

**IMPACTOS DO GARIMPO DE OURO NA BACIA DO RIO
AMANÃ (AM-PA)**

**IMPACTS OF GOLD MINING ON THE AMANÃ RIVER
BASIN (AM-PA)**

**IMPACTOS DE LA MINERÍA DE ORO EN EL CUENCA DEL RÍO
AMANÃ (AM-PA)**

Rogério Ribeiro Marinho¹ <https://orcid.org/0000-0001-5219-8635>

Diogo Ferreira Ribeiro² <https://orcid.org/0009-0003-9436-0997>

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise dos impactos da mineração ilegal de ouro na bacia do rio Amanã, situada entre os estados do Amazonas e Pará. A pesquisa foi baseada em dados disponibilizados pelo Projeto Mapbiomas entre os anos 1985 e 2020 e imagens da superfície d'água (sensor OLI Landsat-8). Os resultados indicaram redução de 40% da vegetação nativa (formação campestre), diminuição de 22% nos corpos d'água e aumento de 459% na área de garimpo entre 2010 e 2020. Além disso, a atividade de mineração ilegal de ouro pode ter resultado em aumento de 2 a 3 vezes na turbidez do rio Amanã em comparação com os rios Paracuí e Maués-Açú. Em termos monetários, ao longo de três décadas a produção ilegal de ouro nesta bacia pode ter resultado em um dano total de R\$ 6,72 bilhões referente à falta de arrecadação de tributos, problemas de erosão/sedimentação de rios e desmatamento e degradação da vegetação nativa. Os resultados deste estudo fornecem análises atualizadas que podem subsidiar ações de controle e gestão por parte das autoridades públicas, especialmente os órgãos de fiscalização ambiental estaduais em relação aos impactos do garimpo de ouro ilegal.

Palavras-chave: Mineração ilegal. Impactos ambientais. Escudo Brasileiro.

ABSTRACT

This article presents an analysis of the impacts of illegal gold mining in the Amanã River basin, located between the states of Amazonas and Pará, Brazil. This research was based on data made available by the Mapbiomas Project between the years 1985 and 2020 and surface water images (OLI Landsat-8 sensor). The results indicated a 40% reduction in native vegetation (grassland formation), a 22% reduction in water bodies, and a 459% increase in mining areas between 2010 and 2020. Additionally, the activity of illegal gold mining may have resulted in a 2 to 3 times increase in the turbidity of the Amanã River compared to the Paracuí and Maués-Açú rivers. In monetary terms, over three decades, the illegal gold production in this basin may have resulted in total damage to R\$ 6.72 billion due to the lack of tax revenue, river erosion/sedimentation problems, and deforestation and

¹ Professor do PPGEOG/UFAM. Departamento de Geografia da Universidade Federal do Amazonas – UFAM. E-mail: rogeo@ufam.edu.br

² Graduando do curso de Bacharelado em Geografia pela Universidade Federal do Amazonas – UFAM. E-mail: ribeirodiogogeo@gmail.com

degradation of native vegetation. The results of this study provide updated analyses that can support management actions by public authorities, especially environmental monitoring agencies, regarding the impacts of illegal gold mining.

Keywords: Illegal mining. Environmental impacts. Brazilian Shield.

RESUMEN

Este artículo presenta un análisis de los impactos de la minería ilegal de oro en la cuenca del río Amanã, ubicada entre los estados de Amazonas y Pará, Brasil. La investigación se basó en datos proporcionados por el Proyecto Mapbiomas entre los años 1985 y 2020, así como en imágenes de la superficie del agua (sensor OLI Landsat-8). Los resultados indicaron una reducción del 40% en la vegetación nativa (formación de pastizales), una disminución del 22% en los cuerpos de agua y un aumento del 459% en el área de minería entre 2010 y 2020. Además, la actividad de la minería ilegal de oro podría haber resultado en un aumento del 2 a las 3 veces en la turbidez del río Amanã en comparación con los ríos Paracuí y Maués-Açú. En términos monetarios, a lo largo de tres décadas, la producción ilegal de oro en esta cuenca podría haber resultado en un daño total de R\$ 6.72 mil millones debido a la falta de recaudación de impuestos, problemas de erosión/sedimentación de ríos y deforestación y degradación de la vegetación nativa. Los resultados de este estudio proporcionan análisis actualizados que pueden respaldar acciones de control y gestión por parte de las autoridades, especialmente los organismos de vigilancia ambiental, con respecto a los impactos de la minería ilegal de oro.

Palabras clave: Minería ilegal. Impactos ambientales. Escudo brasileño

INTRODUÇÃO

A atividade de mineração é desde a década de 1980 um importante elemento da produção do espaço na Amazônia Brasileira. As principais frentes garimpeiras de ouro contribuíram para o aumento da população, crescimento de cidades e de pequenos núcleos urbanos da região (WANDERLEY, 2015). Porém, a extração garimpeira do ouro resulta no desmatamento e degradação florestal, poluição de corpos d'água e impactos ambientais negativos sobre populações humanas e na fauna (DE-PAULA; LAMAS-CORRÊA; TUTUNJI, 2006; LACERDA, 1997; SONTER et al., 2017). Atualmente, grande parte da mineração de ouro na região ocorre através do emprego de maquinários pesados para extrair ouro de aluvião (COELHO; WANDERLEY; COSTA, 2016), em diversas províncias geológicas situadas no Escudo Brasileiro e no Escudo das Guianas.

É evidente que a atividade de mineração ilegal de ouro na Amazônia Brasileira tem gerado impactos significativos sobre o meio ambiente e os recursos hídricos. Diversas áreas

na região têm enfrentado consequências negativas devido à mineração ilegal de ouro, principalmente nas principais províncias geológicas, situadas no Escudo Brasileiro, localizado ao sul da bacia, e no Escudo das Guianas, ao norte da bacia.

Essas províncias geológicas são caracterizadas por suas propriedades favoráveis à ocorrência de depósitos auríferos (CORDANI; JULIANI, 2019). Na Amazônia brasileira destacam-se as províncias do Tapajós, Carajás e Roraima. A província do Tapajós, localizada no estado do Pará, é amplamente reconhecida como uma das áreas mais relevantes e exploradas para a mineração de ouro na região, abrangendo municípios como Itaituba, Jacareacanga (ambos na divisa com o estado do Amazonas) e Novo Progresso. No norte da bacia destaca-se a província de Roraima, localizada no estado de mesmo nome, com grande ocorrência de depósitos auríferos em áreas no interior da Terra Indígena Yanomami. No Escudo das Guianas, a província de Guiana se destaca, estendendo-se por diversos países da região, incluindo o Brasil. Essas províncias têm sido objeto de atividades de mineração, incluindo o garimpo ilegal de ouro, em virtude da presença de depósitos auríferos de considerável relevância econômica.

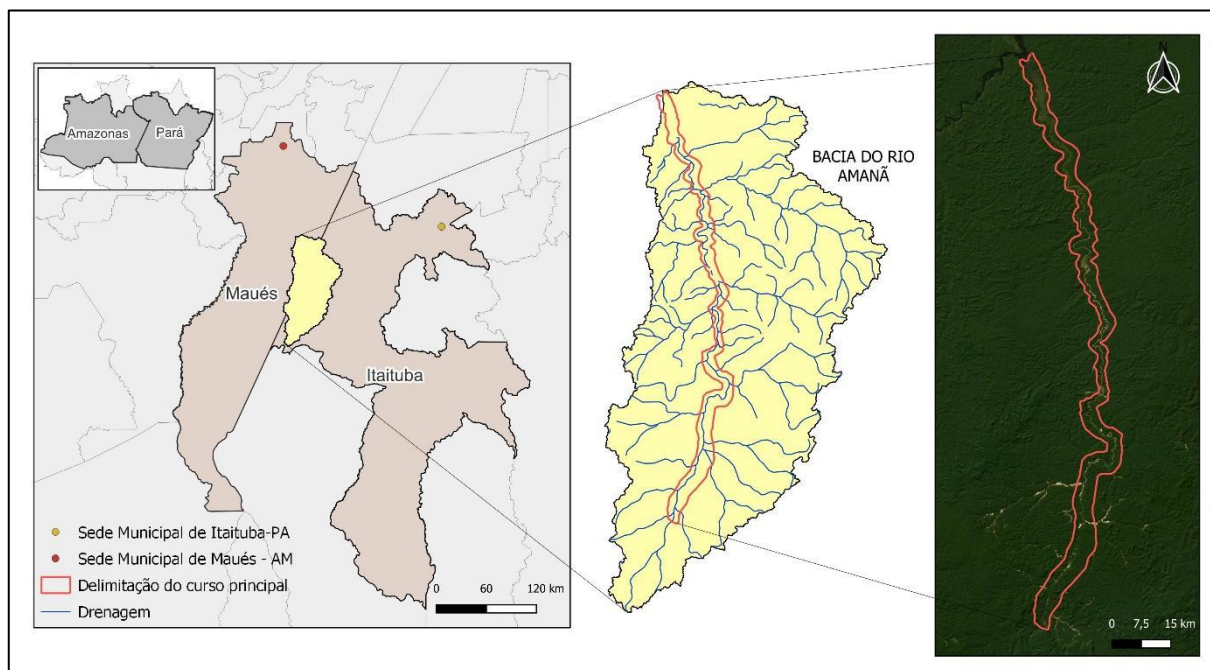
O rio Maués-Açú é formado pela confluência dos rios Paracuí e Amanã, que drenam respectivamente os municípios de Maués (Amazonas) e Itaituba (Pará). Estes rios possuem como principais características naturais de suas águas um baixo valor de pH (~4), coloração preta, elevada carga de matéria orgânica dissolvida e baixa carga de sedimento suspenso (SIOLI, 1985). Grande parte destes rios drenam terrenos geologicamente antigos e estão situados em áreas legalmente protegidas, como a Floresta Nacional do Amanã, a Floresta Nacional de Pau-Rosa e a Floresta Estadual Maués. No entanto, nas últimas décadas a atividade de mineração ilegal de ouro no alto curso do rio Amanã tem ocasionado impactos na cobertura florestal e nos recursos hídricos superficiais (LOBO et al., 2018, LOBO et al., 2019), especialmente nas mudanças da qualidade da água das regiões a jusante devido ao lançamento de sedimentos oriundos da atividade garimpeira.

A extração de ouro em garimpos ilegais na Amazônia ocorre por meio de dragas flutuantes sobre os rios, em cavas ou em barrancos. Em ambos os modos, a atividade garimpeira produz sedimentos que são lançados em lagos e na rede hidrográfica, que os transportam em suspensão, muitas vezes contaminados com poluentes, como o mercúrio. Monitorar a qualidade ambiental em sistemas fluviais com atividade garimpeira é importante para avaliar como esta atividade impacta a floresta, os recursos hídricos superficiais, ecossistemas fluviais e as populações humanas. Assim, o uso de dados de satélites mostra-se como uma ferramenta fundamental para este tipo de monitoramento.

A atividade do garimpo de ouro na Amazônia, como observada na região dos formadores do rio Maués-Açú, resultam em impactos negativos sobre a floresta, rios e populações humanas. Portanto, a quantificação e o monitoramento da área e os recursos naturais afetados são necessários para ações de comando e controle do poder público. Neste contexto, este artigo tem como objetivo analisar os impactos da mineração ilegal de ouro nas bacias dos rios Amanã e Maués-Açú, no estado do Amazonas. Para alcançar esse objetivo, foram abordadas as seguintes questões: Quais os principais impactos ambientais causados pelo garimpo ilegal de ouro? Como a atividade garimpeira ilegal impacta na dinâmica espaço-temporal das mudanças no uso da terra na área de estudo. Espera-se que este trabalho possa contribuir para a compreensão dos problemas socioambientais causados pela mineração ilegal de ouro e fornecer análises atualizadas que possam subsidiar a gestão territorial por parte das autoridades públicas.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Amanã, situa-se na divisa entre os municípios de Maués (AM) e Itaituba (PA), com uma área total de 552.745 hectares (Figura 1). A sede do município de Maués está situada às margens do rio Maués-Açu, que faz parte da região do médio curso do rio Amazonas. A ocupação nesse município teve início a partir de conflitos entre os Munduruku e os colonizadores, no século XVIII. Desse contexto conflituoso emergiu a Vila Luséa, atualmente conhecida como Maués. Em 1833 foi elevada à categoria de Vila e em 1858, tornou-se freguesia com o nome de Maués (IBGE, 2022). De acordo com as estimativas do Censo de 2021, a população de Maués é de 66.159 habitantes, com área territorial de 39.991 km² e situando-se na mesorregião Centro Amazonense.

Figura 1 - Localização da Área de Estudo

Fonte: IBGE (2023)

Do ponto de vista geológico, Maués está situada na bacia sedimentar do Amazonas, com sua porção sul inserida na bacia do Alto Tapajós. Esta região engloba parte da compartimentação geológica das coberturas Fanerozóicas, influenciada pelo Cráton Sul-Amazônico, e uma parte de seu território está localizada na província geocronológica Tapajós-Parima (REIS; ALMEIDA, 2010). Em relação a geomorfologia, a área é caracterizada pelo domínio geomorfológico dos Tabuleiros da Amazônia Centro-Occidental, também conhecida como Depressão Amazônica (ROSS, 1996). Além disso, outra parte do município abrange o domínio dos Baixos Platôs da Amazônia Centro-Oriental.

Na região predominam os Latossolos Amarelos, os quais são classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como solos compostos por material mineral, apresentando um horizonte B latossólico abaixo dos horizontes superficiais e alto teor de argila (DOS SANTOS et al., 2018). Também é possível observar áreas com ocorrência de Argissolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Vermelho-Amarelos. Quanto aos dados pluviométricos, obtidos no INMET, referentes ao ano de 2022, constatou-se uma precipitação média mensal de 181 mm. Destaca-se que o mês de abril apresentou o maior índice pluviométrico, enquanto os meses de julho a novembro registraram menores índices pluviométricos.

O município de Itaituba (PA) está situado à margem esquerda do rio Tapajós e possui uma história intrinsecamente ligada ao comércio de especiarias na região do rio Tapajós. Sua

origem remonta a um antigo território indígena, que posteriormente se tornou um ponto de resistência durante o movimento da Cabanagem. Em 1836, foi fundada a vila de Brasília Legal, que posteriormente recebeu o nome de Itaituba, sendo elevada à condição de vila em 1854. Sua população estimada é de 101.541 pessoas e possui uma extensão de 62.042 km², situado na mesorregião Sudoeste Paraense (IBGE, 2022).

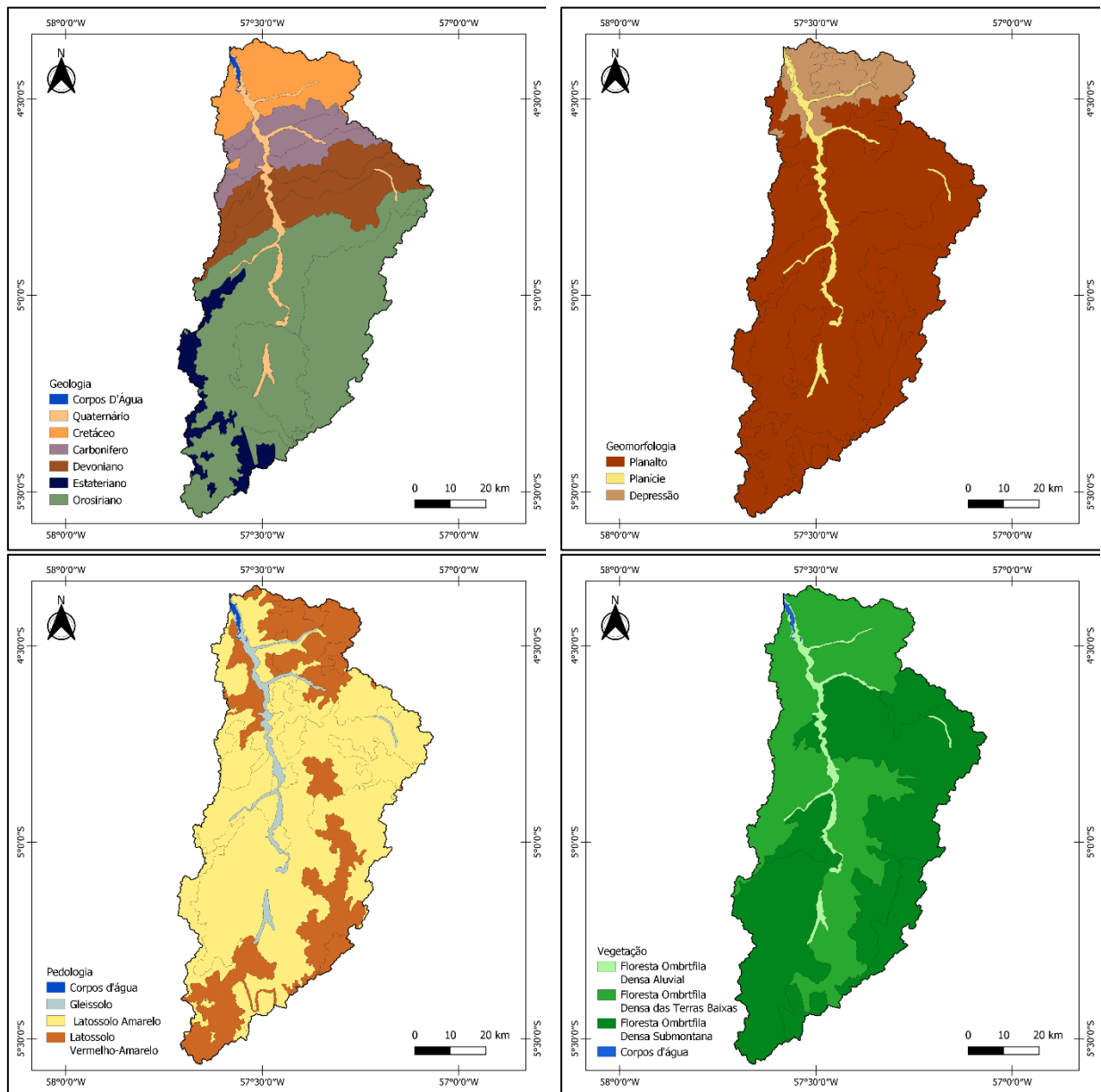
Geologicamente, o município de Itaituba está localizado na província Tapajós-Parima, que faz parte da Formação Itaituba. Esse município é responsável por mais de 60% da produção de ouro no estado do Pará, proveniente tanto de atividades garimpeiras ilegais quanto industriais, além de apresentar uma significativa produção de calcário (JOÃO, 2013). Em termos geomorfológicos, a região engloba o Planalto Dissecado da Borda Sul da Bacia Amazônica, caracterizado por uma extensa sequência de planaltos dissecados de menor altitude em comparação com os da borda norte. Parte do município situa-se no Platô Dissecado do Tapajós, uma região com colinas dissecadas pela ação dos cursos d'água, bem como morros.

Quanto aos solos, predominam os Argissolos Vermelho-Amarelos, que são solos minerais com notável acúmulo de argila do horizonte superficial para o horizonte B (DOS SANTOS et al., 2018). Destaca-se ainda a presença de Latossolos Amarelos e Latossolos Vermelho-Amarelos na região. Em relação aos dados pluviométricos, a precipitação média mensal foi de 134 mm, sendo o mês de junho o mais chuvoso, enquanto julho a setembro os meses menos chuvosos.

O rio Amanã está inserido na bacia hidrográfica do rio Maués-Açu, que é um afluente da margem direita do rio Amazonas. Na região, destacam-se duas unidades geomorfológicas, o Planalto do Parauari-Tapajós, localizado ao sul da bacia, e o Planalto Meridional da Bacia Sedimentar do Amazonas, predominante no centro e norte (Figura 2). Geologicamente, a área é composta principalmente pelas formações Alter do Chão, Aruri, Itaituba, Maloquinha, Monte Alegre e Parauari.

Quanto aos solos, predominam classes de Gleissolos, Latossolos e Argissolos. No que se refere à cobertura vegetal da região, esta é predominantemente caracterizada por Floresta Ombrófila Densa, como presença das classes Floresta Ombrófila Densa Aberta Submontana, Floresta Ombrófila Densa com cipós, Floresta Ombrófila Densa Aluvial, Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas e Floresta Ombrófila Densa Submontana.

Figura 2 - Características ambientais da área de estudo.



Fonte: IBGE (2023)

MATERIAL E MÉTODOS

Com o intuito de alcançar os objetivos estabelecidos neste estudo, adotou-se o método hipotético-dedutivo como abordagem metodológica (SPOSITO, 2003). Inicialmente, realizou-se uma análise exploratória de áreas que apresentam atividade de garimpo na região de estudo, por meio da construção de um banco de dados geográficos utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Em seguida, procedeu-se à caracterização da dinâmica

temporal das mudanças no uso da terra na área em questão. Essa etapa foi conduzida com base nos dados disponibilizados pelo Projeto Mapbiomas (PROJETO MAPBIOMAS, 2022), que fornece estimativas anuais da extensão territorial impactada pela atividade de garimpo na Amazônia.

A avaliação da influência da atividade garimpeira nos rios foi executada com base em uma série temporal de imagens de reflectância de superfície do sensor OLI, disponível no Satélite Landsat-8 e obtidas entre os anos de 2014 e 2022. A manipulação das imagens foi realizada na plataforma Google Earth Engine e os mapas temáticos produzidos no SIG QGIS versão 3.10. Foram selecionadas imagens com menor cobertura de nuvens e de diferentes períodos hidrológicos (seca e cheia). Dados da reflectância da superfície extraídos da banda 4 do sensor OLI, no comprimento de ondas da região do vermelho do espectro eletromagnético (0,63 a 0,69 micrômetros), serviram como indicador da concentração de sedimento suspenso presente na rios analisados.

A metodologia utilizada pressupõe que a resposta espectral na banda 4 do sensor OLI está diretamente relacionada à concentração de sedimento suspenso proveniente da atividade de garimpo (DE LUCIA LOBO et al., 2019). Dessa forma, a assinatura espectral da superfície da água pode ser interpretada como um indicador da quantidade de sedimento suspenso presente nos rios devido à atividade de mineração de ouro, pois quanto maior a resposta espectral, maior será a presença de sedimentos lançados pelo garimpo. Essa análise permitiu identificar fontes de sedimentos e analisar a evolução temporal do garimpo nos rios da região. O conjunto de dados reunidos na pesquisa foram processados em planilhas eletrônicas para análises estatísticas descritivas. Mapas temáticos foram elaborados utilizando os métodos de representação qualitativas e quantitativas (MARTINELLI, 2014).

Para estimar os valores dos danos ambientais decorrentes da atividade de garimpo, utilizou-se a Calculadora de Impactos do Garimpo, uma ferramenta proposta por De Bakker et al., (2021) e disponível em CSF (2023). Essa calculadora é uma abordagem metodológica que permite quantificar e monetizar os impactos socioambientais causados pelo garimpo ilegal, fornecendo uma estimativa dos custos associados aos danos ambientais. Foi considerado como parâmetro de partida a área mapeada como garimpo para estimar os seguintes impactos: área afetada, a quantidade de sedimentos transportados, o uso de mercúrio, contaminação de recursos hídricos, e estimativas os valores monetários dos danos causados. A utilização dessa calculadora proporciona uma avaliação dos impactos do garimpo ilegal nos rios da região amazônica, permitindo uma análise mais abrangente dos efeitos negativos dessa atividade sobre o meio ambiente.

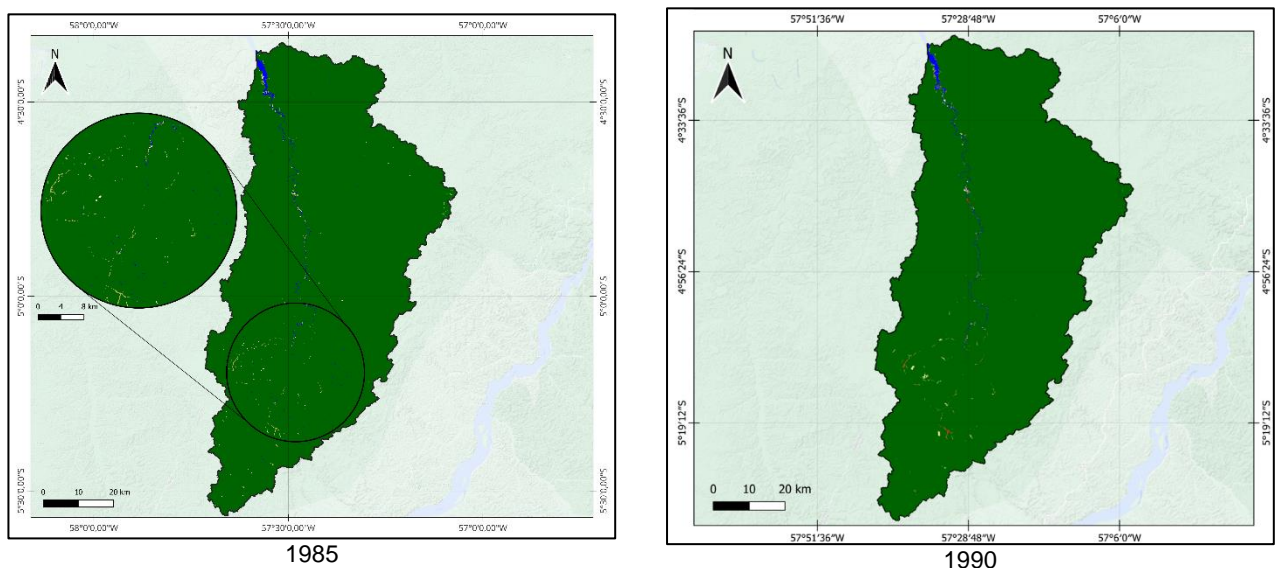
RESULTADOS E DISCUSSÃO

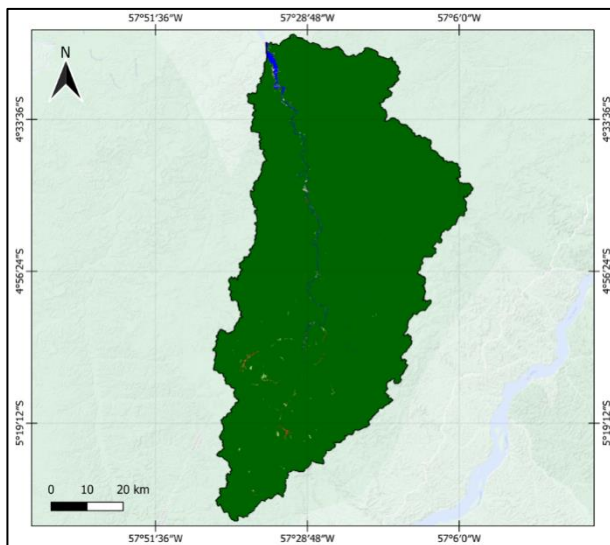
TRANSFORMAÇÕES ESPAÇO-TEMPORAIS DA PAISAGEM NA BACIA DO RIO AMANÃ

Inicialmente foi realizada análise das alterações espaciais e temporais no uso e cobertura da terra, com ênfase na evolução das áreas afetadas pelas atividades de garimpo e na consequente redução das áreas florestadas, durante o período de 1985 a 2020, em intervalos de cinco anos. As categorias de uso e cobertura do solo consideradas nessa análise foram: a) formação florestal; b) formação Savânica; c) formação campestre; d) agropecuária; e) mineração (Figura 3).

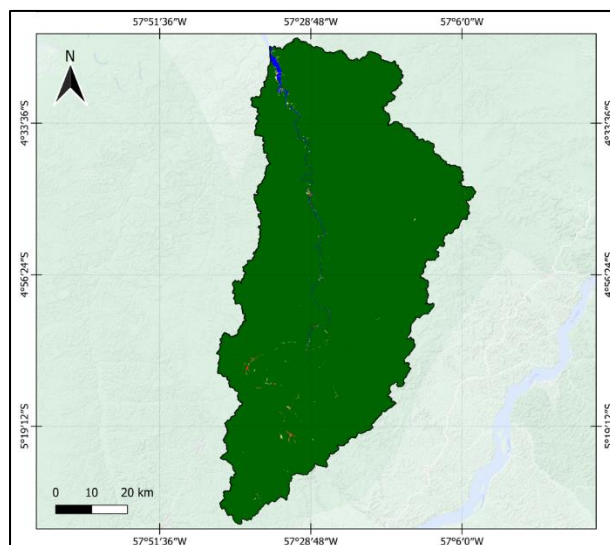
Os dados de uso da terra para o ano de 1985 mostra a prevalência da formação florestal na área de estudo, com 548.612 hectares da área total, equivalente a 99,50% de toda região analisada. No ano de 1985, constatou-se que as áreas destinadas à agropecuária correspondiam 672 hectares de terras, representando 0,12% da área total da bacia. Esse tipo de uso da terra estava distribuído ao longo das margens do curso principal do rio e de seus afluentes. Por outro lado, a atividade de mineração ocupava uma área correspondente a 35 hectares. Essas áreas de mineração estavam concentradas no trecho médio do curso principal do rio. Observou-se, portanto, que em 1985 a região apresentava uma extensa área preservada, com um impacto limitado e uma proporção considerável de terras cobertas por florestas.

Figura 3 - Série temporal de uso da terra e cobertura vegetal na bacia do Amanã (1985 a 2020).

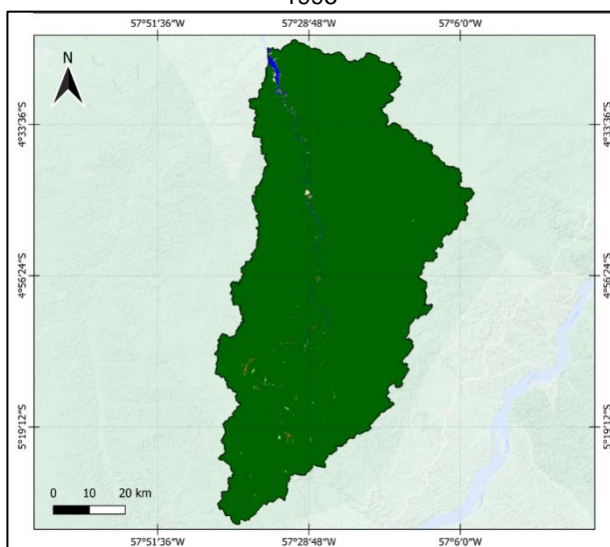




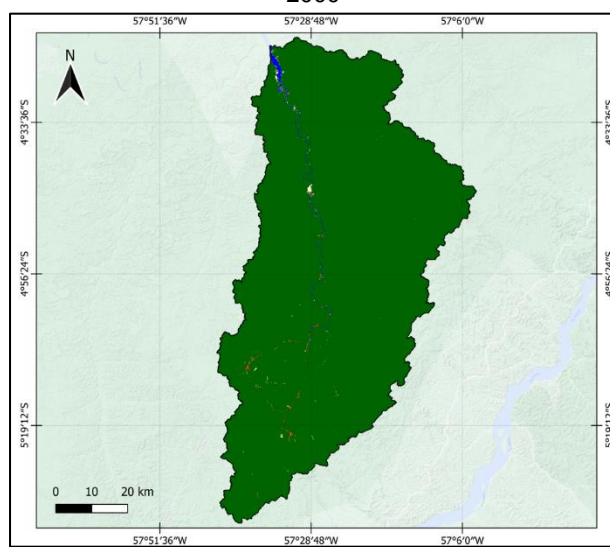
1995



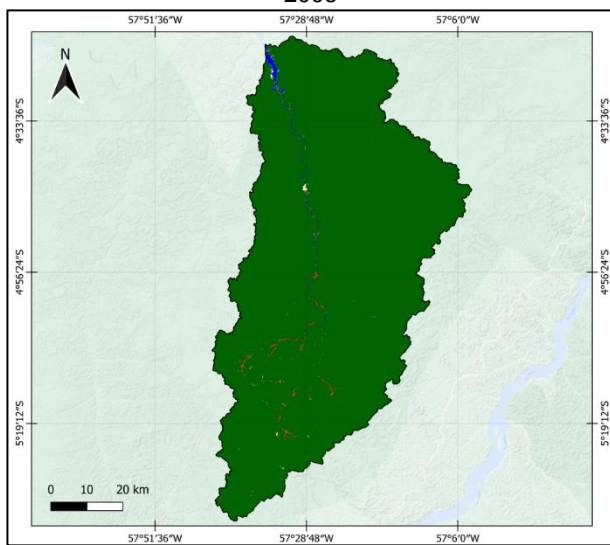
2000



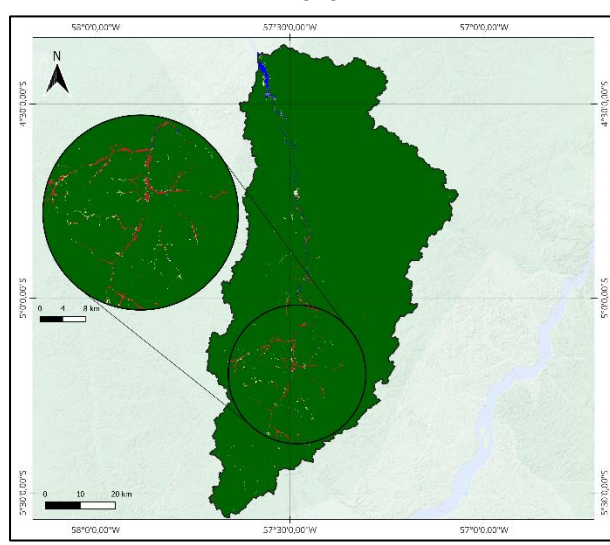
2005



2010



2015



2020

USO E COBERTURA DO SOLO

- Formação Florestal
- Formação Campestre
- Corpo D'água
- Formação Savânica
- Agropecuária
- Mineração

Fonte: Projeto Mapbiomas (2023).

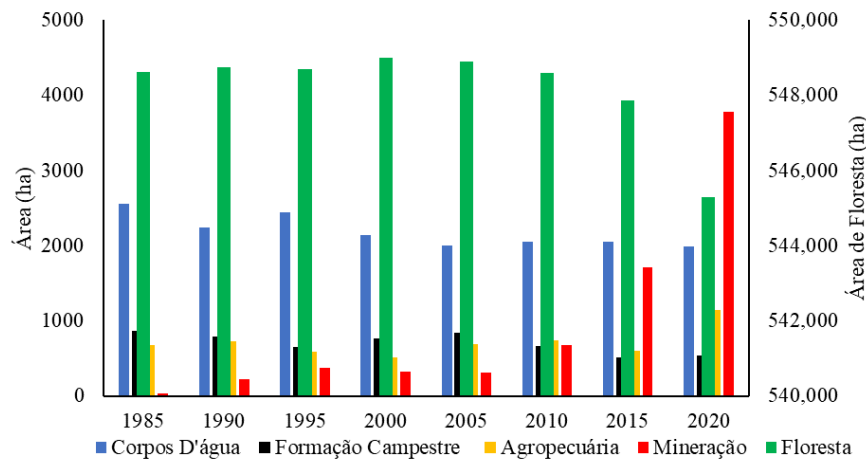
Em 1990 a cobertura florestal era de 548.758 hectares, o que correspondia a 99,28% da bacia. A agropecuária ocupava uma área de 733 hectares, correspondendo a 0,13% do total. A partir desse período, houve um evidente avanço das atividades humanas, com uma distribuição mais intensa a montante da bacia. No que diz respeito à mineração, observou-se um aumento para 223 hectares, representando 0,04% da área total. É importante ressaltar que, até o início dos anos 1990, o garimpo de ouro desempenhava um papel econômico significativo na região amazônica, mas posteriormente perdeu sua relevância para outros setores de produção, como o urbano, industrial e agropecuário (WANDERLEY, 2015).

Em 1995, a área ocupada por formações florestais era de 548.684 hectares, valor próximo ao observado em 1990. A área destinada à agropecuária distribuía-se por 591 hectares, representando 0,11% da bacia. Houve um aumento na atividade mineradora em relação a 1990, com 371 hectares de área ocupada, o que corresponde a 0,07% da área total.

No ano de 2000, verificou-se um leve aumento para 548.994 hectares da formação florestal, o que corresponde a 99,32% da área total da bacia, o que pode ser relacionado a regeneração de área anteriormente desmatadas. Estimativas de 1995 indica que a atividade agropecuária ocupava uma área de 515 hectares, representando 0,09% do total da bacia. Em relação à mineração, no ano de 1995, a sua extensão ocupava 320 hectares, compreendendo 0,06% da área total da bacia do rio Amanã.

Análise comparativa entre os anos de 1985, 1990, 1995 e 2000 indica variação nas áreas de cobertura vegetal (formações florestais e campestre). No entanto, é evidente o avanço da distribuição das áreas destinadas à mineração, com uma concentração predominante a montante da bacia, bem como uma redução de 22% da área ocupada por corpos d'água. Esses dados podem ser visualizados no gráfico da Figura 4.

Figura 4 - Variação temporal do uso e cobertura da terra na bacia do rio Amanã entre 1985 e 2020



Fonte: Projeto Mapbiomas (2023)

A mineração na Amazônia brasileira resultou em um significativo desmatamento durante o período de 2005 a 2015 (SONTER et al., 2017). Estes autores destacam que dentro das áreas de concessão de mineração, a taxa de desmatamento foi três vezes maior do que a taxa média, ressaltando que os impactos da atividade mineradora se estendem além dos limites dessas áreas de concessão, alcançando regiões localizadas até 70 km de distância.

Wanderley (2015) pondera sobre a necessidade de interpretar a relação entre a supervalorização do ouro no mercado externo e sua influência na dinâmica espaço-temporal na Amazônia. De acordo com Wanderley (2015), um viés relevante a ser considerado na análise do processo de reestruturação espacial recente na Amazônia, assim como na participação da extração de ouro nesse processo, é a fácil associação entre a valorização da commodity em bolsas e os efeitos diretos que isso acarreta uma nova corrida.

Ressalta-se o significativo crescimento observado no setor garimpeiro da região do Tapajós ao longo da década de 1980. Esse crescimento ocorreu após o enfraquecimento dos projetos de colonização e foi ampliado consideravelmente pelo encerramento das atividades no garimpo de Serra Pelada. Tal encerramento atraiu garimpeiros de outras regiões auríferas da Amazônia para essa área, uma vez que se encontravam desmotivados pelos baixos preços do ouro (COELHO; WANDERLEY; COSTA, 2016). Vale destacar que esse crescimento foi influenciado também pela implementação de rodovias federais desde a década de 1970, como a BR-230, conhecida como Rodovia Transamazônica, e por estradas que demarcam a Reserva Garimpeira do Tapajós, como a estrada Transgarimpeira, construída nas proximidades da cidade de Itaituba, no Pará.

No período entre 2000 e 2010, foi observado um incremento 111% na área mapeada com atividade de mineração (Figura 4). Essa transformação no uso e cobertura da terra da região pode ter sido impulsionada pelo notável avanço das atividades mineradoras, que ocorreu durante o período conhecido como o "*boom*" da extração de ouro, resultado da valorização desse minério no mercado internacional, conforme afirmado por Wanderley (2015).

Durante o período analisado, ocorreram mudanças significativas nas dinâmicas de uso da terra na bacia do rio Amanã. No ano de 2005, a área coberta por florestas correspondia a 548.898 hectares, representando 99,30% da bacia, enquanto as atividades agropecuárias ocupavam cerca de 690 hectares e as áreas de garimpo totalizavam 307 hectares. Em 2010, observou-se mudanças na paisagem, com a cobertura florestal alcançando 548.602 hectares (99,25% da bacia), a agropecuária ocupando 746 hectares e as áreas de garimpo apresentando um crescimento significativo, totalizando 676 hectares. Em 2015 destaca-se a redução da área florestal, ocupando 547.853 hectares, e na área de atividades agropecuárias com 604 hectares. Nesse mesmo ano, a mineração teve um aumento considerável, ocupando 1711 hectares. Em 2020, a atividade mineradora atingiu sua maior extensão, correspondendo a 3780 hectares, representando um aumento de 459% em relação a 2010. Esses dados evidenciam um notável crescimento das atividades de mineração ao longo do médio e alto curso do rio Amanã entre as décadas de 2010 e 2020.

É de extrema importância destacar o envolvimento do poder executivo federal nesse período, no qual desempenhou um papel de flexibilização das políticas ambientais, especialmente em relação aos territórios indígenas. Atualmente há 3481 solicitações pendentes de empresas mineradoras para prospecção em terras indígenas no país, apesar de ser uma prática ilegal. Caso a mineração seja legalizada nessas áreas, as empresas que fizeram os pedidos terão prioridade. A administração de Bolsonaro enfraqueceu a proteção das terras indígenas, resultando em aumento significativo de invasões, principalmente para mineração em áreas protegidas. Ações judiciais têm conseguido interromper essa tendência preocupante (FERRANTE; FEARNSSIDE, 2022).

Dessa maneira, a situação no qual o garimpo se apresentou na década de 2020, surge primeiramente a partir do final de 2019, onde se nota um período de revalorização do ouro no mercado exterior, estabelecendo novas áreas ou retomando antigas áreas de extração, podendo ser o que se considerou pela mídia, como uma "nova corrida pelo Ouro" no Brasil, ainda que o país estivesse vivendo uma constante corrida pelo ouro (WANDERLEY, 2019).

O surgimento de um novo ciclo de valorização do ouro, conhecido como o segundo ciclo, pode ser observado na região durante o século XXI. Esse crescimento está relacionado ao aumento dos preços das commodities minerais e agrícolas, bem como à queda dos preços da terra. Além disso, esse fenômeno é influenciado por especulações nos mercados de capitais, variações globais de preço e pela crise de 2008 nos Estados Unidos. Dados da cotação do ouro indicam que o ano de 2015 registrou o pico de supervalorização do preço desse produto no mercado externo (COELHO, WANDERLEY, COSTA, 2016).

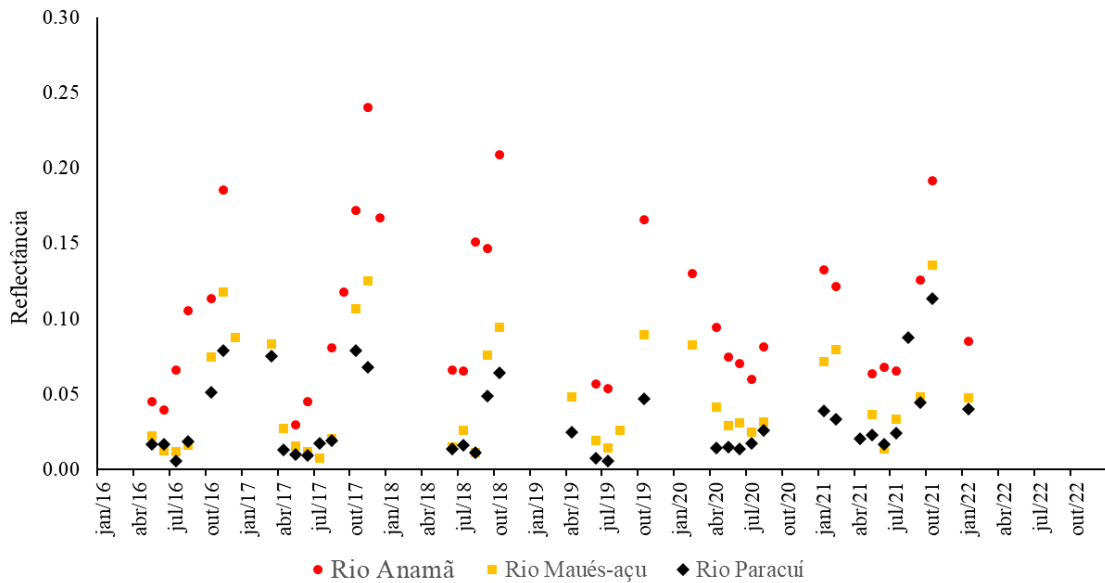
De acordo com o relatório "A expansão da mineração e do garimpo no Brasil nos Últimos 36 anos (2021)", divulgado pelo Projeto MapBiomass, foi constatado um notável crescimento da mineração e do garimpo no Brasil. No ano de 2020, registrou-se um número máximo de áreas utilizadas com mais de 200 mil hectares, sendo que cerca de 52% desse total corresponde ao garimpo ilegal. Os dados revelaram a presença de atividades de mineração industrial em 459 municípios do país, enquanto atividades garimpeiras foram identificadas em aproximadamente 232 municípios. Um aspecto relevante é que, em ambos os casos, o município de Itaituba (PA) se destaca como o primeiro colocado no ranking das 10 cidades com maior área destinada à mineração ou garimpagem. Nesse contexto, as áreas predominantes para mineração nesse município correspondem a 44.890 hectares, sendo que 44.854 hectares são ocupados pelo garimpo de ouro.

A COR DA ÁGUA COMO INDICADOR DOS IMPACTOS DO GARIMPO

É possível identificar a origem do material transportado em suspensão nos rios a partir do escoamento superficial, o qual pode resultar da erosão tanto dos canais quanto das margens (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). Estes autores enfatizam que a concentração de sedimentos suspensos varia em relação a vazão do rio. Além disso, a atividade de mineração desempenha um papel significativo no processo de erosão das margens, contribuindo para o aumento das taxas de transporte de sedimentos suspensos.

A Figura 5 mostra a variação temporal da reflectância da banda 4 do sensor OLI a bordo do satélite Landsat-8 nos rios Amanã, Maués-açu e Paracuí, no período de 2016 a 2022. Foi observado que a partir do mês de julho ocorre um aumento nos valores de resposta espectral da água, indicando maior turbidez. Em contrapartida, a turbidez diminui a partir do mês de janeiro, comportamento que pode ser relacionado ao regime de precipitação nesta região.

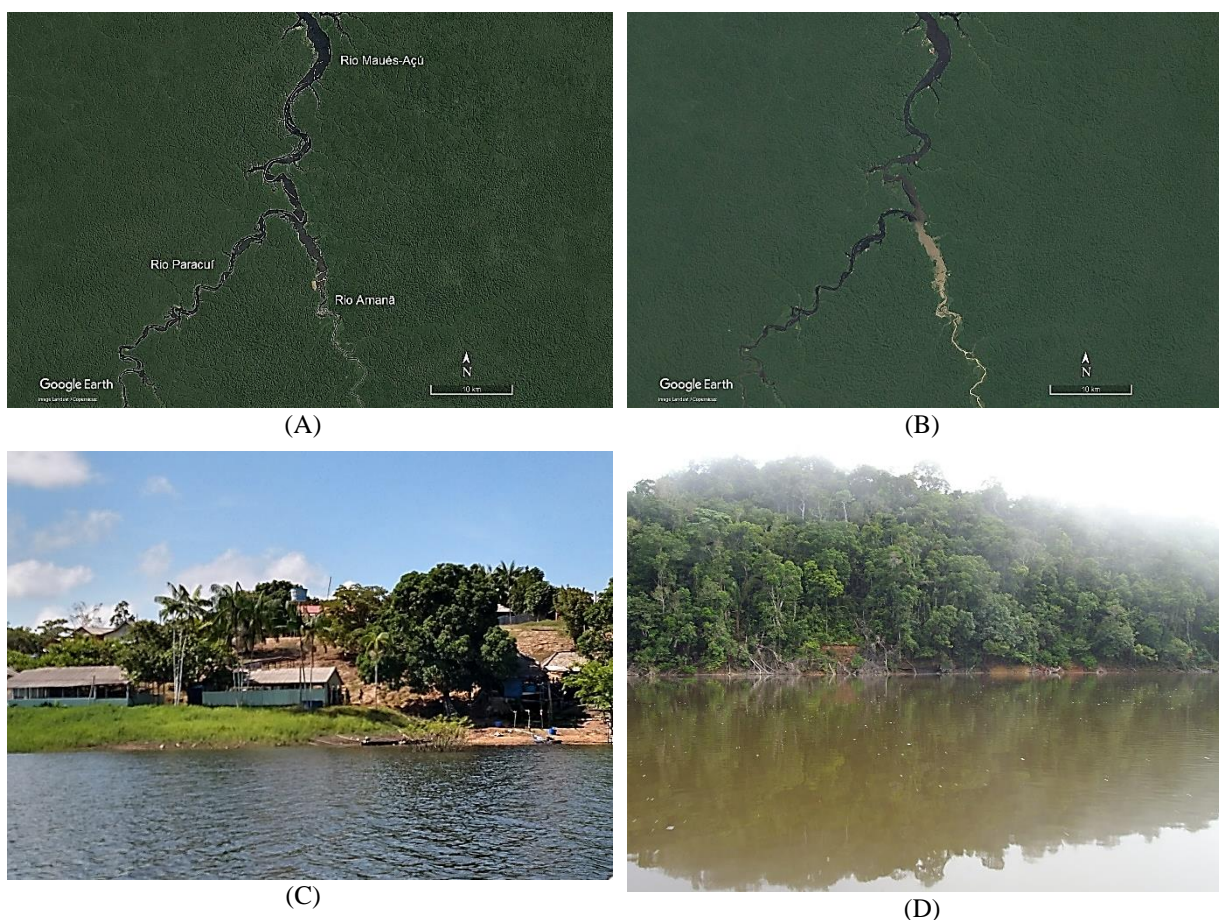
Figura 5 - variação temporal da reflectância (sensor OLI banda 4) de superfície da água na área de estudo.



Fonte: Google Earth Engine (2023)

Os resultados da análise das imagens do satélite Landsat-8 mostraram que o rio Amanã apresentou os maiores valores de reflectância de superfície da banda 4 em comparação aos outros rios estudados (em média 2 a 3 vezes maior que os rios Paracuí e Maués-Açu, rios tipicamente de águas pretas). Isso significa que o rio Amanã tem um maior nível de brilho e é mais visível no satélite Landsat-8, o que indica que a água do rio possui maior turbidez (Figura 6). Os resultados também indicam que a qualidade da água do rio Amanã é superior à dos outros rios estudados. Segundo Lobo et al., (2018), isso pode ser atribuído à influência dominante do garimpo de ouro da província do Tapajós, que exerce um impacto significativo nesta região. O autor ressalta que o rio Amanã, em uma área de aproximadamente 15 km², contribui com 31% da concentração de Sedimentos Totais em Suspensão (TSS) na sua bacia de drenagem.

Figura 6 - Diferença de cor da água observada nos rios Amanã, Maués-Açú e Paracuí entre os anos de 2002 (A) e 2023 (B). Registro fotográficos de campo do rio Maués-Açú com baixa turbidez (C) e o rio Amanã com elevada turbidez (D).



Fonte: Google Earth Pro (2023).

Conforme ressaltado por Lobo et al., (2018), o monitoramento da concentração de sedimentos suspensos por meio de imagens do sensor Landsat-8/OLI é crucial para classificar o rio Amanã de acordo com a tipologia proposta por Sioli (1985) como um rio de águas brancas. Estes autores indicam, com base nas imagens do sensor Landsat-8/OLI de 29 de julho de 2016, que a presença de locais de mineração está associada a valores de TSS superiores a 120 mg L^{-1} . À medida que o rio adentra na Floresta Nacional de Pau-Rosa, a concentração de TSS diminui. Somente quando o rio alcança um trecho mais estável e mais amplo a jusante é que os valores de TSS diminuem significativamente. No geral, esses resultados corroboram a ocorrência de um intenso assoreamento da água no rio Amanã devido à mineração de ouro, que tem alterado as condições de qualidade da água de águas limpas ($< 20 \text{ mg L}^{-1}$) para águas brancas ($\text{TSS} > 20 \text{ mg L}^{-1}$).

Portanto, a análise do comportamento espectral do rio Maués-Açú revela claramente a influência dos sedimentos provenientes do garimpo no rio Amanã. Os dados de reflectância

da superfície da água dos rios Amanã e Maués-Açu demonstram valores mais elevados em comparação com o rio Paracuí, um afluente que ainda mantém suas características de águas escuras. Esses resultados ressaltam a importância de considerar a contribuição do garimpo para a alteração das características espectrais dos rios e a necessidade de monitorar e controlar a atividade mineradora para preservar a qualidade dos recursos hídricos.

IMPACTOS MONETÁRIOS E NÃO MONETÁRIOS DO GARIMPO ILEGAL NO RIO AMANÃ

Como destacado anteriormente, a atividade de garimpo ilegal tem gerado impactos significativos na bacia do rio Amanã. Além dos impactos ambientais, como desmatamento, poluição da água e perda de biodiversidade, o garimpo ilegal também produz impactos negativos em termos monetários e não monetários para a região. Os impactos monetários incluem a perda de receitas provenientes de atividades econômicas sustentáveis, como o turismo e a pesca, que são afetadas pela degradação ambiental causada pelo garimpo. Além disso, há o custo econômico direto relacionado à exploração ilegal de recursos minerais, como a extração não autorizada de ouro e ausência de recolhimento de impostos. Já os impactos não monetários abrangem aspectos sociais, culturais e de qualidade de vida das comunidades locais, como o deslocamento forçado de populações tradicionais, conflitos sociais e a perda de modos de vida. Portanto, é essencial compreender e avaliar os impactos tanto monetários quanto não monetários do garimpo ilegal nos rios da região a fim de promover estratégias eficazes de preservação e desenvolvimento sustentável.

Estima-se que no município de Maués, em uma área de 3780 hectares de garimpo aluvião com uma cava de 2,5 metros de profundidade média e sem o uso da retorta, foi possível obter uma produção total de 6,52 toneladas de ouro desde a década de 1980. Essa produção ilegal de ouro possui um valor estimado em R\$ 2,17 bilhões e pode ter acarretado impactos socioambientais de aproximadamente R\$ 4,54 bilhões, resultando em um dano total de R\$ 6,72 bilhões em termos monetários.

De maneira geral, estima-se que a atividade de garimpo ilegal tenha impactado uma área de aproximadamente 45.360 hectares de floresta de forma direta e indireta. A extração deste volume de ouro pode resultar na erosão e sedimentação de cerca de $9,45 \times 10^7$ m³ de solo, em média. Esse volume de assoreamento e sedimentação pode potencializar a perda de oportunidades para a realização de outras atividades nos rios, como o uso da água para consumo humano, pesca e turismo.

Em relação a saúde humana, é importante destacar que a extração de 1 kg de ouro requer o uso de 2,6 kg de mercúrio, dos quais aproximadamente 13% são despejados nos rios. Dentre esses resíduos, cerca de 3% são metilados, tornando-se ainda mais tóxicos e sendo absorvidos por peixes, que podem migrar por até 2000 km, contaminando as pessoas que consomem esses peixes. Considerando que o raio de dispersão do mercúrio seja de 100 quilômetros, estima-se que a mineração ilegal de ouro nesta área de estudo coloca aproximadamente 67.370 pessoas em risco pela exposição ao mercúrio proveniente do garimpo. Nesta região, o nível médio de contaminação de mercúrio no cabelo, devido ao consumo de peixes contaminados, pode chegar a 8,19 µg/g.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou os impactos da mineração ilegal de ouro na bacia do rio Amanã, no estado do Amazonas, com abordagem nos principais impactos ambientais do garimpo ilegal de ouro e sua influência na dinâmica espaço-temporal das mudanças no uso da terra na área de estudo.

As transformações espaço-temporais da paisagem na bacia do rio Amanã revelaram uma redução de 40% na vegetação nativa (Formação Campestre), diminuição de 22% nos corpos d'água em 30 anos e aumento de 459% na área de garimpo entre 2010 e 2020. Essas mudanças na paisagem, devido às atividades do garimpo fluvial, possivelmente contribuíram para um aumento de 2 a 3 vezes na turbidez do rio Amanã, quando comparado com os rios Paracuí e Maués-Açú. O prejuízo monetário da extração ilegal de ouro em 3780 hectares é estimado na ordem de R\$ 6 bilhões.

Os resultados deste estudo contribuem para uma melhor compreensão dos problemas socioambientais causados pela mineração ilegal de ouro e fornecem análises atualizadas que podem subsidiar ações de controle e gestão por parte das autoridades públicas, especialmente os órgãos de fiscalização ambiental dos estados do Amazonas e Pará, em relação aos impactos do garimpo ilegal.

No entanto, é importante reconhecer as limitações deste estudo devido ao uso de dados de sensoriamento remoto. Recomenda-se o desenvolvimento de novas pesquisas para a aquisição de dados em campo para validar os resultados apresentados, a fim de obter uma compreensão mais precisa e abrangente dos impactos da mineração ilegal na bacia do rio Amanã. Essa abordagem combinada de dados de sensoriamento remoto e dados de campo pode fornecer uma base sólida para futuras pesquisas e intervenções na área.

A mineração ilegal de ouro apresenta impactos significativos nos diversos rios da bacia Amazônica, resultando em alterações na paisagem, na qualidade da água e na saúde da população. É essencial que medidas eficazes sejam tomadas pelas autoridades públicas para controlar e gerenciar essa atividade, visando a proteção do meio ambiente e o bem-estar das comunidades locais. A continuação de pesquisas e ações de monitoramento são fundamentais para entender melhor os impactos da mineração ilegal de ouro e buscar soluções sustentáveis para mitigar esses problemas socioambientais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Amazonas (Projeto PIB-H/0022/2022) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES) pelo suporte fornecido para a realização desta pesquisa. Expressamos nossa gratidão aos revisores anônimos pelos seus comentários construtivos, que contribuíram significativamente para aprimorar este trabalho. Também agradecemos aos editores da Revista Verde Grande pela iniciativa de organizar uma edição especial dedicada à Amazônia.

REFERÊNCIAS

- COELHO, M. C. N.; WANDERLEY, L. J.; COSTA, R. C. Extrativismo do Ouro no Século XXI. Exemplos no Sudoeste da Amazônia Brasileira. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 39, n. 3, p. 5–14, 2016.
- CORDANI, U. G.; JULIANI, C. Potencial mineral da Amazônia: problemas e desafios. **Revista de estudios brasileños**, v. 6, n. 11, p. 91–108, 2019.
- CSF. **Calculadora de Impactos do Garimpo**. Disponível em: <<https://miningcalculator.conservation-strategy.org/calculator>>. Acesso em: 13 maio. 2023.
- DE BAKKER, L. B. et al. Economic Impacts on Human Health Resulting from the Use of Mercury in the Illegal Gold Mining in the Brazilian Amazon: A Methodological Assessment. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 22, p. 11869, 12 nov. 2021.
- DE-PAULA, V. G.; LAMAS-CORRÊA, R.; TUTUNJI, V. L. Garimpo e mercúrio: impactos ambientais e saúde humana - doi: 10.5102/ucs.v4i1.25. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 4, n. 1, p. 101–110, 2006.

- DOS SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- FERRANTE, L.; FEARNSIDE, P. M. Mining and Brazil's Indigenous peoples. **Science**, v. 375, n. 6578, p. 276–276, 21 jan. 2022.
- IBGE. **Cidades@**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 13 maio. 2022.
- JOÃO, X. DA S. J. ARCABOUÇO GEOLÓGICO-TECTÔNICO E IMPLICAÇÕES METALOGENÉTICAS. Em: **Geodiversidade do estado do Pará**. Belém: CPRM, 2013.
- LACERDA, L. D. Contaminação por mercúrio no Brasil: fontes industriais vs garimpo de ouro. **Química Nova**, v. 20, p. 196–199, abr. 1997.
- LOBO, F. D. L. et al. Mapping Mining Areas in the Brazilian Amazon Using MSI/Sentinel-2 Imagery (2017). **Remote Sensing**, v. 10, n. 8, p. 1178, 25 jul. 2018.
- LOBO, F. et al. Monitoring Water Siltation Caused by Small-Scale Gold Mining in Amazonian Rivers Using Multi-Satellite Images. Em: GÖKÇE, D. (Ed.). **Limnology - Some New Aspects of Inland Water Ecology**. Rijeka: IntechOpen, 2019.
- MARTINELLI, M. **Mapas, gráficos e redes: elabore você mesmo**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 6.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: <<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>>. Acesso em: 21 mar. 2022.
- REIS, N.; ALMEIDA, M. Arcabouço Geológico. Em: **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010.
- ROSS, J. L. S. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Edusp, 1996. v. 3
- SIOLI, H. **Amazônia: fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais**. Petropolis: Vozes, 1985.
- SONTER, L. J. et al. Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**, v. 8, n. 1, p. 1013, 18 out. 2017.
- SPOSITO, E. S. **Geografia e filosofia: contribuição para o ensino do pensamento geográfico**. Presidente Prudente: UNESP, 2003.
- STEVANUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.
- WANDERLEY, L. J. **Geografia do Ouro na Amazônia brasileira: Uma análise a partir da porção meridional**. Tese de Doutorado em Geografia—Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

WANDERLEY, L. J. Corrida do ouro, garimpo e fronteira mineral na Amazônia. **Revista Sapiência**, v. 8, n. 2, p. 113–137, 2019.

Artigo recebido em: 15 de maio de 2023.

Artigo aceito em: 12 de agosto de 2023.

Artigo publicado em: 01 de setembro de 2023.