



CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA RETROSPECTIVA E GEOINDICADORES NA ANÁLISE DE ALTERAÇÕES DO RELEVO EM ÁREAS DE MINERAÇÃO: O CASO DE MONTE MOR (SP)

 Rodrigo Agostinho Silva de Campos ^{1*},  Cenira Maria Lupinacci ¹

¹ Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), CEP 13506-900, Rio Claro, SP, Brasil. *E-mails*: rodrigo.agostinho@unesp.br; cenira.lupinacci@unesp.br

*Autor correspondente



This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License.

RESUMO

A mineração de areia, enquanto vetor de alteração do relevo, promove a criação de novas formas e a reorganização de processos naturais, resultando em paisagens de caráter híbrido e marcadamente antropogênico. Assim, o objetivo da pesquisa é avaliar o potencial da análise retrospectiva em geomorfologia, por meio da cartografia geomorfológica, na compreensão das transformações ambientais associadas à mineração na bacia do rio Capivari (Município de Monte Mor/SP). A metodologia consistiu na comparação entre os mapeamentos geomorfológicos de 2010 e 2022, permitindo diferenciar morfologias anteriores e derivadas da atividade minerária, reconhecer estágios de intervenção e estimar a magnitude das alterações. Os resultados apontam para a intensificação das morfologias antropogênicas, sobretudo nas áreas de lavra ativa, onde se observam cavas profundas, em alguns casos abaixo do nível freático, patamares de lavra e depósitos tecnogênicos. Também foram registradas alterações expressivas nas feições hidrográficas, incluindo a redução de canais pluviais e a modificação da distribuição de corpos lacustres naturais e artificiais. Nos setores rurais e periurbanos, destacam-se feições erosivas lineares, como sulcos, ravinas e voçorocas, potencializados pela interação entre práticas agropecuárias e pela proximidade das frentes de mineração. Esses dados evidenciam a heterogeneidade espacial e o caráter cumulativo das transformações, reforçando a complexidade da interação entre dinâmica antrópica e processos naturais. Do ponto de vista metodológico, a combinação entre cartografia geomorfológica retrospectiva e geoindicadores permitiu identificar com clareza as mudanças mais recentes no relevo, evidenciando a expansão de cavas, a reorganização de canais e a intensificação de processos erosivos, configurando-se como uma abordagem eficaz para a detecção e quantificação de alterações geomorfológicas recentes em áreas mineradas. Os resultados indicam que a mineração atua como agente central na reconfiguração do relevo em Monte Mor, produzindo feições persistentes e de difícil reversão. Nesse sentido, compreender tais transformações é fundamental para orientar medidas de recuperação e acompanhar a evolução de áreas mineradas.

Palavras-chave: Mineração; Morfologias antropogênicas; Geoindicadores; Cartografia retrospectiva.

ABSTRACT

RETROSPECTIVE GEOMORPHOLOGICAL MAPPING AND GEOINDICATORS IN THE ANALYSIS OF RELIEF CHANGES IN MINING AREAS: THE CASE OF MONTE MOR (SP). Sand mining, as a driver of landform alteration,

promotes the creation of new forms and the reorganization of natural processes, resulting in hybrid and markedly anthropogenic landscapes. Thus, the objective of this research is to evaluate the potential of retrospective analysis in geomorphology, through geomorphological mapping, in understanding environmental transformations associated with mining in the Capivari River basin (Monte Mor municipality, São Paulo, Brazil). The methodology consisted of comparing geomorphological mappings from 2010 and 2022, allowing the differentiation of previous and derived morphologies resulting from mining activity, the identification of stages of intervention, and the estimation of the magnitude of changes. The results indicate the intensification of anthropogenic morphologies, especially in active mining areas, where deep pits, in some cases below the water table, mining benches and technogenic deposits are observed. Significant changes were also recorded in hydrographic features, including the reduction of pluvial channels and the modification of the distribution of natural and artificial lacustrine bodies. In rural and peri-urban sectors, linear erosive features such as rills, ravines and gullies stand out, enhanced by the interaction between agricultural practices and the proximity of mining fronts. These data reveal the spatial heterogeneity and cumulative nature of the transformations, reinforcing the complexity of the interaction between anthropogenic dynamics and natural processes. From a methodological perspective, the combination of retrospective geomorphological cartography and geoindicadores allowed the clear identification of the most recent changes in the relief, highlighting the expansion of pits, the reorganization of channels and the intensification of erosive processes, proving to be an effective approach for the detection and quantification of recent geomorphological changes in mined areas. The results indicate that mining acts as a central agent in the reconfiguration of the relief in Monte Mor, producing persistent and difficult-to-reverse features. In this sense, understanding such transformations is essential to guide recovery measures and to monitor the evolution of mined areas.

Keywords: Mining; Anthropogenic morphologies; Geoindicadores; Retrospective cartography.

RESUMEN

CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA RETROSPECTIVA Y GEOINDICADORES EN EL ANÁLISIS DE CAMBIOS DEL RELIEVE EN ÁREAS DE MINERÍA: EL CASO DE MONTE MOR (SP). La minería de arena, como vector de alteración del relieve, promueve la creación de nuevas formas y la reorganización de los procesos naturales, dando lugar a paisajes de carácter híbrido y marcadamente antropogénico. Así, el objetivo de esta investigación es evaluar el potencial del análisis retrospectivo en geomorfología, mediante la cartografía geomorfológica, en la comprensión de las transformaciones ambientales asociadas a la minería en la cuenca del río Capivari (municipio de Monte Mor, São Paulo, Brasil). La metodología consistió en la comparación entre los mapeos geomorfológicos de 2010 y 2022, permitiendo diferenciar morfologías anteriores y derivadas de la actividad minera, reconocer etapas de intervención y estimar la magnitud de las alteraciones. Los resultados apuntan a la intensificación de las morfologías antropogénicas, especialmente en las áreas de explotación activa, donde se observan excavaciones profundas, en algunos casos por debajo del nivel freático, bancos de explotación y depósitos tecnogénicos. También se registraron alteraciones significativas en las formas hidrográficas, incluyendo la reducción de canales pluviales y la modificación de la distribución de cuerpos lacustres naturales y artificiales. En los sectores rurales y periurbanos, destacan formas erosivas lineales como surcos, cárcavas y barrancos, potenciadas por la interacción entre prácticas agropecuarias y la proximidad de los frentes de explotación minera. Estos datos evidencian la heterogeneidad espacial y el carácter acumulativo de las

transformaciones, reforzando la complejidad de la interacción entre la dinámica antropogénica y los procesos naturales. Desde el punto de vista metodológico, la combinación entre cartografía geomorfológica retrospectiva y geoindicadores permitió identificar con claridad los cambios más recientes en el relieve, evidenciando la expansión de las excavaciones, la reorganización de los canales y la intensificación de los procesos erosivos, configurándose como un enfoque eficaz para la detección y cuantificación de alteraciones geomorfológicas recientes en áreas mineras. Los resultados indican que la minería actúa como un agente central en la reconfiguración del relieve en Monte Mor, produciendo formas persistentes y de difícil reversión. En este sentido, comprender tales transformaciones es fundamental para orientar medidas de recuperación y acompañar la evolución de las áreas mineras.

Palabras clave: Minería; Morfologías antropogénicas; Geoindicadores; Cartografía retrospectiva.

1 INTRODUÇÃO

As paisagens têm se configurado, sobretudo nas últimas décadas, como palco de transformações cada vez mais intensas e recorrentes, em grande parte resultantes das ações humanas sobre o meio físico (Crutzen, 2002; Goudie, 1993). Essas intervenções não apenas modificam a morfologia superficial, mas também reorientam dinâmicas ambientais fundamentais, como os fluxos hídricos, a estabilidade dos processos de vertente e a própria evolução sedimentar dos sistemas (Christofolletti, 1979; Wilkinson, 2005).

Nesse contexto, consolida-se a noção de que a sociedade atua como agente geomorfológico de primeira ordem (Haff, 2001; Nir, 1983), capaz de imprimir novas formas ao relevo e instaurar processos que ultrapassam a escala e a intensidade das dinâmicas naturais.

Entre as atividades humanas que mais impactam o relevo, a mineração ocupa posição de destaque por promover alterações diretas na morfologia superficial e nos processos geomorfológicos em magnitude e intensidade notáveis (Guerra & Marçal, 2006; Paschoal, 2014). Desde as observações pioneiras de Marsh (1864), já se reconhecia que a exploração mineral contribui para a descaracterização de unidades geomorfológicas, como os topos, vertentes e fundos de vale, e promove perturbações aos processos de erosão, sedimentação e organização da drenagem.

No contexto contemporâneo, a mineração de minerais não metálicos, como areia e argila, embora considerada de menor gravidade em relação à exploração de minerais metálicos e energéticos, ainda provoca perturbações expressivas nos sistemas ambientais físicos, especialmente em extensas camadas superficiais, na dinâmica hídrica e na for-

mação de morfologias antropogênicas (Lupinacci et al., 2022; Macedo, 1998).

A compreensão dessas transformações demanda abordagens metodológicas capazes de registrar e interpretar as alterações no tempo e no espaço. Nesse sentido, os estudos da chamada *Antropogeomorfologia* ou *Geomorfologia Antropogênica* (Goudie, 1993, 2006; Nir, 1983) consolidaram a noção de que o ser humano deve ser considerado um agente geomorfológico independente, cujas intervenções deixam marcas duradouras nas paisagens. Inspirada por essas formulações, Rodrigues (1997, 2001, 2005) adaptou essa perspectiva ao contexto brasileiro, sistematizando os estágios de intervenção humana – pré-perturbação, perturbação ativa e pós-perturbação – e destacando a necessidade de identificar padrões cumulativos de alteração morfodinâmica.

O conceito de geocartografia geomorfológica retrospectiva (Rodrigues, 2005) representa uma metodologia para identificar e mapear a sequência de intervenções antrópicas por meio da análise das unidades morfológicas pretéritas e das formas derivadas. Fundamentada nos princípios clássicos da cartografia geomorfológica (Tricart, 1965; Verstappen & Zuidam, 1975), essa abordagem integra parâmetros morfométricos, morfográficos, morfogenéticos e cronológicos, permitindo distinguir formas naturais e antropogênicas e avaliar suas consequências ambientais em diferentes escalas.

Mais recentemente, essa abordagem tem sido aprofundada em estudos aplicados a sistemas fortemente antropizados, especialmente em áreas urbanizadas, nos quais a reconstrução das trajetórias morfológicas e hidromorfológicas tem se mostrado fundamental para compreender a magnitude e a complexidade das intervenções humanas no relevo (Luz & Rodrigues, 2013, 2015; Rodrigues et

al., 2024). Esses trabalhos destacam a importância da integração entre diferentes fontes de informação – cartográficas, iconográficas e orbitais – para o mapeamento geomorfológico retrospectivo, bem como para a identificação de formas pré-urbanas e antropogênicas. Nesse sentido, a cartografia geomorfológica retrospectiva não se restringe à comparação entre cenários, mas constitui um instrumental analítico capaz de interpretar a evolução das paisagens antropizadas e suas derivações morfodinâmicas (Luz, 2024).

Nesse mesmo quadro, destacam-se os geoindicadores, definidos como parâmetros voltados à análise de mudanças recentes na superfície terrestre, que mensuram processos em períodos inferiores a um século (Coltrinari & McAll, 1997). No Brasil, essa metodologia foi adaptada às condições tropicais úmidas por Rodrigues e Coltrinari (2004), o que possibilitou ampliar seu uso para o monitoramento de modificações rápidas nos sistemas geomorfológicos, sobretudo aquelas associadas à urbanização e à exploração intensiva do meio físico. Assim, tanto a cartografia retrospectiva quanto os geoindicadores configuram instrumentos complementares na interpretação das transformações antrópicas do relevo.

No escopo do Antropoceno, essa perspectiva revela-se indispensável para compreender a velocidade, a intensidade e os efeitos cumulativos das transformações antropogênicas impressas nas paisagens, em especial, pela mineração (Paschoal & Cunha, 2012; Steffen et. al., 2015).

No Brasil, a mineração possui grande relevância econômica, particularmente no Estado de São Paulo, onde a extração de areia e argilas responde por mais de 70% da produção mineral do setor (Agência Nacional de Mineração [ANM], 2022a). Na Bacia Hidrográfica do Rio Capivari, o município de Monte Mor se destaca, contribuindo com 49% da arrecadação da Compensação Financeira pela Exploração Mineral (CFEM) dentre os municípios da Região Metropolitana de Campinas (ANM, 2022b). Esse contexto evidencia a necessidade de compreender os impactos ambientais e geomorfológicos resultantes da exploração mineral na região. Assim, o presente artigo tem como objetivo avaliar o potencial da cartografia geomorfológica retrospectiva, associada à aplicação de geoindicadores, para interpretar e quantificar as transformações morfológicas e morfodinâmicas decorrentes da mineração de areia na bacia do rio Capivari (Município de Monte Mor/SP), no período de 2010 a 2022.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada no município de Monte Mor, interior do estado de São Paulo, entre 22°55'44,20"S e 22°58'14,00"S de latitude sul e 47°19'31,67"O e 47°14'00,08"O de longitude oeste. Dada a heterogeneidade das práticas de mineração na região, a delimitação da área considerou uma faixa de 500 m a partir dos limites das concessões de mineração do médio curso do Rio Capivari, subdividida em quatro setores: Trecho Rio Capivari 1, Trecho Rio Capivari Mirim, Trecho Rio Capivari 2 e Trecho Córrego Água Comprida, nomeados segundo os cursos d'água predominantes, abrangendo planícies e terraços com drenagem convergente para o canal principal (Figura 1).

As atividades de mineração na região remontam ao período histórico de ocupação do interior paulista, favorecidas pela disponibilidade de materiais agregados associados às planícies e terraços fluviais do rio Capivari. Contudo, a atividade assume maior expressão econômica a partir da década de 2000, acompanhando o processo de desconcentração industrial da Região Metropolitana de São Paulo em direção ao interior do estado, fenômeno associado à reestruturação produtiva, à expansão urbana e à interiorização dos investimentos industriais (Baeninger, 2001; Cano, 1998; Lencioni, 1998; Negri, 1996). Esse movimento impulsionou o crescimento da construção civil e elevou a demanda por agregados minerais na Região Metropolitana de Campinas.

Considerando a heterogeneidade espacial das frentes de lavra e os efeitos diretos e indiretos da mineração, como a reorganização da drenagem, a mobilização de sedimentos e a intensificação de processos erosivos, o recorte espacial adotado busca abarcar não apenas as áreas diretamente exploradas, mas também os setores adjacentes potencialmente impactados. Tal delimitação permite analisar a transição entre morfologias diretamente mineradas e unidades morfológicas vizinhas, aspecto fundamental para a interpretação retrospectiva das transformações do relevo em escala de detalhe.

A área insere-se na Bacia Sedimentar do Paraná, sendo predominantemente constituída pelo Grupo Tubarão, especialmente o Subgrupo Itararé (de idade neocarbonífera, entre 300 e 290 Ma), formado por arenitos, diamictitos, siltitos e argilitos. Em menor proporção, ocorrem corpos intrusivos e extrusivos da Formação Serra Geral (de idade cretácea inferior, entre 130 e 140 Ma), associados ao

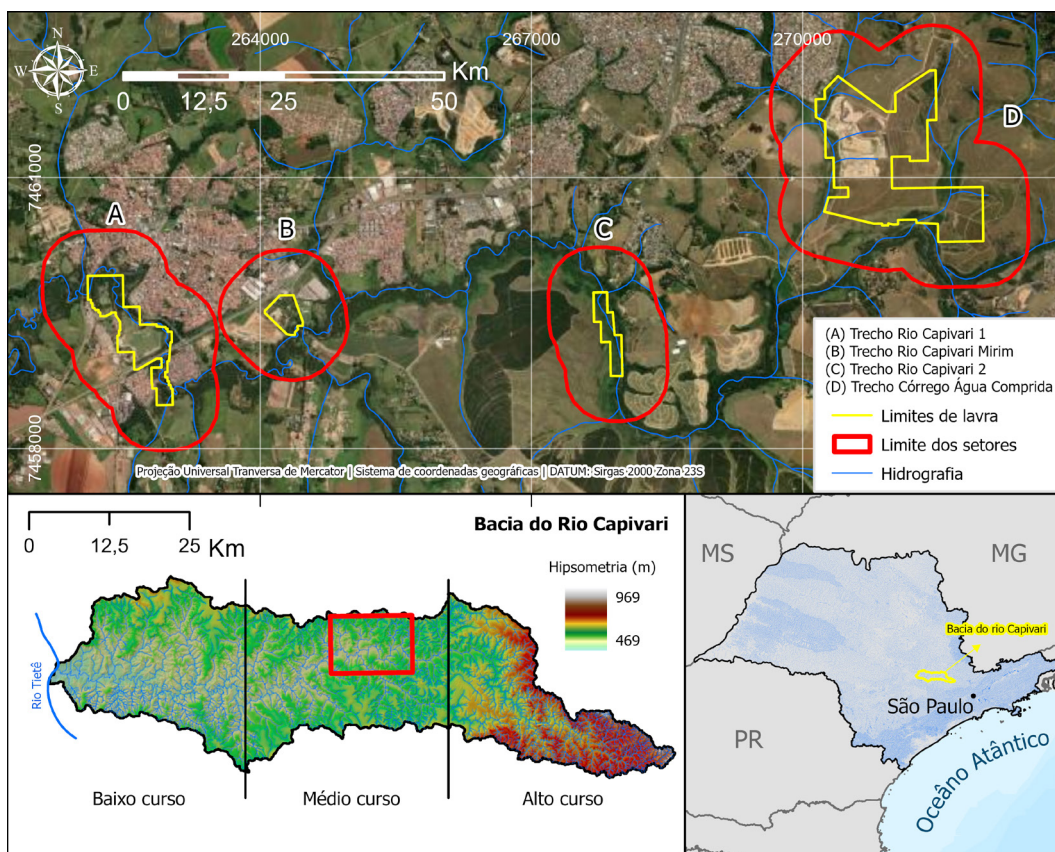


FIGURA 1 – Localização da área de estudo.
 FIGURE 1 – Location of the study area.

Grupo São Bento (Ribeiro, 2002). Observações em campo indicam duas associações litológicas principais: uma dominada por siltitos e argilitos com estratificação plano-paralela e outra caracterizada por intercalações de arenitos e diamictitos com clastos dispersos. Os diabásios intrusivos aparecem como *sills* e diques, geralmente intensamente intemperizados, cortando as camadas sedimentares do Subgrupo Itaré.

Do ponto de vista geomorfológico, Monte Mor insere-se na Província da Depressão Periférica Paulista, mais especificamente na Zona do Médio Tietê, caracterizada por colinas suavizadas, vales jovens com planícies fluviais restritas, drenagem predominantemente dendrítica e relevo levemente ondulado (Almeida, 1964; IPT, 1981; Ross & Moroz, 1997). Segundo Ross e Moroz (1997), a compartimentação geomorfológica regional evidencia o predomínio de formas denudacionais associadas a litologias sedimentares do Subgrupo Itaré, com dissecação moderada e baixa amplitude altimétrica.

Os solos acompanham a litologia e a morfologia locais, distribuindo-se predominantemente em Latossolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Quartzarênicos, com textura arenosa até 150 cm de profundidade, favorecendo a extração de areia, além de Argissolos Vermelho-Amarelos, de textura média a arenosa, em declividades entre 5% e 10% e altitudes variando entre 500 e 650 m (Rossi, 2017).

O clima local é classificado como tropical mesotérmico (Cwa, segundo Köppen), com inverno seco e temperaturas médias acima de 24°C no verão, de acordo com o Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (1977). A pluviosidade anual varia entre 1.100 e 1.300 mm, concentrada entre outubro e março, sendo janeiro e dezembro os meses mais chuvosos, com aproximadamente 200 mm de precipitação (Departamento de Água e Energia Elétrica [DAEE], 1998).

Desde o final do século XVIII, a ocupação de Monte Mor passou por distintas fases de uso e transformação do território, que incluem práticas agropecuárias, expansão urbana e instalação

de indústrias. Essas mudanças alteraram de forma expressiva a cobertura natural, promovendo a substituição da vegetação original por pastagens, lavouras de cana-de-açúcar, culturas anuais, áreas urbanizadas e áreas destinadas à mineração, compondo o quadro atual da paisagem (Bernardini, 2018; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2022; Instituto Geográfico e Cartográfico [IGC], 1980).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho adota a perspectiva da Geomorfologia Antropogênica, com enfoque na análise das modificações do relevo decorrentes da mineração no médio curso do rio Capivari. Para tanto, foram elaborados mapeamentos geomorfológicos retrospectivos e cartas de uso da terra, em escala de detalhe (1:10.000), para os anos de 2010 e 2022, apoiados por parâmetros geoindicadores que auxiliaram na avaliação quantitativa das transformações.

Ressalta-se que a análise dos anos de 2010 e 2022 não constitui uma reconstrução da morfologia original natural, mas sim uma comparação entre dois cenários recentes, visando identificar trajetórias de alteração e intensificação das intervenções antrópicas.

Os produtos cartográficos foram confeccionados em ambiente SIG (QGIS 3.22.14

Białowieża LTR), a partir de diferentes bases de dados. Utilizaram-se: (i) cartas topográficas na escala 1:10.000 produzidas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC, 2002); (ii) ortofotos digitais da EMPLASA (2010–2011), com resolução aproximada de 1 m, disponíveis via plataforma DATAGEO; e (iii) imagens orbitais de alta resolução (0,35 a 1,38 m) obtidas no Google Earth Pro® / Maxar Technologies® (junho de 2022).

Para o mapeamento de 2022, ainda foram confeccionados pares estereoscópicos por meio da técnica de anaglifo, seguindo os procedimentos de Miyazaki e Oliveira (2020), com adaptações quanto à conversão para escala de cinza e posterior georreferenciamento em formato GEOTIFF. Embora esse processo tenha introduzido pequenas distorções na imagem, o recurso foi essencial para a identificação de terraços e planícies fluviais e cortes antropogênicos associados à mineração.

A Figura 2 apresenta o encadeamento das etapas metodológicas adotadas na pesquisa.

3.1 Cartografia geomorfológica retrospectiva

A elaboração das cartas geomorfológicas de detalhe seguiu a abordagem de Tricart (1965), contemplando informações de morfometria, morfografia, morfogênese e cronologia. Para a simbo-

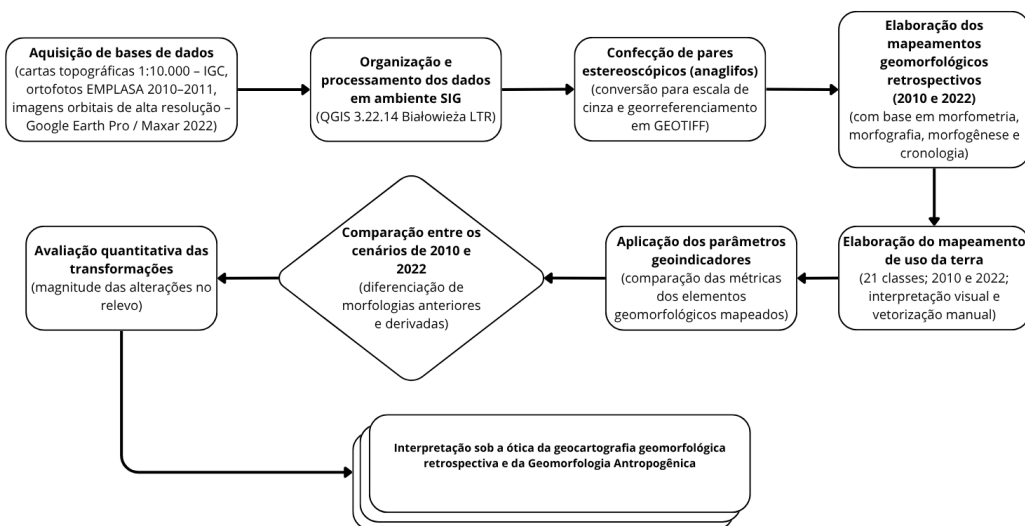


FIGURA 2 – Fluxograma metodológico da pesquisa, indicando as etapas de elaboração dos mapeamentos geomorfológicos retrospectivos, aplicação de parâmetros geoindicadores e análise das transformações do relevo entre 2010 e 2022.

FIGURE 2 – Methodological workflow of the research, showing the steps of retrospective geomorphological mapping, application of geoindicator parameters and analysis of landform changes between 2010 and 2022.

logia, adotou-se a proposta de Paschoal e Cunha (2010), Paschoal (2011, 2014), derivada das contribuições de Verstappen e Zuidan (1975) e das adaptações de Cunha (2001), o que proporcionou maior clareza na representação das feições. Por fim, a interpretação foi conduzida sob a ótica da geocartografia geomorfológica retrospectiva (Rodrigues, 1997, 2001, 2004, 2005), permitindo reconstituir o quadro morfológico de referência e, a partir dele, identificar, diferenciar e avaliar as perturbações antrópicas e suas derivações no período analisado.

3.2 Parâmetros geoindicadores

A noção de geoindicadores foi aplicada nesta pesquisa por meio da comparação das métricas dos elementos geomorfológicos mapeados em dois cenários (2010 e 2022). Essa abordagem forneceu subsídios relevantes para a distinção entre quadro original e as morfologias antropogênicas resultantes das transformações ocorridas na área de estudo. A Tabela 1 apresenta os parâmetros geoindicadores empregados neste trabalho, organizados em agrupamentos e acompanhados de suas respectivas unidades de medida.

3.3 Mapeamento de uso da terra

O mapeamento de uso da terra identificou 21 classes distribuídas em quatro conjuntos principais: i) áreas antrópicas não agropecuárias; ii) áreas antrópicas agropecuárias; iii) áreas vegetadas; iv) corpos d'água. A classificação contemplou os cenários de 2010 e 2022 e foi estruturada a partir das propostas de Paschoal (2014), que detalha a dinâmica de uso em áreas antrópicas relacionadas à mineração e confere maior complexidade às instalações urbanas e suas transformações. Para garantir a padronização metodológica, os procedimentos de identificação seguiram as diretrizes estabelecidas no Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2013). A identificação de cada classe foi feita por interpretação visual em tela dos produtos orbitais e sua delimitação foi realizada manualmente.

4 RESULTADOS

4.1 Variações da dinâmica de uso da terra

A comparação entre os cenários de 2010 e 2022, baseada nos mapeamentos de uso da terra

TABELA 1 – Parâmetros geoindicadores auferidos.
TABLE 1 – Measured geindicator parameters.

<i>Agrupamento</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade de medida</i>
<i>Feições erosivas (FE)</i>	Comprimento de sulcos	m
	Comprimento de ravinas	m
	Comprimento dos taludes de voçoroca	m
<i>Feições hidrográficas naturais e antropizadas (FH)</i>	Comprimento de canais fluviais com fundo de vale encaixado	m
	Comprimento de canais fluviais com fundo de vale plano	m
	Comprimento de canais fluviais retinizados	m
	Comprimento de canais fluviais canalizados	m
	Comprimento de canais pluviais	m
	Área de lagos naturais	m ²
	Área de lagos artificiais	m ²
<i>Modelado antrópico associado à atividade de mineração (MA – M)</i>	Comprimento de patamares suaves em cavas de mineração	m
	Comprimento de patamares abruptos em cavas de mineração	m
	Área de cavas de mineração abaixo do nível freático	m ²
<i>Modelado antrópico associado às construções (MA – C)</i>	Comprimento de rupturas topográficas antrópicas suaves	m
	Comprimento de rupturas topográficas antrópicas abruptas	m

(Apêndice), evidenciou mudanças significativas na dinâmica de uso da terra nos trechos analisados, com destaque para a expansão de áreas antrópicas não agropecuárias e a retração das áreas agropecuárias, ao mesmo tempo em que as áreas vegetadas apresentaram crescimento consistente (Figura 3).

No conjunto das áreas antrópicas não agropecuárias, houve aumento em todos os trechos, especialmente no Rio Capivari 1, marcado pela ampliação da área urbana edificada (+28%) e área construída (+68%), e no Córrego Água Comprida, onde também se observou crescimento expressivo de ocupações urbanas, com acréscimo de 93.377 m² de área de terrenos com edificações consolidadas. No trecho Rio Capivari Mirim, além do crescimento da indústria (+51%), verificou-se aumento de solo exposto (+142,91%) e da instalação de novos loteamentos, representados por um acréscimo de 61.531 m² em áreas urbanas não edificadas. Incluída nesta categoria, evidencia-se a evolução das atividades de mineração, as quais tiveram incremento de área em todos os setores mapeados, avanço marcado pela abertura de novas lavras e a expansão de antigas minas, representado pelo acréscimo de 201.170 m² nas classes de minas a céu aberto e de cobertura herbácea em antigas áreas de mineração.

As áreas antrópicas agropecuárias apresentaram tendência geral de retração, embora com particularidades entre os trechos. No Rio Capivari 1, o recuo foi associado sobretudo à redução de pasto

limpo (-63%), substituído pelo pasto sujo (+84%) e por classes de cobertura vegetal, que somaram adições de 46.275 m², enquanto no Rio Capivari Mirim a queda foi ainda mais acentuada, com substituição de áreas de pastagens (com redução de 274.870 m²) por ocupações urbanas e industriais (com acréscimos de 19.888 m² e 73.003 m², respectivamente). Em contrapartida, nos trechos Rio Capivari 2 e Córrego Água Comprida, a agricultura apresentou relativa estabilidade, com expansão da cana-de-açúcar (+38% e +13%), embora acompanhada da redução de pastagens (-49% e -38%).

As áreas de vegetação mostraram aumento em todos os setores, com destaque para a recomposição de matas ciliares e formações florestais de encosta nos trechos Rio Capivari 2 e Córrego Água Comprida, que tiveram as maiores expansões (+49% e +68%, respectivamente). No Rio Capivari 1 e no Rio Capivari Mirim o crescimento foi moderado (+29% e +30,63%), mas igualmente relevante para a dinâmica de recuperação da cobertura vegetal.

Por fim, os corpos d'água tiveram variações pontuais. No trecho Rio Capivari 1 houve crescimento de +152% de lagos e represamentos artificiais, passando de 19.277 m² em 2010 para 48.611 m² em 2022, enquanto no trecho Córrego Água Comprida ocorreu retração tanto em lagos naturais, (-22%) quanto artificiais (-49%). Nos demais trechos, as mudanças foram de menor magnitude,

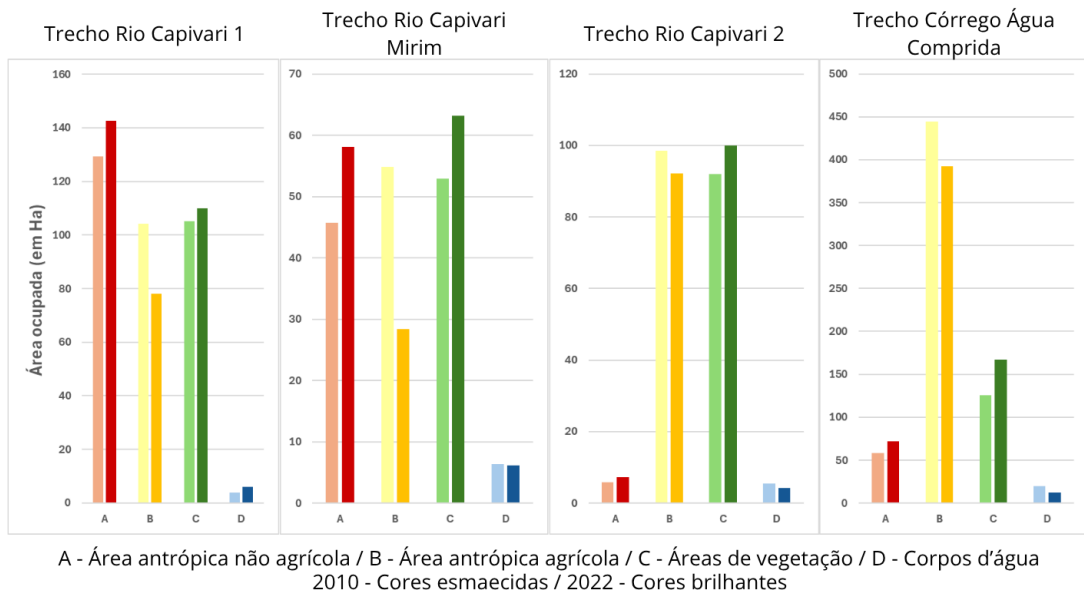


FIGURA 3 – Gráfico de evolução dos agrupamentos de classe de uso da terra (2010 – 2022).

FIGURE 3 – Graph showing the evolution of land use class groupings (2010 – 2022).

configurando uma relativa estabilidade do conjunto em escala regional.

4.2 Dinâmica de alteração no relevo

No Trecho Rio Capivari 1, o mapeamento geomorfológico (Apêndice) e a análise dos geoindicadores (Tabela 2) identificaram a presença de feições erosivas, com destaque para sulcos e ravinas, que apresentaram incremento de 22,35% e 19,74%, respectivamente, passando de 1.190 m para 1.456 m e de 152 m para 182 m entre os anos de 2010 e 2022. Não foram identificadas voçorocas no intervalo.

As feições relacionadas ao modelado antrópico associado às construções estiveram representadas por rupturas topográficas, tanto suaves quanto abruptas. As rupturas suaves apresentaram variação pouco expressiva, passando de 2.214 m para

2.232 m (+0,81%), enquanto as rupturas abruptas registraram aumento significativo, passando de 2.096 m para 4.593 m, o que corresponde a um incremento de 119,16%.

No conjunto das feições hidrográficas naturais e antropizadas, foram mapeados canais pluviais, canais fluviais em diferentes condições morfológicas (canalizado, retificado, fundo de vale plano e fundo de vale encaixado) e corpos d'água naturais e artificiais. Os canais fluviais com fundo de vale encaixado apresentaram aumento de 266 m para 411 m (+54,51%), enquanto os canais com fundo de vale plano passaram de 5.010 m para 5.863 m (+17,03%). Os canais retificados e canalizados também registraram acréscimos mais discretos, de 1.722 m para 1.799 m (+4,47%) e de 447 m para 475 m (+6,27%), respectivamente. Em contrapartida, os canais pluviais apresentaram redução significativa, passando de 550 m para 373 m (-32,18%). Entre os corpos d'água, os lagos naturais reduziram sua área de 11.285 m² para 10.034 m² (-11,08%), enquanto os lagos artificiais aumentaram de 19.277 m² para 22.837 m² (+18,46%).

Por fim, o modelado antrópico vinculado à atividade minerária apresentou feições inéditas em 2022, com a identificação de 107 m de patamares suaves e 1.243 m de patamares abruptos em cavas de mineração, além de 25.774 m² de cavas situadas abaixo do nível freático, evidenciando a intensificação das intervenções no relevo no período analisado.

No Trecho Rio Capivari Mirim, o mapeamento geomorfológico (Apêndice) e a análise dos geoindicadores (Tabela 3) identificaram feições erosivas representadas por sulcos e ravinas. Entre 2010 e 2022, observou-se redução na extensão dos sulcos, que passaram de 1.375 m para 699 m (-49,16%), e aumento expressivo das ravinas, de 12 m para 76 m (+533,33%), não sendo identificadas voçorocas no período.

No que se refere às feições hidrográficas, destacaram-se reduções nas extensões dos canais fluviais com fundo de vale encaixado, que passaram de 738 m para 699 m (-5,28%), e com fundo de vale plano, de 3.214 m para 3.126 m (-2,74%). Em contrapartida, os canais retificados apresentaram acréscimo, passando de 343 m para 443 m (+29,15%). Os canais pluviais registraram redução acentuada, de 759 m para 38 m (-94,99%). Entre os corpos d'água, os lagos naturais reduziram sua área de 14.478 m² para 9.412 m² (-35,00%), enquanto os lagos artificiais permaneceram ausentes em ambos os períodos.

TABELA 2 – Parâmetros geoindicadores do setor Trecho Rio Capivari 1.

TABLE 2 – Geoindicators parameters of the “Trecho Rio Capivari 1” sector.

Grupo ¹	Parâmetro	2010	2022	Varição percentual
FE	Sulcos	1.190m	1.456m	+22,35%
	Ravinas	152m	182m	+19,74%
	Voçoroca	–	–	–
FH	Canais fluviais com fundo de vale encaixado	266m	411m	+54,51%
	Canais fluviais com fundo de vale plano	5.010m	5.863m	+17,03%
	Canais fluviais retificados	1.722m	1.799m	+4,47%
	Canais fluviais canalizados	447m	475m	+6,27%
	Canais pluviais	550m	373m	-32,18%
	Lagos naturais	11.285m ²	10.034m ²	-11,08%
	Lagos artificiais	19.277m ²	22.837m ²	+18,46%
MA – M	Patamares suaves em cavas de mineração	–	107m	–
	Patamares abruptos em cavas de mineração	–	1243m	–
	Cavas de mineração abaixo do nível freático	–	25.774m ²	–
MA – C	Rupturas topográficas antrópicas suaves	2.214m	2.232m	+0,81%
	Rupturas topográficas antrópicas abruptas	2.096m	4.593m	+119,16%

¹Grupos: Feições erosivas (FE); Feições hidrográficas (FH); Modelado antrópico associado à mineração (MA-M); e Modelado antrópico associado às construções (MA-C).

TABELA 3 – Parâmetros Geoindicadores do setor Trecho Rio Capivari Mirim.

TABLE 3 – Geoindicators parameters of the “Trecho Rio Capivari Mirim” sector.

Grupo	Parâmetro	2010	2022	Variação percentual
FE	Sulcos	1.375m	699m	-49,16%
	Ravinas	12m	76m	+533,33%
	Voçoroca	–	–	–
FH	Canais fluviais com fundo de vale encaixado	738m	699m	-5,28%
	Canais fluviais com fundo de vale plano	3.214m	3.126m	-2,74%
	Canais fluviais retelinizados	343m	443m	+29,15%
	Canais fluviais canalizados	–	–	–
	Canais pluviais	759m	38m	-94,99%
	Lagos naturais	14.478m ²	9.412m ²	-35,00%
	Lagos artificiais	–	–	–
	MA – M	Patamares suaves em cavas de mineração	–	380m
Patamares abruptos em cavas de mineração		525m	218m	-58,48%
Cavas de mineração abaixo do nível freático		0	380m ²	–
MA – C	Rupturas topográficas antrópicas suaves	1.065m	3.745m	+251,64%
	Rupturas topográficas antrópicas abruptas	1.392m	2.092m	+50,29%

O modelado antrópico associado à atividade de mineração apresentou mudanças significativas, com o surgimento de 380 m de patamares suaves em cavas e a manutenção de patamares abruptos, que, entretanto, apresentaram redução de 525 m para 218 m (-58,48%). Além disso, foram identificadas cavas de mineração abaixo do nível freático em 2022, totalizando 380 m², inexistentes no cenário de 2010.

No modelado antrópico vinculado às construções, registrou-se a presença de rupturas topográficas antrópicas, suaves e abruptas, ambas com aumento expressivo. As rupturas suaves passaram de 1.065 m para 3.745 m (+251,64%), enquanto as rupturas abruptas aumentaram de 1.392 m para 2.092 m (+50,29%) entre 2010 e 2022.

No Trecho Rio Capivari 2, o mapeamento geomorfológico (Apêndice) e a análise dos geoindicadores (Tabela 4) evidenciaram feições erosivas compostas por sulcos, ravinas e voçorocas. Entre 2010 e 2022, observou-se aumento nos sulcos, que

TABELA 4 – Parâmetros Geoindicadores do setor Trecho Rio Capivari 2.

TABLE 4 – Geoindicators parameters of the “Trecho Rio Capivari 2” sector.

Grupo	Parâmetro	2010	2022	Variação percentual
FE	Sulcos	871m	1.046m	+20,09%
	Ravinas	129m	56m	-56,59%
	Voçoroca	77m	150m	+94,81%
FH	Canais fluviais com fundo de vale encaixado	567m	754m	+32,98%
	Canais fluviais com fundo de vale plano	3.367m	3.425m	+1,72%
	Canais fluviais retelinizados	565m	754m	+33,45%
	Canais fluviais canalizados	–	–	–
	Canais pluviais	2.396m	816m	-65,94%
	Lagos naturais	7.659m ²	7.473m ²	-2,43%
	Lagos artificiais	47.066m ²	34.067m ²	-27,61%
	MA – M	Patamares suaves em cavas de mineração	348m	–
Patamares abruptos em cavas de mineração		660m	1.115m	+68,94%
Cavas de mineração abaixo do nível freático		–	–	–
MA – C	Rupturas topográficas antrópicas suaves	231m	993m	+329,87%
	Rupturas topográficas antrópicas abruptas	231m	393m	+70,13%

passaram de 871 m para 1.046 m (+20,09%), e nas voçorocas, de 77 m para 150 m (+94,81%), enquanto as ravinas apresentaram redução, passando de 129 m para 56 m (-56,59%).

As feições hidrográficas apresentaram variações, com destaque para o crescimento dos canais fluviais com fundo de vale encaixado, que passaram de 567 m para 754 m (+32,98%). Os canais com fundo de vale plano apresentaram aumento discreto, de 3.367 m para 3.425 m (+1,72%), enquanto os canais retelinizados também cresceram, de 565 m para 754 m (+33,45%). Em contrapartida, os canais pluviais apresentaram redução significativa, passando de 2.396 m para 816 m (-65,94%). Entre os corpos d’água, os lagos naturais apresentaram leve redução, de 7.659 m² para 7.473 m² (-2,43%), enquanto os lagos artificiais diminuíram de 47066 m² para 34.067 m² (-27,61%).

O modelado antrópico associado à atividade de mineração foi marcado pela substituição dos patamares suaves pelos patamares abruptos. Os pa-

tameres suaves, que totalizavam 348 m em 2010, deixaram de ser identificados em 2022, enquanto os patamares abruptos aumentaram de 660 m para 1.115 m (+68,94%). Não foram registradas cavas de mineração abaixo do nível freático no período analisado.

O modelado antrópico vinculado às construções apresentou expansão significativa das rupturas topográficas, tanto suaves quanto abruptas. As rupturas suaves passaram de 231 m para 993 m (+329,87%), enquanto as rupturas abruptas aumentaram de 231 m para 393 m (+70,13%), refletindo o incremento das alterações no relevo associadas à ocupação e às intervenções humanas.

No Trecho Córrego Água Comprida, o mapeamento geomorfológico (Apêndice) e a análise dos geoindicadores (Tabela 5) identificaram a presença de feições erosivas compostas por sulcos, ravinas e voçorocas, todas apresentando incremento em extensão entre 2010 e 2022. Os sulcos passaram de 4.655 m para 7.062 m (+51,71%), as ravinas de

1.311 m para 1.721 m (+31,27%) e as voçorocas de 1.042 m para 1.573 m (+50,96%).

No período analisado, as feições hidrográficas apresentaram comportamentos distintos. Os canais fluviais com fundo de vale encaixado sofreram redução de 4.959 m para 2.998 m (-39,54%), enquanto os canais com fundo de vale plano apresentaram aumento de 7.197 m para 7.747 m (+7,64%). Os canais pluviais também registraram crescimento significativo, passando de 1.307 m para 2.103 m (+60,90%). Entre os corpos d'água, os lagos naturais reduziram sua área de 14.711 m² para 7.470 m² (-49,22%), enquanto os lagos artificiais apresentaram expressivo aumento, de 10.344 m² para 44.826 m² (+333,36%).

O modelado antrópico associado à atividade de mineração evidenciou crescimento dos patamares em cava. Os patamares suaves aumentaram de 403 m para 1.598 m (+296,53%), enquanto os patamares abruptos passaram de 1.532 m para 1.970 m (+28,59%). As cavas de mineração abaixo do nível freático, embora mantidas no período, apresentaram redução de área, passando de 70.077 m² para 58.148 m² (-17,02%).

O modelado antrópico vinculado às construções apresentou diminuição das rupturas topográficas suaves, que passaram de 2.563 m para 1.028 m (-59,89%), e desaparecimento das rupturas abruptas, que totalizavam 641 m em 2010 e não foram mais identificadas em 2022, refletindo mudanças no padrão de intervenção humana no relevo no período analisado.

TABELA 5 – Parâmetros Geoindicadores do setor Trecho Córrego Água Comprida.

TABLE 5 – Geoindicators parameters of the “Trecho Córrego Água Comprida” sector.

Grupo	Parâmetro	2010	2022	Varição percentual
FE	Sulcos	4.655m	7.062m	+51,71%
	Ravinas	1.311m	1.721m	+31,27%
	Voçoroca	1.042m	1.573m	+50,96%
FH	Canais fluviais com fundo de vale encaixado	4.959m	2.998m	-39,54%
	Canais fluviais com fundo de vale plano	7.197m	7.747m	+7,64%
	Canais fluviais retinizados	–	–	–
	Canais fluviais canalizados	–	–	–
	Canais pluviais	1.307m	2.103m	+60,90%
	Lagos naturais	14.711m ²	7.470m ²	-49,22%
	Lagos artificiais	10.344m ²	44.826m ²	+333,36%
MA – M	Patamares suaves em cavas de mineração	403m	1.598m	+296,53%
	Patamares abruptos em cavas de mineração	1.532m	1.970m	+28,59%
	Cavas de mineração abaixo do nível freático	70.077m ²	58.148m ²	-17,02%
MA – C	Rupturas topográficas antrópicas suaves	2.563m	1.028m	-59,89%
	Rupturas topográficas antrópicas abruptas	641m	–	-100,00%

5 DISCUSSÃO

As áreas mapeadas revelam dinâmicas distintas de acordo com seu grau e tipo de intervenção antrópica. Setores mais urbanizados, como o trecho Rio Capivari 1, exibem maior presença de modelados antrópicos associados à ocupação urbana, com rupturas topográficas acentuadas e o surgimento de novas cavas de mineração abaixo do nível freático. Esses trechos evidenciam uma intensificação das atividades humanas, refletida no aumento generalizado das morfologias antropogênicas e suas derivações ambientais. Esse padrão de diferenciação espacial das intervenções antrópicas também foi observado em estudos sobre sistemas urbanizados, nos quais a intensidade das modificações geomorfológicas varia conforme o grau de artificialização da paisagem e a natureza dos usos da terra (Luz & Rodrigues, 2013, 2015).

Em contraste, setores rurais, como o Córrego Água Comprida, apresentaram um aumento predominante de feições erosivas, como sulcos e ravinas, sugerindo a intensificação de processos erosivos vinculados às práticas agropecuárias. No trecho Rio Capivari Mirim, observou-se um comportamento intermediário, com redução de sulcos, mas crescimento significativo das ravinas, o que está associado à uma reorganização dos processos erosivos e um controle parcial da erosão superficial, possivelmente por meio de manejo do solo e do redirecionamento de uso da terra.

5.1 Criação de morfologias antropogênicas associadas à atividade de mineração

As atividades de mineração ao longo da bacia do Rio Capivari promoveram transformações significativas no relevo entre 2010 e 2022, evidenciando a criação e intensificação de morfologias antropogênicas. O mapeamento geomorfológico revelou que tais alterações não se deram de forma homogênea, mas expressaram um conjunto de dinâmicas que incluem tanto a expansão de frentes de lavra quanto a desativação e reordenamento de áreas mineradas. A leitura dessas transformações a partir de uma perspectiva retrospectiva aproximou-se das abordagens aplicadas em sistemas hidromorfológicos urbanizados, nas quais a identificação de formas derivadas e a reconstituição de estados anteriores do relevo permitem compreender os processos de reorganização espacial indu-

zidos por atividades antrópicas intensivas (Luz, 2024; Rodrigues et al., 2024).

Um dos elementos mais evidentes foi o surgimento e ampliação dos patamares em cavas de mineração, que se configuraram em duas tipologias distintas: suaves e abruptos. Os patamares suaves, associados a cortes rasos e intervenções iniciais no relevo, surgiram em áreas antes inalteradas, indicando a abertura de novas frentes de lavra em distintos trechos da bacia. Em contrapartida, os patamares abruptos, caracterizados por cortes mais profundos e escarpas íngremes, atingiram extensões expressivas, como os 1.243 m identificados no Rio Capivari 1 em 2022, e apresentaram reorganizações em outros setores, refletindo processos de intensificação da extração mineral ou de terraplanagem subsequente.

A presença dessas feições está diretamente relacionada a um grau mais avançado de intervenção, com impactos geomorfológicos relevantes e riscos geotécnicos associados, como apontam Guidicini e Nieble (1984), sobretudo em relação à instabilidade de taludes e ao reordenamento da drenagem superficial (Figuras 4 e 5).

Outro aspecto de destaque refere-se às cavas de mineração abaixo do nível freático, inexistentes em 2010 em alguns trechos e que, em 2022, passaram a ocupar áreas expressivas, como os 25.774 m² mapeados no Rio Capivari 1. Essas feições representam um nível ainda mais profundo de modificação do meio físico, uma vez que interferem

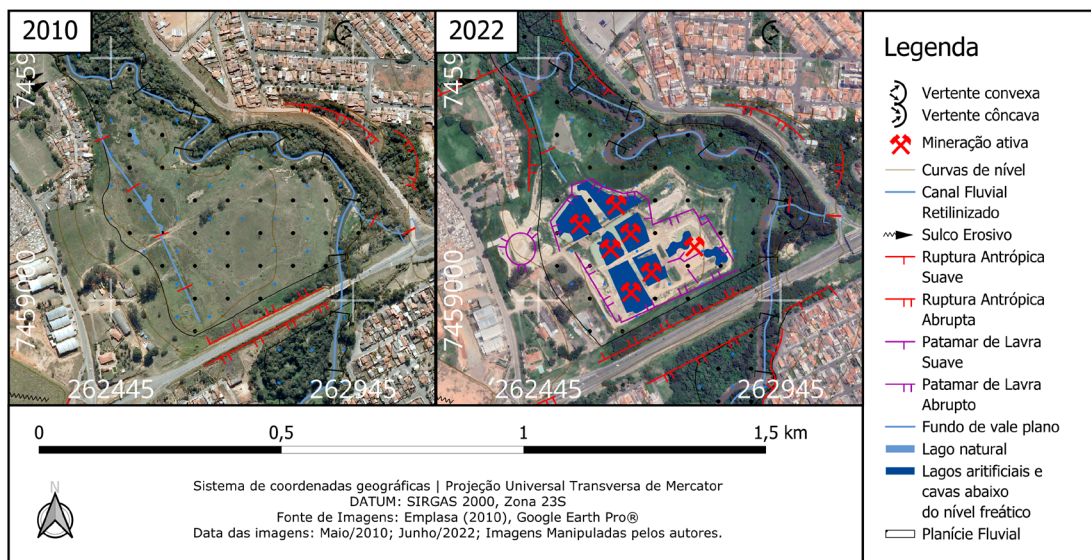


FIGURA 4 – Abertura de nova lavra de areia em área urbana do Trecho Rio Capivari 1 entre 2010 e 2022.

FIGURE 4 – Opening of a new sand mining pit in the urban area of the Rio Capivari 1 Section between 2010 and 2022.



FIGURA 5 – (A) Canal Pluvial (Data da imagem: 23/07/2025); (B) Vista de planície e terraços fluviais do Rio Capivari em área de mineração desativada. Notar cavas submersas. (Data da imagem: 01/04/2025).

FIGURE 5 – (A) Pluvial watercourse (Image date: 23/07/2025); (B) View of the floodplain and fluvial terraces of the Capivari River in a deactivated mining area. Note the submerged pits. (Image date: 04/01/2025).

diretamente no sistema hidrológico. A presença de cavas profundas favorece o afloramento do lençol freático, alterando fluxos subsuperficiais e implicando potenciais efeitos sobre a recarga hídrica, a qualidade da água e a dinâmica fluvial (Paschoal, 2014). Os registros de canais pluviais, que foram fluviais anteriormente, e de planícies com cavas submersas (Figura 5) ilustram de forma clara esse processo.

Entretanto, não se observou apenas expansão da atividade minerária. Em alguns setores, verifi-

cou-se retração ou desativação de áreas anteriormente exploradas, acompanhada pela substituição por novos padrões de uso da terra. No setor Rio Capivari 2, antigas minas a céu aberto que operavam por desmonte mecânico das vertentes foram substituídas por pátios de secagem de sedimentos extraídos por dragagem (Figura 6), enquanto o aumento da cobertura herbácea (Figura 7) indica processos de recuperação parcial ou abandono. No Córrego Água Comprida, a redução de 18,54% da área de minas a céu aberto, associada à expansão da vege-



FIGURA 6 – (A) Imagem de pátio de secagem de areia e (B) Colina de resíduos; Trecho Rio Capivari 2, 30 de março de 2024.

FIGURE 6 – (A) Sand drying yard and (B) Waste hill; Rio Capivari 2 Section, March 30, 2024.

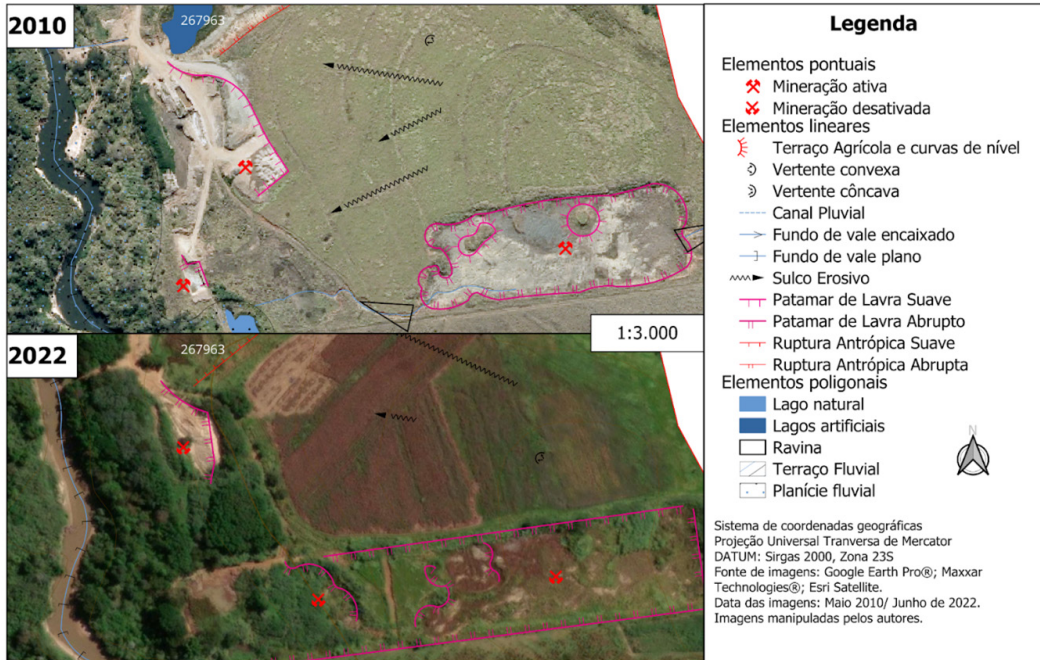


FIGURA 7 – Transição da área de mineração entre 2010 e 2022, trecho Rio Capivari 2.

FIGURE 7 – Transition of the mining area between 2010 and 2022, Rio Capivari 2 Section.

tação herbácea (119.875 m² em 2022), evidencia uma reorganização espacial da atividade minerária, marcada pela desativação de frentes de lavra e pela abertura de novas áreas de exploração (Figura 8).

Essa combinação de expansão, retração e reconfiguração espacial da mineração reflete o caráter dinâmico da atividade e sua capacidade de reor-

denar padrões de uso da terra, como demonstrado pela substituição de antigas cavas por loteamentos urbanos no Rio Capivari Mirim. Tal dinâmica está em consonância com o que autores como Paschoal (2011) destacam sobre os efeitos cumulativos da mineração na transformação da paisagem, em que áreas desativadas podem ser rapidamente incorpo-

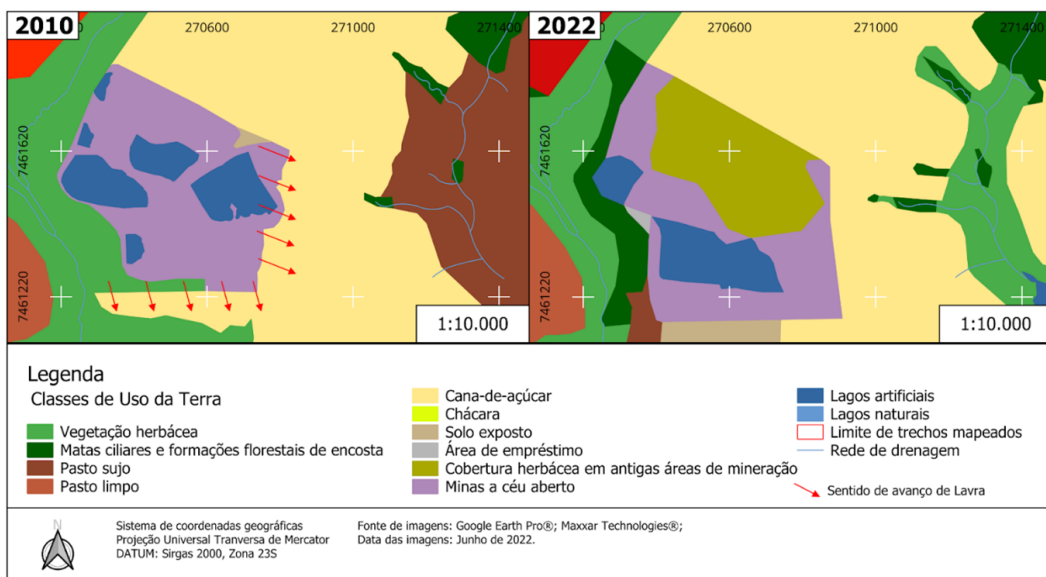


FIGURA 8 – Avanço da atividade de mineração sobre a cana-de-açúcar (2010-2022).

FIGURE 8 – Expansion of mining activity over sugarcane fields (2010–2022).

radas a novos empreendimentos, enquanto novas frentes são abertas para suprir demandas locais e regionais.

5.2 Criação de morfologias antropogênicas associadas às construções

Os dados geomorfológicos permitiram interpretar as feições associadas às construções na média bacia do rio Capivari segundo um fluxo processual coerente com a antropogeomorfologia: fases de pré-perturbação, perturbação ativa e pós-perturbação (Nir, 1983), embora não tenha sido possível apreender cenários pré-perturbação dado o escopo temporal deste estudo. Essa leitura processual facilita a articulação entre os achados empíricos (rupturas suaves e abruptas, cortes, aterros, solo exposto) e os mecanismos que lhes dão origem, bem como o confronto com a literatura especializada.

Neste sentido observam-se predominantemente rupturas topográficas suaves, decorrentes de operações iniciais de corte e aterro para loteamentos, chácaras e implantação de infraestruturas urbanas. Os dados apontam acréscimos significativos de rupturas suaves em trechos periurbanos, refletindo a preparação do relevo para ocupação. Essas intervenções imprimem ao terreno descontinuidade morfológica e exposição de superfícies que passam a estar mais vulneráveis à ação de agentes erosivos.

A modificação da topografia nas áreas de transição rural-urbana contribui diretamente para a instabilidade do solo e para o agravamento dos pro-

cessos erosivos, conforme documentado por Guerra e Cunha (1996), Guerra e Marçal (2006) e Mafra (1999). Esse processo se articula em três mecanismos principais da urbanização: cortes, aterros e rupturas topográficas. Os cortes são empregados para remover volumes indesejados e gerar áreas planas para a implantação das ocupações urbanas; os aterros elevam a superfície original para criar terrenos aptos à edificação; e as rupturas, quando de origem antrópica, rompem abruptamente a continuidade do relevo, intensificando alterações no regime de escoamento, a mobilização de sedimentos e a formação de taludes instáveis. Tais mecanismos tornam-se particularmente evidentes nas frentes de urbanização recente, onde a paisagem original sofre alteração intensa e direta, criando morfologias de assinatura antrópica.

Na etapa de perturbação ativa identificam-se rupturas topográficas abruptas e outras feições indicativas de maior intensidade de intervenção: taludes expostos, aumento de solo exposto, concentração de escoamento e incremento de processos erosivos (Figura 9). Os dados mostram que as rupturas abruptas cresceram em extensão em vários trechos, indicando cortes mais profundos e maior remobilização de material. Este quadro corresponde a um período de elevada instabilidade geomorfológica, quando o aporte de sedimentos e a formação de superfícies de baixa consolidação se tornam mais frequentes, elevando a probabilidade de evolução dos taludes e de alterações significativas na drenagem superficial (Guerra & Marçal, 2006).



FIGURA 9 – (A) Vista aérea de loteamento em área periurbana no Trecho Córrego Água Comprida; (B) Detalhe de cortes e taludes expostos em arruamentos não pavimentados. Notar exposição do talude fruto de corte e a suscetibilidade à erosão. Fonte: Prefeitura Municipal de Monte Mor (SP), abril de 2019.

FIGURE 9 – (A) Aerial view of an allotment in a peri-urban area in the Água Comprida Creek section; (B) Detail of cuts and exposed slopes in unpaved streets. Note the geomorphological instability and susceptibility to erosion. Source: Municipality of Monte Mor (SP), April 2019.

Em setores onde a urbanização se consolida ou onde ocorre abandono e reuso de áreas, observa-se atenuação das rupturas e emergência de sinais de recomposição superficial, como a cobertura herbácea. Essa fase configura a incorporação das feições antrópicas às paisagens, com estabilização parcial das superfícies sob novos usos. No entanto, a estabilização não implica a extinção dos riscos: rupturas abruptas e taludes instáveis podem persistir como características morfológicas da paisagem, mantendo condicionantes para erosão localizada e instabilidade dos terrenos.

Agrupando os dados por fase, evidencia-se que a urbanização atua como processo geomorfológico acumulativo: a preparação do terreno (pré-perturbação) facilita a emergência de instabilidades (perturbação ativa), cujas marcas podem ser parcialmente assimiladas pela ocupação consolidada (pós-perturbação). Os mecanismos de corte, aterro e ruptura funcionam como vetores operacionais dessa transformação, responsabilizando-se tanto pela criação imediata de morfologias antropogênicas quanto pela manutenção de processos erosivos e de instabilidade ao longo do tempo. Essa leitura corrobora e amplia a proposta de Nir (1983) ao relacionar fases metodológicas da intervenção humana no relevo com sinais morfológicos identificáveis em inventários geomorfológicos.

5.3 Feições erosivas lineares

A análise das feições erosivas nos diferentes trechos da média bacia do Rio Capivari revela um

padrão evolutivo que pode ser interpretado em termos de intensificação e estabilização de processos, sempre relacionados às transformações de uso da terra. Os dados demonstram a coexistência de sulcos, ravinas e voçorocas em estágios diferenciados, evidenciando tanto áreas em degradação progressiva quanto zonas de contenção parcial.

Os sulcos representam a fase inicial de desenvolvimento da erosão linear e estão diretamente associados à remoção da cobertura vegetal e à compactação do solo, sobretudo em áreas agropecuárias e de pastagem. Em diversos trechos, como no Rio Capivari 1 (aumento de 22,35%) e no Córrego Água Comprida (aumento de 51,71%), os sulcos aumentaram significativamente, indicando maior exposição do solo e intensificação do escoamento superficial. Essa dinâmica se relaciona a práticas de manejo inadequadas e à pressão exercida pelo pisoteio do gado (Descroix et al., 2008), além do preparo do solo para monocultura, como no caso da cana-de-açúcar (Figura 10).

As ravinas, que correspondem a um estágio mais avançado de erosão linear, apresentam padrões distintos entre os trechos analisados. Enquanto no Rio Capivari 1 e no Córrego Água Comprida houve crescimento, indicando intensificação da instabilidade, no Rio Capivari 2 houve redução (redução de 56,59%), sugerindo intervenções de estabilização, como terraplanagem ou práticas corretivas. Já no Rio Capivari Mirim, o aumento expressivo de revela o agravamento da degradação



FIGURA 10 – Fotografia panorâmica de área de cultivo de cana de açúcar, setor Córrego Água Comprida (agosto/2025); Notar feições erosivas sequenciais indicadas pelas setas vermelhas em área vizinha.

FIGURE 10 – Panoramic photograph of sugarcane cultivation area, Água Comprida Creek sector (august 2025); note sequential erosive features indicated by red arrows in the adjacent area.

em áreas onde o solo permanece sem cobertura vegetal adequada nas áreas de pasto.

As voçorocas, identificadas principalmente no Rio Capivari 2 e no Córrego Água Comprida, configuram a forma mais severa da erosão linear, representando um difícil estágio para recuperação em função da remoção contínua de solo e da concentração de fluxos hídricos. Conforme discutido por Guerra e Botelho (1996), e Guerra et. al. (2023), a evolução para voçorocas implica perda significativa da capacidade produtiva do solo, além de impactos diretos sobre a drenagem e o aporte sedimentar para os cursos fluviais. A associação desses processos com áreas agropecuárias intensivas e zonas minerárias indica que a redução da cobertura vegetal favorece a concentração do escoamento superficial e o aumento da energia erosiva, contribuindo para a evolução de formas incipientes, como sulcos e ravinas, para estágios mais avançados, como voçorocas (padrão observado especialmente nos trechos Rio Capivari 2 e Córrego Água Comprida), intensificando a degradação dos solos.

Este aumento está em consonância com o que Goudie e Viles (1997) apontam sobre o papel da ação humana na aceleração de processos naturais, em especial pela supressão da vegetação natural, de porte arbóreo, por monoculturas. No caso da

cana-de-açúcar, Lepsch (2010) destaca que a concentração de água em sulcos pode evoluir para cavidades ramificadas, situação claramente observada nos trechos do Córrego Água Comprida, em que as feições erosivas não apenas diagnosticam a pressão antrópica sobre o relevo em áreas rurais, mas também se configuram como marcadores de instabilidade nos processos de vertente, cujas consequências se expressam na perda de solo, e no aporte de sedimentos para os sistemas fluviais (Figura 11), registrado pela frequência de leques aluviais (Figura 12).

5.4 Feições hidrográficas

A análise das feições hidrográficas evidencia um quadro de artificialização progressiva da rede de drenagem ao longo do período analisado, resultante da interação entre urbanização, práticas agropecuárias e intervenções minerárias. Os dados indicam redução significativa dos canais pluviais nos trechos estudados, especialmente nas cabeceiras, com decréscimos de -94,99% no Rio Capivari Mirim, -65,94% no Rio Capivari 2 e -32,18% no Rio Capivari 1 (Figura 13), interpretados como efeito direto das alterações antrópicas associadas à

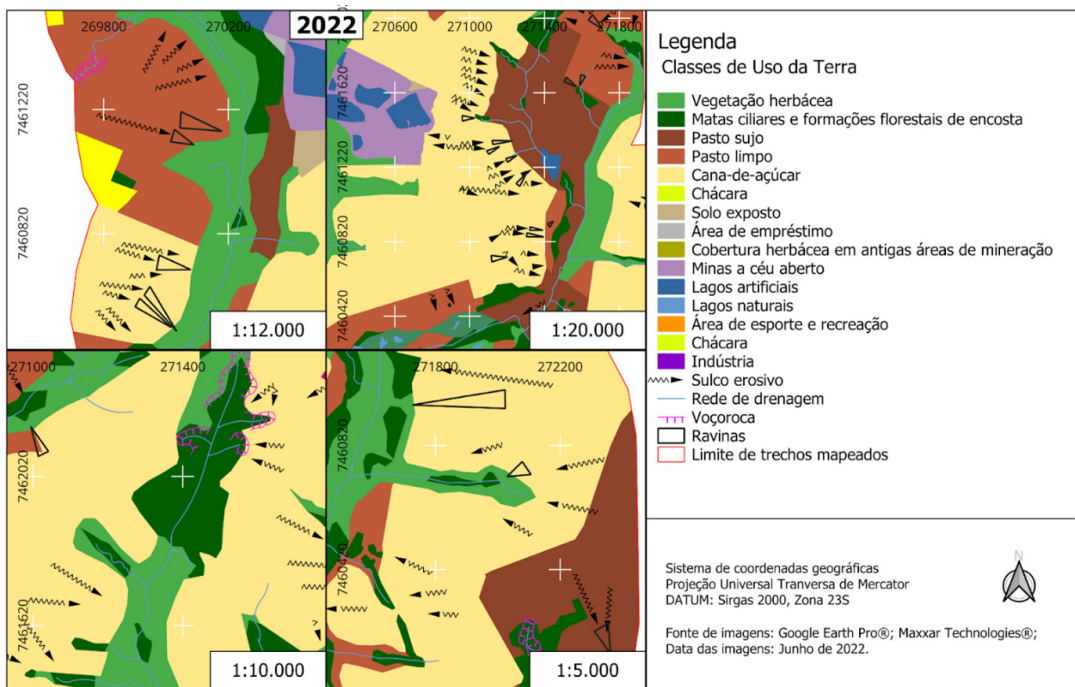


FIGURA 11 – Concentração de feições erosivas em área de monocultura de cana-de-açúcar, Trecho Córrego Água Comprida (2022).

FIGURE 11 – Concentration of erosive features in a sugarcane monoculture area, Água Comprida Creek Section (2022).

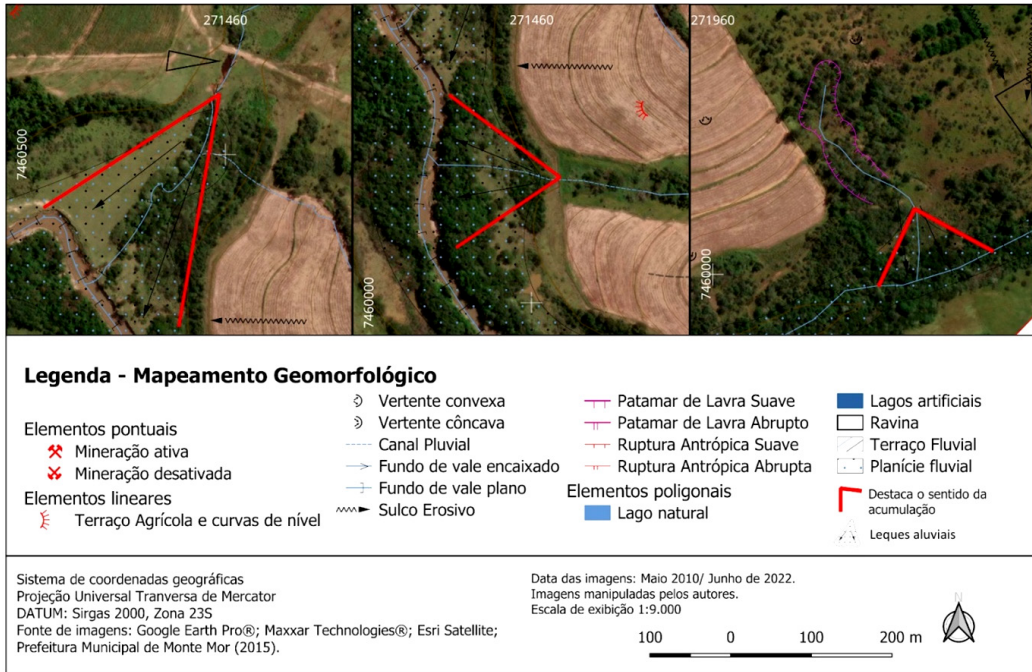


FIGURA 12 – Leques aluviais no Trecho Córrego Água Comprida (2022).

FIGURE 12 – Alluvial fans in the Água Comprida Creek Section (2022).

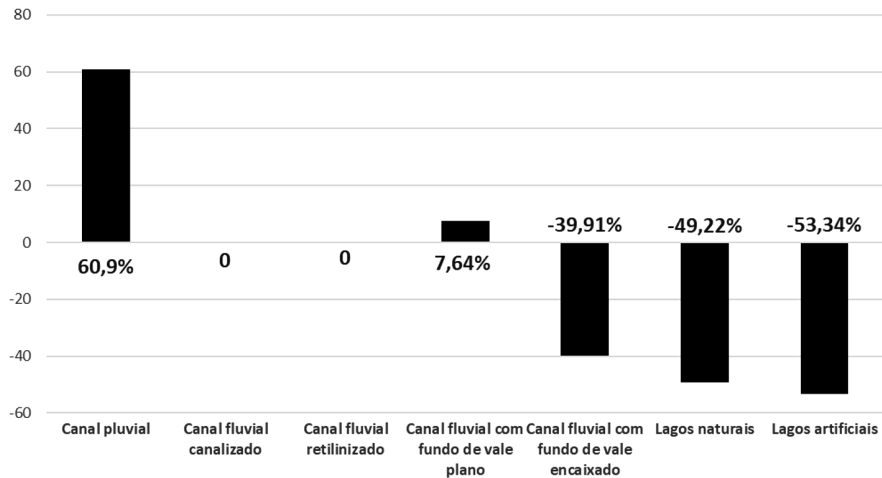


FIGURA 13 – Evolução das feições hidrográficas naturais e antropizadas no Trecho Córrego Água Comprida (2010 - 2022).

FIGURE 13 – Evolution of natural and anthropogenic hydrographic features in the Água Comprida Creek section (2010–2022).

remoção das coberturas vegetais e ao uso intensivo da terra por pastagens e lavouras.

Esse processo de artificialização da drenagem tem sido amplamente documentado em estudos sobre sistemas urbanizados, nos quais se observa a substituição progressiva de canais naturais por estruturas antrópicas e a reconfiguração das redes

hidrológicas (Luz & Rodrigues, 2015), evidenciando padrões semelhantes aos identificados na área de estudo.

Essa tendência, entretanto, não se manifesta de forma homogênea: enquanto no Trecho Córrego Água Comprida observa-se ampliação dessas feições (+60,90%) (Figura 13), possivelmente asso-

ciada à melhor identificação de canais pluviais proporcionada pelo uso de imagens em escala de cinza por meio da técnica de anáglifo para o cenário de 2022, nos demais trechos a supressão foi significativa, evidenciando a substituição de canais pluviais por sistemas de drenagem subterrânea e pelo adensamento da malha edificada. Esses resultados corroboram a literatura que destaca a substituição progressiva da drenagem natural por estruturas antrópicas em áreas de expansão urbana (Campana & Tucci, 1994; Justino et al., 2012; Motta Jr. & Tucci, 1984; Stevaux & Latrubesse, 2017; Tucci, 1994).

No que se refere aos lagos e corpos d'água, os dados apontam para uma dinâmica contrastante entre áreas de preservação e espaços sob maior pressão antrópica. Registra-se a redução de lagoas naturais, como observado no Rio Capivari Mirim (-35,00%) e no Córrego Água Comprida (-49,22%), fenômeno associado ao assoreamento e ao rebaixamento de áreas úmidas para o aproveitamento agrícola, em consonância com as observações de Tucci (1994) sobre a vulnerabilidade desses ambientes em contextos de intensa modificação antrópica. O Trecho Rio Capivari Mirim ilustra esse processo, no qual a expansão da cana-de-açúcar, responsável

pela conversão de áreas de pastagem e de outros usos, pode ter contribuído para a perda de superfícies alagadas naturalmente, uma vez que o cultivo intensivo altera o regime hidrológico local, favorecendo a drenagem de áreas anteriormente ocupadas por lagos naturais (Figura 14).

Em paralelo, a ocorrência de lagos artificiais mostra variações vinculadas à atividade minerária e ao uso para piscicultura, como evidenciado no Trecho do Rio Capivari 1 (Figura 5), onde a presença de cavas submersas transformou o padrão original da planície fluvial. Esses elementos introduzem novas unidades geomorfológicas artificiais que passam a integrar a paisagem, configurando processos de substituição e recomposição dos ambientes (Christofoletti, 1979).

Os canais fluviais principais também apresentam transformações notáveis. Em setores de maior urbanização, como ao longo do trecho Rio Capivari 01, observam-se trechos retinizados e canalizados, frequentemente associados à abertura de arruamentos e à expansão da malha urbana. Em áreas agropecuárias, por sua vez, a presença de fundos de vale planos demonstra a atuação de processos erosivos acelerados e deposicionais su-

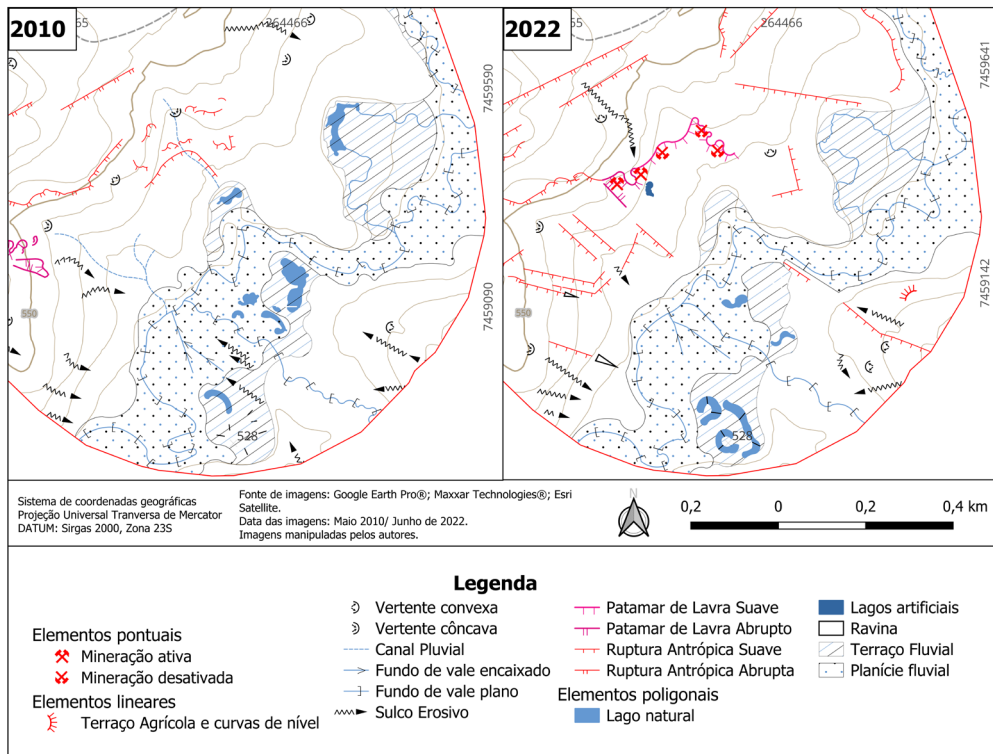


FIGURA 14 – Vista das planícies e terraços fluviais do Rio Capivari no Trecho Rio Capivari Mirim (2010-2022).

FIGURE 14 – View of the floodplains and fluvial terraces of the Capivari River in the Capivari Mirim section (2010–2022).

cessivos, em consonância com a intensificação do escoamento superficial sobre solos expostos. Tais modificações se alinham às análises de Nir (1983), que discute a adaptação morfológica de canais em fases distintas da urbanização, envolvendo desde cortes e desvios iniciais até a estabilização artificial por canalização; e de Lupinacci et. al. (2022) acerca das respostas geomórficas às atividades de mineração, entre estas alterações nos cursos d'água.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das transformações geomorfológicas no município de Monte Mor evidenciou que a mineração atua como agente estruturante da paisagem, promovendo modificações que ultrapassam a escala natural dos processos. Entre 2010 e 2022, os mapeamentos geomorfológicos retrospectivos e os parâmetros geoindicadores demonstraram a criação de novas morfologias antropogênicas, como cavas abaixo do nível freático e patamares de lavra, bem como a intensificação de rupturas topográficas e a reorganização das feições hidrográficas.

Os resultados confirmam que as dinâmicas de alteração não se distribuem de forma homogênea. Nos setores mais urbanizados, prevalecem feições antrópicas associadas tanto à ocupação urbana quanto às frentes ativas de mineração, enquanto nos trechos rurais e periurbanos destacam-se os processos erosivos, muitas vezes potencializados pelas práticas agropecuárias. Esse mosaico de transformações aponta para a complexidade da interação entre mineração, outros padrões de uso da terra e dinâmica natural, produzindo um relevo híbrido em constante reorganização.

Do ponto de vista metodológico, a principal contribuição deste trabalho reside na integração entre a cartografia geomorfológica retrospectiva e os geoindicadores, abordagem que se mostrou fundamental para identificar e mensurar as transformações recentes associadas à mineração. Essa articulação metodológica permitiu diferenciar formas pré-existentes e formas derivadas, reconhecer estágios de intervenção antrópica e avaliar o caráter cumulativo das alterações no relevo.

Além disso, a abordagem demonstrou potencial para aplicação em contextos tropicais úmidos, ao evidenciar sua capacidade de captar a complexidade das dinâmicas geomorfológicas em áreas sob intensa pressão antrópica. Nesse sentido, os resultados reforçam a pertinência desses instrumentos como suporte técnico ao planejamento territorial e à gestão ambiental em áreas mineradas.

Por fim, destaca-se que a compreensão das morfologias antropogênicas associadas à mineração não se restringe à análise de impactos locais, mas insere-se em um quadro mais amplo de transformações ambientais e sociais ligadas ao Antropoceno. Nesse sentido, a pesquisa reafirma a necessidade de incorporar a perspectiva geomorfológica na avaliação das políticas públicas e no ordenamento territorial, de modo a mitigar impactos, orientar a recuperação de áreas degradadas e assegurar o uso sustentável do relevo.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos pareceristas anônimos da revista pelas valiosas contribuições e sugestões, que contribuíram significativamente para o aprimoramento deste trabalho. Agradecem também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro à pesquisa (Processo nº 2024/16451-6). Agradecem ainda à Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo (SEMIL), especialmente pela disponibilização de dados por meio da plataforma DATAGEO, bem como às plataformas Google Earth Pro® e Maxar Technologies® pelo uso de imagens orbitais.

8 REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Mineração. (2022a). *Anuário Mineral Brasileiro interativo*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiODIyOWJlMTgtZTBiNj00ODFhLWJiOGEtYzlmOWM3MjhmMWQ4IiwidCI6ImEzMDgzZTIxLTc0OWItNDUzNC05YWZhLTU0Y2MzMTg4OTdiOCJ9>
- Agência Nacional de Mineração. (2022b). *Observatório da CFEM*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZDA5NGMyYmYtOWQyMi00NzA1LWFlhOTQtNmU5NjEyMTI3ZDMxIiwidCI6ImEzMDgzZTIxLTc0OWItNDUzNC05YWZhLTU0Y2MzMTg4OTdiOCJ9&pageName=ReportSection7a-43f884dc43352e5953>
- Almeida, F. F. M. (1964). Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico*, 41, 167–263.
- Baeninger, R. (2001). Região metropolitana de São Paulo: Reestruturação produtiva e migrações. *São Paulo em Perspectiva*, 15(1), 65–74.

- Bernardini, S. P. (2018). O planejamento da expansão urbana na interface com a urbanização dispersa: Uma análise sobre a região metropolitana de Campinas (1970–2006). *Urbe: Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 10(1), 172–185. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.001.AO02>
- Campana, N. A., & Tucci, C. E. M. (1994). Estimativa de área impermeável de macro-bacias urbanas. *Revista Brasileira de Engenharia: Caderno de Recursos Hídricos*, 12(2), 79–94.
- Cano, W. (1998). Desconcentração produtiva regional no Brasil: 1970–1995. *Economia e Sociedade*, 7(2), 101–124.
- Christofoletti, A. (1979). *Análise de sistemas em geografia*. Hucitec.
- Coltrinari, L., & McAll, G. J. H. (1997). Geoindicadores: Ciências da Terra e mudanças ambientais. *Revista do Departamento de Geografia*, 9, 69–77.
- Crutzen, P. J. (2002). Geology of mankind. *Nature*, 415(23), Article 6867. <https://doi.org/10.1038/415023a>
- Cunha, C. M. L. (2001). *A cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental* [Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista].
- Descroix, L., Barrios, J. L. G., Viramontes, D., Poulénard, J., Anaya, E., Esteves, M., Estrada, J. (2008). Gully and sheet erosion on subtropical mountain slopes: Their respective roles and the scale effect. *Catena*, 72(3), 325–339. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.07.003>
- Departamento de Água e Energia Elétrica. (1998). *Banco de dados pluviométricos do Estado de São Paulo* (Versão 1). Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos, Convênio DAEE-USP.
- Departamento Nacional de Produção Mineral. (1977). *Carta geológica do Projeto Sapucaí: Folha Campinas, escala 1:250.000*. Convênio Departamento Nacional de Produção Mineral e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- Goudie, A. (1993). Human influence in geomorphology. *Geomorphology*, 7(1–3), 37–59. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(93\)90011-P](https://doi.org/10.1016/0169-555X(93)90011-P)
- Goudie, A. S. (2006). *The human impact on the natural environment: Past, present, and future* (6th ed.). Blackwell Publishing.
- Goudie, A., & Viles, H. (1997). *The earth transformed: An introduction to human impacts on the environment*. Blackwell.
- Guerra, A. J. T., Bezerra, J. F. R., & Jorge, M. do C. O. (2023). Recuperação de voçorocas e de áreas degradadas, no Brasil e no mundo: Estudo de caso da voçoroca do Sacavém, São Luís, MA. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 24(número especial), 1–20. <https://doi.org/10.20502/rbg.v24i00.2306>
- Guerra, A. J. T., & Botelho, R. G. M. (1996). Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. *Anuário do Instituto de Geociências*, 19, 93–114. https://doi.org/10.11137/1996_0_93-114
- Guerra, A. J. T., & Cunha, S. B. da. (1996). *Geomorfologia e meio ambiente*. Bertrand Brasil.
- Guerra, A. J. T., & Marçal, M. S. (2006). *Geomorfologia ambiental*. Bertrand Brasil.
- Guidicini, G., & Nieble, C. M. (1984). *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. Blucher.
- Haff, P. K. 2001. *Neogeomorphology, prediction, and the anthropic landscape*. Division of Earth and Ocean Sciences, Nicholas School of the Environment and Earth Sciences, Duke University.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2013). *Manual técnico de uso da terra* (3a ed.).
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Censo Demográfico 2022: Resultados preliminares*.
- Instituto Geográfico e Cartográfico. (1980). *Carta topográfica do Estado de São Paulo* [Mapa].
- Instituto Geográfico e Cartográfico. (2002). *Carta topográfica do Estado de São Paulo* [Mapa].
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. (1981). *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo* [Mapa] (Escala 1:1.000.000, Vols. 1–2). IPT.

- Justino, E. A., Paula, H. M., & Paiva, E. C. R. (2012). Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG. *Espaço em Revista*, 13(2), 16–38.
- Lencioni, S. (1998). Reestruturação urbano-industrial no estado de São Paulo: A região metropolitana desconcentrada. In *Território: globalização e fragmentação*. Hucitec.
- Lepsch, I. F. (2010). *Formação e conservação dos solos* (2a ed.). Oficina de Textos.
- Luz, R. A. (2024). A cartografia geomorfológica pré-urbana e antropogênica da planície do rio Pinheiros, São Paulo (SP). *Derbyana*, 45, Artigo e834. <https://doi.org/10.69469/derb.v45.834>
- Luz, R. A., & Rodrigues, C. (2013). Reconstituição geomorfológica de planícies fluviais urbanizadas: O caso do rio Pinheiros, São Paulo-SP. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 14(1), 47–57. <https://doi.org/10.20502/rbg.v14i1.354>
- Luz, R. A., & Rodrigues, C. (2015). Anthropogenic changes in urbanised hydromorphological systems in a humid tropical environment: River Pinheiros, Sao Paulo, Brazil. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 59, 109–135. http://doi.org/10.1127/zfg_suppl/2015/S-59207
- Lupinacci, C. M., Conceição, F. T., & Paschoal, L. G. (2022). Geomorphic responses due to the second-largest global producer of ceramic tiles in the state of São Paulo, Brazil. *Catena*, 218, Article 106550. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106550>
- Macedo, A. B. (1998). Recursos minerais não-metálicos. *Estudos Avançados*, 12(33), 67–88. <https://doi.org/10.1590/S0103-40141998000200005>
- Mafra, N. M. C. (1999). Erosão e planificação de uso do solo. In A. J. T. Guerra, A. S. Silva, & R. G. M. Botelho (Orgs.), *Erosão e conservação dos solos*. Bertrand Brasil.
- Marsh, G. P. (1864). *Man and nature: Physical geography as modified by human action*. Charles Scribner.
- Miyazaki, L. C. P., & Oliveira, A. A. G. (2020). Anaglifo, fotointerpretação e imagens do Google Earth como alternativa para elaboração do mapeamento geomorfológico da Serra do Corpo Seco – Ituiutaba-MG (Brasil). *Physis Terrae*, 2(2), 43–65. <https://doi.org/10.21814/physisterrae.2978>
- Motta Jr., J. C., & Tucci, C. E. M. (1984). Simulation of the urbanization effect in flow. *Hydrological Sciences Journal*, 29(2), 131–147. <https://doi.org/10.1080/02626668409490930>
- Negri, B. (1996). *Concentração e desconcentração industrial em São Paulo (1880–1990)*. Editora da UNICAMP.
- Nir, D. (1983). *Man, a geomorphological agent*. Keter Publishing House.
- Paschoal, L. G. (2011). *Dinâmica do uso e ocupação da terra em área de mineração de argila: O caso da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Gertrudes/SP* [Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista]. Acervo Digital da UNESP. <http://repositorio.unesp.br/handle/11449/92928>
- Paschoal, L. G. (2014). *Estudo dos efeitos da criação de morfologias antropogênicas em área de mineração* [Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista]. Repositório institucional UNESP. <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/123769>
- Paschoal, L. G., & Cunha, C. M. L. (2010). Utilização do ArcGIS 9.3 na elaboração de simbologias para mapeamentos geomorfológicos: Uma aplicação na área do complexo argileiro de Santa Gertrudes/SP. *Anais do VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia*, Recife, p. 13.
- Paschoal, L. G., & Cunha, C. M. L. (2012). Cartografia geomorfológica e as transformações morfo-hidrográficas em áreas de atividade de mineração de argila. *Revista Geonorte*, 3(6), 1482–1494. <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2043>
- Ribeiro, R. P. (2002). *Avaliação das alterações na rede de drenagem de sub-bacias hidrográficas da porção média da bacia do rio Capivari (SP): Escala 1:25.000 – subsídio para o planejamento integrado* [Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo]. Bi-

- biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP. <https://doi.org/10.11606/D.18.2002.tde-09032006-115335>
- Rodrigues, C. (1997). *Geomorfologia aplicada ao planejamento físico-territorial brasileiro* [Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo].
- Rodrigues, C. (2001). A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. *Revista do Departamento de Geografia*, 14, 69–77. <https://doi.org/10.7154/RDG.2001.0014.0007>
- Rodrigues, C. (2004). A urbanização da metrópole sob a perspectiva da geomorfologia. In A. F. Carlos, & A. U. Oliveira (Orgs.), *Geografias de São Paulo* (Vol. 1, pp. 89–114). Contexto.
- Rodrigues, C. (2005). Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: Exemplo da metrópole paulista. *Revista do Departamento de Geografia*, 17, 101–111. <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0017.0008>
- Rodrigues, C., & Coltrinari, L. (2004). Geoindicadores of urbanization effects in humid tropical environment: São Paulo (Brazil) metropolitan area. *Proceedings of the 32nd International Geological Congress*.
- Rodrigues, C., Luz, R. A., Moroz Caccia-Gouveia, I. C., Veneziani, Y., Simas, I. T. H., & Carvalho, D. (2024). Abordagem histórica e fontes de informação para o mapeamento geomorfológico retrospectivo de áreas urbanizadas. *Derbyana*, 45, Artigo e841. <https://doi.org/10.69469/derb.v45.841>
- Ross, J. L. S., & Moroz, I. C. (1997). *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo: Escala 1:500.000* [Mapa]. FAPESP, IPT, USP.
- Rossi, M. (2017). *Mapa pedológico do Estado de São Paulo: Revisado e ampliado*. Instituto Florestal.
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., & Ludwig, C. (2015). The trajectory of the Anthropocene: The great acceleration. *The Anthropocene Review*, 2(1), 81–98. <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>
- Stevaux, J. C., & Latrubesse, E. M. (2017). *Geomorfologia fluvial*. Oficina de Textos.
- Tricart, J. (1965). *Principes et méthodes de la géomorphologie*. Masson.
- Tucci, C. E. M. (1994). *Drenagem urbana*. Editora da UFRGS.
- Verstappen, H. T., & Zuidam, R. A. van. (1975). *ITC system of geomorphological survey* (Vol. 1, Cap. 8). ITC.
- Wilkinson, B. H. (2005). Humans as geologic agents: A deep-time perspective. *Geology*, 33(3), 161–164. <https://doi.org/10.1130/G21108.1>

Manuscrito submetido em 29 de novembro de 2025, aceito em 10 de abril de 2026.

Como citar: Campos, R. A. S., & Lupinacci, C. M. (2026). Cartografia geomorfológica retrospectiva e geoindicadores na análise de alterações do relevo em áreas de mineração: o caso de Monte Mor (SP). *Derbyana*, 47, Artigo e881.

Contribuição dos autores: R.A.S.C.: Conceitualização; Curadoria de dados; Análise formal; Investigação; Metodologia; Software; Validação; Visualização; Redação – rascunho original; Redação – revisão e edição. C.M.L.: Conceitualização; Administração do projeto; Recursos; Supervisão; Validação; Redação – revisão e edição.

Conflito de interesses: Os autores declaram que não há conflito de interesses

