MINERAÇÃO INDUSTRIAL E GARIMPO NO PARÁ: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS E ENGENHARIA INTEGRADA

SUEDE FERNANDA SANTOS BAIMA[1], BRISSA KAROLINY DE ANDRADE PARENTONI SENRA[2] e EVERTON MATHEUS CARDOSO MORAES[3]

[1]Engenheira Florestal, UEPA, Marabá-PA, engsuedefernanda@gmail.com;

[2]Engenheira de Minas, UNIFESSPA, Marabá-PA, engbrissaparentoni@gmail.com;

[3]Engenheiro Florestal, UEPA, Marabá-PA, evertonmcmoraes@gmail.com;

RESUMO: Este trabalho compara dois municípios do Pará que expressam padrões opostos de mineração no Brasil: Parauapebas, onde está a maior operação industrial de ferro do país, e Itaituba, hoje líder nacional em área garimpada. Reunindo dados públicos do MapBiomas, do PRODES/INPE, do Ibama e de relatórios institucionais, analisamos como a cobertura vegetal e os recursos hídricos dos dois municípios mudaram ao longo do tempo e, num recorte que a literatura consultada ainda não havia explorado, como cada modelo lida com a recuperação das áreas degradadas. Em Itaituba, o garimpo passou de 44,8 mil hectares em 2020 para 71 mil hectares em 2022, a maior extensão minerada do país. Já Parauapebas liderava o ranking nacional de mineração industrial desde 2020, mantendo o desmatamento praticamente contido dentro das unidades de conservação do entorno. Parauapebas exibe resultados de recuperação que podem ser conferidos no terreno, sustentados por um conjunto já consolidado de práticas florestais, enquanto Itaituba segue sem recuperação equivalente, num cenário em que a regulação estadual ficou recentemente mais branda com o garimpo. Diante disso, propomos, como contribuição original, um fluxo de trabalho que una formalmente engenharia de minas e engenharia florestal, com responsabilidade técnica conjunta, além de um projeto-piloto que combina semeadura por drone, inoculação micorrízica e fitorremediação de mercúrio nas áreas de garimpo suspensas pelo Ibama dentro da APA do Tapajós.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento Remoto; Geotecnologia; PRAD; Fitorremediação; Inoculação Micorrízica.

INDUSTRIAL MINING AND ARTISANAL MINING IN PARÁ: LAND RECOVERY AND INTEGRATED ENGINEERING

ABSTRACT: This paper compares two municipalities in Pará that sit at opposite ends of mining in Brazil: Parauapebas, home to the country's largest industrial iron mining operation, and Itaituba, currently the national leader in artisanal mining area. Drawing on public data from MapBiomas, PRODES/INPE, Ibama and institutional reports, we examine how vegetation cover and water resources changed over time in both municipalities and, in an angle the reviewed literature had not yet explored, how each model handles the recovery of degraded land. In Itaituba, artisanal mining grew from 44,800 hectares in 2020 to 71,000 hectares in 2022, the largest mined area in the country. Parauapebas, meanwhile, had already led the national industrial mining ranking since 2020, keeping deforestation largely contained within the surrounding conservation units. Parauapebas shows recovery results that can be checked on the ground, backed by an already consolidated set of forestry practices, while Itaituba still lacks comparable recovery, under a state regulatory framework that has recently grown more lenient toward artisanal mining. Given this, we propose, as an original contribution, a workflow that formally joins mining and forestry engineering under shared technical responsibility, together with a pilot project combining drone based seeding, mycorrhizal inoculation and mercury phytoremediation across the artisanal mining areas suspended by Ibama inside the Tapajós Protected Area.

KEYWORDS: Remote Sensing; Geotechnology; Rehabilitation Plan; Phytoremediation; Mycorrhizal Inoculation.

INTRODUÇÃO

O Pará abriga, lado a lado, os dois extremos da mineração brasileira. Em Parauapebas, no sudeste do estado, fica a maior operação industrial de ferro do país, cercada por um mosaico de cerca de 800 mil hectares de unidades de conservação no entorno da Floresta Nacional de Carajás. Já em Itaituba, no oeste paraense, o garimpo de ouro se espalha ao longo do rio Tapajós, boa parte dele sem qualquer licenciamento ambiental.

Os números do MapBiomas (2021, 2023) mostram Parauapebas na liderança do ranking nacional de mineração industrial desde 2020, enquanto Itaituba já concentrava, isoladamente, a maior área garimpada do país naquele mesmo ano, com 44,8 mil hectares. Dois anos depois, essa área tinha crescido para 71 mil hectares, quase um sexto de toda a área minerada mapeada no Brasil, ao passo que a mineração industrial nacional mal se moveu, permanecendo perto de 180 mil hectares. Diante disso, cabe perguntar: será que modelos de mineração tão diferentes puxam consigo capacidades de recuperação igualmente diferentes, e o que engenharia de minas e engenharia florestal, trabalhando juntas, têm a oferecer diante disso?

Procuramos, sem sucesso, um estudo que colocasse Carajás e Tapajós lado a lado sob esse recorte. O que existe são análises de cada território isoladamente, como a de Almeida *et al. (2025)* sobre o desmatamento na microrregião de Parauapebas, além de diagnósticos do MapBiomas, da Jornal da USP (2025) e do Ibama (2024) a respeito do garimpo no Tapajós. Apoiados na classificação por inteligência artificial já embutida no MapBiomas Mineração, buscamos aqui comparar a transformação da paisagem e as técnicas de recuperação de área nos dois municípios, propor um fluxo de trabalho integrado entre as duas engenharias e apresentar um projeto-piloto de recuperação assistida por tecnologia voltado a Itaituba. Isso importa porque o garimpo na região vive um momento de regulação mais frágil, e prefeituras com pouca estrutura de fiscalização precisam de alternativas técnicas baratas e fáceis de repetir.

MATERIAL E MÉTODOS

Optamos por trabalhar diretamente com os municípios de Parauapebas e Itaituba, o que simplifica a reprodutibilidade do estudo, já que as bases oficiais consultadas disponibilizam estatísticas prontas por município. Utilizamos dados públicos e gratuitos do MapBiomas, nas coleções de Uso e Cobertura da Terra, Mineração e Água, do PRODES/INPE, do Ibama e de relatórios institucionais de recuperação divulgados pela mineradora responsável por Carajás e por órgãos de fiscalização, cobrindo os anos de 2000, 2010, 2020 e o mais recente disponível em cada base.

A comparação das técnicas de recuperação seguiu levantamento documental de fontes institucionais e acadêmicas, publicadas entre 2023 e 2026, sobre reabilitação de áreas mineradas, priorizando fontes amazônicas ou de contexto geológico análogo, organizadas em quadro comparativo por critério técnico. A partir dela, desenhamos uma proposta de projeto-piloto nos moldes de um PRAD, com fases de diagnóstico, intervenção e monitoramento, indicadores verificáveis remotamente e responsabilidade técnica compartilhada entre engenharia de minas e engenharia florestal por meio de Anotação de Responsabilidade Técnica conjunta. A proposta foi formulada como trabalho real, e não como simulação hipotética, o que constitui, até onde pudemos verificar, uma abordagem inédita para o contexto específico do garimpo no Tapajós. A comparação entre os municípios seguiu um viés descritivo: onde os dados só permitiam falar em associação entre variáveis, evitamos qualquer leitura de causa e efeito.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em 2020, Parauapebas liderava o ranking nacional de mineração industrial, com cerca de 7,6 mil hectares minerados, enquanto Itaituba já concentrava isoladamente 44,8 mil hectares de garimpo (MAPBIOMAS, 2021). Em 2022, a área minerada de Itaituba havia crescido para 71 mil hectares, correspondendo a 16% de toda a área minerada do Brasil, enquanto a mineração industrial nacional

permanecia estável em torno de 180 mil hectares (MAPBIOMAS, 2023), o que evidencia ritmos de expansão radicalmente distintos entre os dois modelos.

O contraste se mantém na cobertura vegetal e nos recursos hídricos. Em 37 anos, as formações florestais dentro das unidades de conservação de Carajás perderam apenas 2% de sua extensão, contra até 78% nas áreas externas, sobretudo por avanço de pastagem (ALMEIDA *et al.*, 2025). Na bacia do Tapajós, a extensão de rios impactados por garimpo na Amazônia saltou de 229 km em 1985 para 2,6 mil km em 2020 (MAPBIOMAS, 2024), acompanhada de despejo de rejeitos no próprio rio. Vale reforçar que os dados aqui indicam apenas uma associação entre o grau de formalização da mineração e o rumo tomado pela paisagem, sem que se possa falar em relação de causa e efeito demonstrada: em Parauapebas, o mosaico de unidades de conservação somado ao licenciamento federal parece conter o impacto; em Itaituba, a dispersão espacial e a informalidade fundiária parecem, ao contrário, favorecer uma expansão sem freios.

Quanto à recuperação, o cenário em Carajás é bem diferente do observado no Tapajós. A empresa que opera a mina relata mais de 1.000 hectares já devolvidos à cobertura florestal, resultado de um conjunto de práticas que combina recomposição de taludes com sementes e adubo, aproveitamento do banco de sementes retirado antes da lavra, produção contínua de mudas em viveiro próprio e uso de fungos micorrízicos nativos de áreas já mineradas na Amazônia para ajudar as plantas a se firmarem em solo pobre (MARINHO *et al.*, 2004; VALE, 2026), tudo isso dentro de uma meta corporativa de recuperar 500 mil hectares até 2030. Do outro lado, Itaituba segue sem nada parecido em escala. Em dezembro de 2024, o Ibama chegou a suspender 331 permissões de lavra garimpeira dentro da APA do Tapajós, a unidade de conservação mais tomada por garimpo do país, justamente por não haver recuperação sendo feita ali (IBAMA, 2024). E o quadro tende a piorar antes de melhorar: uma nova regra estadual passou a facilitar o licenciamento municipal de garimpo dentro dessa mesma área protegida (REPÓRTER BRASIL, 2025). O Quadro 1 resume essas diferenças.

Quadro 1: Comparação técnica das práticas de recuperação de área

Critério	Mineração industrial (Parauapebas)	Garimpo (Itaituba)
Marco legal	PRAD obrigatório e auditado desde 1989.	Ausente na maioria das frentes; regulação estadual mais permissiva.
Material vegetal	Produção própria de mudas nativas (na casa das centenas de milhares por ano) e reaproveitamento do banco de sementes local.	Praticamente inexistente; potencial não explorado de muvuca de sementes.
Estabilização de solo	Recomposição de taludes, inoculação micorrízica, recuperação concomitante à lavra.	Sem técnica sistemática; solo desestruturado pela lavra hidráulica.
Contaminação	Gestão de rejeitos em barragem sobre área já minerada.	Mercúrio (até 10,2 mil t no país); fitorremediação ainda experimental.
Escala verificada	Mais de 1.000 ha restaurados; meta de 500 mil ha até 2030.	Sem recuperação comparável; 331 permissões suspensas (Ibama, 2024).

Integração entre engenharia de minas e engenharia florestal

O que separa os dois municípios não é só a escala do impacto, mas o quanto cada um já amadureceu tecnicamente na hora de recuperar o que foi degradado. Parauapebas conta com equipe, viveiro e rotina de monitoramento já rodados; Itaituba, por outro lado, nem sequer tem o diagnóstico básico que permitiria decidir, área por área, qual técnica de recuperação faz sentido aplicar. Na nossa leitura, essa lacuna só se resolve quando engenharia de minas e engenharia florestal trabalham juntas desde o planejamento da lavra, e não em etapas separadas: cabe à primeira definir a geometria do talude, a estabilidade geotécnica e o desenho das pilhas de estéril; cabe à segunda escolher a tipologia vegetal, organizar o banco de sementes e definir o cronograma biológico do plantio, com as duas assinando juntas a Anotação de Responsabilidade Técnica do mesmo plano de recuperação.

Projeto-piloto de recuperação assistida por tecnologia na APA do Tapajós

Como continuidade real deste estudo, propomos um projeto-piloto de 50 a 100 hectares nos polígonos já suspensos pelo Ibama na APA do Tapajós, com governança compartilhada entre as duas engenharias, órgãos ambientais e cooperativa de garimpeiros formalizada. O objetivo é testar um protocolo replicável de baixo custo, com metas verificáveis remotamente: cobertura de dossel igual ou superior a 40% aos 24 meses, redução mensurável de mercúrio no solo superficial, ausência de instabilidade geotécnica e sobrevivência de mudas igual ou superior a 60% aos 12 meses. O Quadro 2 detalha as três fases da proposta, que, pelo nosso levantamento, ainda não havia sido descrita combinando esses três recursos para o contexto específico do garimpo amazônico.

Quadro 2: Projeto-piloto de recuperação assistida por tecnologia

Fase	Ação e tecnologia envolvida
1. Diagnóstico (meses 1 a 3)	Levantamento topográfico por drone das crateras e taludes residuais, a cargo da engenharia de minas; amostragem de mercúrio residual e caracterização do banco de sementes regional, a cargo da engenharia florestal; cruzamento de titularidade na ANM com imagem de satélite.
2. Intervenção (meses 4 a 9)	Reconformação de taludes a ângulo seguro; isolamento de faixa de proteção de curso d'água; muvuca de sementes aplicada por drone nas parcelas menos contaminadas; inoculação micorrízica; parcelas-teste de fitorremediação com pau-de-balsa (Ochroma pyramidale).
3. Monitoramento (meses 10 a 36)	Verificação remota trimestral da estabilidade de talude e da cobertura de dossel; relatório técnico com Anotação de Responsabilidade Técnica conjunta das duas engenharias.

Frentes de atuação da engenharia consultora

A partir desses achados, cabe à engenharia consultora um papel concreto na melhoria do licenciamento: auditoria geoespacial periódica de PRAD com Anotação de Responsabilidade Técnica; protocolo de identificação de fracionamento de lavra, cruzando titularidade na ANM com imagem de satélite; metas de recuperação verificáveis remotamente como condicionante de licença; termo de referência padronizado para prefeituras com baixa capacidade de fiscalização; certificação de desempenho ambiental vinculável a mercado de ouro rastreável; e capacitação de fiscais do Ibama, do ICMBio e da SEMAS-PA em sensoriamento remoto gratuito.

CONCLUSÃO

Comparar Parauapebas e Itaituba deixou claro que os dois modelos de mineração seguem trajetórias bem diferentes de transformação territorial e, principalmente, de recuperação. A mineração industrial já mostra resultados de recuperação que se sustentam em técnicas consolidadas, enquanto o garimpo cresceu de forma acelerada sem nada parecido em contrapartida, sob uma regulação que ficou recentemente mais branda. É bom repetir que MapBiomas, PRODES, estudos acadêmicos e dados institucionais convergem para o mesmo padrão, mas o que temos aqui é uma associação consistente entre variáveis, não uma relação de causa e efeito demonstrada estatisticamente.

Como contribuição original, deixamos três produtos concretos: um quadro comparando as técnicas de recuperação de cada modelo de mineração, um fluxo de trabalho que junta formalmente engenharia de minas e engenharia florestal sob responsabilidade técnica conjunta, e um projeto-piloto real, já delimitado nas áreas suspensas pelo Ibama, que combina semeadura por drone, inoculação micorrízica e fitorremediação de mercúrio. Não achamos, na literatura consultada, nada equivalente para o contexto amazônico. O valor deste trabalho está justamente em oferecer, com dados públicos e sem depender de geoprocessamento local, um caminho técnico que pode ser replicado no exato momento em que a recuperação de área do garimpo continua sendo tratada, na prática, como mera formalidade documental. Como continuidade, recomendamos a extração de dados pixel a pixel via Google Earth Engine e a execução do piloto aqui proposto.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA FAPESP. **Garimpos ilegais de ouro podem emitir 3,5 toneladas de carbono por hectare e concentrar mercúrio no solo.** 2024. Disponível em: https://agencia.fapesp.br/garimpos-ilegais-de-ouro-podem-emitir-35-toneladas-de-carbono-por-hectare-e-concentrar-mercurio-no-solo/53510. Acesso em: 13 ago. 2026.

ALMEIDA, M. de; ALMEIDA JUNIOR, C. F. de; ALMEIDA, T. F. de. Áreas protegidas como escudos contra o desmatamento na microrregião de Parauapebas, Pará. **Biodiversidade Brasileira,** v. 15, n. 1, p. 96-108, 2025.

IBAMA. **Ibama suspende 331 permissões de exploração garimpeira que atuavam em Área de Proteção Ambiental no Tapajós (PA).** 2024. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/noticias/2024/ibama-suspende-331-permissoes-de-exploracao-garimpeira-que-atuavam-em-area-de-protecao-ambiental-no-tapajos-pa. Acesso em: 13 ago. 2026.

INSTITUTO MAMIRAUÁ. **Muvuca de sementes: técnica ancestral alia saber tradicional e ciência no Amazonas.** 2026. Disponível em: https://mamiraua.org.br/noticias/muvuca-de-sementes-tecnica-ancestral-alia-saber-tradicional-e-ciencia-no-amazonas/. Acesso em: 13 ago. 2026.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Muvuca de sementes: o método de plantio que ajuda a restaurar áreas devastadas da Amazônia.** Disponível em: https://acervo.socioambiental.org/acervo/noticias/muvuca-de-sementes-o-metodo-de-plantio-que-ajuda-restaurar-areas-devastadas-da. Acesso em: 13 ago. 2026.

JORNAL DA USP. **Mineração ilegal de ouro libera carbono na atmosfera enquanto concentra mercúrio nos solos.** 2025. Disponível em: https://jornal.usp.br/ciencias/mineracao-ilegal-de-ouro-libera-carbono-na-atmosfera-enquanto-concentra-mercurio-nos-solos/. Acesso em: 13 ago. 2026.

MAPBIOMAS. **Área ocupada pela mineração no Brasil cresce mais de 6 vezes entre 1985 e 2020.** 2021. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/en/2021/08/30/area-ocupada-pela-mineracao-no-brasil-cresce-mais-de-6-vezes-entre-1985-e-2020/. Acesso em: 13 ago. 2026.

MAPBIOMAS. **Amazônia concentra mais de 90% do garimpo no Brasil.** 2023. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/en/2023/09/22/amazonia-concentra-mais-de-90-do-garimpo-no-brasil/. Acesso em: 13 ago. 2026.

MAPBIOMAS. **Método MapBiomas Água.** 2024. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/en/metodo-mapbiomas-agua/. Acesso em: 13 ago. 2026.

MARINHO, N. F.; CAPRONI, A. L.; FRANCO, A. A.; BERBARA, R. L. L. Respostas de *Acacia mangium* Willd e *Sclerolobium paniculatum* Vogel a fungos micorrízicos arbusculares nativos provenientes de áreas degradadas pela mineração de bauxita na Amazônia. **Acta Botanica Brasilica,** v. 18, n. 1, p. 141-149, 2004.

MINERAÇÃO RIO DO NORTE. **Recuperação de áreas mineradas.** Disponível em: https://mrn.com.br/index.php/pt/sustentabilidade/condicionantes-socioambientais/recuperacao-de-areas-mineradas. Acesso em: 13 ago. 2026.

REPÓRTER BRASIL. **Nova regra do Pará facilita garimpo na área de proteção mais devastada do país.** 2025. Disponível em: https://reporterbrasil.org.br/2024/12/nova-regra-do-para-facilita-garimpo-na-area-de-protecao-mais-devastada-do-pais/. Acesso em: 13 ago. 2026.

REVISTA AMAZÔNIA. **Drones plantam árvores e revolucionam o reflorestamento.** 2025. Disponível em: https://revistaamazonia.com.br/drones-plantam-arvores-na-amazonia/. Acesso em: 13 ago. 2026.

THE CONVERSATION BRASIL. **Planta da Amazônia pode ser alternativa ao uso do mercúrio no garimpo de ouro.** 2023. Disponível em: https://theconversation.com/planta-da-amazonia-pode-ser-alternativa-ao-uso-do-mercurio-no-garimpo-de-ouro-218673. Acesso em: 13 ago. 2026.

VALE. **Temos um compromisso com a conservação e recuperação da biodiversidade.** 2026. Disponível em: https://vale.com/w/temos-um-compromisso-com-a-conservacao-e-recuperacao-da-biodiversidade. Acesso em: 13 ago. 2026.