

ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS ASSOCIADOS À INSTABILIDADE DE ENCOSTAS EM PETRÓPOLIS – RJ

Exploratory analysis of morphometric parameters associated with slope instability in Petrópolis - RJ

Bárbara Fernandes de Oliveira

Graduanda em Geografia, Universidade Federal de Alfenas – MG, Brasil

barbara.oliveira@sou.unifal-mg.edu.br

Elisa Holanda Neri

Graduanda em Geografia, Universidade Federal de Alfenas – MG, Brasil

elisa.jorge@sou.unifal-mg.edu.br

Marcelo Augusto Ribeiro Pires

Mestrando em Geografia

Programa de Pós Graduação em Geografia – PPGeo, Universidade Federal de Alfenas – MG, Brasil

marcelo.pires@sou.unifal-mg.edu.br

Felipe Gomes Rubira

Doutor em Geografia

Docente do Instituto de Ciências da Natureza (ICN), Universidade Federal de Alfenas – MG, Brasil

felipe.rubira@unifal-mg.edu.br

Recebido: 01/02/2026

Aceito: 15/04/2026

Resumo

Este estudo realiza uma análise exploratória de parâmetros morfométricos associados à instabilidade de encostas no município de Petrópolis (RJ), a partir de índices derivados de Modelo Digital de Elevação Copernicus GLO-30, com resolução espacial de 30 m. Foram analisados parâmetros como declividade, curvatura do relevo, densidade de drenagem, densidade hidrográfica, dissecação do relevo e concentração de rugosidade, interpretados como indicadores indiretos das condições geomorfológicas e hidrológicas da área de estudo. Os resultados evidenciaram a concentração espacial de atributos morfométricos potencialmente associadas à instabilidade, especialmente em setores mais elevados e dissecados, com declividades acentuadas, curvaturas côncavas e maior rugosidade, frequentemente relacionados à maior densidade de canais fluviais. Observou-se, ainda, a sobreposição entre áreas densamente ocupadas e esses setores, o que indica incompatibilidade entre o padrão de ocupação urbana e as condições geomorfológicas locais. Os resultados obtidos indicam padrões espaciais relevantes para a compreensão da instabilidade de encostas na região, fornecendo subsídios preliminares para análises de suscetibilidade a movimentos de massa e para o planejamento territorial em áreas de risco.

Palavras-chave: Declividade; Curvatura do relevo; Dissecação do relevo; Rugosidade do relevo; Densidade de drenagem.

Abstract

This study presents an exploratory analysis of morphometric parameters associated with slope instability in the municipality of Petrópolis (RJ), using indices derived from the Copernicus GLO-30 Digital Elevation Model with a 30 m spatial resolution. Parameters such as slope, terrain curvature, drainage density, hydrographic density, relief dissection, and roughness concentration were analysed and interpreted as indirect indicators of the study area's geomorphological and hydrological conditions. The results revealed the spatial concentration of morphometric attributes potentially associated with instability, particularly in higher and more dissected sectors, characterised by steep slopes, concave curvatures, and greater roughness, often related to higher channel density. An overlap was also observed between densely urbanised areas and these sectors, indicating incompatibility between the urban occupation pattern and local geomorphological conditions. The results indicate spatial patterns relevant to understanding slope instability in the region, providing preliminary support for landslide susceptibility analyses and territorial planning in risk areas.

Keywords: Slope; Terrain curvature; Relief dissection; Surface roughness; Drainage density.

1. INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa constituem processos complexos condicionados por múltiplos fatores, tais como declividade, litologia, cobertura vegetal, umidade do solo, regime pluviométrico (Selby, 1993). Embora desempenhem papel natural na modelagem das encostas, sua intensidade e frequência podem ser agravadas pela intervenção antrópica, em especial por modificações na morfologia das vertentes, como cortes e aterros (Pinto; Passos; Caneparo, 2012; Sothe *et al.*, 2018).

Esses fenômenos vêm sendo amplamente estudados desde as primeiras classificações sistemáticas propostas por Varnes (1978), que estabeleceram bases conceituais para a compreensão da dinâmica dos deslizamentos, até abordagens mais recentes voltadas à análise espacial e à modelagem de risco. Entre as contribuições relevantes destacam-se Guzzetti *et al.* (1999), Fernandes *et al.* (2001), Brenning (2005), Vorpahl *et al.* (2012) e Bastos e Peulvast (2016), as quais evidenciam o avanço das abordagens quantitativas e espaciais na análise desses processos.

No âmbito desses estudos, a suscetibilidade é entendida como a propensão de um terreno a apresentar instabilidades, em função de suas condições geomorfológicas, geológicas, climatológicas e hidrológicas (Brabb, 1984). Trata-se, portanto, de um conceito que indica áreas mais predispostas à ocorrência de deslizamentos (Guzzetti *et al.*, 2005; Reichenbach *et al.*, 2018). Sua avaliação pode ser realizada por meio de diferentes metodologias, desde modelos estatísticos e probabilísticos até análises exploratórias de

parâmetros morfométricos (Teixeira *et al.*, 2013), sendo as últimas particularmente úteis em estudos preliminares e em contextos de limitação de dados.

Na região serrana do estado do Rio de Janeiro, os movimentos de massa configuram-se como um dos principais desastres naturais recorrentes. Entre 1991 e 2012, foram registrados 153 eventos, com 418 mortes e mais de 17 mil pessoas desabrigadas, afetando direta ou indiretamente cerca de 991 mil habitantes (CEPED, 2013). O município de Petrópolis (RJ) destaca-se nesse contexto, com recorrência de eventos associados, sobretudo, a episódios pluviométricos intensos durante o verão. Esse cenário reforça a necessidade de abordagens exploratórias preliminares baseadas na análise de parâmetros morfométricos.

Nesse contexto, coloca-se como questão de pesquisa: quais padrões espaciais de predisposição à instabilidade de encostas podem ser inferidos a partir da distribuição dos parâmetros morfométricos na região de Petrópolis – RJ? Parte-se da hipótese de que áreas com maiores declividades, curvaturas côncavas e elevado grau de dissecação e rugosidade do relevo tendem a apresentar maior predisposição à instabilidade, em função da convergência de fluxos, acúmulo de umidade e do aumento da energia do relevo.

Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo realizar uma análise exploratória de parâmetros morfométricos associados à instabilidade de encostas na região de Petrópolis – RJ. A abordagem fundamenta-se na análise de parâmetros e índices derivados de Modelo Digital de Elevação, com foco na caracterização espacial do relevo e da drenagem. Importante ressaltar que os parâmetros analisados não representam fatores causais diretos da instabilidade, mas atuam como indicadores indiretos das condições geomorfológicas e hidrológicas que controlam a predisposição a movimentos de massa.

A pesquisa justifica-se pela necessidade de compreender a distribuição de atributos do relevo potencialmente associados à instabilidade em Petrópolis (RJ), município historicamente marcado por eventos recorrentes de deslizamentos. Os resultados obtidos podem contribuir com subsídios preliminares para estudos futuros voltados à análise de suscetibilidade e ao planejamento territorial em áreas de risco.

2. MOVIMENTOS DE MASSA: PROCESSOS E CAUSAS

Os movimentos de massa decorrem da interação de diversos fatores, entre eles as condições geológicas e geomorfológicas, o clima, o regime hidrológico, a cobertura vegetal e, sobretudo, as ações antrópicas relacionadas ao uso e à ocupação da terra (Tominaga,

2007). Tais processos não apenas modelam as encostas ao longo do tempo, como também acarretam consequências sociais e econômicas às populações expostas.

Quanto à classificação, os movimentos de massa podem ser diferenciados segundo critérios como velocidade de deslocamento, tipo de material envolvido e geometria da massa. Nesse contexto, destaca-se a categorização proposta por Varnes (1978), amplamente difundida e utilizada como referência em classificações internacionais. De acordo com esse modelo, os movimentos de massa agrupam-se em quedas, tombamentos, escorregamentos, expansões laterais, corridas (ou escoamentos) e movimentos compostos.

As causas desses processos podem ser divididas em externas e internas. As externas correspondem a fatores que elevam as tensões de cisalhamento no terreno sem incremento equivalente da resistência ao cisalhamento, como intensificação da inclinação natural por erosão ou por atividades humanas, incluindo cortes, aterros e sobrecarga de materiais (Terzaghi, 1952). Entre as causas externas mais frequentes estão intervenções antrópicas em encostas durante obras viárias, bem como a ocupação urbana desordenada em áreas íngremes. Essas intervenções alteram a morfologia das vertentes, modificam o escoamento superficial e aumentam as tensões atuantes, favorecendo a ocorrência de rupturas.

As causas internas estão associadas à presença e ao comportamento da água no solo. Na zona de aeração, acima do lençol freático, a água exerce forças de sucção que aumentam a coesão, favorecendo a estabilidade (Tominaga, 2007). Contudo, a infiltração decorrente de chuvas intensas reduz essa sucção, diminuindo a resistência ao cisalhamento. Quando a água alcança a zona de saturação, a pressão intersticial aumenta, reduzindo a tensão efetiva e comprometendo a estabilidade da encosta. Além disso, variações rápidas do lençol freático podem saturar porções críticas do solo, aumentar seu peso e favorecer o escorregamento (Tominaga, 2007).

3. METODOLOGIA

3.1. Área de Estudo

O município de Petrópolis localiza-se na região serrana do estado do Rio de Janeiro (Figura 1), a aproximadamente 68 km da capital homônima. Apresenta área aproximada de 791 km² e altitudes que variam entre 71 e 2243 m. Inserido em ambiente montanhoso, entre a Baía de Guanabara e o interior continental, o município apresenta condições naturais

favoráveis à ocorrência de movimentos de massa, além de uma posição geográfica que, historicamente, favoreceu o desenvolvimento urbano.

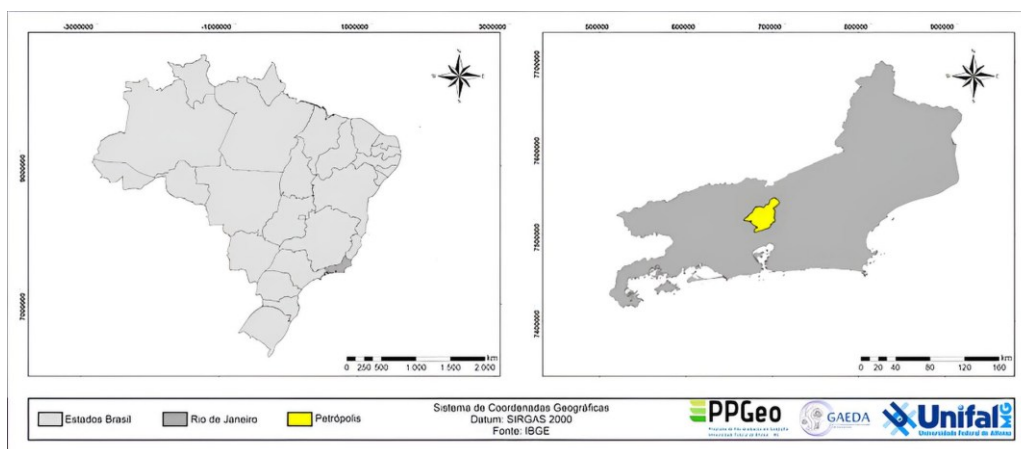


Figura 1 - Localização da área de estudo.
Fonte: IBGE (2025a), elaboração cartográfica dos autores.

O município está inserido no Domínio Costeiro do Cinturão Ribeira, constituído predominantemente por rochas do embasamento cristalino (Figura 2), além de depósitos coluvionares e aluvionares cenozoicos (Tupinambá *et al.*, 2007). A região é marcada pela presença de zonas de cisalhamento de empurrão e transtacional dextral, além de falhas indiscriminadas associadas à compartimentação estrutural das Escarpas e Reversos da Serra do Mar (IBGE, 2023).

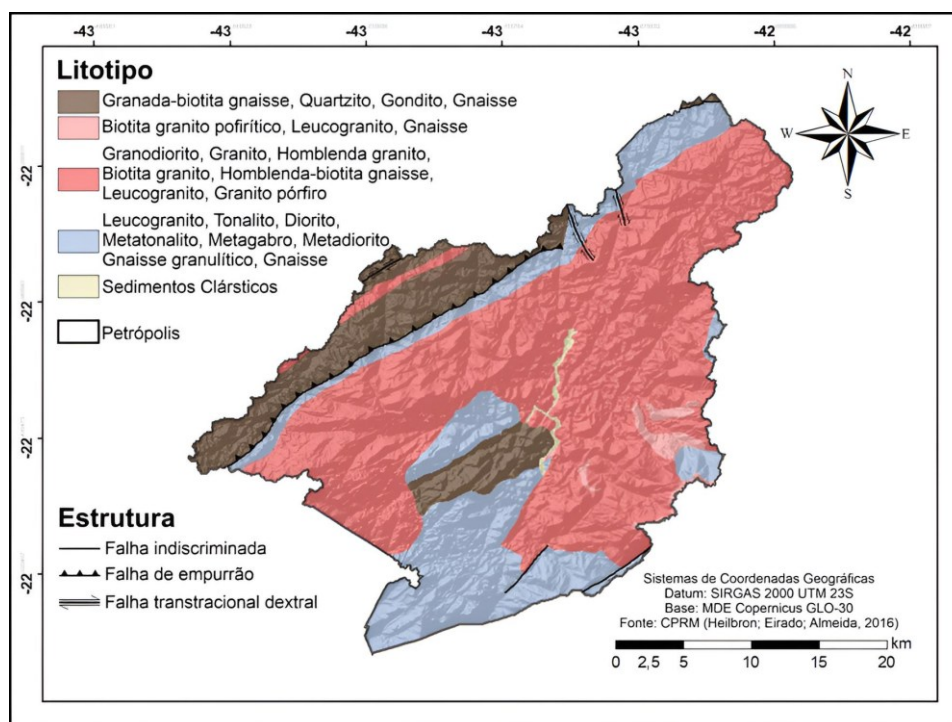


Figura 2 - Geologia simplificada da área de estudo.
Fonte: Heilbron, Eirado e Almeida (2016); elaboração cartográfica dos autores, 2025.

Os solos predominantes são os Latossolos e Cambissolos (Figura 3A). A rede de drenagem apresenta padrão predominantemente dendrítico, com ocorrência local de arranjos subparalelos, associados a encostas íngremes e ao condicionamento estrutural do relevo (Figura 3B).

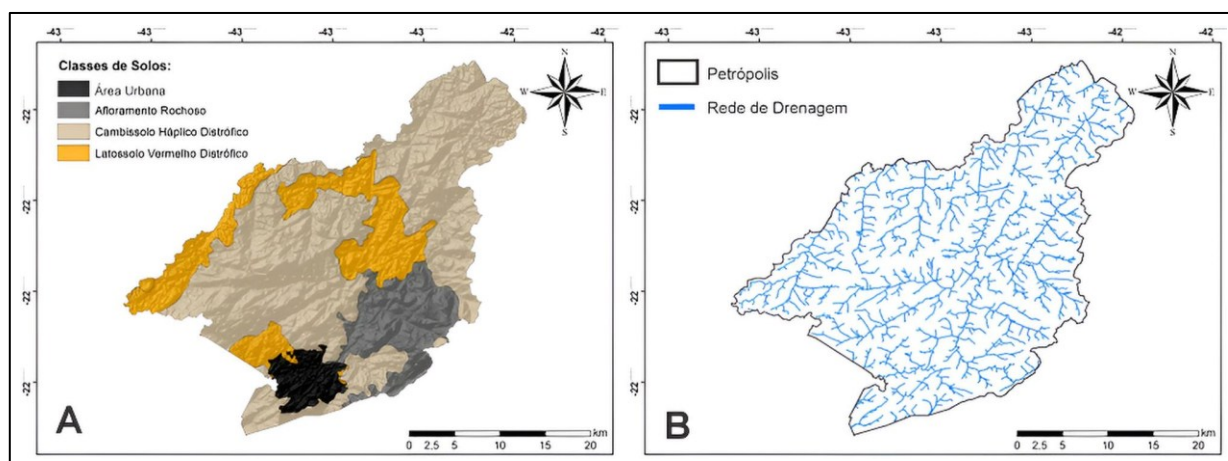


Figura 3 - (A) Classes de solos (IBGE, 2025b); (B) Rede de Drenagem da área de estudo
Fonte: IBGE (2025b); elaboração cartográfica dos autores, 2025.

3.2. Materiais

Foram utilizadas as seguintes bases de dados: (1) base geológica na escala 1:400.000 (Heilbron, Eirado e Almeida, 2016); (2) compartimentação do relevo na escala 1:250.000 (IBGE, 2023); (3) classes de solos na escala 1:250.000 (IBGE, 2025b); (4) logradouros e unidades da federação do Brasil (IBGE, 2022; 2025a); e (5) Modelo Digital de Elevação (MDE) Copernicus GLO-30, com resolução espacial de 30 m, obtido por meio da plataforma *OpenTopography*.

3.3. Métodos

A análise baseou-se na extração de parâmetros e índices morfométricos derivados do MDE, com o objetivo de identificar padrões espaciais potencialmente associados à instabilidade de encostas na região de Petrópolis - RJ. Esses parâmetros foram empregados como indicadores indiretos das condições geomorfológicas e hidrológicas, não sendo interpretados como fatores causais isolados dos processos de instabilidade.

A rede de drenagem foi derivada a partir do Modelo Digital de Elevação, utilizando as ferramentas do módulo *Hydrology* do software ArcGIS 10.8, incluindo as etapas de preenchimento de depressões (*Fill*), determinação da direção de fluxo (*Flow Direction*),

cálculo da acumulação de fluxo (*Flow Accumulation*) e extração da rede de drenagem com base em limiar de contribuição.

A densidade de drenagem (Dd) e a densidade hidrográfica (Dh) foram utilizadas para avaliar a organização da rede fluvial e inferir controles litoestruturais sobre os padrões de escoamento e a dinâmica erosiva. A Dd corresponde à razão entre o comprimento total dos canais (Lt) e a área da bacia ($Dd = Lt / A$) (Horton, 1945). A Dh expressa a relação entre o número de canais (N) e a área da bacia ($Dh = N / A$) (Christofoletti, 1969).

O índice de curvatura do perfil foi aplicado para analisar a geometria das vertentes no sentido do fluxo. Valores negativos indicaram superfícies convexas (Figura 4A), associadas à divergência do fluxo, enquanto valores positivos corresponderam a superfícies côncavas (Figura 4B), relacionadas à convergência do fluxo. Valores próximos a zero indicaram superfícies retilíneas (Figura 4C). O processamento foi realizado no software ArcGIS 10.8, por meio da ferramenta *Profile Curvature* (*Spatial Analyst Tools > Surface > Curvature*).

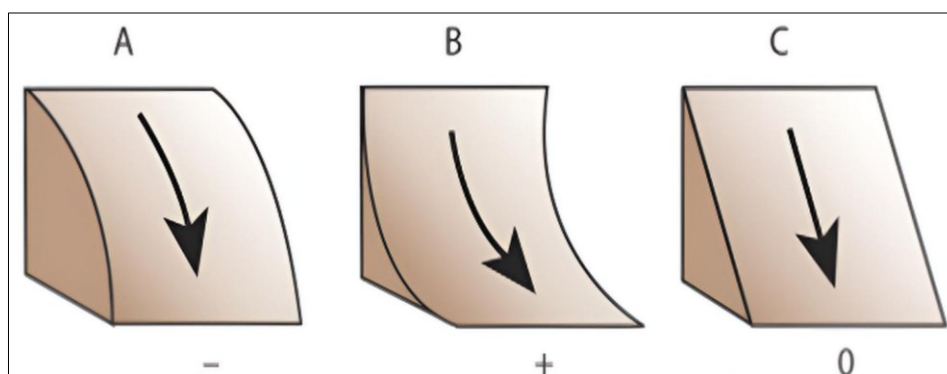


Figura 4 - Curvatura do perfil: (A) Convexa; (B) Côncava; (C) Retilínea.

Fonte: ESRI, 2025.

O Índice de Dissecação do Relevo (IDR), foi calculado com base na metodologia de Guimarães et al. (2017), fundamentada na matriz de dissecação de Ross (1994). O cálculo foi realizado segundo a equação: $IDR = DV + DH$, onde DV representa o grau de entalhamento dos vales e DH corresponde à dimensão horizontal média dos interflúvios. O modelo contínuo resultante (valores entre 10 e 55) foi reclassificado conforme a Proposta Alternativa 3 de Guimarães et al. (2017).

O Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) foi calculado com base na metodologia proposta por Sampaio e Augustin (2014), para caracterizar a distribuição espacial da rugosidade e do entalhe vertical. O índice varia de valores próximos de zero, associados a áreas mais planas, com maior dimensão interfluvial e baixo entalhe vertical,

a valores elevados, característicos de setores mais dissecados, com menor dimensão interfluvial e maior entalhamento vertical (Guimarães *et al.*, 2017; Reis *et al.*, 2023; Archanjo *et al.*, 2025; Cruz *et al.*, 2025).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros e índices derivados do Modelo Digital de Elevação evidenciaram variações espaciais expressivas ao longo do município de Petrópolis. De modo geral, os resultados indicaram a concentração de combinações morfométricas compatíveis com condições geomorfológicas potencialmente favoráveis à instabilidade de encostas, sobretudo nas porções centro-oeste e leste do município.

A hipsometria e a declividade evidenciaram um relevo montanhoso, marcado por serras íngremes e vales profundamente entalhados, com encostas frequentemente superiores a 30° (Figura 5), sobretudo nas áreas de cabeceira de drenagem (Figura 3B). Os setores de maior altitude (Figura 5A) e maior inclinação (Figura 5B) concentram condições topográficas mais restritivas à ocupação e mais compatíveis com a dinâmica de instabilidade de vertentes. Esse quadro morfológico favorece a intensificação dos processos morfodinâmicos e a ocorrência de escorregamentos, especialmente sob episódios de precipitação intensa (Fernandes; Amaral, 1996).

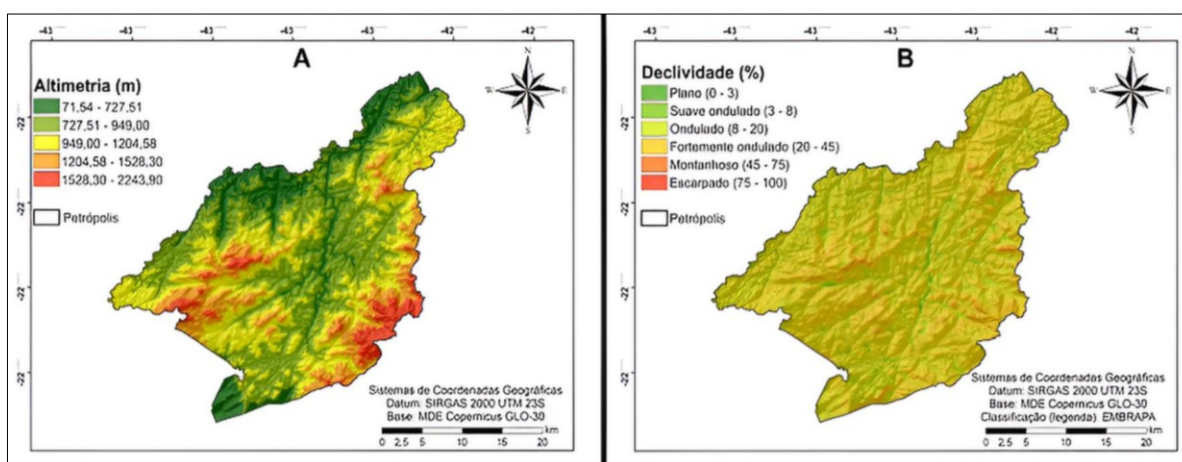


Figura 5 – (A) Modelo Digital de Elevação; (B) Declividade.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

O índice de curvatura do perfil complementou essa interpretação ao indicar a distribuição espacial das superfícies convexas, côncavas e retilíneas (Figura 6). A predominância de curvaturas côncavas em encostas de alta declividade favorece a

convergência do fluxo e o acúmulo de água, potencializando a saturação dos solos, enquanto superfícies convexas tendem a promover a divergência do fluxo.

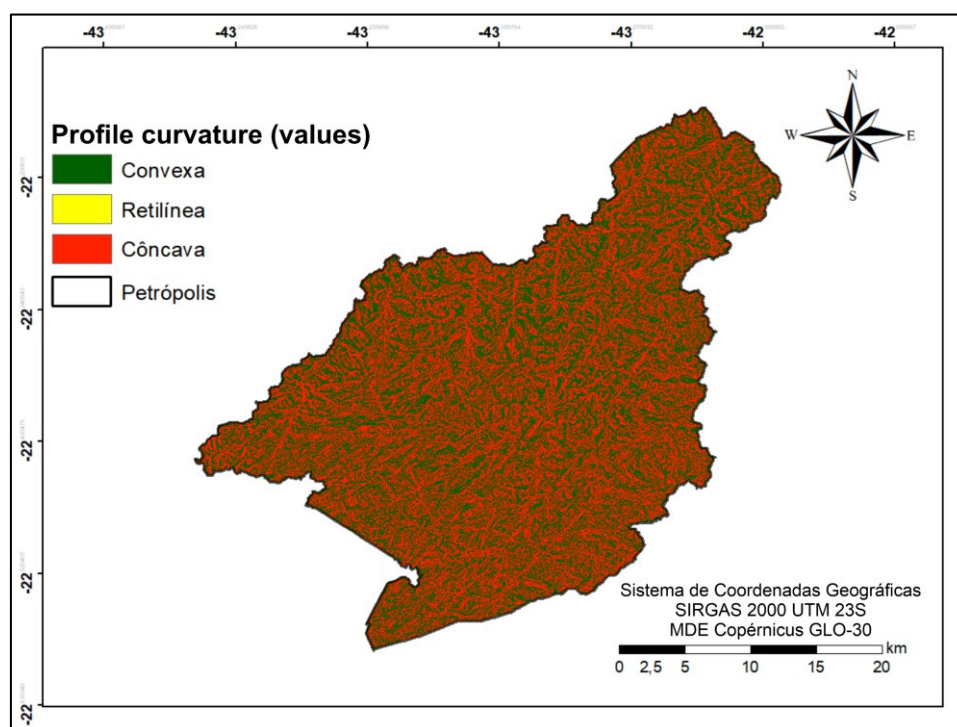


Figura 6 - Índice de Curvatura do Perfil.
Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A interpretação desses padrões deve considerar, ainda, o condicionamento estrutural do relevo. A presença de zonas de cisalhamento (Figura 2) contribuiu para a compartimentação das vertentes e para a ocorrência de setores com rochas mais fraturadas e intensamente intemperizadas, favorecendo a infiltração de água e a redução da resistência dos materiais. Segundo Ross (1996), essas deformações tectônicas configuram um quadro de elevada instabilidade das vertentes.

A densidade de drenagem (Dd) apresentou valor médio de 0,11, indicando baixa densidade da rede hidrográfica em escala municipal. Ainda assim, o mapeamento revelou setores com maiores valores, especialmente em vertentes íngremes e vales fortemente dissecados (Figura 7A). Nesses locais, o maior comprimento de canais por unidade de área sugere rede de drenagem mais desenvolvida, favorecendo a concentração do escoamento superficial, o entalhamento dos vales e, indiretamente, condições mais favoráveis à instabilidade de encostas.

A densidade hidrográfica (Dh) resultou em 2,47 canais/km², com maiores valores concentrados em setores de vales estreitos e encaixados, sobretudo onde o relevo apresenta forte dissecação (Figura 7B). Nessas áreas, a maior frequência de canais,

associada a elevadas declividades e curvaturas côncavas, indica condições potencialmente mais favoráveis à instabilidade de encostas. Em contrapartida, interflúvios e topos apresentam valores baixos, refletindo menor convergência do escoamento superficial e, portanto, menor predisposição relativa à instabilidade, sem excluir a possibilidade de ocorrência de movimentos de massa.

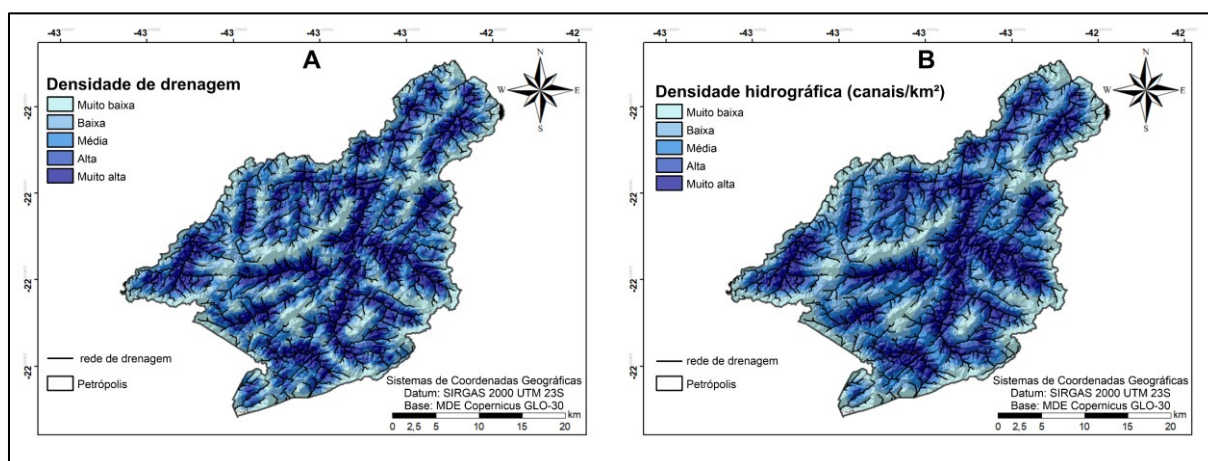


Figura 7 - (A) Densidade de drenagem; (B) Densidade hidrográfica.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A aplicação do Índice de Dissecação do Relevo (IDR) mostrou a predominância de graus elevados de dissecação em grande parte da área de estudo (Figura 8). Os menores valores concentraram-se pontualmente em setores de menor altitude e relevo menos entalhado, em consonância com a distribuição hipsométrica observada no município (Figuras 5A e 8).

Essa interpretação foi complementada pelo Índice de Concentração de Rugosidade (ICR), que permitiu detalhar a distribuição espacial do entalhamento e da irregularidade do relevo em escala local (Figura 9). As maiores concentrações de rugosidade concentram-se nos setores leste e centro-oeste do município, fortemente condicionadas por estruturas geológicas, especialmente falhas e litologias mais resistentes associadas a variações de granitos (Figuras 2 e 9).

A distribuição dos logradouros indicou que a ocupação urbana em Petrópolis se expandiu sobre áreas de encosta, especialmente nos setores centrais e sul do município (Figura 10). Em diversos setores observou-se sobreposição entre áreas densamente ocupadas e combinações de alta declividade, curvaturas côncavas e relevo fortemente dissecado, o que evidencia a incompatibilidade entre o padrão de ocupação e as condições geomorfológicas locais.

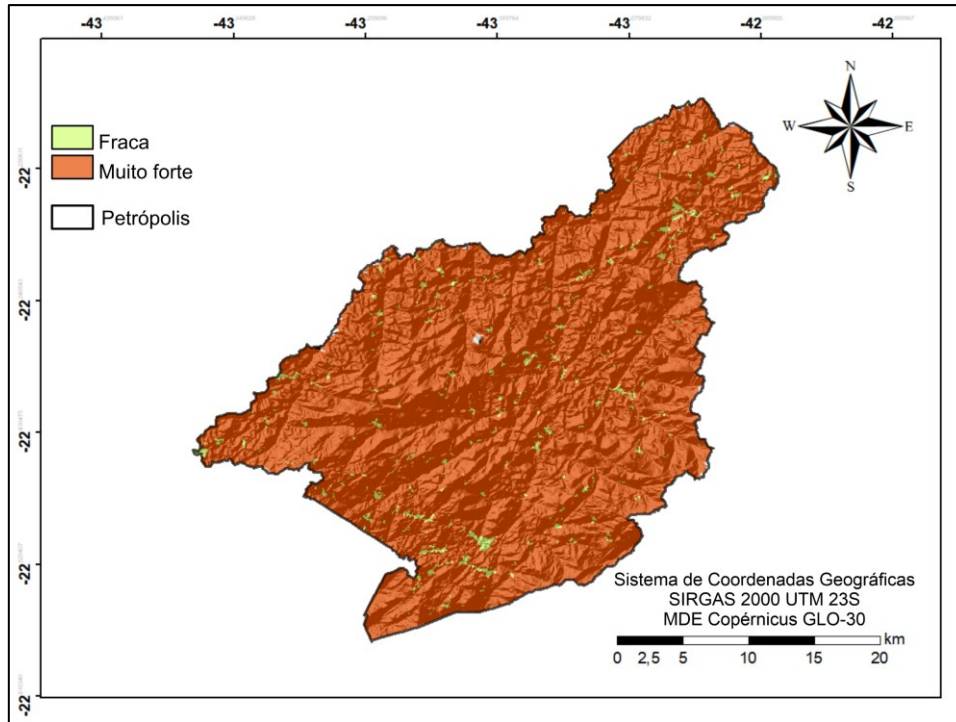


Figura 8 - Índice de Dissecação do Relevo (IDR).

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

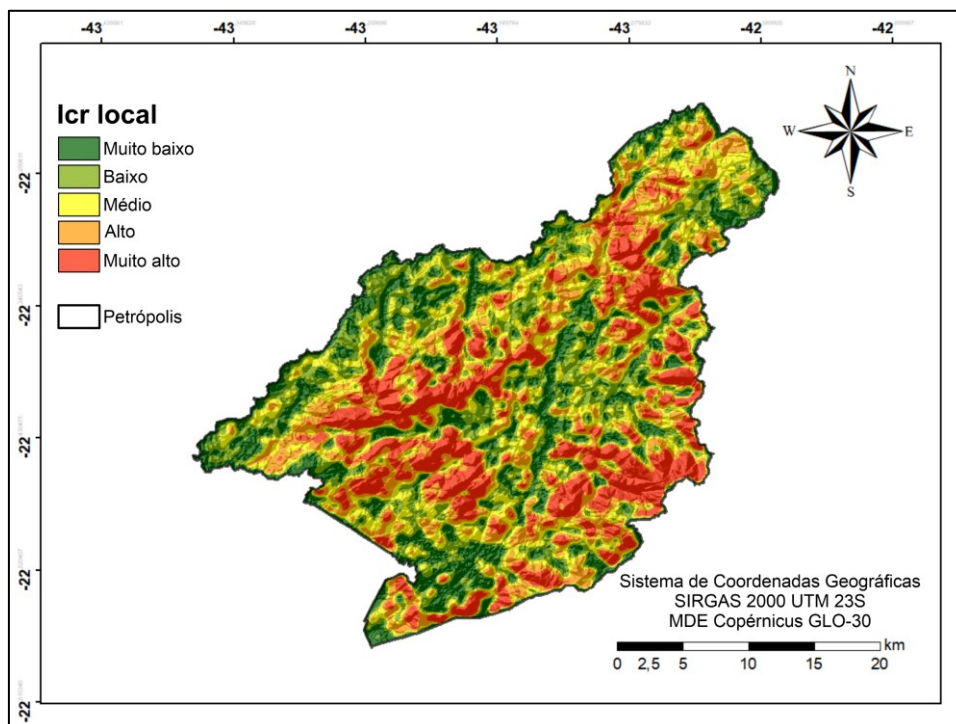


Figura 9 - Índice de concentração de rugosidade local.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

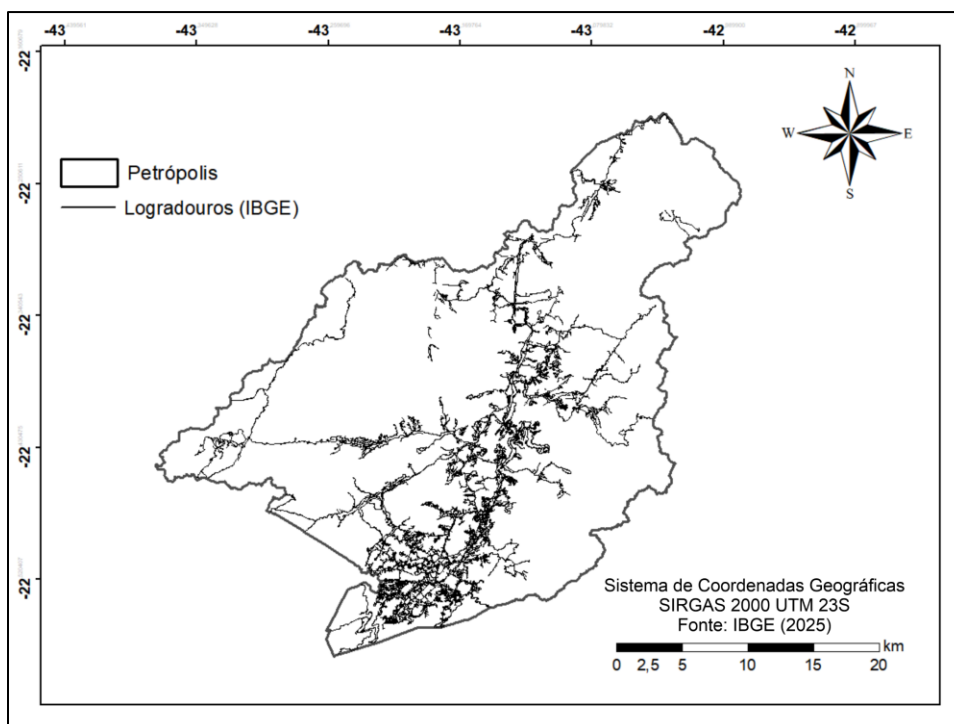


Figura 10 - Logradouros.

Fonte: IBGE (2022); elaboração cartográfica dos autores.

Em síntese, os resultados evidenciaram que os padrões espaciais de predisposição à instabilidade de encostas concentram-se em áreas de relevo íngreme, curvaturas côncavas, forte dissecação e maior rugosidade, frequentemente associadas ao condicionamento estrutural e à ocupação antrópica de vertentes. Esses padrões permitiram reconhecer setores que reúnem atributos compatíveis com aqueles descritos na literatura como favoráveis à ocorrência de movimentos de massa. Em consonância com a hipótese proposta, áreas com maiores declividades, curvaturas côncavas e elevado grau de dissecação e rugosidade concentram condições mais favoráveis à instabilidade.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho realizou uma análise exploratória de parâmetros morfométricos associados à predisposição à instabilidade de encostas no município de Petrópolis (RJ), sem configurar um mapeamento de suscetibilidade. Os resultados evidenciaram padrões espaciais consistentes, caracterizados pela concentração de áreas com elevadas declividades, curvaturas côncavas e maiores graus de dissecação e rugosidade do relevo, sobretudo em setores de vertentes íngremes e cabeceiras de drenagem. Observou-se ainda que, em diversos desses setores, a ocupação urbana ocorre de forma sobreposta a tais condições, contribuindo para o aumento da vulnerabilidade local.

Os padrões identificados devem ser interpretados como indicativos de predisposição geomorfológica, não constituindo uma análise de suscetibilidade baseada em validação empírica. Ainda assim, o estudo contribui ao evidenciar a distribuição espacial desses atributos em uma área historicamente afetada por movimentos de massa, fornecendo subsídios preliminares para estudos futuros voltados à análise de suscetibilidade e ao planejamento territorial.

Do ponto de vista aplicado, os resultados reforçam a necessidade de integração entre o conhecimento geomorfológico e o ordenamento territorial, especialmente quanto à gestão da drenagem superficial, à manutenção da cobertura vegetal e à restrição da ocupação em áreas mais predispostas à instabilidade.

REFERÊNCIAS

ARCHANJO, R. E. S.; SERAFIM, P. C.; SANTOS, B. C.; BOURSCHEIDT, V.; MOREIRA, R. M.; FERNANDES, N. F.; SOUZA, P. H.; MINCATO, R. L.; RUBIRA, F. G. Morphostructural Controls Reflected in Drainage Patterns. **Hydrology**, v. 12, n. 12, p. 314, 2025.

BASTOS, F. H.; PEULVAST, J. P. Suscetibilidade à Ocorrência de Movimentos de Massa no Maciço de Baturité-Ceará, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 32, p. 124-142, 2016.

BRABB, E. E. Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 4., 1984, Toronto. **Proceedings...** Toronto: Canadian Geotechnical Society, p. 307–324, 1984.

BRENNING, A. Spatial prediction models for landslide hazards: review, comparison and evaluation. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 5, n. 6, p. 853-862, 2005.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.

CEPED, U. F. S. C. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. Florianópolis: CEPED UFSC, 168p.

CRUZ, B. L.; ARCHANJO, R. E. S.; SILVA, R. V. M. A.; SANTANA, D. B.; RIOS, G. S.; MOREIRA, V. B.; OLIVEIRA, T. A.; FERNANDES, N. F.; MINCATO, R. L.; RUBIRA, F. G. Reorganization of the drainage network based on morphostructural controls in passive margins. **Geomorphology**, v. 478, p. 109693, 2025.

ESRI. **Função Curvatura**. Redlands, CA: Esri, 2025. Disponível em: <https://doc.arcgis.com/pt-br/arcgis-online/analyze/curvature-function.htm>. Acesso em: 01 ago. 2025.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimento de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. cap. 3. p. 123-194.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001.

GUIMARÃES, F. S.; CORDEIRO, C. M.; BUENO, G. T.; CARVALHO, V. L. M.; NERO, M. A. Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, p. 155-157, 2017.

GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. **Geomorphology**, v. 31, n. 1-4, p. 181-216, 1999.

GUZZETTI, F.; REICHENBACH, P.; CARDINALI, M.; GALLI, M.; ARDIZZONE, F. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. **Geomorphology**, v. 72, n. 1-4, p. 272-299, 2005.

HEILBRON, M.; EIRADO, L. G.; ALMEIDA, J. **Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Rio de Janeiro**. Belo Horizonte: CPRM, 2016. Escala 1:400.000. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18458>. Acesso em: 01 ago. 2025.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological society of America bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base de Logradouros do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/28971-base-de-faces-de-logradouros-do-brasil.html>. Acesso em: 01 ago. 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geomorfologia – Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Escala 1:250.000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-estaduais/16028-geomorfologia-do-estado-de-ro-rr-to-ac-am-ma-mt-e-pa.html>. Acesso em: 01 ago. 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malhas Municipais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 01 ago. 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa Pedológico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025b. Escala 1:250.000. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/. Acesso em: 01 ago. 2025.

PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S. C. Classificação dos movimentos de massa ocorridos em março de 2011 na Serra da Prata, Estado do Paraná. **Geoinfó: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, v. 4, n. 1, p. 3-27, 2012.

REICHENBACH, P.; ROSSI, M.; MALAMUD, B. D.; MIHIR, M.; GUZZETTI, F. A review of statistically-based landslide susceptibility models. **Earth-Science Reviews**, v. 180, p. 60-91, 2018.

REIS, I. L.; MARINHO, G. S.; RIOS, G. S.; SANTANA, D. B.; LENSE, G. H. E.; MINCATO, R. L.; RUBIRA, F. G. Morphometric parameters of the relief and drainage network of the Formiga River subbasin, Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 2, 2023.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Brasil, v. 8, p. 63–74, 1994.

ROSS, J. L. S. Os fundamentos da Geografia da natureza. In: ROSS, J. L. S. **Geografia do Brasil**. São Paulo: EDUSP, 1996. cap. 1, p. 13-65.

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, p. 47-60, 2014.

SELBY, M. J. **Hillslope Materials and Process**. New York: Oxford University Press, 1993. 451p.

SOTHE, C.; CAMARGO, E. C. G.; GERENTE, J.; RENNÓ, C. D.; MONTEIRO, A. M. V. Uso de Modelo Aditivo Generalizado para Análise Espacial da Suscetibilidade a Movimentos de Massa. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Brasil, v. 34, p. 68–81, 2017.

TEIXEIRA, M.; BATEIRA, C.; MARQUES, F.; SOARES, L. Suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos translacionais superficiais com recurso a modelos matemáticos de base física (Serra da Peneda). In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2013, Coimbra. **Atas...** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2013. p. 1–10.

TERZAGHI, K. **Mecanismos de escorregamentos de terra**. Tradução Ernesto Pichler. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1952. 41p.

TOMINAGA, L. K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP**. 2007. 220 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; DUARTE, B. P.; NOGUEIRA, J. R.; VALLADARES, C.; ALMEIDA, J.; SILVA, L. G. E.; MEDEIROS, S. R.; ALMEIDA, C. G.; MIRANDA, A.; RAGATKY, C. D.; MENDES, J.; LUDKA, I. Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: estado da arte e conexões com a Faixa Araçuaí. **Geonomos**, v. 15, n. 1, p. 67-79, 2007.

VARNES, D. J. Slope movement types and processes. In: SCHUSTER, R. L.; KRIZEK, R. **J. Landslides: analysis and control**. Washington: National Academy of Sciences, 1978. cap. 2, p. 11–33.

VORPAHL, P.; ELSENBEER, H.; MÄRKER, M.; SCHRÖDER, B. How can statistical models help to determine driving factors of landslides? **Ecological Modelling**, v. 239, p. 27-39, 2012.

Recebido: 01/02/2026

Aceito: 15/04/2026