

## **INVENTÁRIO MORFOMÉTRICO DE CICATRIZES DE DESLIZAMENTOS: CONDICIONANTES GEOMORFOLÓGICOS DO OCORRIDO EM PETRÓPOLIS 2022**

Julia Schoenche<sup>1</sup>  
Rodrigo Wagner Paixão<sup>2</sup>  
Patrick Kuchler Calvano<sup>3</sup>  
Marcelo Motta de Freitas<sup>4</sup>  
Rafael da Silva Nunes<sup>5</sup>

### **INTRODUÇÃO**

No ano de 2022, o município de Petrópolis sofreu uma chuva torrencial responsável por desencadear uma série de deslizamentos de terra que ocasionaram perdas materiais e imateriais para seus residentes. No dia 15 de fevereiro de 2022, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) registrou em apenas seis horas um acumulado de 259 mm de chuva, que acarretou deslizamentos e inundações em diversos bairros do município. Novamente, no dia 22 de março de 2022, um novo acumulado foi registrado pelo CEMADEN, totalizando 534 mm em apenas 24 horas, o maior acumulado da história do município, provocando mais deslizamentos e inundações pelo município.

Fernandes e Amaral (1996) explicam que os deslizamentos de terra são semelhantes aos processos de intemperismo e erosão, pois são fenômenos naturais exógenos contínuos e suas ocorrências servem para modelar a superfície terrestre. Entretanto, os eventos de deslizamento destacam-se pelas inúmeras adversidades que podem ser causadas ao homem. De Barros *et al.* (2017) também contribuem esclarecendo que os deslizamentos são influenciados por fatores geomorfológicos, geológicos, pedológicos, hidrológicos, climáticos e pela cobertura e uso da terra.

Na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, os eventos pluviométricos extremos associados a espessos mantos de alteração nas encostas propiciam condições favoráveis à ocorrência de movimentos de massa (Bigarella & Meis, 1965; Fernandes & Amaral, 1996). Soma-se a isso, a região apresenta morfologia de relevo marcada por serras escarpadas e colinas dissecadas que constituem os “mares de morro”, situados no contexto da Faixa Móvel Ribeira (Ab’Saber, 2003; Heilbron *et al.* 2016). Segundo Leopold, Wolman e Miller (1964), os trópicos úmidos são considerados como uma das regiões onde as vertentes estão mais sujeitas aos movimentos de massa.

Diante de inúmeras metodologias aplicadas para a compreensão e análise de condicionantes deflagradoras de deslizamentos de terra, surgem os “inventários de

---

<sup>1</sup> Graduanda do Curso de Geografia da PUC-Rio, [ju.schoenche@gmail.com](mailto:ju.schoenche@gmail.com);

<sup>2</sup> Doutor em Geografia, Departamento de Geografia Física, UERJ, [rodrigowpp1@gmail.com](mailto:rodrigowpp1@gmail.com);

<sup>3</sup> Patrick Kuchler Calvano - Doutor em Ciências Ambientais, Departamento de Geografia Física, UERJ, [geocalvano@gmail.com](mailto:geocalvano@gmail.com);

<sup>4</sup> Doutor em Geografia, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, PUC-Rio, [marcelomotta@puc-rio.br](mailto:marcelomotta@puc-rio.br);

<sup>5</sup> Doutor em Geografia, Departamento de Geografia e Meio Ambiente, PUC-Rio, [rsngeo@gmail.com](mailto:rsngeo@gmail.com).

cicatrizes”, que segundo Guzzetti et al. (2000) podem ser produtos com objetivos e finalidades distintas. Fundamentalmente, trata-se de uma base de dados que pode conter informações diversas sobre as cicatrizes dos deslizamentos, como tipologia, área, volume, características morfométricas e geomorfológicas relacionadas às mesmas (Schwarz et al., 2023).

A inclusão da indicação dos pontos de detonação de deslizamentos nos inventários das cicatrizes é relevante para entender as características do relevo que são propícias e determinantes para a detonação destes, uma vez que a previsão de deslizamentos precisa identificar e estimar as condições que irão promover instabilidades para as rupturas do declive (Highland e Bobrowsky, 2008). Ademais, a confecção de inventários de cicatrizes é um pilar crucial para auxiliar gestores públicos na identificação de áreas de risco e na tomada de decisões (Guzzetti, 2000).

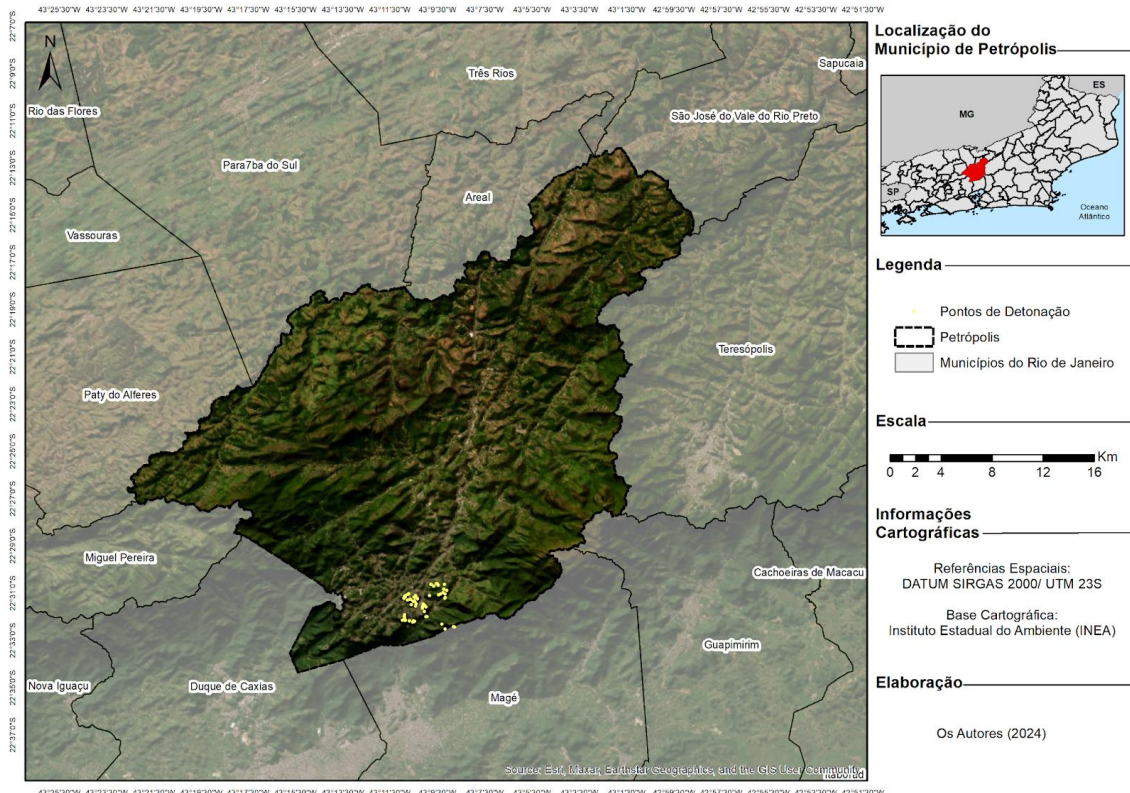
Neste sentido, a presente pesquisa tem por objetivo elaborar o inventário morfométrico dos deslizamentos ocorridos em Petrópolis entre fevereiro e março de 2022. Além disso, pretende-se identificar e analisar os condicionantes topográficos e geomorfológicos na detonação dos deslizamentos.

## ÁREA DE ESTUDO

Localizado na região serrana do Estado do Rio de Janeiro, o município de Petrópolis possui área de 795,798 km<sup>2</sup> e é compartimentado por 5 distritos, sendo eles: Petrópolis, Cascatina, Itaipava, Pedro do Rio e Posse (Figura 1).

Figura 1: Mapa de Localização do Município de

Petrópolis.



Fonte: Os Autores (2024).

Do ponto de vista geológico, o município está inserido no contexto tectônico da Faixa Móvel Ribeira influenciado por esforços tectônicos da Orogenia Brasiliana (Heilbron et al., 2004), estruturando a Suíte Intrusiva Serra dos Órgãos, termo adotado por Heilbron et al. (2016) para descrever esta estrutura batolítica que inclui tanto os ortognaisses do Arco Magmático Rio Negro, como os granitos e granodioritos homogêneos nele intrusivo. Esta unidade é, segundo Ebert (1968) e Rosier (1965), resultado da remobilização de gnaisses arqueanos durante o Brasiliano. Toda esta complexa conjuntura geológica de processos de dobramento, reativação de falhas e remobilização de blocos contribuíram para a morfologia do terreno de Petrópolis (Gonçalves, 1998), resultando em rochas intensamente compartimentadas por fraturas e falhas, que influenciam sobremaneira na topografia da região (DRM, 1981; Penha et al., 1981). Em relação à geomorfologia, o município situa-se em um padrão de relevo e de drenagem determinados pelo controle estrutural, padrão de faturamento e posição em relação à escarpa principal, reproduzindo vales alongados, segmentos de drenagem retilíneos, maciços graníticos, linhas de cristas e cumeadas paralelas, relevos com grandes desníveis altimétricos, escarpas íngremes e alvéolos intermontanos (Guerra et al., 2007).

O padrão climático no qual o município insere-se é caracterizado como tropical de altitude. Sua posição geográfica, a altitude, o relevo movimentado, a influência da maritimidade, juntamente com a circulação atmosférica, estabelecem variações climáticas expressivas, ocasionando diferenciações nos índices térmicos e pluviométricos ao longo do ano (Nimer, 1989). O relevo da região irá atuar como fator importante na ascendência orográfica, especialmente nas passagens de frentes frias e linhas de instabilidade, onde o ar se eleva e perde temperatura, ocasionando fortes e prolongadas chuvas (Guerra et al., 2007).

## **METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)**

Para o mapeamento dos pontos de detonação das cicatrizes de deslizamento, utilizou-se como base para a interpretação visual uma imagem de Ampla Varredura Pancromática (WPM) do satélite CBERS-04A (04/03/2022), com resolução espacial de 25 metros, juntamente com curvas de nível do projeto do IBGE (2006) na escala de 1:25.000. Em seguida, foram utilizados planos de informação geomorfométricas, incluindo altimetria, declividade, curvatura vertical e curvatura horizontal, obtidos do Projeto TOPODATA (Valeriano, 2008). Esses são produtos matriciais gerados a partir do modelo digital de elevação da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

O parâmetro de altimetria é utilizado como um indicativo da frequência altimétrica da área de detonação das cicatrizes na área de estudo. Possibilita estimar os principais intervalos altimétricos de ocorrência de deslizamentos e estabelecer correlações com outros parâmetros, tais como, declividade.

O parâmetro de declividade pode ser definido, segundo Valeriano (2008), como a relação entre o ângulo de inclinação da superfície e o plano horizontal, possuindo relação direta sobre o equilíbrio entre a infiltração de água no solo e escoamento superficial, além de controlar a intensidade dos fluxos de matéria. A presente pesquisa utilizou das classes de declividade propostas pela EMBRAPA (1999) que engloba as seguintes classes: Plano, Suave Ondulado, Ondulado, Forte Ondulado, Montanhoso e Escarpado.

As Curvaturas Vertical e Horizontal são variáveis responsáveis em caracterizar as curvaturas de encosta. Propostas por Valeriano (2008), a primeira indica o formato da vertente quando a mesma é observada em perfil, referindo-se ao caráter



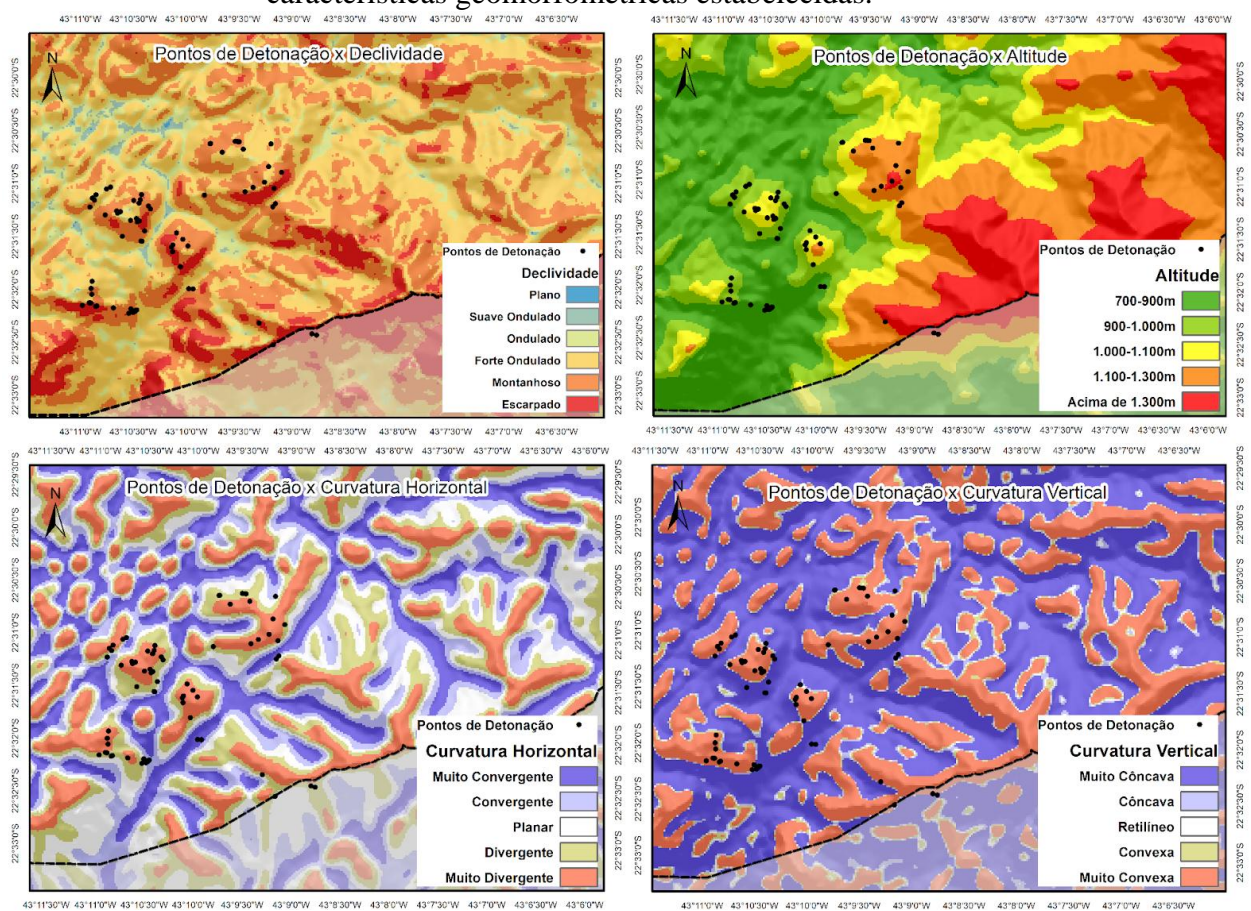
convexo/côncavo do terreno e dispõe de cinco classes: Muito Convexa, Convexa, Retilínea, Côncava e Muito Côncava. Já a segunda aponta para o formato da vertente quando esta é observada em uma projeção horizontal, representando o caráter divergente ou convergente das linhas de fluxo, que também irá dispor de 5 classes: Muito Convergente, Convergente, Planar, Divergente e Muito Divergente.

Para a extração de valores a partir dos dados morfométricos com relação aos pontos de rupturas das cicatrizes de deslizamento, foi utilizado o software *ArcGis 10.8*, em especial a ferramenta *Extract Values to Points*. Por fim, os resultados alcançados dos procedimentos supracitados foram analisados e interpretados no Excel por meio de gráficos e mapeamentos, sendo relacionados com pesquisas previamente desenvolvidas acerca desta temática.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao todo, foram identificadas 70 cicatrizes de deslizamentos no município de Petrópolis ocorridos entre os meses de fevereiro e março de 2022. A confecção do inventário morfométrico possibilitou o mapeamento e análise dos pontos de detonação das cicatrizes concentradas no 1º Distrito do Município de Petrópolis, contendo características geomorfométricas distintas (Figura 2).

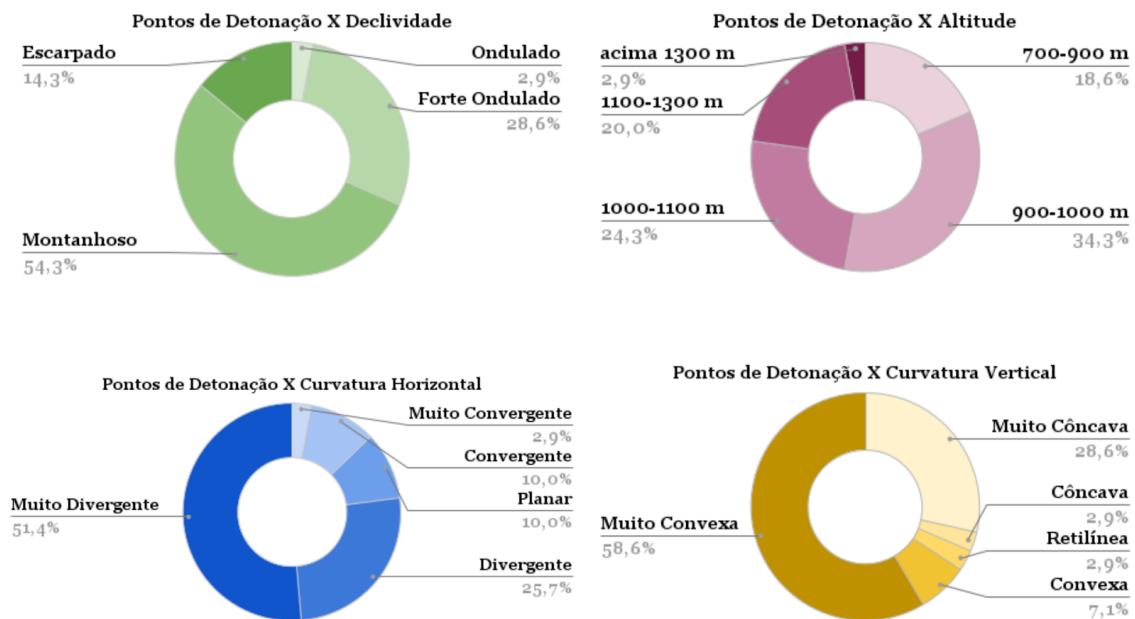
Figura 2: Mapeamento dos pontos de detonação sobre as características geomorfométricas estabelecidas.



Fonte: Os Autores (2024).

Em relação à altimetria, foi possível identificar uma incidência de pontos de detonação entre as faixas altimétricas de 900 a 1.000 metros (Figura 2), contabilizando 34% dos pontos de detonação. Entretanto, a faixa altimétrica de acima de 1.300 consta com uma carência de incidência de pontos de detonação com apenas 3% do total das detonações (Figura 3).

Figura 3: Gráficos acerca da distribuição dos pontos de detonação sobre as classes das características geomorfométricas estabelecidas.



Fonte: Os Autores (2024).

Em relação à declividade, houve uma predominância de pontos de detonação na classe montanhosa (Figura 2), totalizando 54% das ocorrências inseridas na faixa de declividade entre 45% e 75% (Figura 3), segundo as classificações propostas pela EMBRAPA (1999). Em seguida, identificou-se uma considerável ocorrência de pontos de detonação na classe forte ondulada, com 29% das ocorrências entre as faixas de 20% e 45%, também propostas pela EMBRAPA (1999). As demais classes não apresentaram expressivas ocorrências de deslizamentos.

As classes de declividade predominantes do evento estudado são consideradas elevadas e compatíveis ao serem comparadas com algumas literaturas. Avelar et al. (2011) constatou que a maioria dos deslizamentos de terra ocorrem em inclinações médias a elevadas após analisar mais de 3 mil cicatrizes de deslizamentos de terra na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. Estas constatações fundamentam a contribuição de Bigarella et al. (2003) de que no Brasil, a grande maioria de eventos catastróficos relacionados com movimentos de massa ocorreram em áreas de alta declividade.

No que concerne aos tipos de curvatura do terreno, a curvatura horizontal apresentou um predomínio de detonações em encostas do tipo muito divergente (Figura 2), com 51% (Figura 3). As demais ocorrências estão distribuídas entre as outras classes deste tipo de curvatura, havendo a diminuição de ocorrências com a migração das classes divergentes para convergentes.

Já a curvatura vertical apresentou 59% das detonações em encostas do tipo muito convexa, apresentando também um considerável número de ocorrências em encostas muito côncavas (Figura 2), com 29% das detonações (Figura 3). As demais classes não possuíam valores expressivos de ocorrências.

Como exposto, a grande parte das detonações de deslizamentos de terra ocorreram em encostas convexas e divergentes, apesar de alguns autores como Fernandes e Amaral (1996) explicarem que encostas côncavas e convergentes são mais suscetíveis aos eventos de deslizamentos de terra, uma vez que são zonas de convergência de fluxos hídricos. Entretanto, resultados semelhantes foram obtidos por Schoenche et al. (2022) ao produzirem um inventário morfométrico dos pontos de detonação na Sub-bacia do Rio Grande no Megadesastre da região serrana do Rio de Janeiro, havendo um predomínio de encostas muito divergente e muito convexas, 37% e 56% respectivamente.

Convém enfatizar que a precipitação atípica ocorrida no município foi capaz de deflagrar deslizamentos de terra em porções de terrenos que não seriam deflagradas em precipitações usuais. A morfologia e a litologia do município já explicadas tornam-se, também, aspectos fundamentais para a compreensão das detonações dos deslizamentos de terra. Christofolletti (1974) explica que as rochas, que estão inseridas em climas predominantemente úmidos, serão moldadas por processos exógenos e feições essencialmente convexas são geradas. Esses locais concentram formas verticalizadas, assim como as serras, com vertentes longas e elevadas cotas altimétricas e de declividade. Com isso, terrenos que comportam tal morfologia tornam-se propícios a detonações de deslizamentos de terra ao serem atingidos por eventos de precipitações anômalas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados compilados no inventário morfométrico foram capazes de explicitar as porções dos terrenos do município que são suscetíveis a deslizamentos ao serem atingidos por eventos de precipitação extremos como ocorrido em 2022. Os parâmetros de altimetria, declividade, curvatura do terreno e orientação das vertentes podem ser considerados como parâmetros basilares para o entendimento dos condicionantes dos deslizamentos ocorridos.

A predominância de detonações em classes de declividades elevadas e na particularidade do predomínio de formas de terreno convexas e divergentes ressaltam que o entendimento da morfologia e a litologia do município são indispensáveis para a caracterização dos condicionantes geomorfológicos e topográficos dos deslizamentos.

É importante destacar que o evento extremo de precipitação mencionado foi crucial para o desencadeamento de deslizamentos em áreas com características morfológicas bastante específicas. É fundamental que existam estudos integrados acerca da morfologia, litologia, condições climáticas e ocupação urbana, buscando a compreensão dos riscos associados a esses eventos extremos. Estudos futuros poderiam expandir essas investigações para incluir uma análise temporal mais detalhada e o uso de modelos para melhorar a prevenção e gestão de riscos associados a deslizamentos de terra.

**Palavras-chave:** Movimentos de Massa; Geoprocessamento, Geomorfologia, Risco, Pontos de Detonação.



## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Ateliê editorial, 2003.
- AVELAR, A. S.; COELHO NETTO, A. L.; LACERDA, W. A.; BECKER, L. B.; MENDONÇA, M. B. **Mechanisms of the recent catastrophic landslides in the mountainous range of the Rio de Janeiro, Brazil**. In: WORLD LANDSLIDE FORUM, 2, 2011, Roma: Landslide Sci. and Practice. Berlin: Springer-Verlag, 2011, v. 4, p. 265-270.
- BIGARELLA, J. J. e MOUSINHO, M. R. **Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvio e várzeas**. Boletim Paranaense de Geografia. v. 16/17, p. 153-197, 1965.
- BIGARELLA, J. J, et al. (2003). **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Vol3. (s.e) Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina. Cap.8, p.1026-1098.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. Editora Blucher, 1974.
- DE BARROS, L. R. L.; DA COSTA, R. V. C.; AVELAR, A. S. **A Influência da Geologia nos Estudos dos Movimentos de Massa Ocorridos na Região de Nova Friburgo em 2011, Estado do Rio de Janeiro**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 40, n. 3, p. 377-385, 2017.
- VALERIANO, Márcio. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. Inpe, v. 73, 2008.
- DRM. Departamento de Recursos Minerais. Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro. **Folhas Cava, Miguel Pereira, Paraíba do Sul e Três Rios: relatório final**. Niterói: GEOSOL, v. 1, 1981.
- EBERT, H. 1968. **Ocorrência da fácies granulítica no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência de sua estrutura orogênica: Hipótese sobre sua origem**. Anais Academia Brasileira de Ciências, 40, 215-229.
- FERNANDES, Nelson Ferreira; AMARAL, CP do. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Bertrand, Rio de Janeiro, p. 123-194, 1996.
- GONÇALVES, L. F. H. **Avaliação e diagnóstico da distribuição espacial e temporal dos movimentos de massa com a expansão da área urbana em Petrópolis-RJ**. Rio de JaneiroRJ: UFRJ, 1998.
- GUERRA, Antonio José Teixeira; GONÇALVES, Luiz Fernando Hansen; LOPES, Patrícia Batista Melo. Evolução histórico-geográfica da ocupação desordenada e movimentos de massa no município de Petrópolis, nas últimas décadas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 1, 2007.
- GUZZETTI, F. et al. Comparing Landslide Maps: A Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy. **Environmental management**, v. 25, n. 3, 2000.
- GUZZETTI, Fausto. Landslide hazard assessment and risk evaluation: Limits and prospectives. In: **Proceedings of the 4th EGS Plinius Conference, Mallorca, Spain**. 2002. p. 2-4.

HEILBRON, Monica et al. Província mantiqueira. **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, p. 203-235, 2004.

HEILBRON, Monica; EIRADO, Luiz Guilherme; ALMEIDA, Júlio César Horta. **Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Rio de Janeiro**. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cartas topográficas**. 2006.

HIGHLAND, Lynn M.; BOBROWSKY, Peter. **The landslide handbook-A guide to understanding landslides**. US Geological Survey, 2008.

LEOPOLD, Luna B. et al. **Fluvial processes in geomorphology**. Courier Dover Publications, 2020.

NIMER, Edmon. Climatologia do brasil. **IBGE**, 1989.

PENHA, H.M. ; FERRARI, A.L.; JUNHO, M.C.S.; SOUZA , S.L.A. & BRENN ER, T.L. - 1981 - **Projeto Folha Itaipava**, rel. fin., vol. I. Projeto Carta Geologica do RJ, DRMIIG-UFRJ, 177 pag., inedito,

ROSIER, G.F. 1965. **Pesquisas geológicas na parte oriental do Estado do Rio de Janeiro e na parte vizinha do Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro Brasil. DGM - DNPM/MME, Boletim, 222, 41p.

SCHOENCHE, Julia et al. **Inventário Morfométrico dos Deslizamentos do Megadestastre'11 na Sub-Bacia do Rio Grande, Nova Friburgo-RJ**. XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2022, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro, 2022, pag. 77-81.

SCHWARZ, Heron et al. Uso de caracterização morfométrica e geomorfológica na análise de mapeamentos de cicatrizes de escorregamentos. **Revista brasileira de geomorfologia**. Vol. 24, n. 1 (jan./mar. 2023), 20 p., 2023.