2020b. DOI: https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-448.

RODRIGUES, José Siney Ferraz. **Memórias do garimpo: vida e trabalho de garimpeiros clandestinos no ciclo do ouro na Amazônia brasileira (1960-2000).** Tese de Doutorado em História, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. São Leopoldo, 2020. Disponível em: http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/9408.

RODRIGUES, Rita Maria et al. **Estudo dos impactos ambientais decorrentes do extrativismo mineral e poluição mercurial no Tapajós - pré-diagnóstico**. Rio de Janeiro: Cetem/Cnpq, 1994. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/403/1/sta-04.pdf.

SANTANA NETO, Hamilton Gomes; PONTES FILHO, Raimundo Perreira. O sistema logosjurídico e a tutela socioambiental diante dos danos do garimpo na Anazônia. **Revista RIOS**, v. 17, n. 34, 2022. Disponível em: https://www.publicacoes.unirios.edu.br/index.php/revistarios/article/view/413/412.

SANTOS, Adriana Gomes; SOARES, Fagno da Silva. Trabalhadores (as) do ouro na Amazônia: condições de vida e de trabalho de garimpeiros (as) na Amazônia Setentrional. **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**, 2016. Disponível em: http://hdl.handle.net/20.500.11763/CCCSS-2016-01-oro.

SANTOS, Eder Rodrigues; MATTIONI, José Victor Dornelles; FALCÃO, Márcia Teixeira. Extração mineral e conflitos: ensaio geo-histórico do garimpo ilegal nas terras indígenas no extremo norte brasileiro. **Geographia Opportuno Tempore**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 104-119, 27 dez. 2021. Universidade Estadual de Londrina. DOI: http://dx.doi.org/10.5433/got.2021.v7.44854.

SANTOS, J. F. Fotografias de balsas e dragas de garimpo. 2025a. **Acervo Pessoal**.

SANTOS, J. F. Projeto arquitetônico de draga (informação cedida para fins de pesquisa, sem identificação da embarcação). **Comunicação pessoal** com Rafaela Brandão dos Santos, 2025b.

SANTOS, Júlio César dos; CASTRAVECHI, Luciene Aparecida. Relações de trabalho na Amazônia Mato-Grossense: o uso da violência contra peões e garimpeiros. **Élisée - Revista de Geografia da UEG**, v. 3, n. 1, p. 26-48, 2014. Disponível em: https://revista.ueg.br/index.php/elisee/article/view/2891.

SANTOS, Rafaela Brandão. Garimpo de Ouro da Amazônia: Uma Revisão Bibliográfica Qualiquantitativa. **Submetido à publicação**, em: 14 dez. 2023. Disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1H_lKwV3nSU-h1Ms-KiK39PKkspouW2hY?usp=sharing.

SELLTIZ, C.; WRIGHTSMAN, L.; COOK, S. **Métodos de pesquisa nas relações sociais: delineamentos de pesquisa**. São Paulo: E.P.U., 1987.

SOUSA, Renata de Lima; VIEIRA, Ivânia Maria Carneiro; FOLLMANN, José Ivo. Jornalismo ambiental: análise da cobertura jornalística do portal a crítica sobre a invasão de balsas do garimpo no rio Madeira. **Revista Foco,** v. 16, n. 2, p. 01-18, 2023. DOI: https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n2-077.

SEMIONATO, Jackson; BERTANI, Gabriel; OSAKO, Liliana Sayuri. Identification of artisanal mining sites in the Amazon Rainforest using Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA) and Data Mining techniques. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, n. 24, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100633.

SILVA DE SÁ, José Alberto Silva de *et al*. Análise do cenário de observação da missão sentinel-1. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 2019. Santos: **Anais do XIX SBSR.** São José dos Campos: INPE, 2019. p. 2678-2681. Disponível em: http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2019/10.29.14.12/doc/thisInformationItemHomePage.html. Acesso em: 13 de maio de 2023.

SIOLI, Harald. Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon region. **Amazoniana**, n. 1, v. 3, p. 267-277. Kiel, 1968. Disponível em: https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/39178/1/p_267_277.pdf.

SOUZA, Miguel Martins de. **Aspectos genéticos das aluviões auríferas do rio Madeira.** Apresentação enviada por e-mail pelo autor após palestra. Manaus, s.d. Não publicado.

TELMER, Kevin et al. The source and fate of sediment and mercury in the Tapajós River, Pará, Brazilian Amazon: Ground- and space-based evidence. **Journal of Environmental Management**, v. 81, ed. 2, p. 101-113, 2006. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.09.027.

THEIJE, Marjo de. Brazil: Forever Informal. In: VERBRUGGE, Boris; GEENEN, Sara. Global Gold Production Touching Ground: Expansion, informalization, and technological innovation. **Palgrave Macmillan Cham**, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-38486-9.

UPHAM, P. SMITH, B. Using the Rapid Impact Assessment Matrix to synthesize biofuel and bioenergy impact assessment results: the example of medium scale bioenergy heat options. **Journal of Cleadner Production**, 65, p. 261-269. 2014. Doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.041.

URNAU, Lilian Caroline. **Psicologia e proteção social na Amazônia: diálogos com famílias de um garimpo**. Tese de Doutorado em Psicologia, Universidade de São Paulo. São Paulo: Digital Library USP, 2013. DOI: https://doi.org/10.11606/T.47.2013.tde-19072013-150616.

VEIGA, Marcello Mariz da; SILVA, Alberto Rogério B.; HINTON, Jennifer J.. O Garimpo de ouro na Amazônia: aspectos tecnológicos, ambientais e sociais. In: TRINDADE, Roberto de Barros Emery. **Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente.** Cap. 11. Rio de Janeiro: Cetem/McT, 2002. p. 277-305. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1233?mode=full.

VENTURA, Magda Maria. O Estudo de Caso como Modalidade de Pesquisa. **Revista Socerj**, [S.l.], v. 20, n. 5, p. 383-386, dez. 2007. Disponível em: http://sociedades.cardiol.br/socerj/revista/2007_05/a2007_v20_n05_art10.pdf.

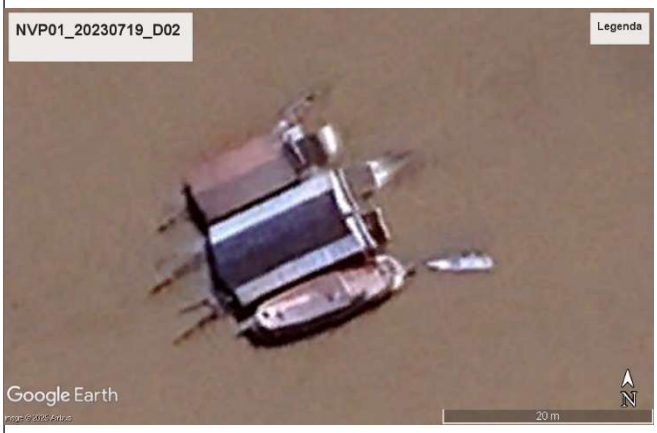
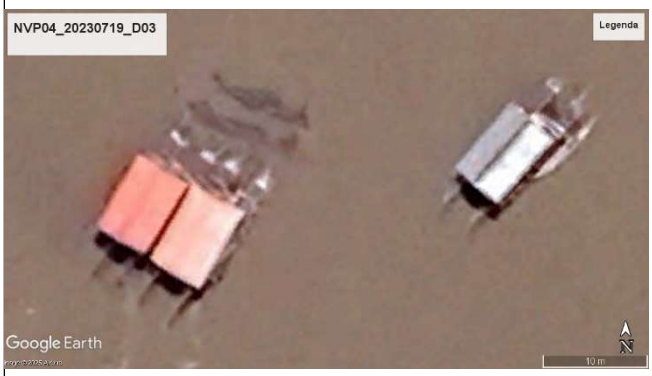
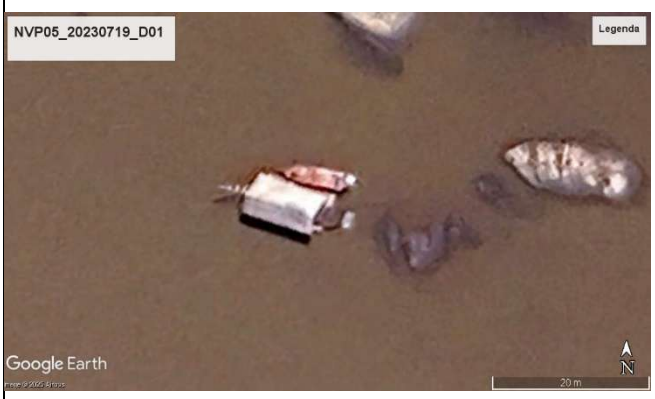
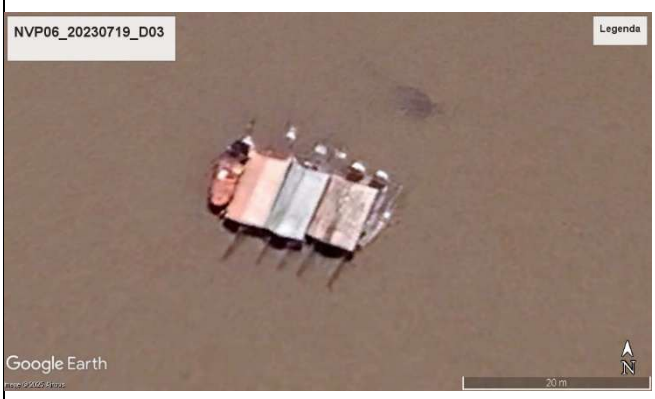
VIEGA, Flávio Oliveira; ARAÚJO, Joreanes do Nascimento. O garimpo e a educação ambiental no rio Madeira em Humaitá-Amazonas, Brasil: breves considerações. **Revista Ensino de Ciências e Humanidades** – Cidadania, Diversidade e Bem-Estar, v. 7, n. 2, p. 34-50, 2023. Disponível em: https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/rech/article/view/12882.

YIN, Robert, K. Estudo de Caso: Planejamento e Métodos. Bookman. 5° edição. 2015.

ZHAO, Qiang, *et al*. Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine. **Remote Sensing,** v. 13, n. 18, p. 3778, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/rs13183778.

APÊNDICE A – IDENTIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE GARIMPO EM IMAGENS DO GOOGLE EARTH PRO

Imagens dos equipamentos de garimpo obtidas no Google Earth Pro, citadas na tabela 8, apresentados por município.

NOVO ARIPUANÃ	
	
	
	


NVP07_20230719_D02
Legenda
Google Earth
20 m
N

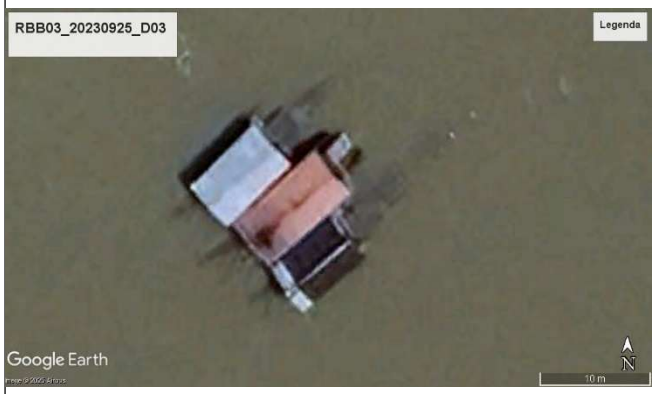

NVP08_20230626_D02
Legenda
Google Earth
20 m
N

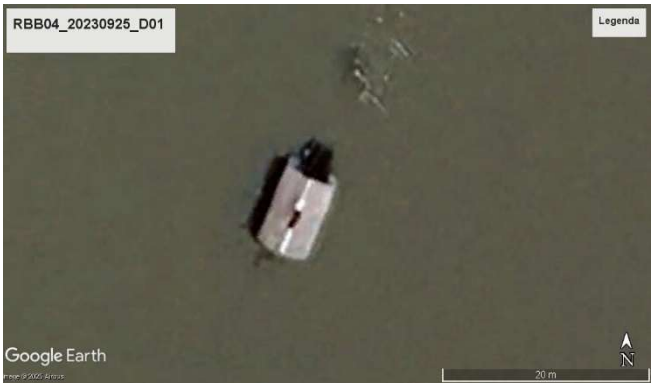

NVP09_20220710_D03
Legenda
Google Earth
30 m
N

BORBA


RBB01_20240910_D03
Legenda
Google Earth
20 m
N

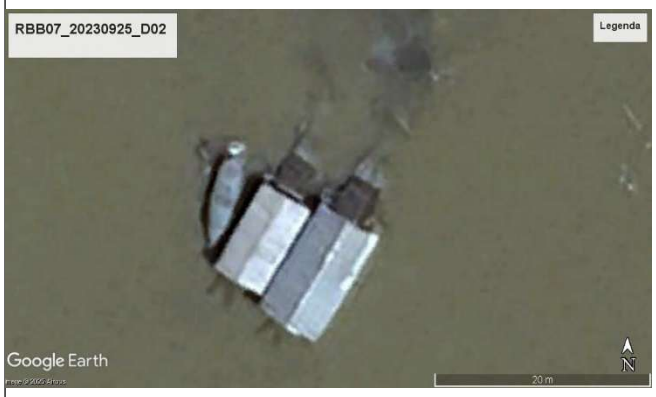

RBB02_20241116_D24
Legenda
Google Earth
50 m
N


RBB03_20230925_D03
Legenda
Google Earth
10 m
N


RBB04_20230925_D01
Legenda
Google Earth
20 m
N


RBB05_20230925_D01
Legenda
Google Earth
10 m
N


RBB06_20230925_D02
Legenda
Google Earth
20 m
N


RBB07_20230925_D02
Legenda
Google Earth
20 m
N

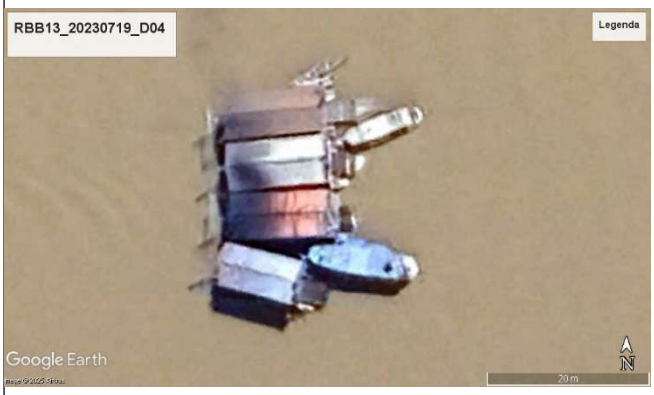

RBB08_20230925_D02
Legenda
Google Earth
10 m
N


RBB09_20230925_D01
Legenda
Google Earth
10 m
N


RBB10_20230925_D03
Legenda
Google Earth
20 m
N


RBB11_20230925_D08
Legenda
Google Earth
30 m
N


RBB12_20230925_D01
Legenda
Google Earth
10 m
N


RBB13_20230719_D04
Legenda
Google Earth
20 m
N


RBB14_20230719_D01
Legenda
Google Earth
10 m
N

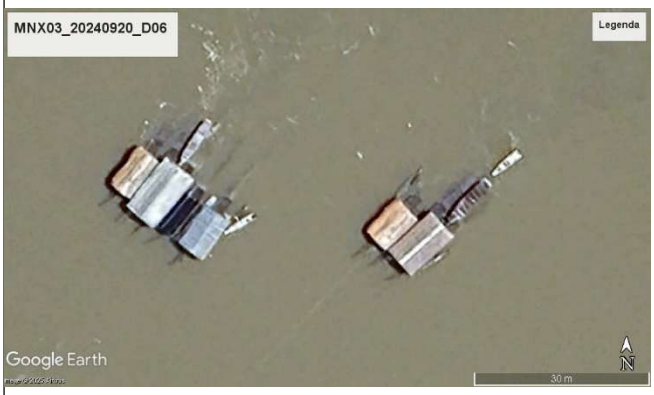

RBB15_20230719_D02
Legenda
Google Earth
20 m
N

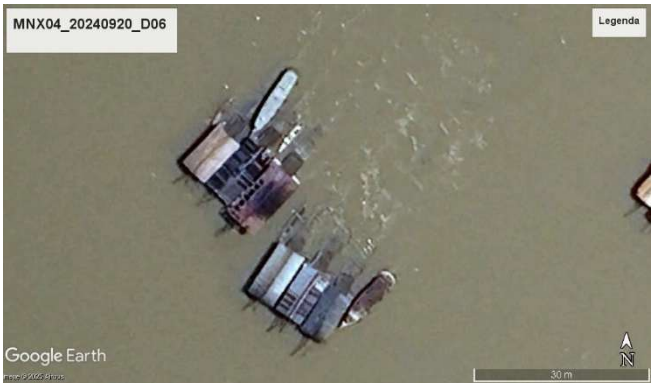

RBB16_20230719_D06
Legenda
Google Earth
20 m

MANICORÉ


MNX01_20240715_D15
Legenda
Marcador de local sem título
Google Earth
50 m


MNX02_20240715_D11
Legenda
Google Earth
30 m


MNX03_20240920_D06
Legenda
Google Earth
30 m


MNX04_20240920_D06
Legenda
Google Earth
30 m


MNX05_20240920_D05
Legenda
Google Earth
30 m


MNX06_20240728_D01
Legenda
Google Earth
10 m

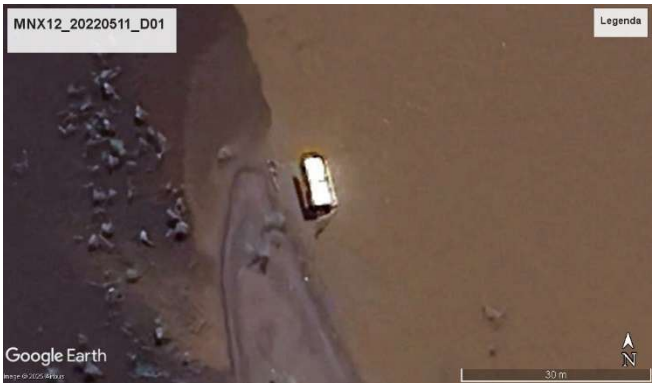

MNX07_20240728_D02
Legenda
Google Earth
10 m


MNX08_20240728_D02
Legenda
Google Earth
20 m


MNX9_20220522_D08
Legenda
Google Earth


MNX10_20220522_D02
Legenda
Google Earth


MNX11_20220522_D03
Legenda
Google Earth


MNX12_20220511_D01
Legenda
Google Earth


MNX13_20220511_D01
Legenda
Google Earth


MNX14_20220511_D02
Legenda
Google Earth


MNX15_20210727_D01
Legenda
Google Earth


MNX16_20210727_D02
Legenda
Google Earth


MNX17_20210807_D02
Legenda
Google Earth
30 m


MNX18_20210807_D01
Legenda
Google Earth
40 m


MNX19_20221010_D08
Legenda
Google Earth
40 m


MNX20_20221010_D02
Legenda
Google Earth
50 m


MNX21_20221010_D01
Legenda
Google Earth
40 m


MNX22_20221010_D01
Legenda
Google Earth


MNX23_20221010_D02
Legenda
Google Earth


MNX24_20221010_D05
Legenda
Google Earth


MNX25_20221010_D02
Leyenda
Google Earth


MNX26_20221010_D01
Leyenda
Google Earth


MNX27_20221010_D02
Leyenda
Google Earth


MNX28_20221010_D02
Leyenda
Google Earth


MNX29_20221010_D03
Leyenda
Google Earth


MNX30_20221010_D04
Leyenda
Google Earth


MNX31_20221010_D01
Leyenda
Google Earth


MNX32_20221010_D01
Leyenda
Google Earth


MNX33_20210501_D01
Legenda
Google Earth


MNX34_20221010_D01
Legenda
Google Earth


MNX35_20221010_D01
Legenda
Google Earth


MNX36_20221010_D01
Legenda
Google Earth


MNX37_20221010_D04
Legenda
Google Earth


MNX38_20221010_D01
Legenda
Google Earth


MNX39_20221010_D01
Legenda
Google Earth


MNX40_20221010_D01
Legenda
Google Earth


MNX41_20221010_D01
Leyenda
Google Earth

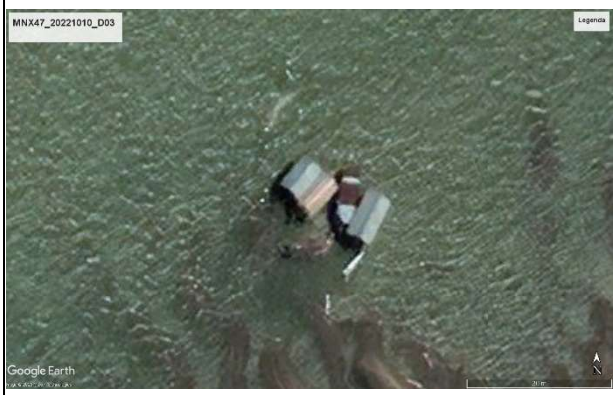

MNX42_20221010_D01
Leyenda
Google Earth


MNX43_20221010_D01
Leyenda
Google Earth


MNX44_20221010_D04
Leyenda
Google Earth


MNX45_20221010_D02
Leyenda
Google Earth


MNX46_20221010_D01
Leyenda
Google Earth


MNX47_20221010_D03
Leyenda
Google Earth


MNX48_20221010_D01
Leyenda
Google Earth


MNX49_20221010_D02
Leyenda
Google Earth


MNX50_20221010_D01
Leyenda
Google Earth

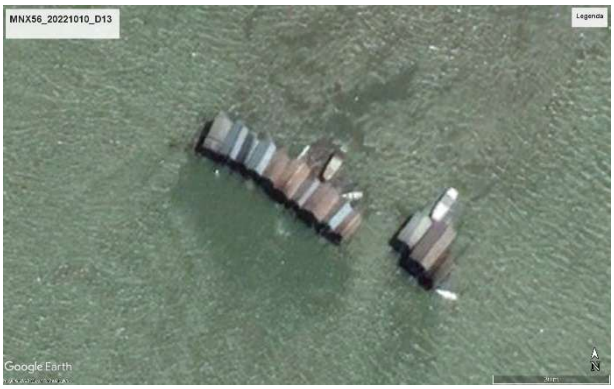

MNX51_20221010_D09
Leyenda
Google Earth


MNX52_20221010_D02
Leyenda
Google Earth


MNX53_20221010_D01
Leyenda
Google Earth

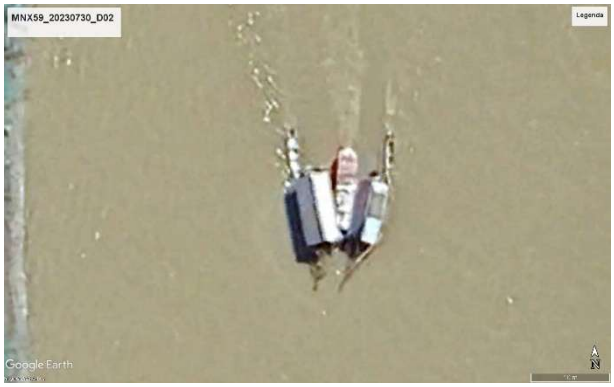

MNX54_20221010_D01
Leyenda
Google Earth


MNX55_20221010_D01
Leyenda
Google Earth


MNX56_20221010_D13
Leyenda
Google Earth


MNX57_20221010_D01
Legenda
Google Earth

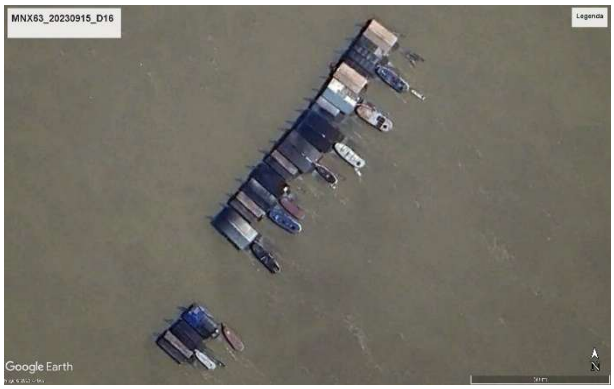

MNX58_20220619_D01
Legenda
Google Earth


MNX59_20230730_D02
Legenda
Google Earth


MNX60_20230730_D02
Legenda
Google Earth


MNX61_20230730_D01
Legenda
Google Earth


MNX62_20230915_D03
Legenda
Google Earth


MNX63_20230915_D16
Legenda
Google Earth


MNX64_20240805_D02
Legenda
Google Earth


MNX65_20240805_D04
Legenda
Google Earth


MNX66_20240805_D01
Legenda
Google Earth

HUMAÍTA


HUW01_20220619_D02
Legenda
Google Earth

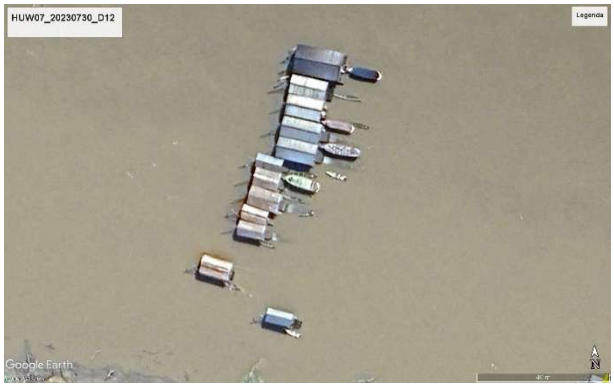

HUW02_20220619_D02
Legenda
Google Earth

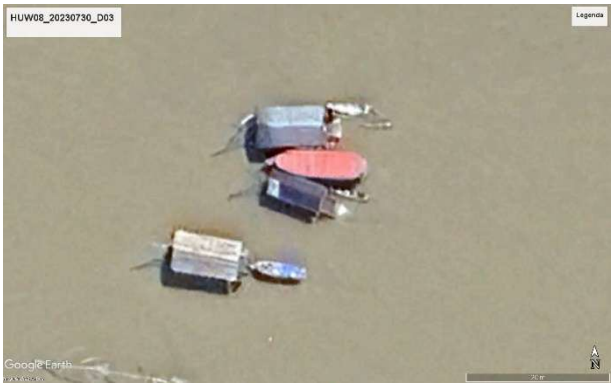

HUW03_20220619_D02
Legenda
Google Earth


HUW04_20220619_D02
Legenda
Google Earth


HUW05_20230730_D01
Legenda
Google Earth


HUW06_20230730_D01
Legenda
Google Earth

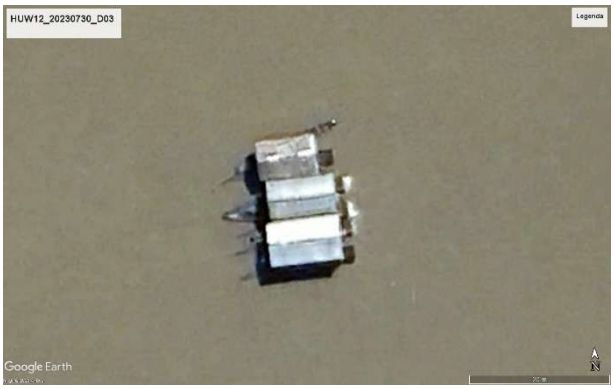

HUW07_20230730_D12
Legenda
Google Earth

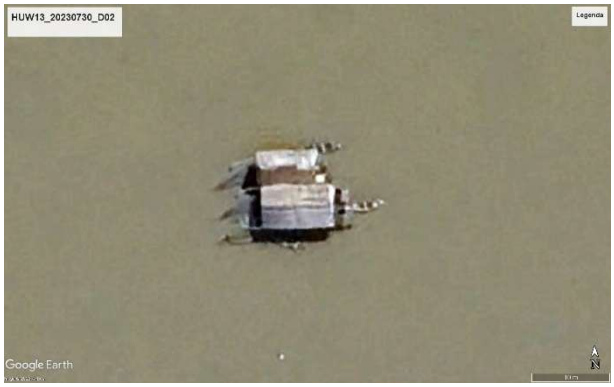

HUW08_20230730_D03
Legenda
Google Earth


HUW09_20230730_D01
Legenda
Google Earth


HUW10_20230730_D03
Legenda
Google Earth

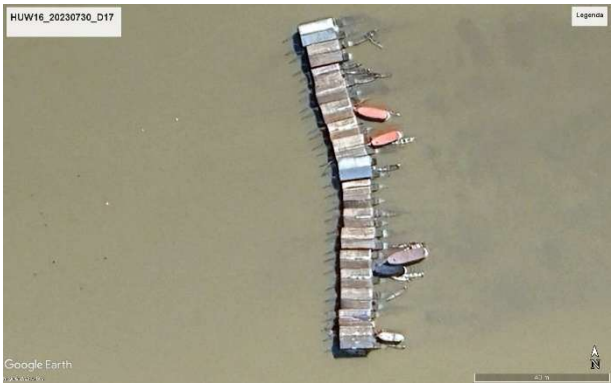

HUW11_20230730_D01
Legenda
Google Earth


HUW12_20230730_D03
Legenda
Google Earth


HUW13_20230730_D02
Legenda
Google Earth


HUW14_20230730_D6
Legenda
Google Earth


HUW15_20230730_D01
Legenda
Google Earth

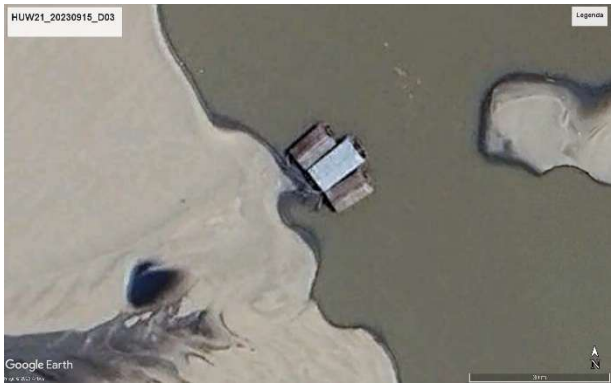

HUW16_20230730_D17
Legenda
Google Earth

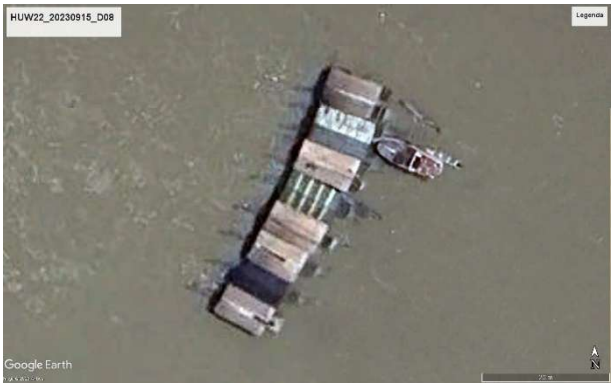

HUW17_20230730_D03
Legenda
Google Earth

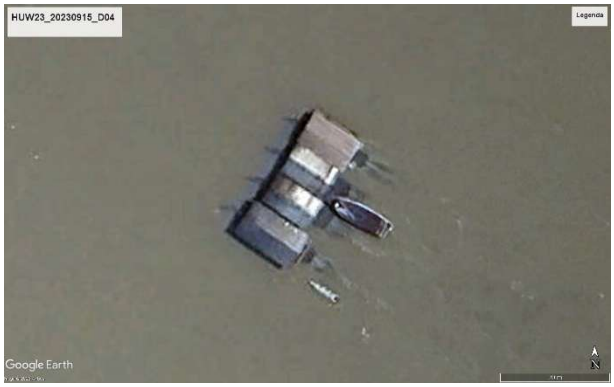

HUW18_20230730_D03
Legenda
Google Earth

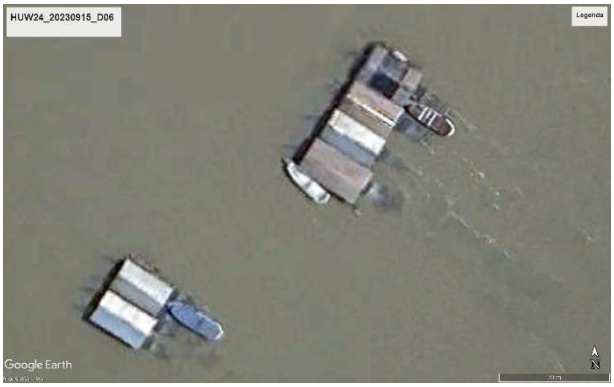

HUW19_20230915_D04
Legenda
Google Earth


HUW20_20230915_D01
Legenda
Google Earth


HUW21_20230915_D03
Legenda
Google Earth


HUW22_20230915_D08
Legenda
Google Earth

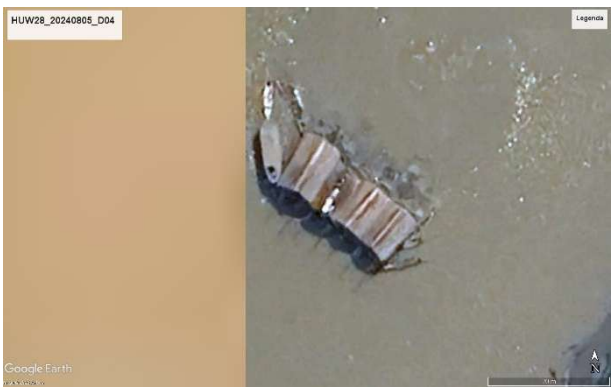

HUW23_20230915_D04
Legenda
Google Earth


HUW24_20230915_D06
Legenda
Google Earth


HUW25_20230915_D01
Legenda
Google Earth


HUW26_20230915_D01
Legenda
Google Earth


HUW27_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW28_20240805_D04
Legenda
Google Earth


HUW29_20240805_D01
Legenda
Google Earth

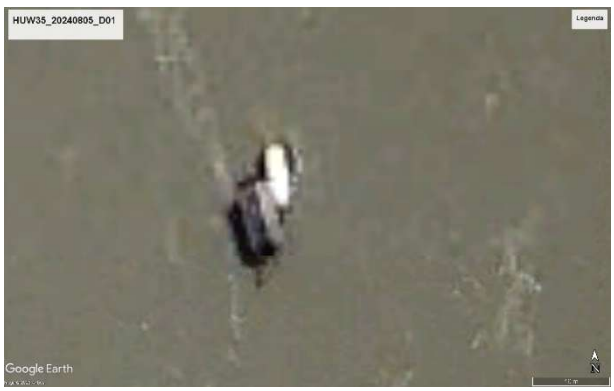

HUW30_20240805_D02
Legenda
Google Earth


HUW31_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW32_20240805_D02
Legenda
Google Earth

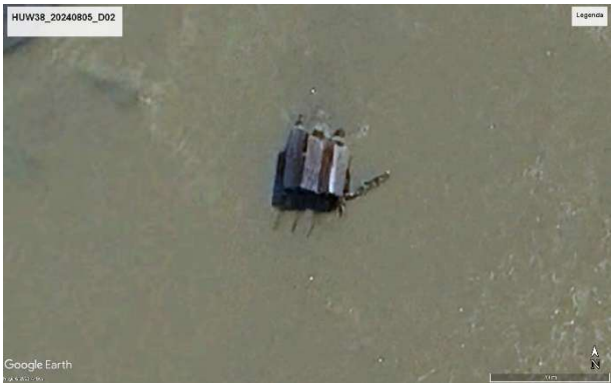

HUW33_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW34_20240805_D03
Legenda
Google Earth


HUW35_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW36_20240805_D01
Legenda
Google Earth

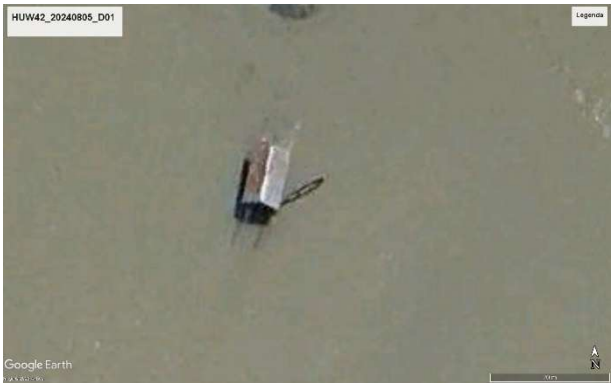

HUW37_20240805_D02
Legenda
Google Earth

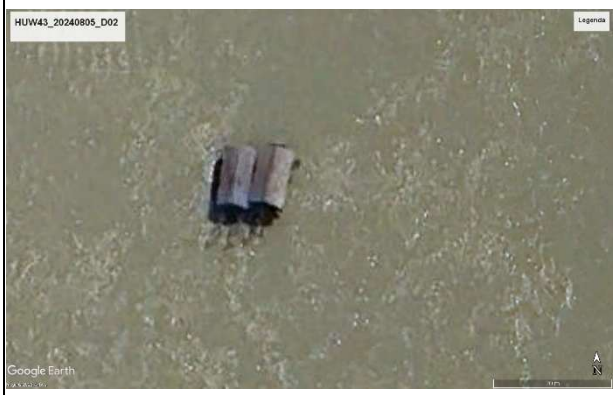

HUW38_20240805_D02
Legenda
Google Earth

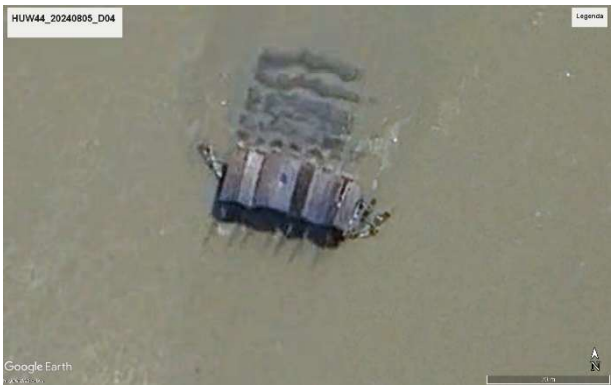

HUW39_20240805_D03
Legenda
Google Earth


HUW40_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW41_20240805_D01
Legenda
Google Earth

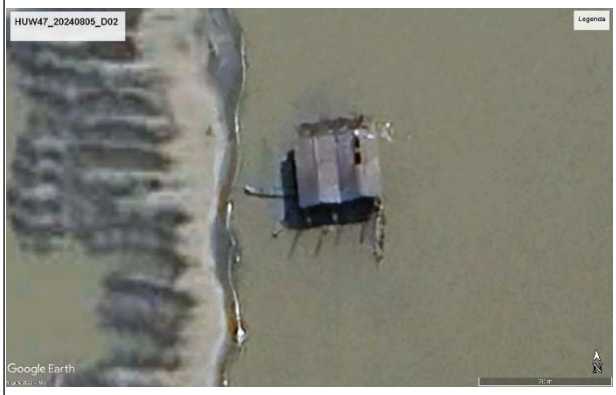

HUW42_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW43_20240805_D02
Legenda
Google Earth

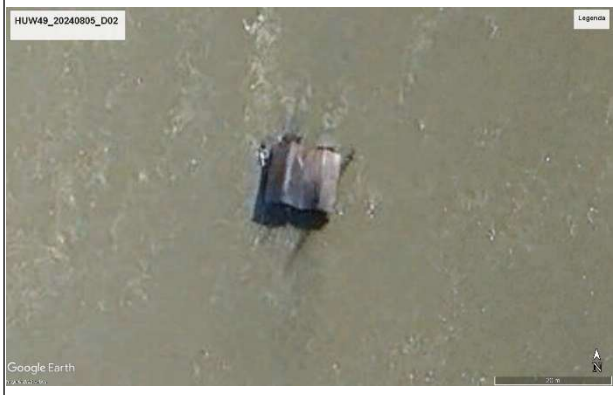

HUW44_20240805_D04
Legenda
Google Earth


HUW45_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW46_20240805_D01
Legenda
Google Earth

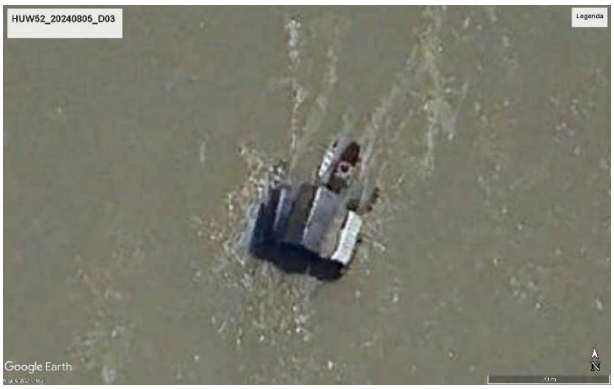

HUW47_20240805_D02
Legenda
Google Earth


HUW48_20240805_D03
Legenda
Google Earth

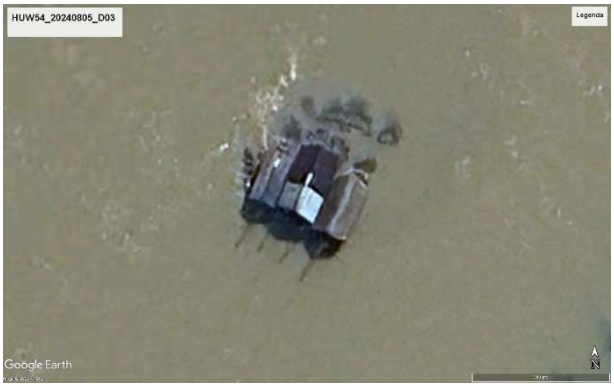

HUW49_20240805_D02
Legenda
Google Earth

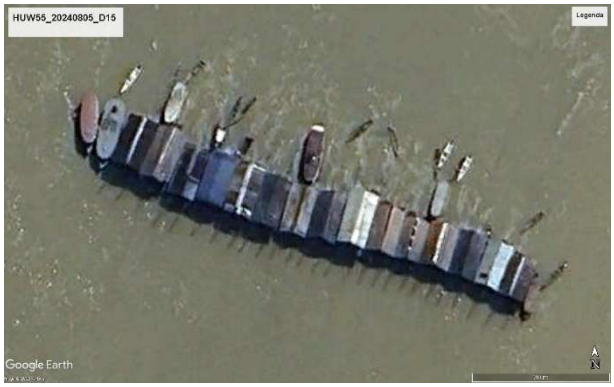

HUW50_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW51_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW52_20240805_D03
Legenda
Google Earth


HUW53_20240805_D07
Legenda
Google Earth

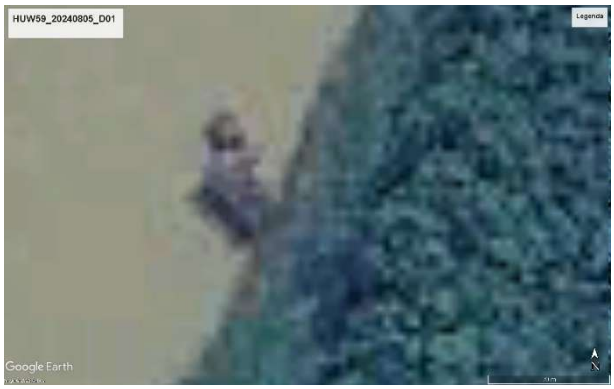

HUW54_20240805_D03
Legenda
Google Earth

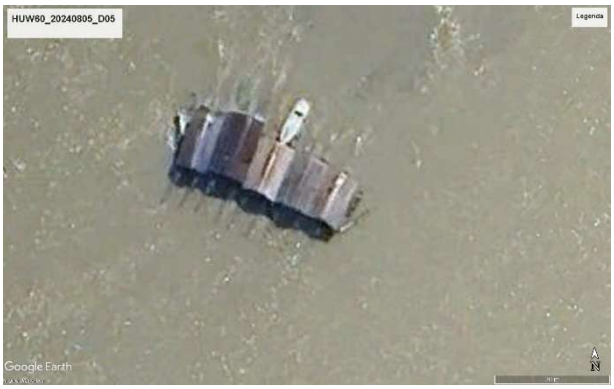

HUW55_20240805_D15
Legenda
Google Earth


HUW56_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW57_20240805_D01
Legenda
Google Earth

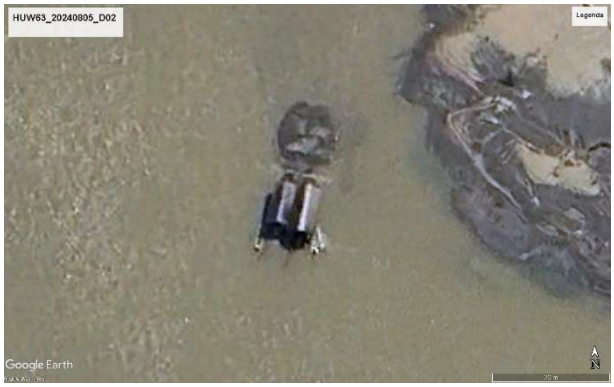

HUW58_20240805_D02
Legenda
Google Earth


HUW59_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW60_20240805_D05
Legenda
Google Earth


HUW61_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW62_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW63_20240805_D02
Legenda
Google Earth


HUW64_20240805_D02
Legenda
Google Earth


HUW65_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW66_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW67_20240805_D02
Legenda
Google Earth


HUW68_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW69_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW70_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW71_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW72_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW73_20240805_D01
Legenda
Google Earth


HUW74_20240805_D02
Legenda
Google Earth


HUW75_20230805_D07
Legenda
Google Earth
60 m


HUW76_20230805_D01
Legenda
Google Earth

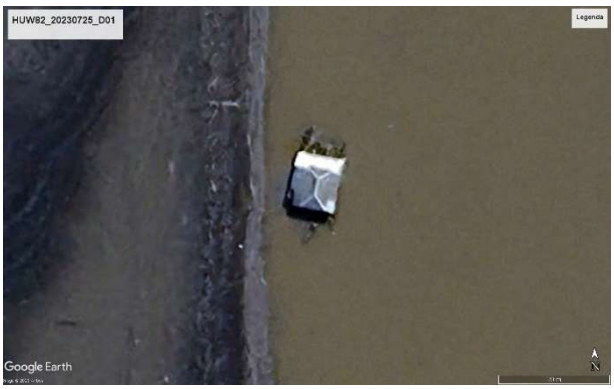

HUW77_20230805_D01
Legenda
Google Earth
20 m
N

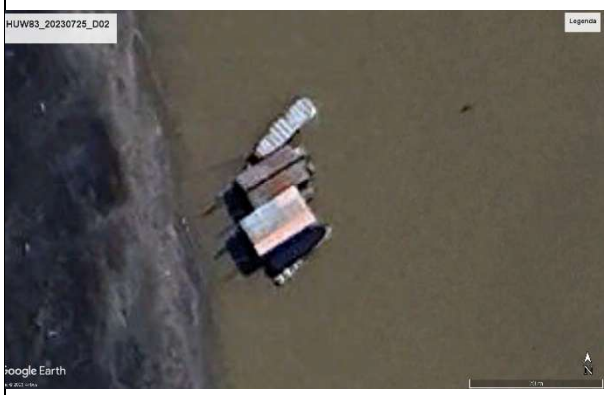

HUW78_20230805_D02
Legenda
Google Earth
20 m
N

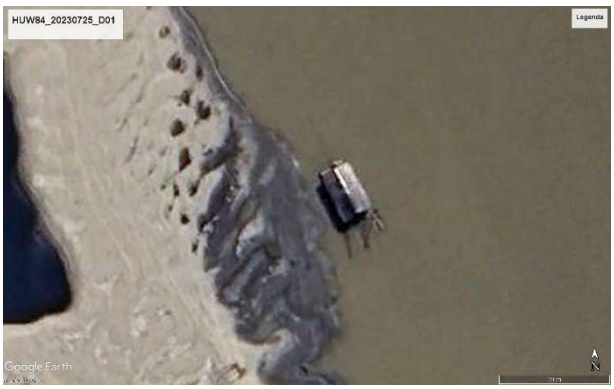

HUW79_20230805_D01
Legenda
Google Earth
N


HUW80_20230805_D01
Legenda
Google Earth
N

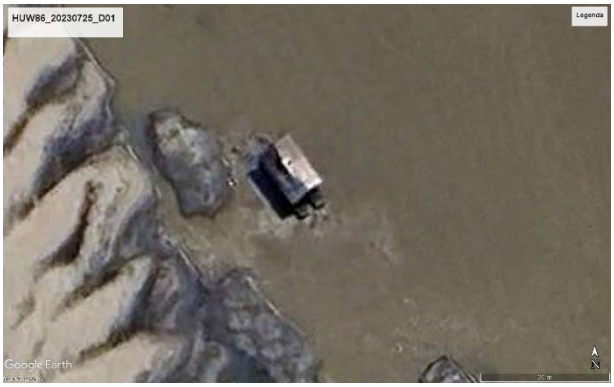

HUW81_20230805_D01
Legenda
Google Earth
20 m
N


HUW82_20230725_D01
Legenda
Google Earth
N

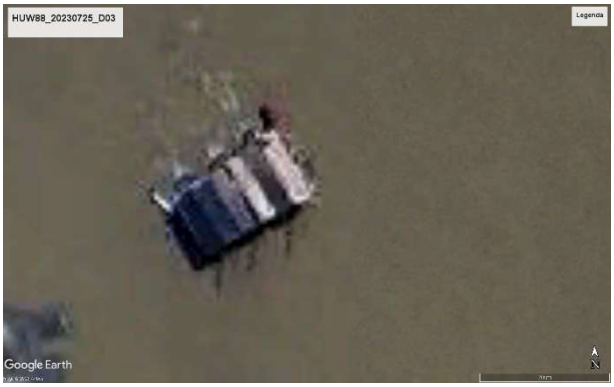

HUW83_20230725_D02
Legenda
Google Earth
N

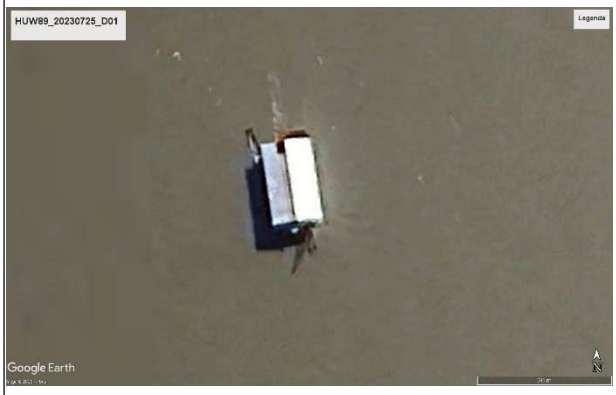

HUW84_20230725_D01
Legenda
Google Earth
N


HUW85_20230725_D01
Legenda
Google Earth


HUW86_20230725_D01
Legenda
Google Earth

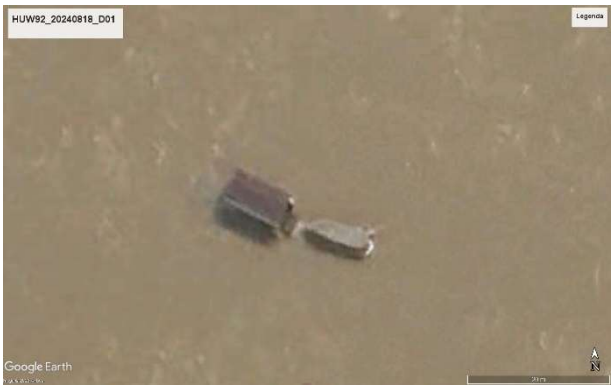

HUW87_20230725_D02
Legenda
Google Earth


HUW88_20230725_D03
Legenda
Google Earth


HUW89_20230725_D01
Legenda
Google Earth

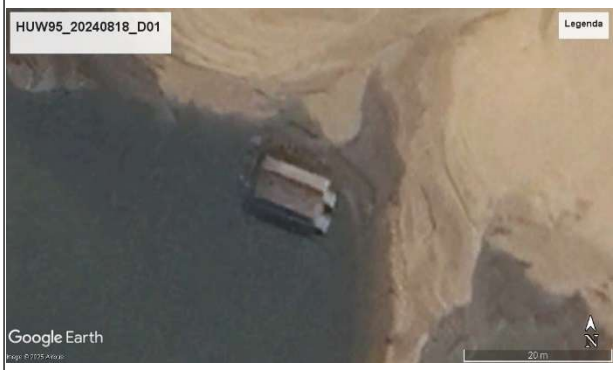

HUW90_20230725_D05
Legenda
Google Earth
30 m


HUW91_20240818_D01
Legenda
Google Earth


HUW92_20240818_D01
Legenda
Google Earth


HUW93_20240818_D05
Legenda
Google Earth


HUW94_20240818_D02
Legenda
Google Earth
20 m


HUW95_20240818_D01
Legenda
Google Earth
20 m


HUW96_20240818_D01
Legenda
Google Earth
20 m


HUW97_20240818_D03
Legenda
Google Earth


HUW98_20240818_D01
Legenda
Google Earth


HUW99_20240818_D01
Legenda
Google Earth


HUW100_20210807_D07
Legenda
Google Earth


HUW101_20210807_D01
Legenda
Google Earth


HUW102_20210807_D01
Legenda
Google Earth


HUW103_20210807_D03
Legenda
Google Earth


HUW104_20210807_D02
Legenda
Google Earth
30 m


HUW105_20210807_D02
Legenda
Google Earth
20 m

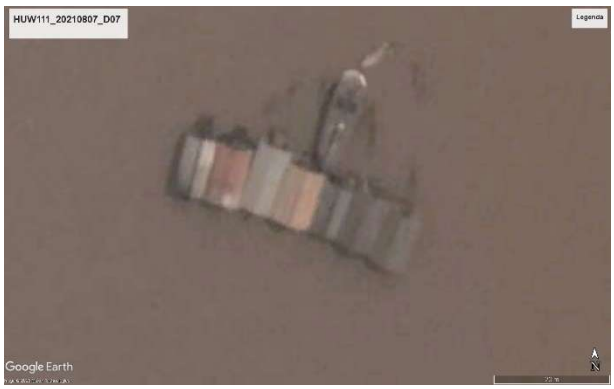

HUW106_20210807_D02
Legenda
Google Earth

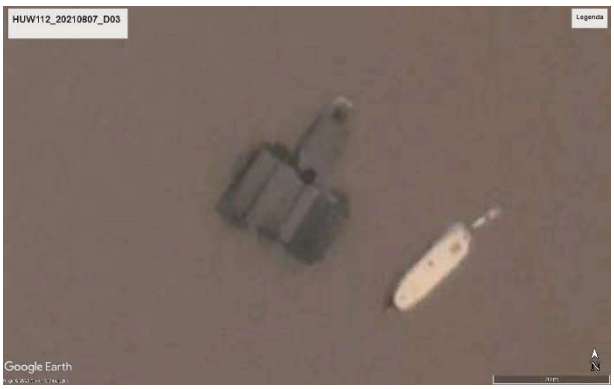

HUW107_20210807_D02
Legenda
Google Earth
20 m


HUW108_20210807_D02
Legenda
Google Earth


HUW109_20210807_D02
Legenda
Google Earth


HUW110_20210807_D11
Legenda
Google Earth


HUW111_20210807_D07
Legenda
Google Earth


HUW112_20210807_D03
Legenda
Google Earth


HUW113_20210807_D05
Legenda
Google Earth

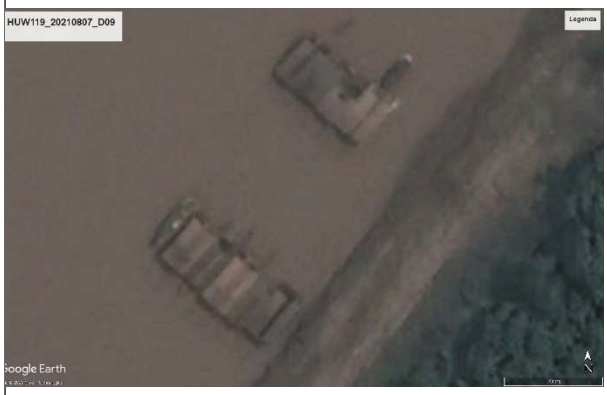

HUW114_20210807_D02
Legenda
Google Earth
40 m


HUW115_20210807_D02
Legenda
Google Earth

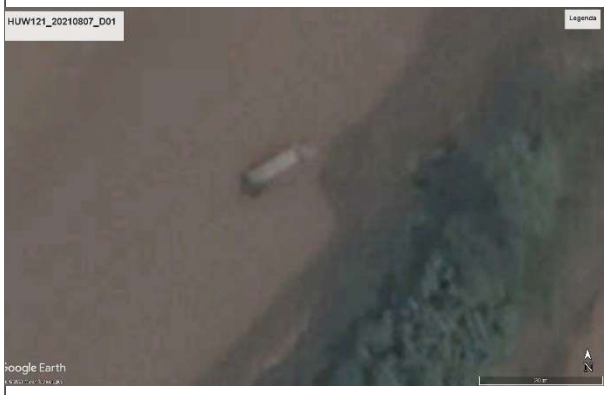

HUW116_20210807_D07
Legenda
Google Earth
30 m


HUW117_20210807_D01
Legenda


HUW118_20210807_D03
Legenda
Google Earth
20 m


HUW119_20210807_D09
Legenda
Google Earth


HUW120_20210807_D09
Legenda
Google Earth


HUW121_20210807_D01
Legenda
Google Earth


HUW122_20210807_D02
Legenda
Google Earth


HUW123_20210807_D05
Legenda
Google Earth
30 m


HUW124_20210807_D04
Legenda
Google Earth

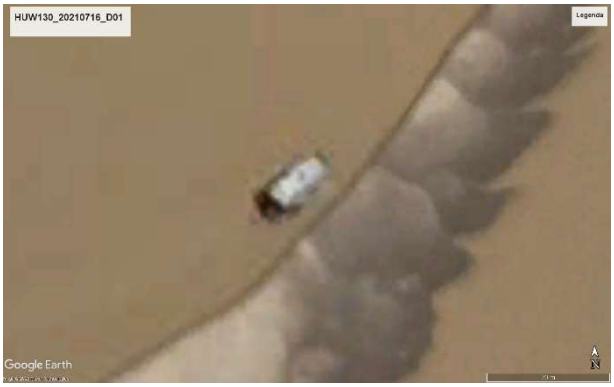

HUW125_20210716_D01
Legenda
Google Earth


HUW126_20210716_D03
Legenda
Google Earth


HUW127_20210716_D01
Legenda
Google Earth
30 m


HUW128_20210716_D01
Legenda
Google Earth
20 m


HUW129_20210716_D01
Legenda
Google Earth


HUW130_20210716_D01
Legenda
Google Earth


HUW131_20210716_D03
Legenda
Google Earth
30 m


HUW132_20210716_D01
Legenda
Google Earth


HUW133_20210716_D01
Legenda
Google Earth


HUW134_20210716_D01
Legenda
Google Earth


HUW135_20210716_D02
Legenda
Google Earth


HUW136_20210716_D01
Legenda
Google Earth


HUW137_20210807_D03
Legenda
Google Earth

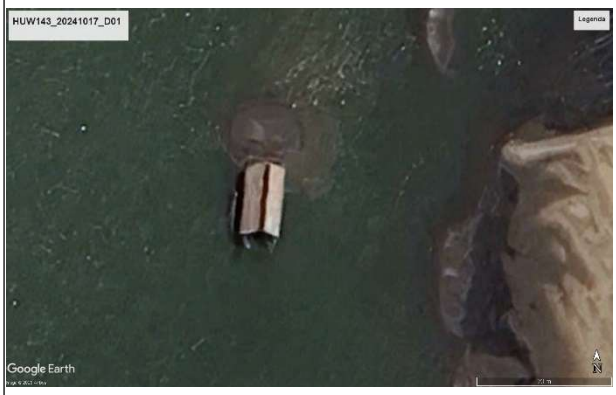

HUW138_20210716_D02
Legenda
Google Earth


HUW139_20210716_D01
Legenda
Google Earth

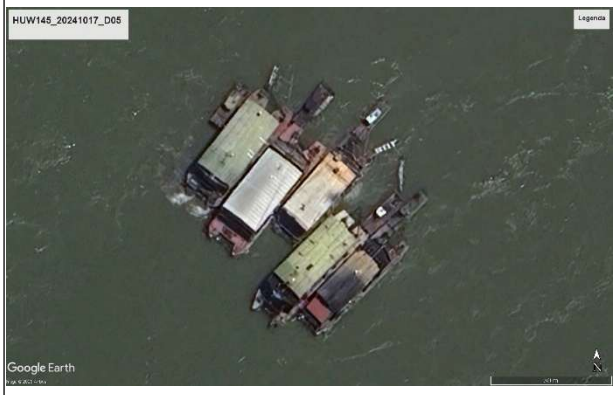

HUW140_20210716_D01
Legenda
Google Earth

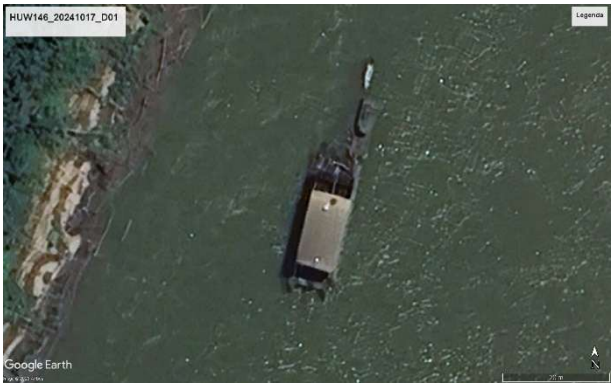

HUW141_20241017_D01
Legenda
Google Earth

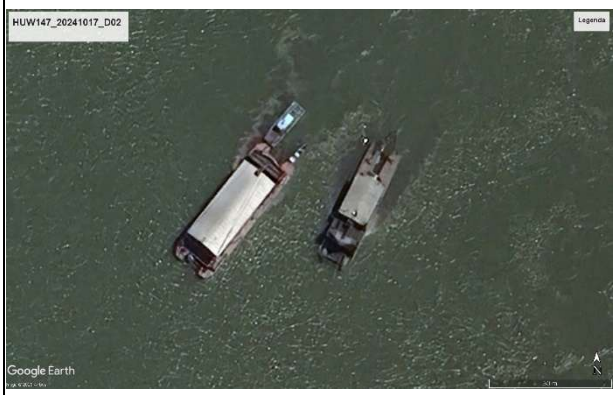

HUW142_20241017_D01
Legenda
Google Earth

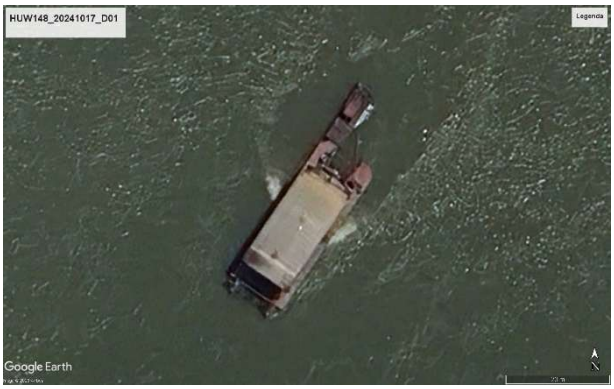

HUW143_20241017_D01
Legenda
Google Earth

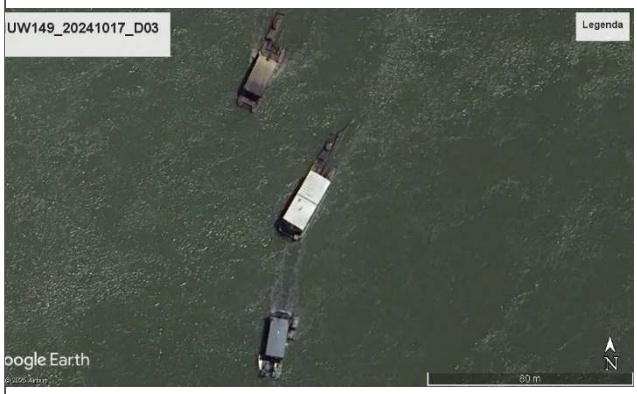

HUW144_20241017_D01
Legenda
Google Earth


HUW145_20241017_D05
Legenda
Google Earth


HUW146_20241017_D01
Legenda
Google Earth


HUW147_20241017_D02
Legenda
Google Earth


HUW148_20241017_D01
Legenda
Google Earth

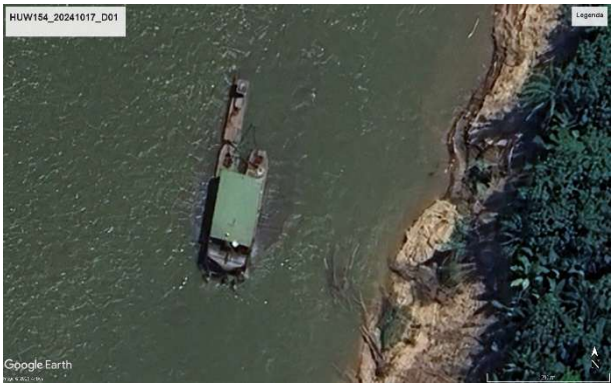

UW149_20241017_D03
Legenda
N
80 m

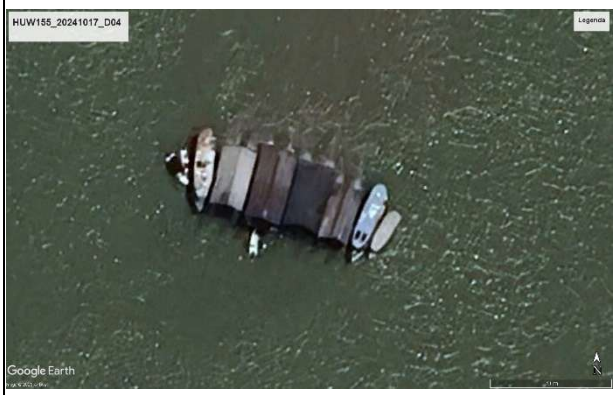

HUW150_20241017_D01
Legenda
Google Earth

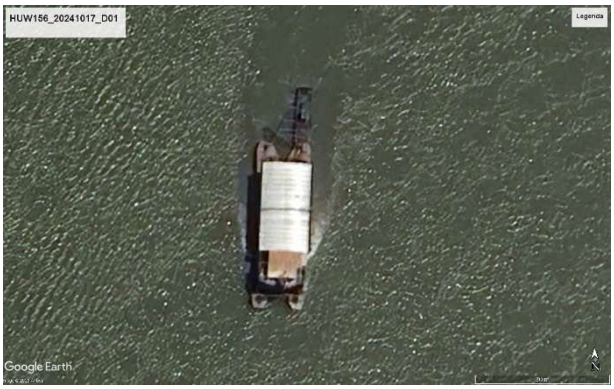

HUW151_20241017_D01
Legenda
Google Earth

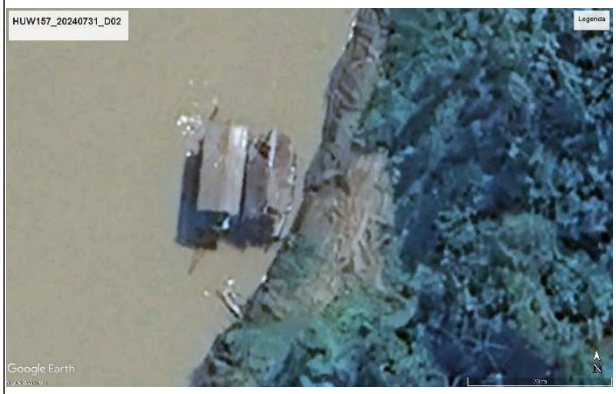

HUW152_20241017_D01
Legenda
Google Earth


HUW153_20241017_D01
Legenda
Google Earth


HUW154_20241017_D01
Legenda
Google Earth


HUW155_20241017_D04
Legenda
Google Earth


HUW156_20241017_D01
Legenda
Google Earth


HUW157_20240731_D02
Legenda
Google Earth


HUW158_20240731_D01
Legenda
Google Earth


UW159_20240731_D01
Legenda
Google Earth
20 m


HUW160_20240731_D01
Legenda
Google Earth


HUW161_20240731_D02
Legenda
Google Earth


HUW162_20240731_D03
Legenda
Google Earth

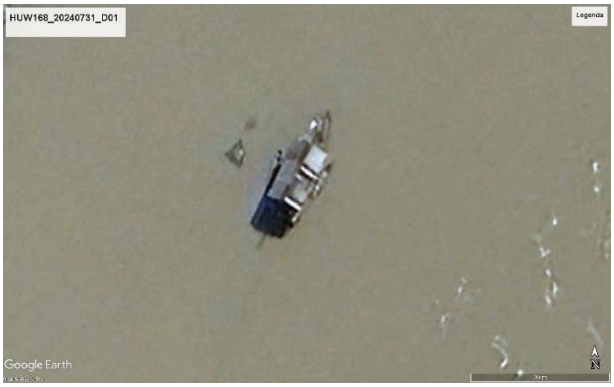

HUW163_20240731_D03
Legenda
Google Earth

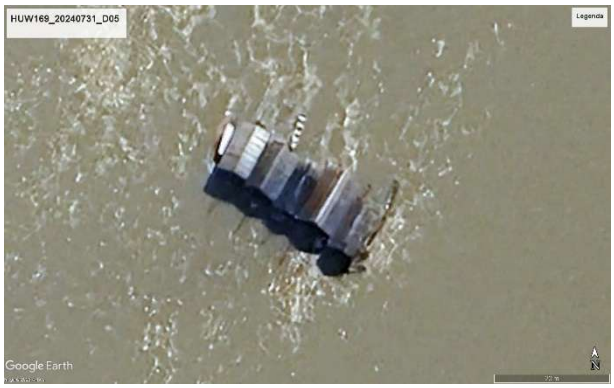

HUW164_20240731_D01
Legenda
Google Earth


HUW165_20240731_D01
Legenda
Google Earth


HUW166_20240731_D02
Legenda
Google Earth

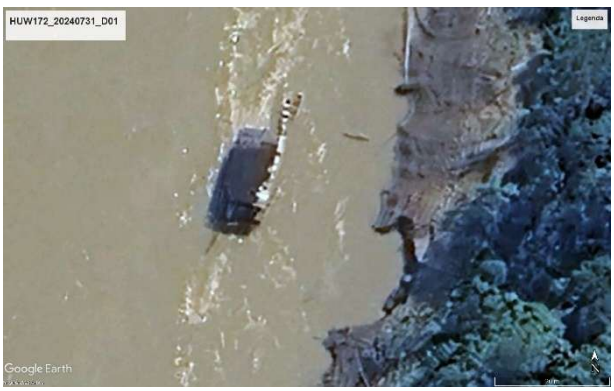

HUW167_20240731_D02
Legenda
Google Earth


HUW168_20240731_D01
Legenda
Google Earth

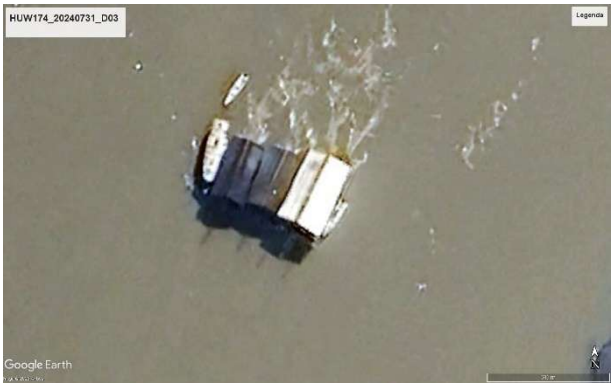

HUW169_20240731_D05
Legenda
Google Earth


HUW170_20240731_D01
Legenda
Google Earth


HUW171_20240731_D01
Legenda
Google Earth

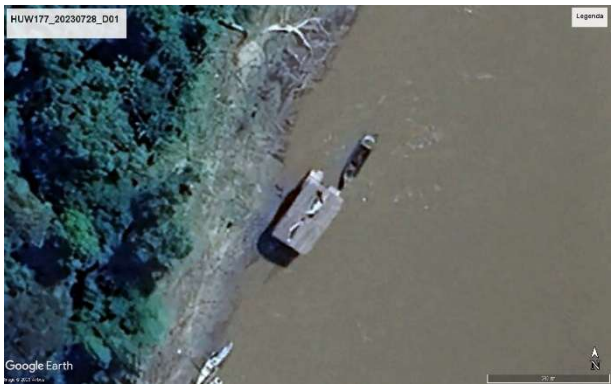

HUW172_20240731_D01
Legenda
Google Earth


HUW173_20240731_D01
Legenda
Google Earth

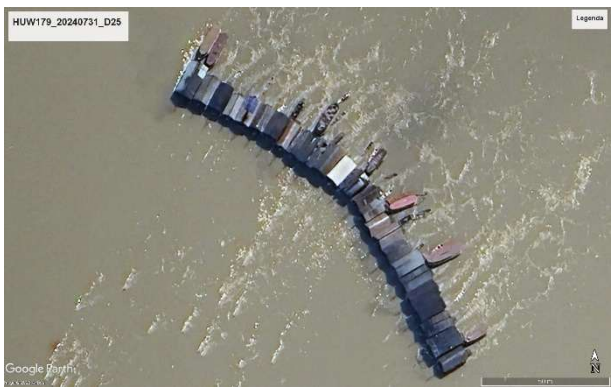

HUW174_20240731_D03
Legenda
Google Earth

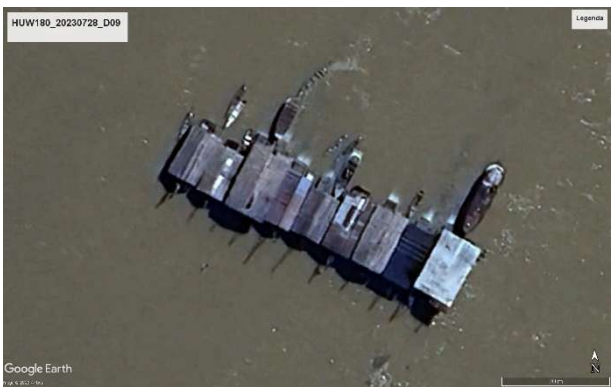

HUW175_20240731_D01
Legenda
Google Earth

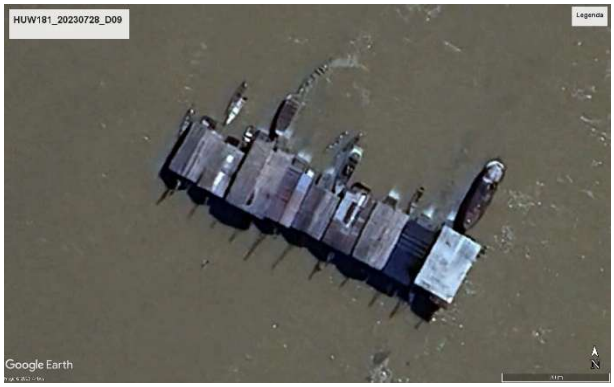

HUW176_20240731_D01
Legenda
Google Earth

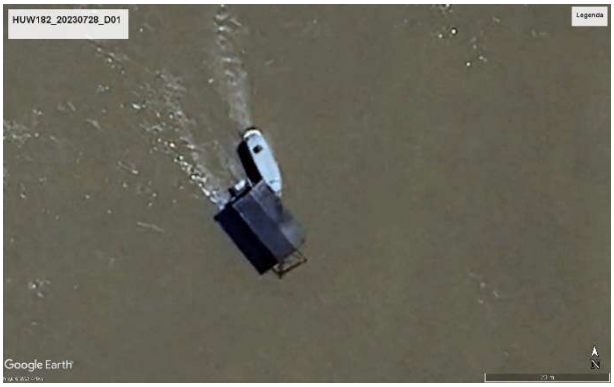

HUW177_20230728_D01
Legenda
Google Earth

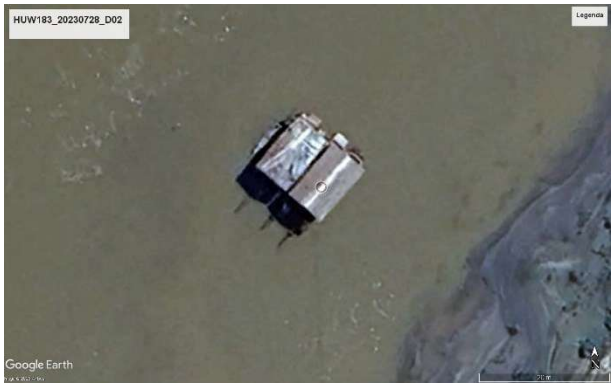

HUW178_20230728_D09
Legenda
Google Earth

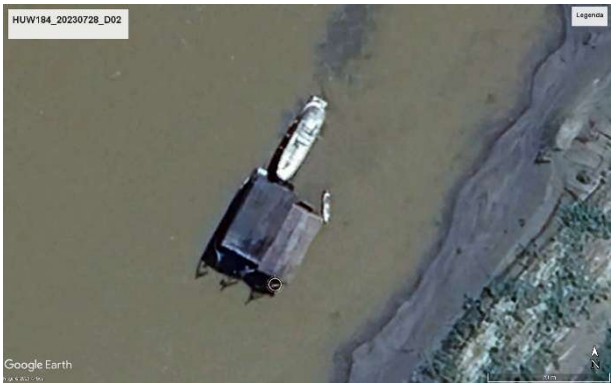

HUW179_20240731_D25
Legenda
Google Earth

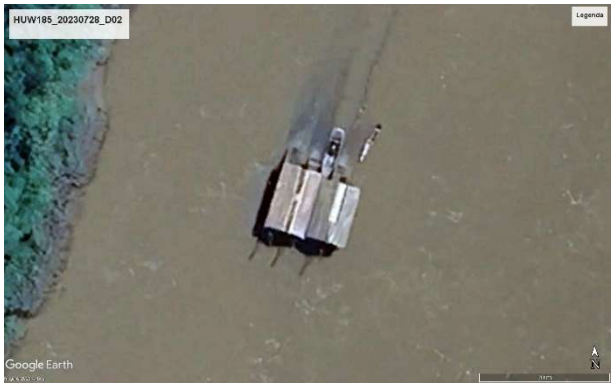

HUW180_20230728_D09
Legenda
Google Earth


HUW181_20230728_D09
Legenda
Google Earth


HUW182_20230728_D01
Legenda
Google Earth

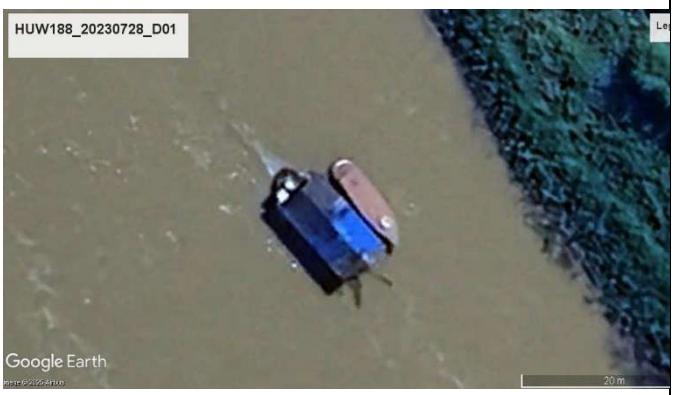

HUW183_20230728_D02
Legenda
Google Earth

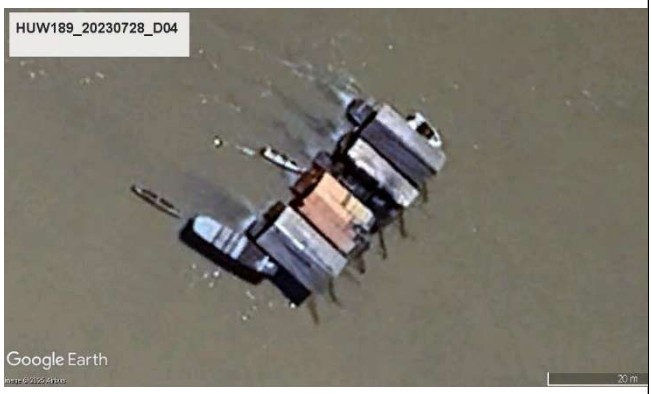

HUW184_20230728_D02
Legenda
Google Earth


HUW185_20230728_D02
Legenda
Google Earth


HUW186_20230728_D01
Legenda
Google Earth


HUW187_20230728_D01
Legenda
Google Earth


HUW188_20230728_D01
Google Earth
20 m


HUW189_20230728_D04
Google Earth


HUW190_20230728_D02
Google Earth


HUW191_20210730_D06
Google Earth


HUW192_20210730_D01
Google Earth


HUW193_20210730_D02
Marcador de local sem título
Google Earth


HUW194_20210730_D02
Google Earth


HUW195_20210730_D01
Google Earth


HUW196_20210730_D01
Google Earth


HUW197_20210730_D02
Google Earth


HUW198_20210730_D01
Google Earth


HUW199_20210730_D03
Google Earth


HUW200_20210730_D01
Google Earth


HUW201_20210730_D01
Google Earth


HUW202_20210730_D02
Google Earth


HUW203_20210730_D02
Google Earth


HUW204_20210730_D07
Google Earth


HUW205_20210730_D01
Google Earth


HUW206_20210730_D04
Google Earth


HUW207_20210730_D02
Google Earth


HUW208_20210730_D03
Legenda
Google Earth


HUW209_20210730_D03
Legenda
Google Earth


HUW210_20210730_D01
Legenda
Google Earth


HUW211_20210730_D01
Google Earth


HUW212_20210730_D01
Legenda
Google Earth


HUW213_20210730_D01
Legenda
Google Earth
20 m
N


HUW214_20210730_D05
Legenda
Google Earth
30 m
N


HUW215_20210730_D08
Legenda
Google Earth
20 m
N


HUW216_20210730_D06
Legenda
Google Earth
30 m
N


HUW217_20210730_D14
Legenda
Google Earth
30 m
N


HUW218_20210730_D13
Legenda
Google Earth
30 m
N


HUW219_20210730_D01
Legenda
Google Earth
20 m
N


HUW220_20210730_D04
Legenda
Google Earth
20 m
N


HUW221_20210730_D03
Legenda
Google Earth
30 m
N

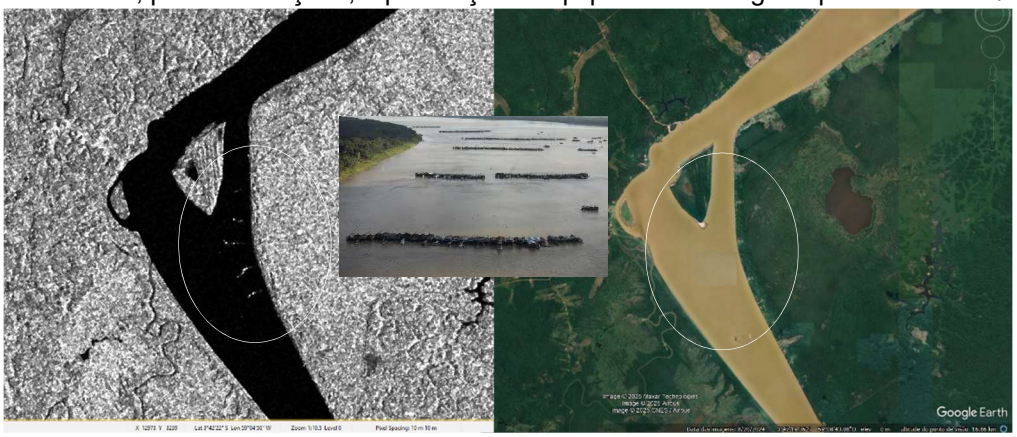

HUW222_20210730_D03
Legenda
Google Earth
20 m
N


HUW223_20210730_D02
Legenda
Google Earth
20 m
N


HUW224_20210730_D02
Legenda
Google Earth
20 m
N

APÊNDICE B – IDENTIFICAÇÃO DE FEIÇÕES DE ALTO CONTRASTE EM IMAGENS SAR

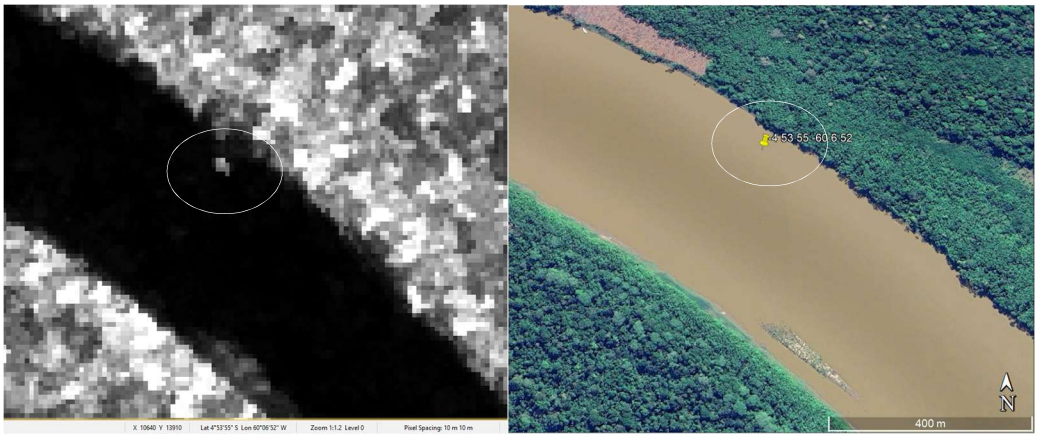
01_AUT_20211122 – CONFIRMADO (Feições transversais ao leito do rio Madeira em local confirmado, por fiscalizações, a presença de equipamentos de garimpo – Rosarinho/Autazes).



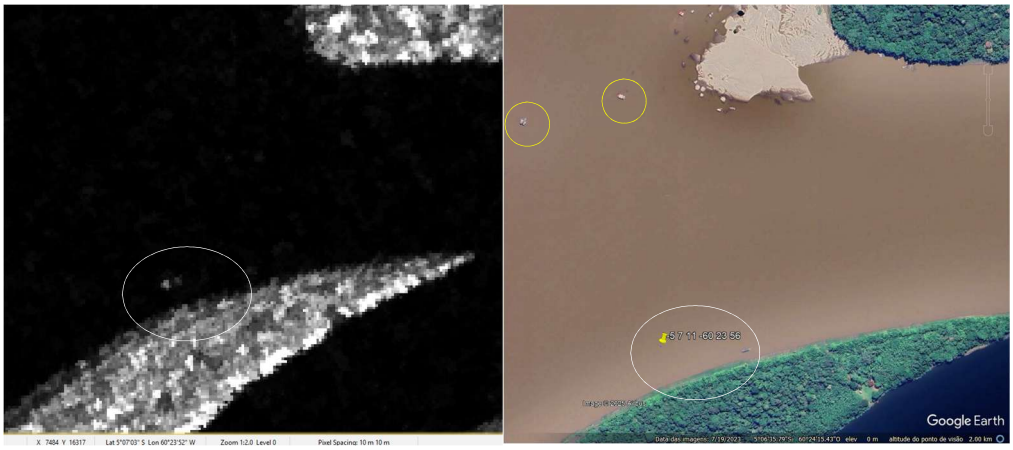
02_NON_20211122 – PROVÁVEL (Feição em área típica de deposição fluvial com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



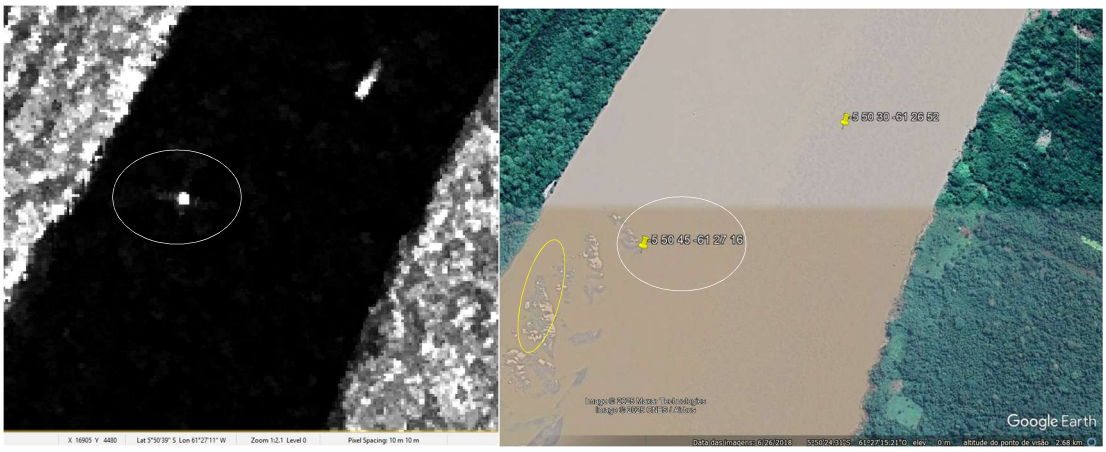
03_RBB_20211128 – PROVÁVEL (Feição em área típica de deposição fluvial com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



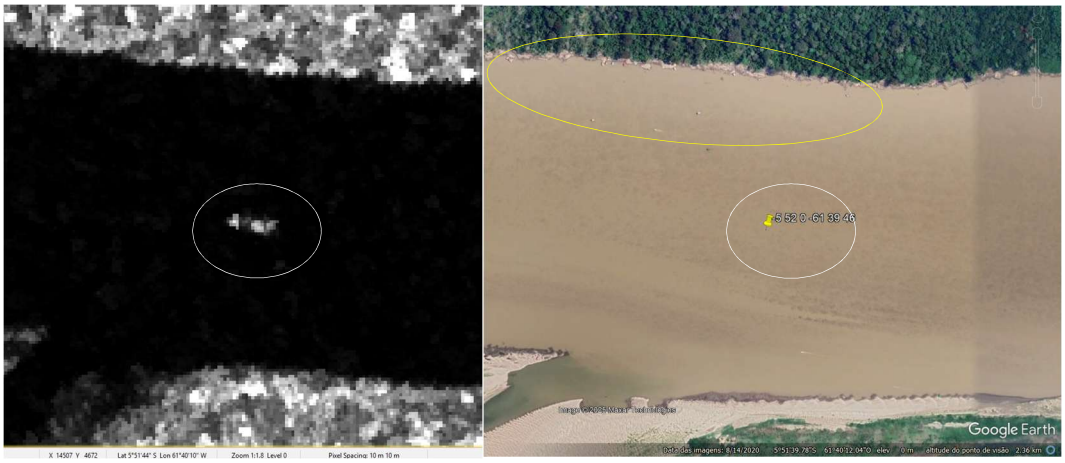
04_NVP_20211128 – PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



05_MNX_20211127 – PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



06_MNX_20211127 – PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



07_MNX_20211127 – PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



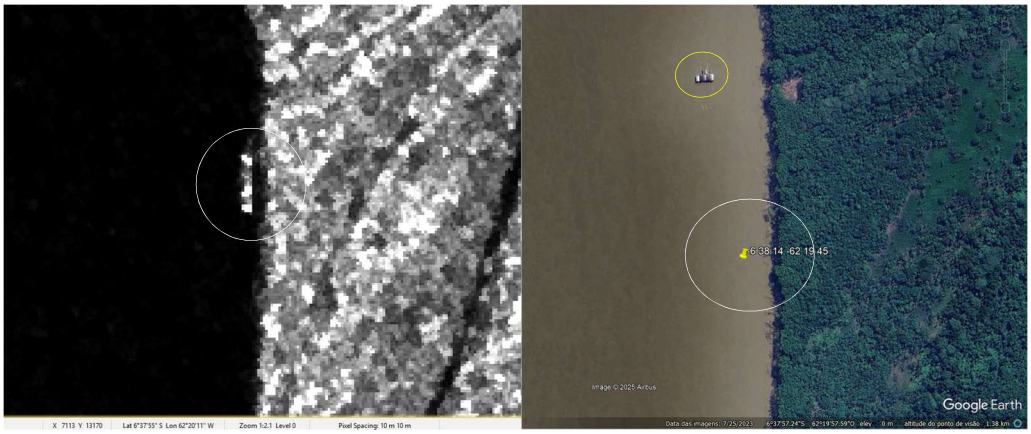
08_MNX_20211127 – PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



09_MNX_20211127 – PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas e disposição na transversal do leito do rio).



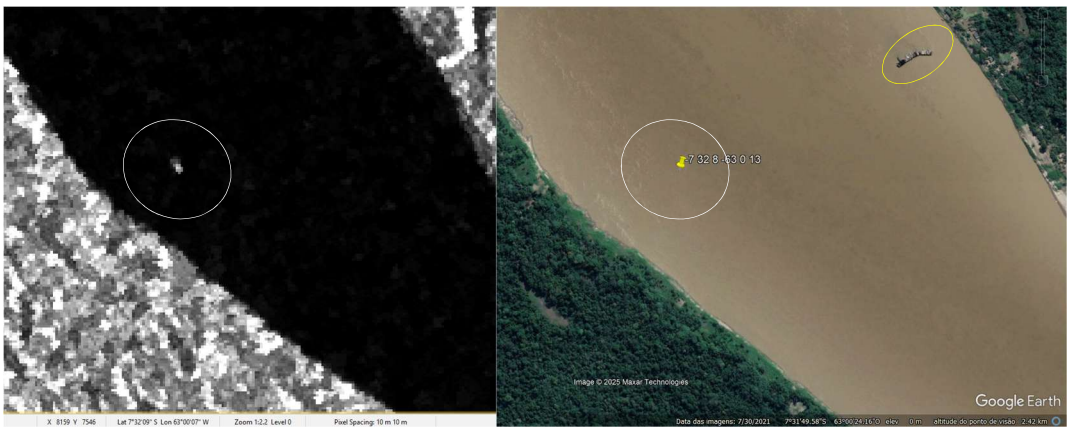
10_HUW_20211127 – PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas, a feição alongada irregular diferente das típicas de embarcações de carga)



11_HUW_20211127_PROVÁVEL (Área próxima de exploração em outras datas, feição alongada irregular diferente das típicas de embarcações de carga)



12_HUW_20211127_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



13_HUW_20211127_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



14_RBB_20221012_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



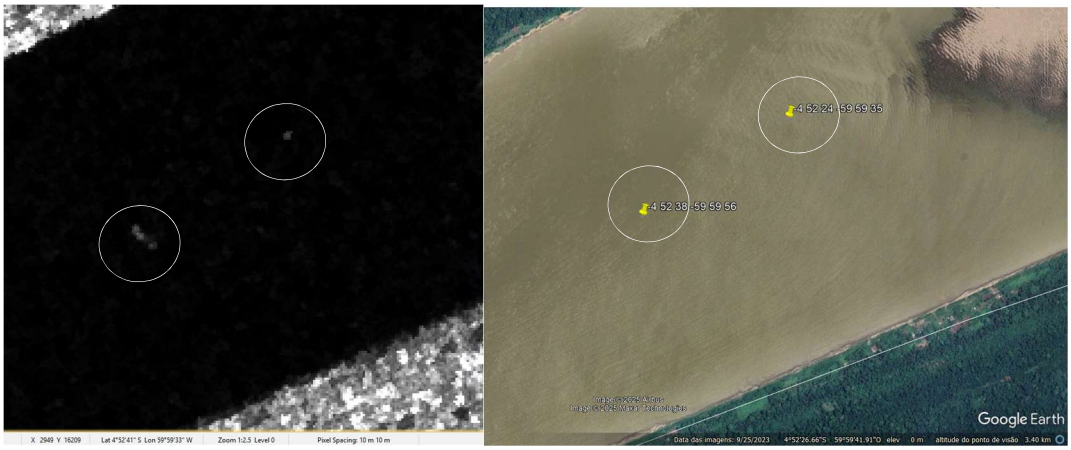
15_RBB_20221012_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



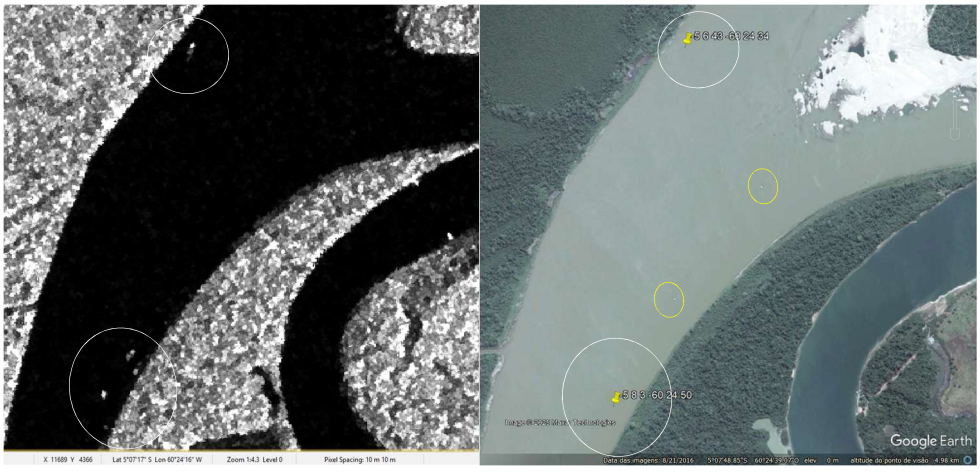
16_RBB_20221012_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



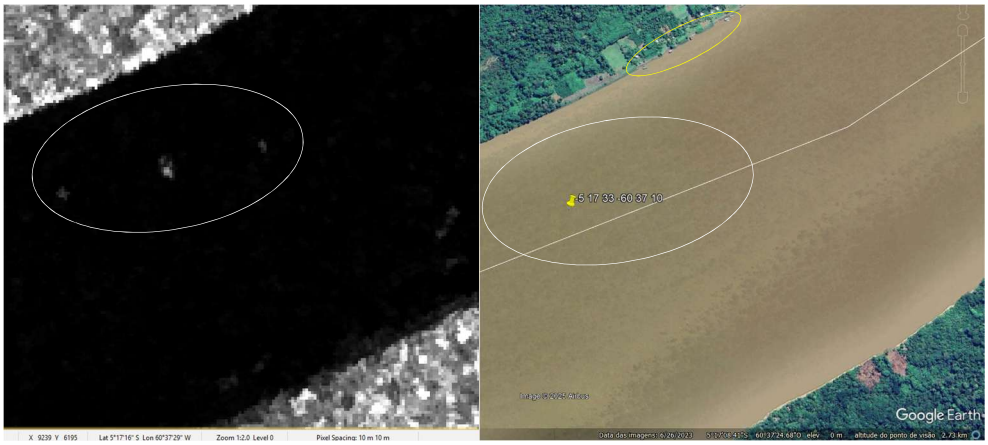
17_RBB_20221012_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



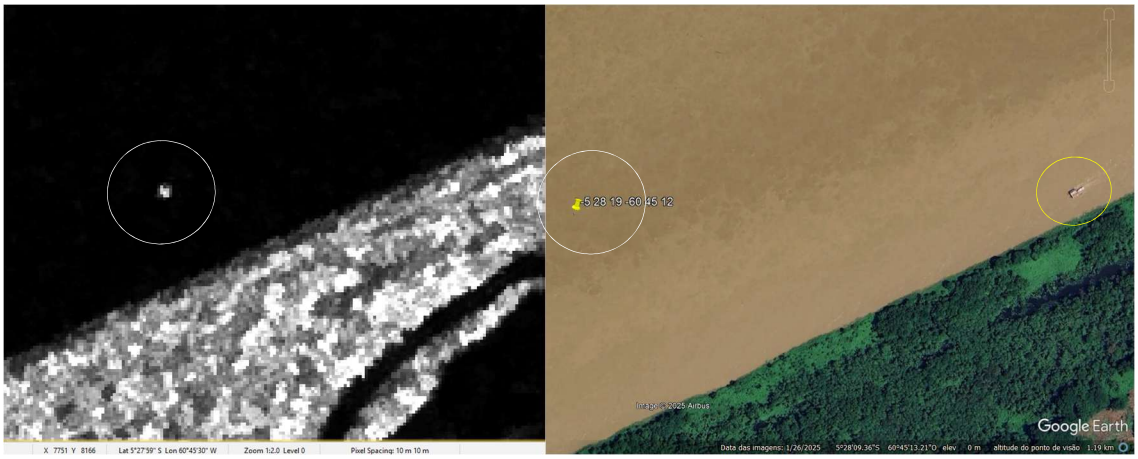
18_NVP_20221012_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



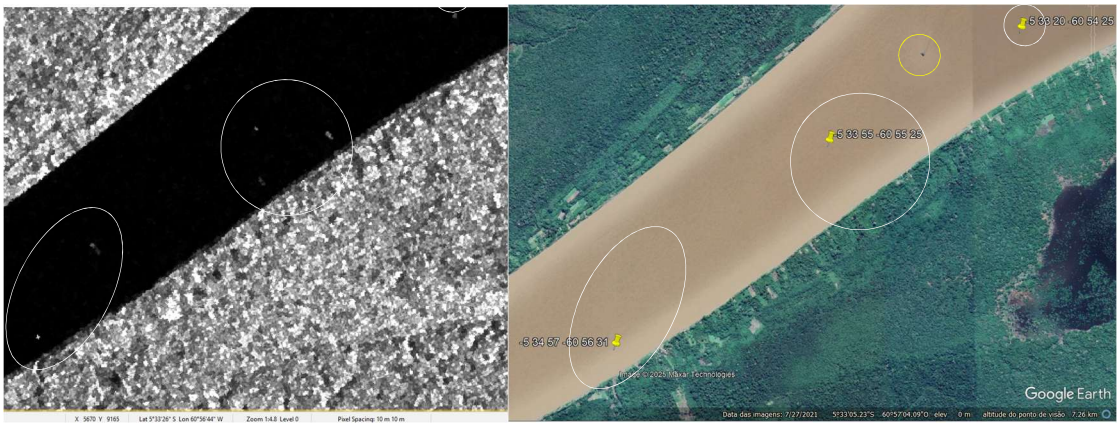
19_NVP_20221012_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



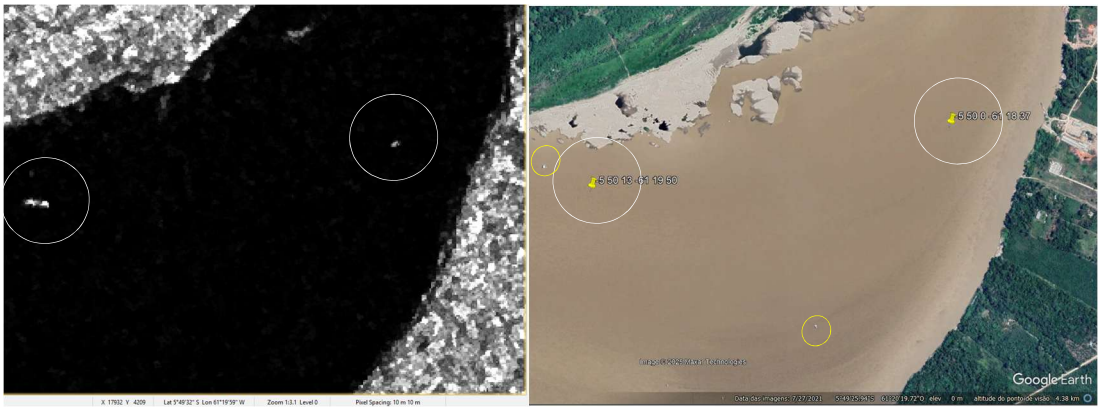
20_MNX_20221012_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



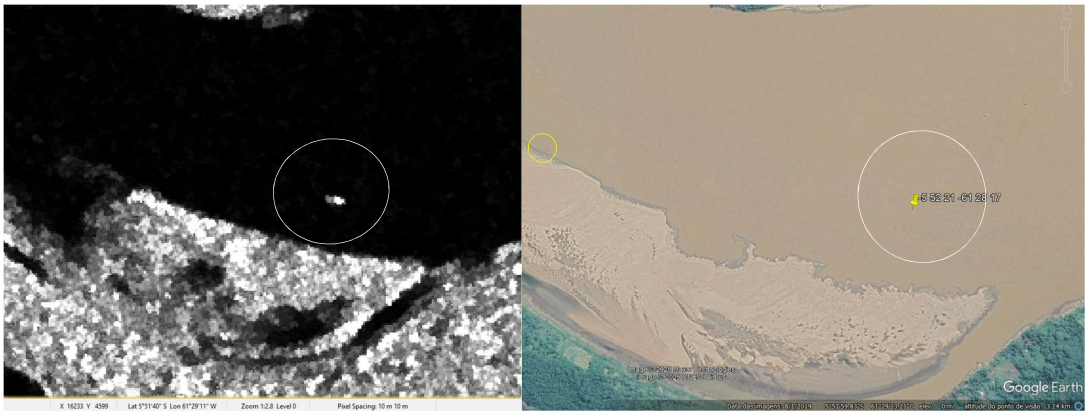
21_MNX_20221012_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



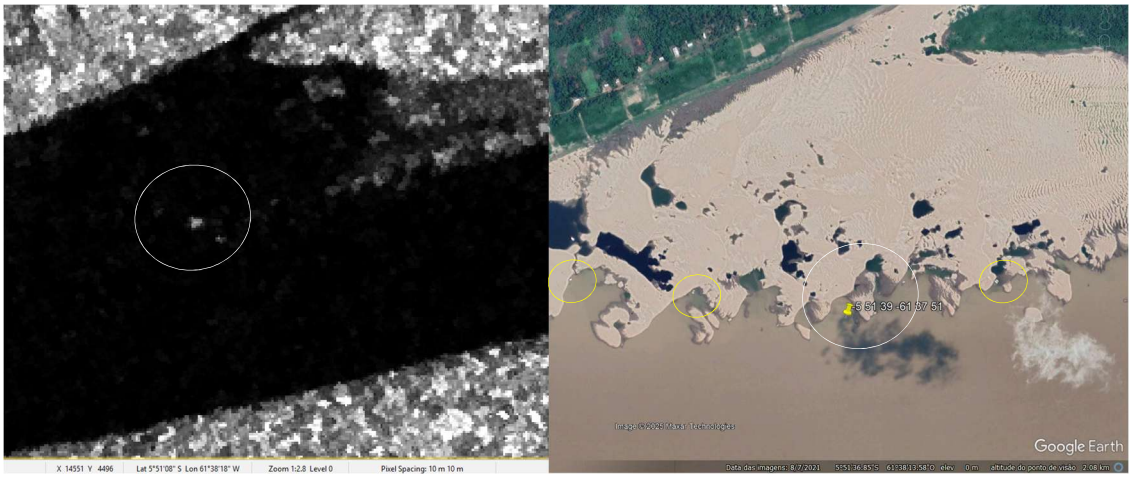
22_MNX_20221017_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



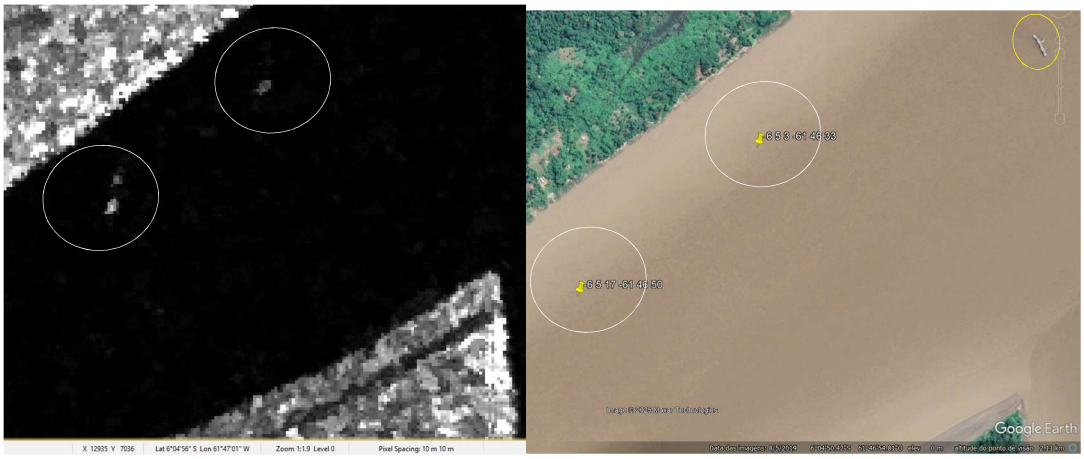
23_MNX_20221017_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



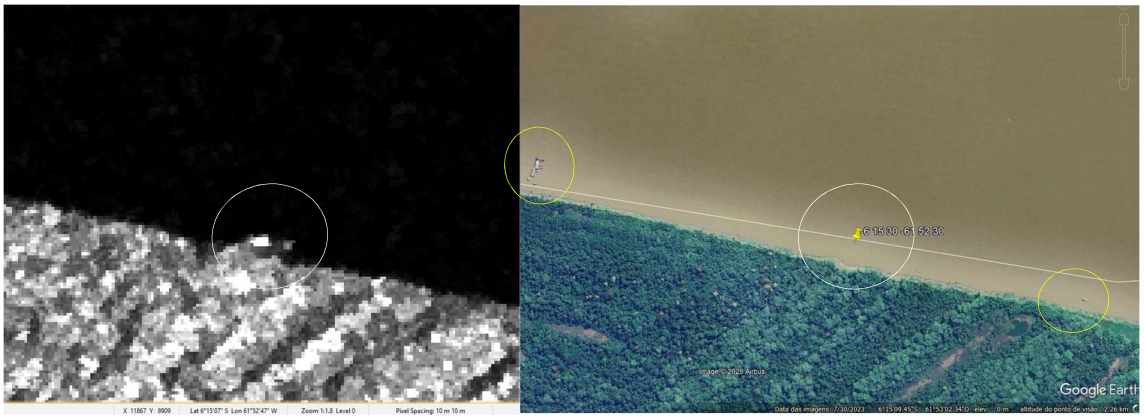
24_MNX_20221017_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



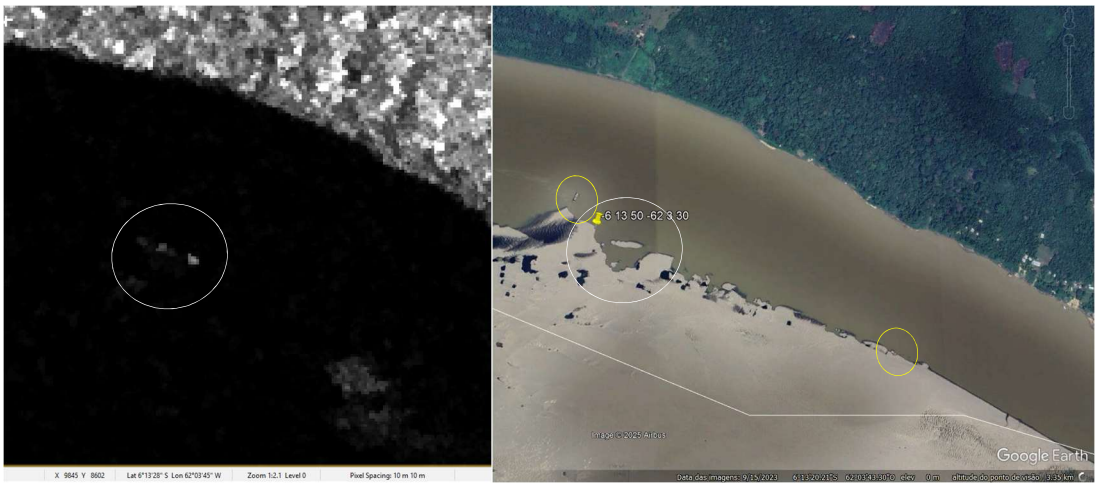
25_MNX_20221017_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



26_MNX_20221017_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



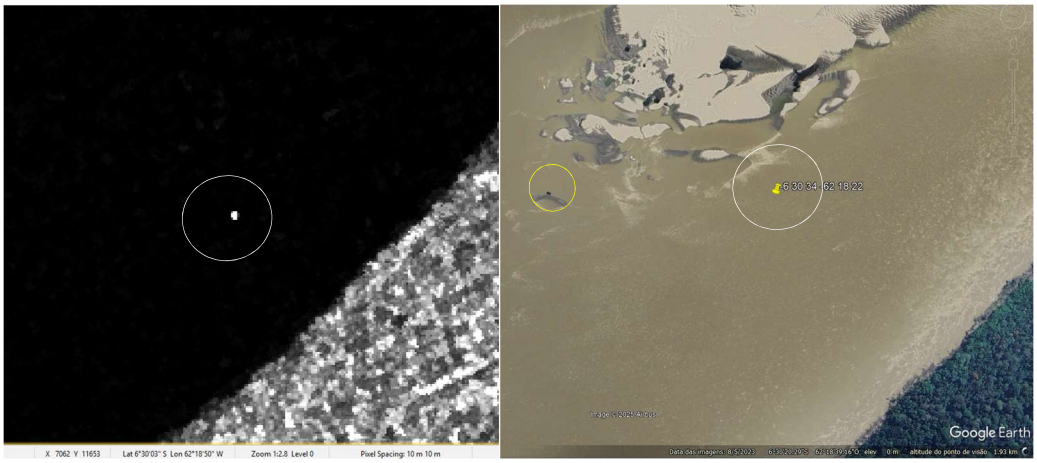
27_MNX_20221017_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



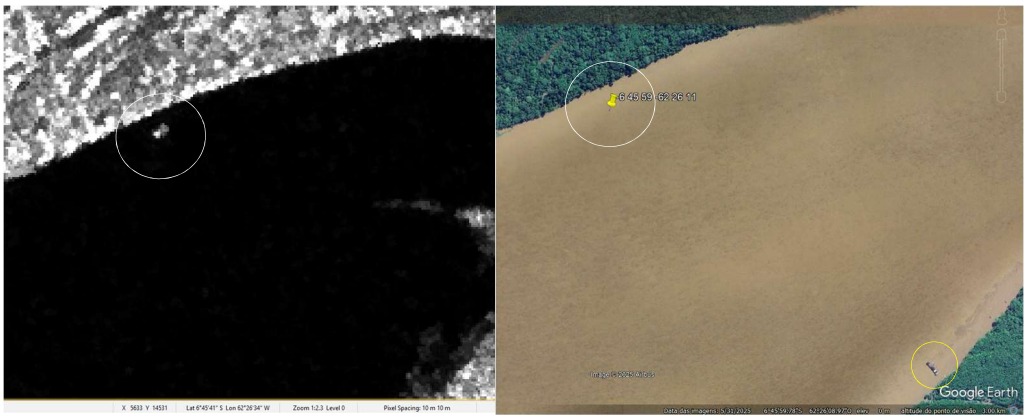
28_HUW_20221017_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com disposição concava diferente das embarcações de carga que são mais retilíneas).



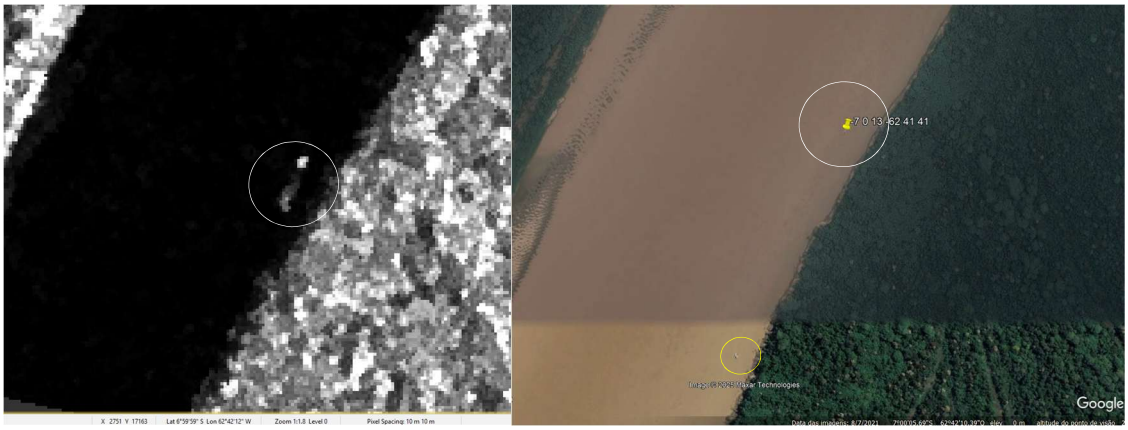
29_HUW_20221017_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



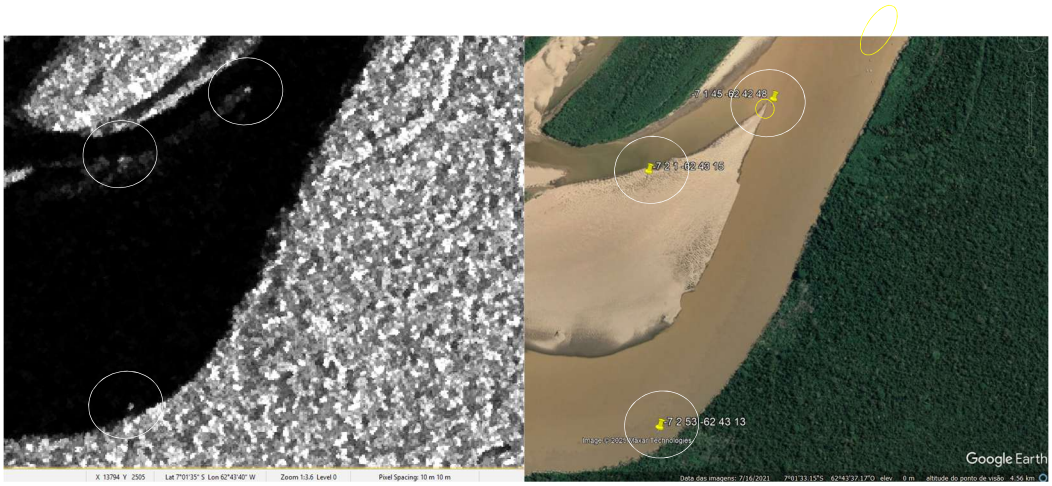
30_HUW_20221017_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



31_HUW_20221017_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas com disposição alongada irregular diferente das embarcações de carga que são regular)



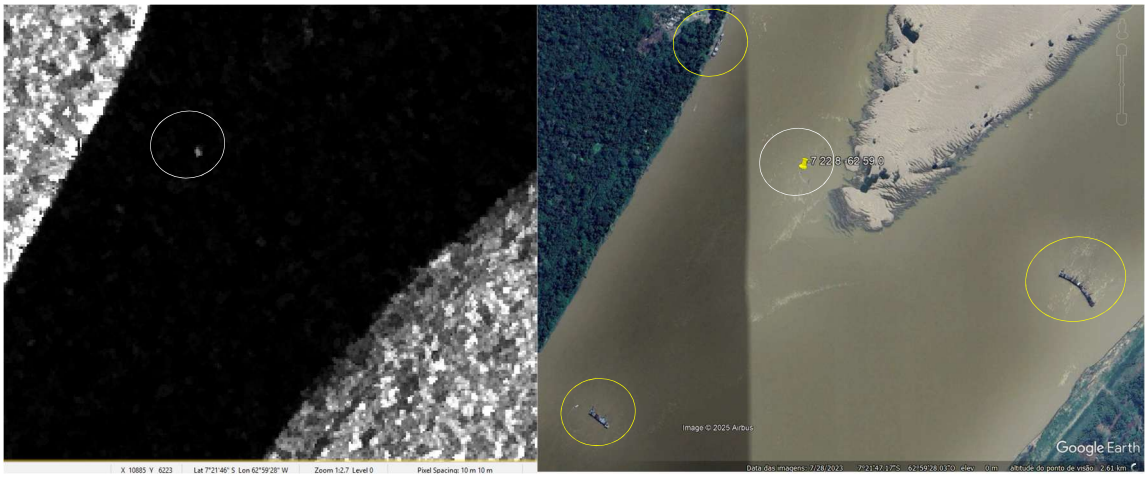
32_HUW_20221017_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



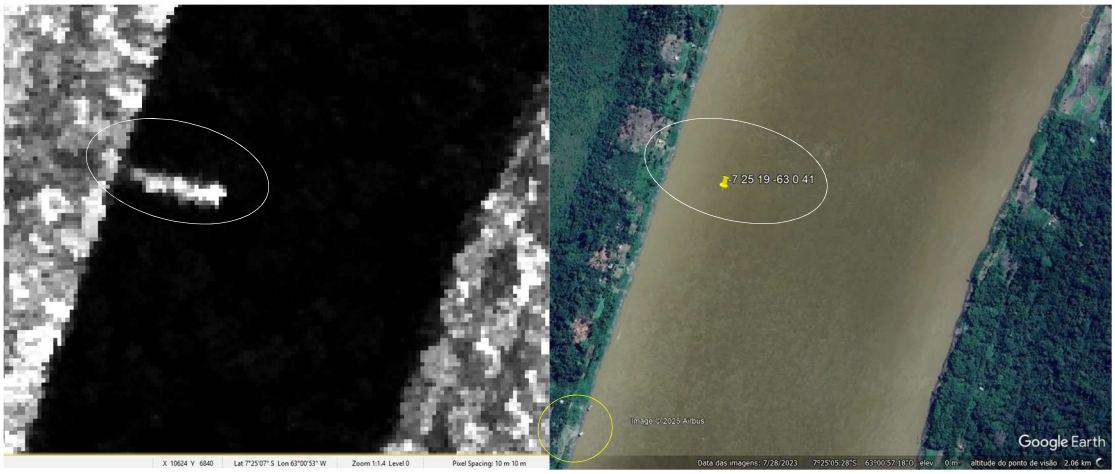
33_HUW_20221017_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



34_HUW_20221017_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



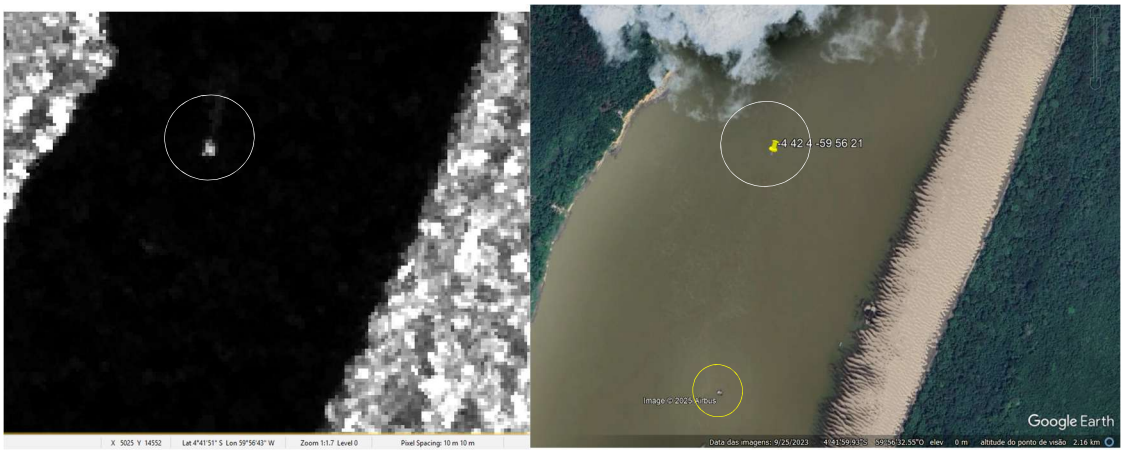
35_HUW_20221017_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas e disposição transversal ao leito do rio Madeira)



36_RBB_20230901_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



37_RBB_20230901_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



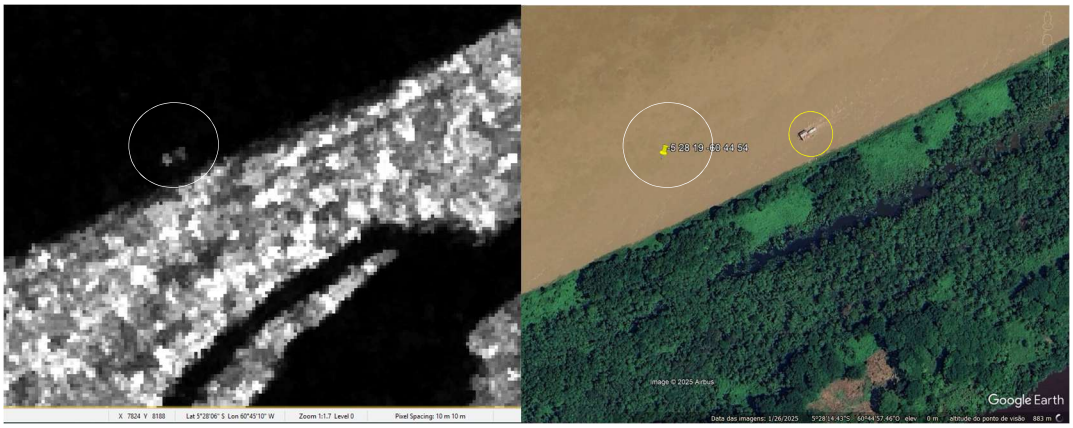
38_NVP_20230901_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



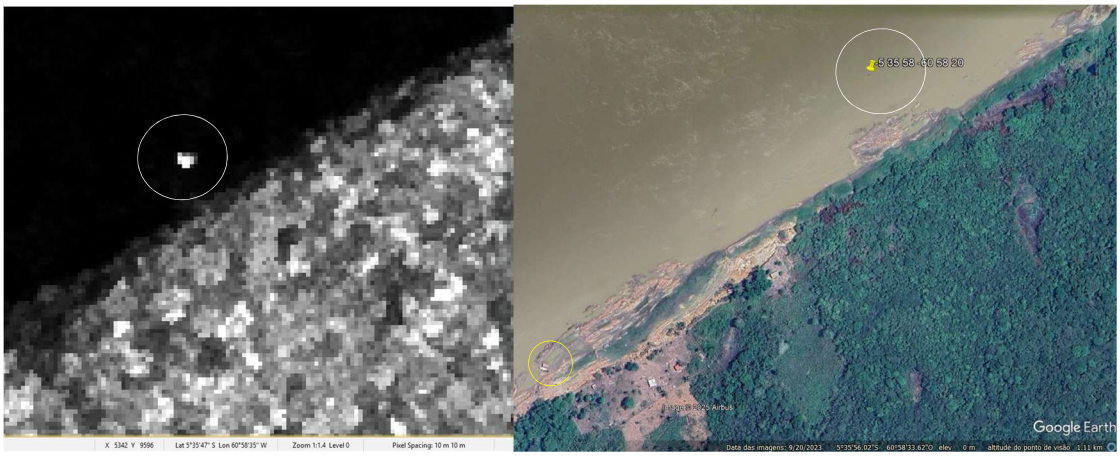
39_MNX_20230901_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



40_MNX_20230901_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



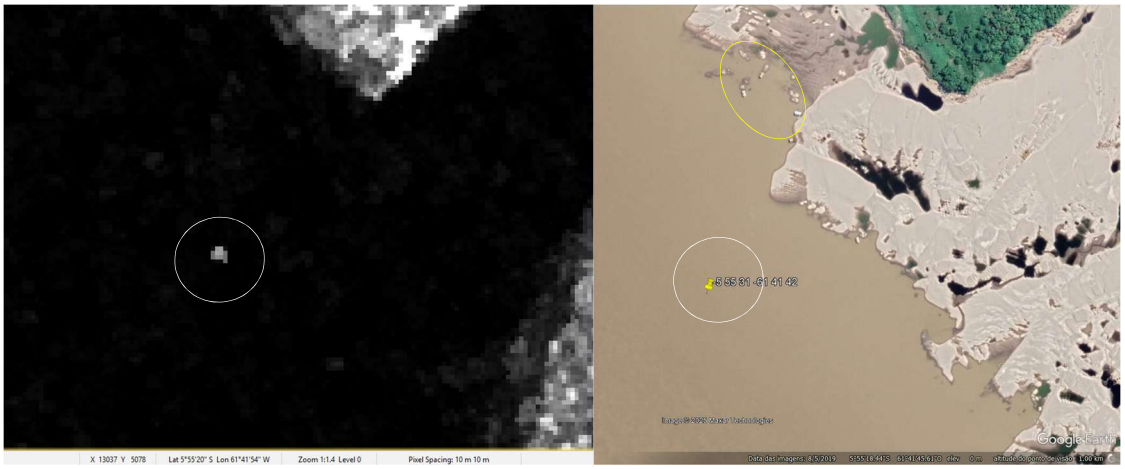
41_MNX_20230901_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



42_MNX_20230901_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



43_MNX_20230825_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



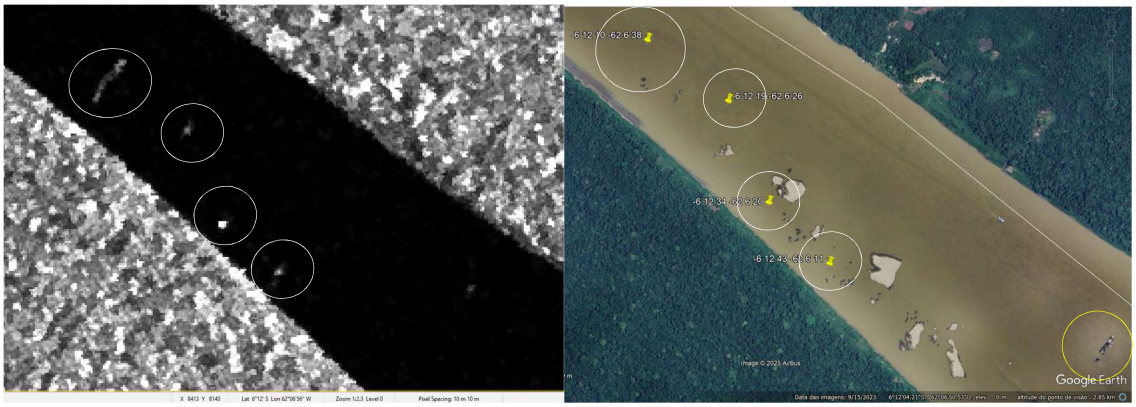
44_MNX_20230825_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas e disposição transversal ao leito do rio Madeira)



45_HUW_20230825_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



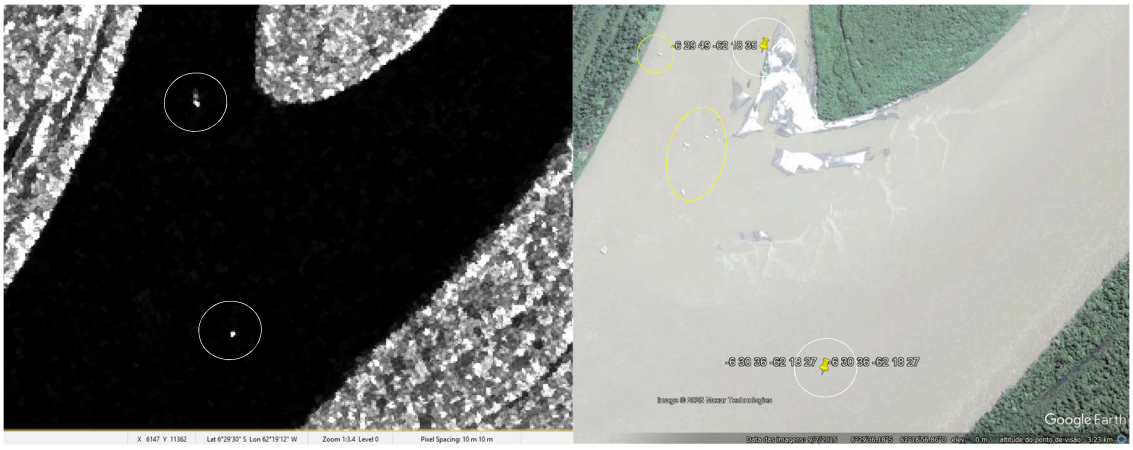
46_HUW_20230825_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas e disposição transversal ao leito do rio Madeira)



47_HUW_20230825_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



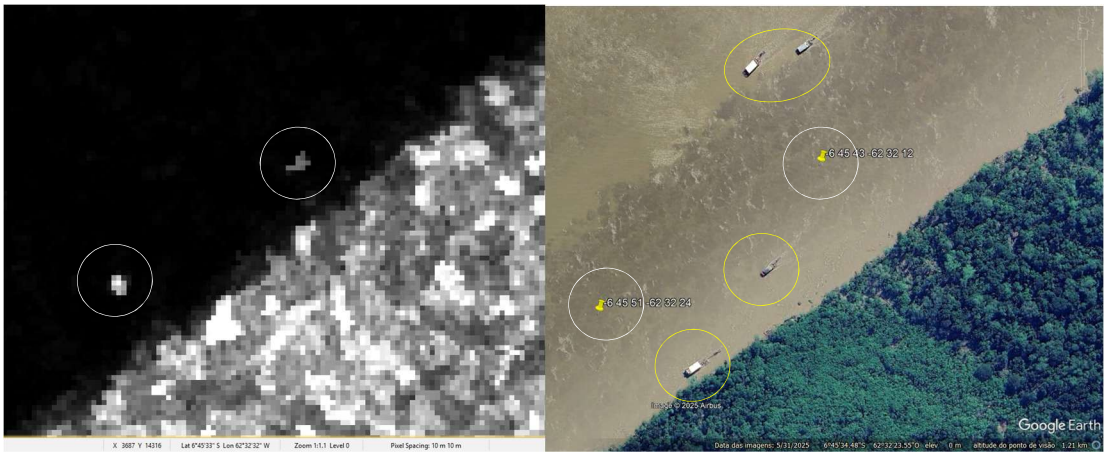
48_HUW_20230825_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



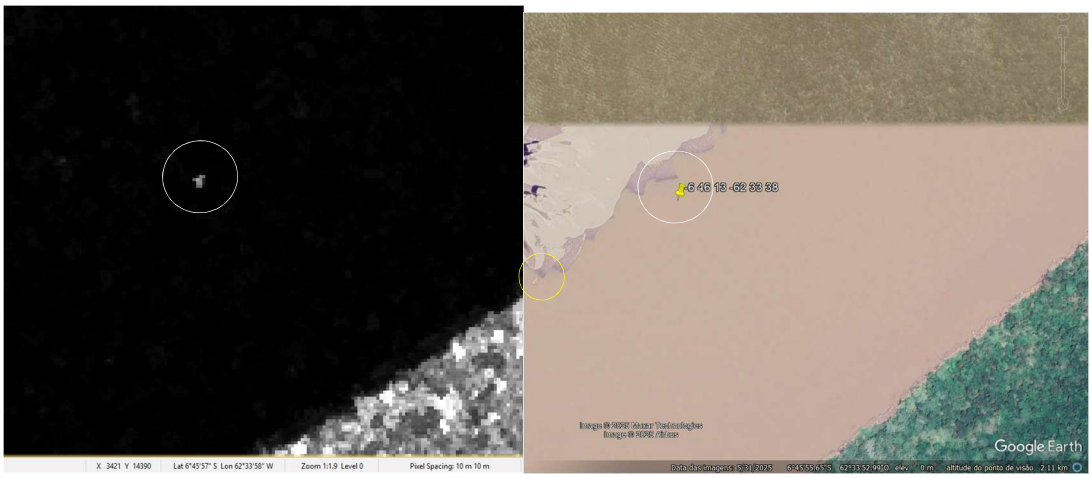
49_HUW_20230825_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



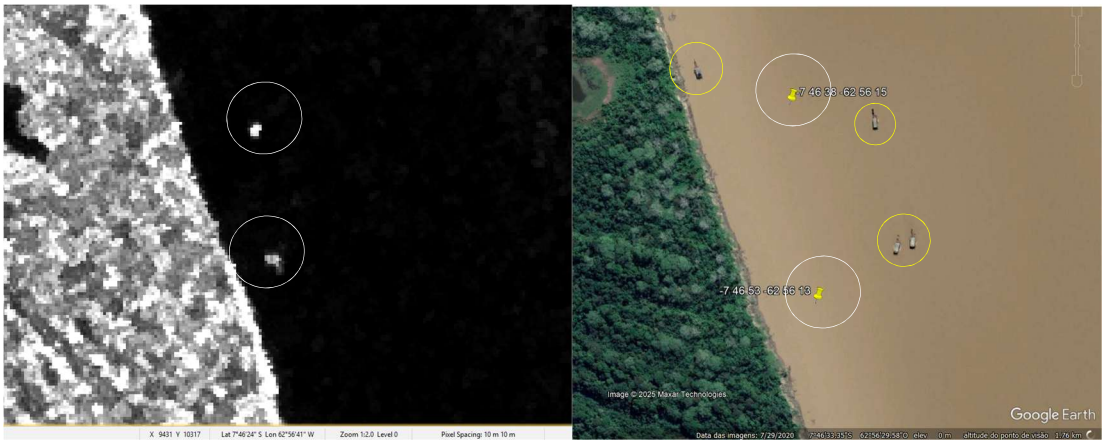
50_HUW_20230825_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



51_HUW_20230825_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



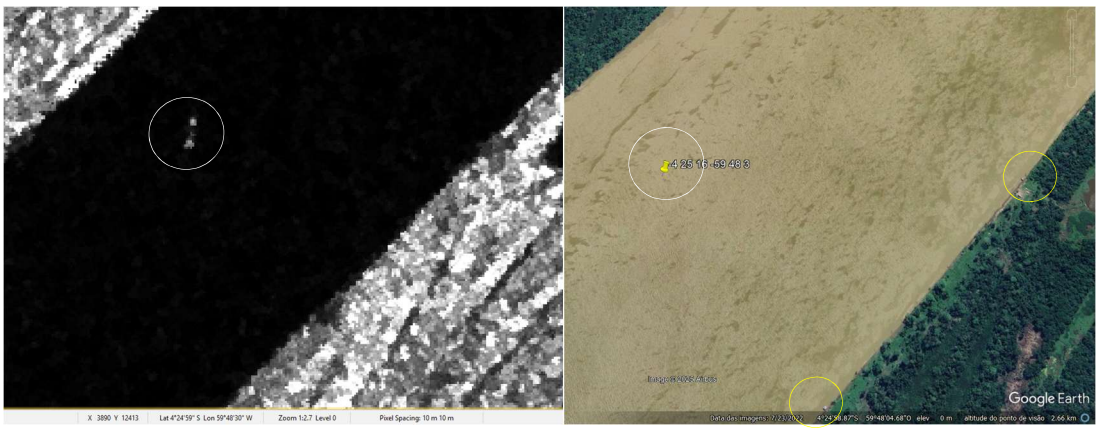
52_HUW_20230825_PROVÁVEL (Feições em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



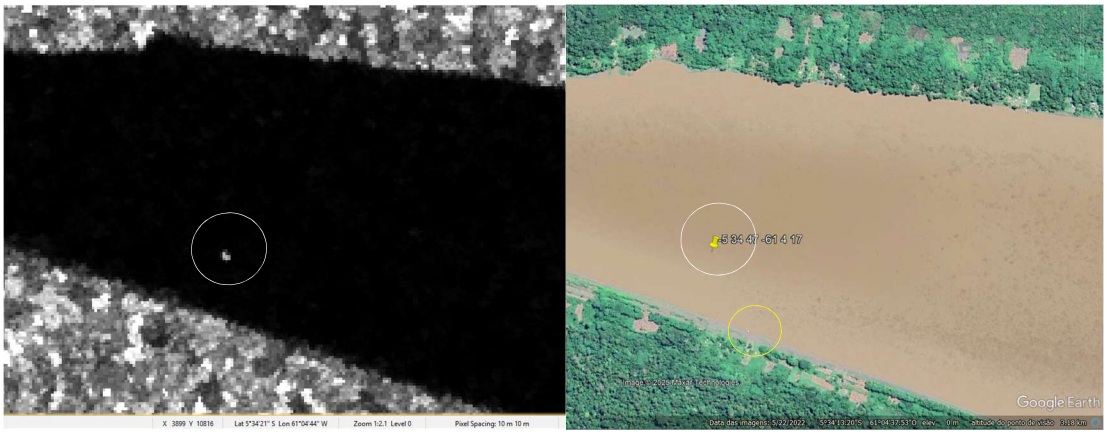
53_HUW_20230825_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



54_RBB_20240826_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



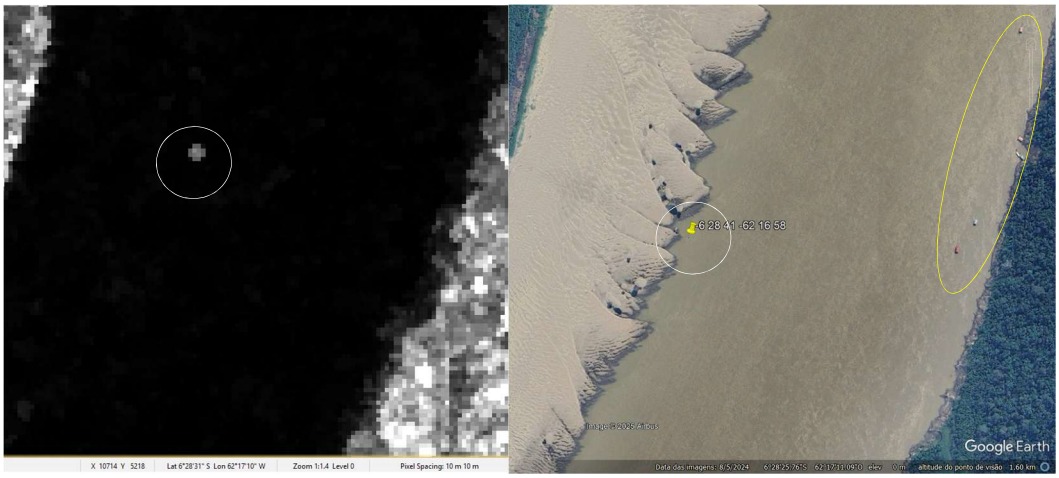
55_MNX_20240826_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



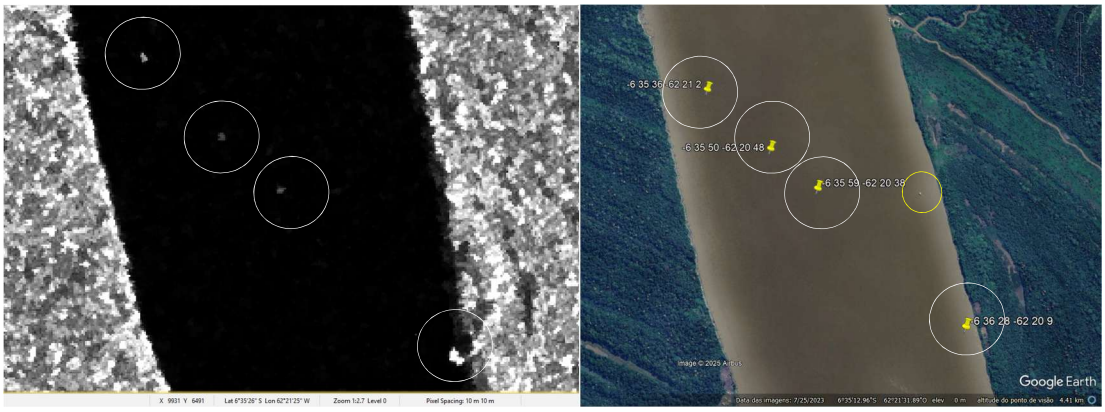
56_MNX_20240831_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



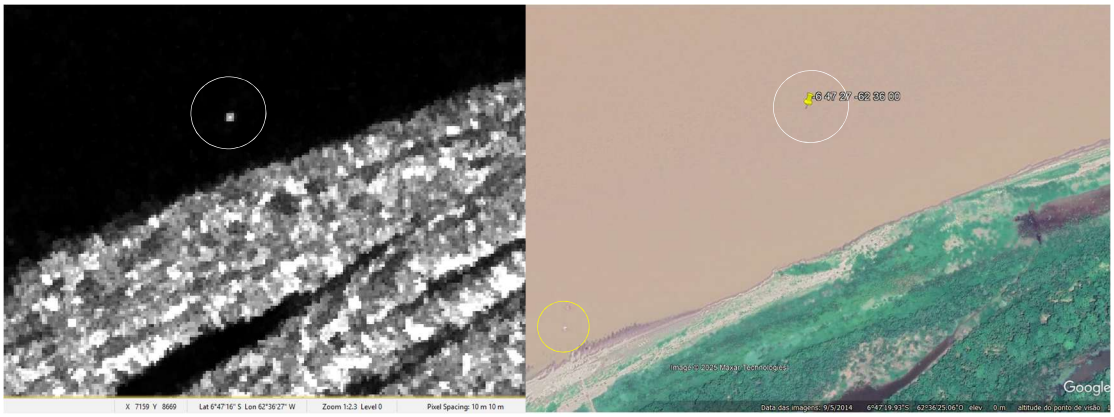
57_HUW_20240831_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



58_HUW_20240831_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas)



59_HUW_20240831_PROVÁVEL (Feição em área de deposição com histórico de garimpo fluvial em outras datas).



60_HUW_20240831_PROVÁVEL (Feição em área com histórico de garimpo fluvial em outras datas).

