



CONTROLE TOPOGRÁFICO NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ESCORREGAMENTOS RASOS NA BACIA DO BRACUÍ, ANGRA DOS REIS/RJ

Juliana Soares Barbosa¹

Pamella Oliveira da Silva²

Maria Carolina Villaça Gomes³

RESUMO

Muitas pesquisas já se propuseram a investigar o controle topográfico nas áreas afetadas por movimentos de massa, porém, a região da Costa Verde/RJ ainda carece de tal abordagem científica na investigação das ocorrências. O município de Angra dos Reis/RJ, na Costa Verde, sofre de forma recorrente com os desastres, sendo a Bacia do rio Bracuí uma das áreas mais afetadas. O objetivo deste estudo é avaliar o controle topográfico na distribuição espacial dos escorregamentos na bacia do rio Bracuí, Angra dos Reis/RJ, a partir da aplicação dos índices de Concentração de Cicatrizes (CC) e Potencial de Escorregamento (PE). Utilizou-se inventário de escorregamentos preexistente e os mapas temáticos foram elaborados a partir do MDE (30m) e dos softwares QGIS e ArcMap. O inventário de escorregamentos da bacia possui 482 cicatrizes, ocorridos no período 2002-2023, com maior destaque para o ano de 2023. Identificou-se maior CC nas classes 0°-30° (32%) e 30°-40° (39%), embora o maior PE tenha sido na classe 50°-80° (25%). Foi evidenciado por meio da CC uma predominância das ocorrências nas encostas convexas (44%) e côncavas (39%), enquanto o PE foi de 1% e 2%, respectivamente. Em relação à orientação, os percentuais se mostram mais bem distribuídos, porém foi observada uma CC de 42% nas encostas voltadas para o quadrante sul, sendo para SE (23%), S (13%) e SO (6%). Em contrapartida, o PE foi 6%, 6% e 3%, respectivamente. Esses resultados evidenciam a influência do controle topográfico e reforçam a importância do estudo, considerado um instrumento fundamental para aprimoramento do mapeamento de suscetibilidade.

Palavras-chave: Escorregamentos Translacionais, Condicionantes Geomorfológicos, Suscetibilidade

¹ Mestranda do Curso de Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), jusoaresb@outlook.com

² Mestranda do Curso de Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), pamellaoliveira@id.uff.br

³ Orientadora: Professora Adjunta do Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), mcarolvg@gmail.com



INTRODUÇÃO

Em um contexto de ambiente tropical úmido, os escorregamentos se enquadram enquanto as principais tipologias de movimentos de massa que atingem as encostas de relevos dissecados. As características geológico-geomorfológicas, climáticas e as grandes extensões de maciços montanhosos, como, por exemplo, a Serra do Mar, fazem do Brasil um local propício para a ocorrência desses processos (Fernandes e Amaral, 1996). O município de Angra dos Reis, localizado na região da Costa Verde no Rio de Janeiro/RJ, possui um extenso histórico de desastres relacionados aos movimentos de massa causando prejuízos de diversas naturezas à população (Leal *et al.*, 2022).

Angra dos Reis, conforme citado, é um dos municípios brasileiros que possui maior registro de mortes por movimentos de massa (Macedo e Martins, 2015). A bacia do rio Bracuí, mais especificamente, é uma das áreas mais atingidas do município, contando com mais de 400 cicatrizes identificadas em inventário pré-existente desenvolvido por Silva e Leal (2022). Em dezembro de 2023, foram registradas ocorrências bastante significativas na referida bacia, contabilizando centenas de escorregamentos nas porções superiores das encostas, que corroboraram posteriormente na deflagração de corridas de massa, entulhamento da rede de canais e inundação na planície.

Portanto, quando uma mesma localidade é atingida com recorrência, fica em evidência a importância de se ter documentado os eventos ocorridos no passado não apenas como uma forma de identificar áreas de maior suscetibilidade, mas também de identificar os principais atributos físicos para, assim, compreender de que forma o controle topográfico atua na distribuição espacial das ocorrências. Compreender a forma como esse fenômeno se deflagra é importante para conhecer sobre sua ocorrência, suas consequências e condicionantes, além de medidas para reduzi-los (Leal *et al.*, 2022).

Com base nas informações supracitadas, o objetivo deste estudo é avaliar o controle topográfico na distribuição espacial dos escorregamentos na bacia do rio Bracuí, Angra dos Reis/RJ, a partir da aplicação dos índices de Concentração de Cicatrizes (CC) e Potencial de Escorregamento (PE).



METODOLOGIA

A região da bacia do rio Bracuí está localizada na divisa entre os municípios de Angra dos Reis (RJ) e Bananal (SP), possuindo uma extensão total de 185 km², porém, para este trabalho, será considerada apenas a porção fluminense, que conta com área aproximada de 90 km² (Figura 1), visto que o inventário cobre apenas o município de Angra. Suas encostas íngremes, contato muito próximo com o oceano, poucas áreas aplainadas e o processo de urbanização (Leal *et al.*, 2022) são algumas das características mais importantes para compreender a dinâmica da bacia hidrográfica, a exemplo das ocorrências datadas de 2023.

As formações geológicas observadas na Costa Verde do Rio de Janeiro são complexas e contam com a acreção de terrenos em estágios colisionais diferentes e, portanto, encontra-se dentro de uma porção da Faixa Ribeira (FR) (Thalweg, 2022)⁴. A compartimentação tectônica da FR contém associações litológicas, metamorfismo, magmatismo e estruturas diversas que se justificam pela sua história evolutiva (Azevedo, 2021). Oriundas da tectônica desta área são as falhas e lineamentos de direção NE-SW, E-W, NW e N-S, com movimentação de blocos que geram soerguimentos e abatimentos de blocos por falhas com grandes diferenças de relevo (Thalweg, 2022).

O município de Angra dos Reis está inserido no domínio da Região Serrana, subdomínio Litoral Sul Fluminense. A área é constituída, em sua maioria, por escarpas íngremes, sendo as planícies costeiras representadas em 12% e a faixa continental representada por 60% (Francisco, 2004; Eirado Silva, 2006; Heilbron *et al.*, 2007). As encostas da bacia do Bracuí apresentam, em geral, solos pouco espessos e com alto grau de lixiviação (Cambissolos, Latossolos Vermelho-Amarelos álicos) em decorrência do clima úmido proporcionado pela barreira física imposta ao avanço dos sistemas frontais (Dantas, 2001).

A construção da rodovia Rio-Santos e o avanço dos complexos turísticos e imobiliários tornaram ainda mais escassas as áreas planas a serem ocupadas, fazendo com que parte da população migrasse para as vertentes, sobretudo a população de baixa renda (Leal *et al.*, 2022). Por conta dos elevados gradientes de suas encostas, grandes amplitudes topográficas e significativos depósitos de tálus, os escarpamentos possuem limitações quanto à ocupação humana, o que faz com que grandes áreas de Mata Atlântica sejam preservadas. Nas planícies e vertentes mais baixas observa-se maior concentração do fluxo de ocupação (Dantas, 2001).

⁴ Relatório Técnico “Emergencial Costa Verde: Ações de enfrentamento ao desastre: atendimento rápido, setorização do risco e produtos para reestruturação dos municípios afetados por deslizamentos”. Disponível em: <https://www.rj.gov.br/drm/sites/default/files/arquivos_paginas/RL.09.2022.01-MTDLG-COSTA_VERDE.pdf>.

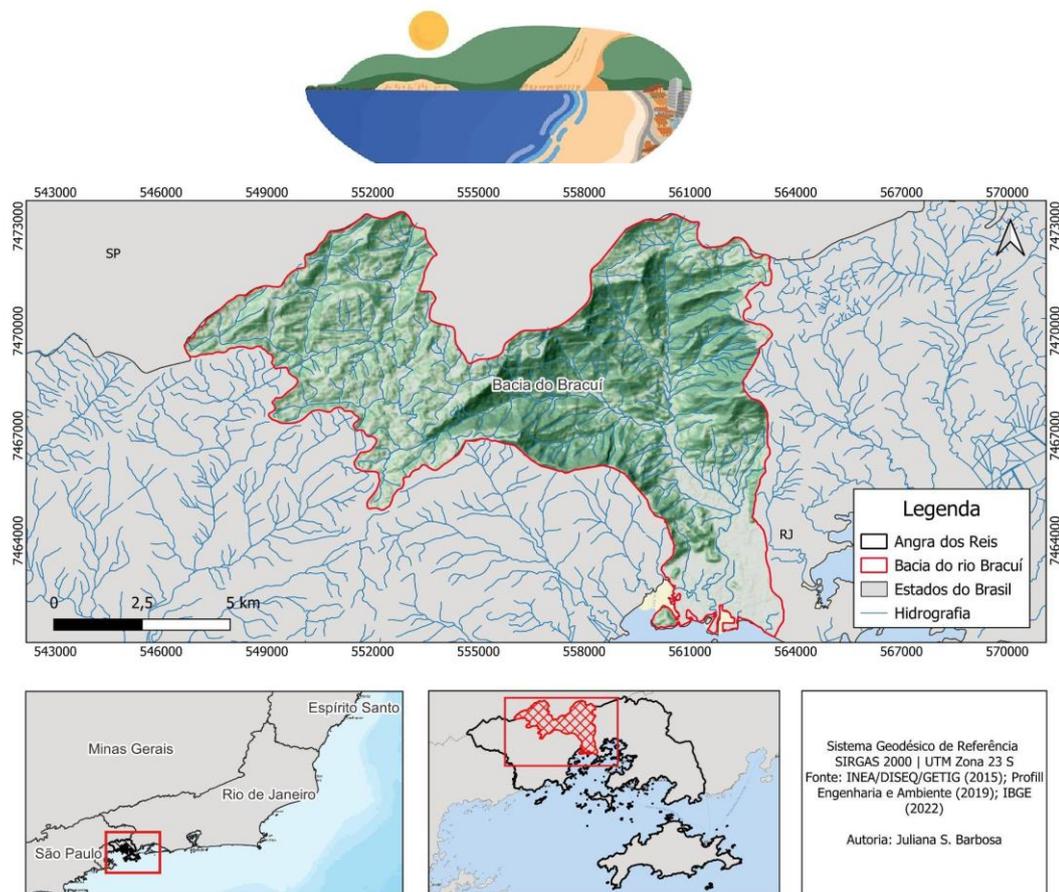


Figura 1 - Localização da Bacia do rio Bracuí, Angra dos Reis/RJ

As etapas deste trabalho se dividiram em: (i) caracterizar a morfometria da área de estudo selecionada, descrevendo seus aspectos físicos; (ii) avaliar a influência dos fatores condicionantes dessas ocorrências, a partir de uma perspectiva correlativa.

a. Caracterização Morfométrica

Com intuito de identificar as características topográficas das áreas afetadas pelos escorregamentos rasos, foram elaborados os parâmetros morfométricos de declividade, aspecto e curvatura de encostas a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE). Obtido de forma online e gratuita, o MDE foi viabilizado pela Copernicus, com resolução de 30 m.

Utilizando os softwares QGIS e ArcMAP, foram gerados os atributos topográficos: (i) declividade, utilizando a ferramenta “Slope”; (ii) curvatura, utilizando a ferramenta “Curvature” e; (iii) aspecto, utilizando a ferramenta “Aspect”.

b. Influência dos fatores condicionantes

Após a confecção dos mapas temáticos e com o manuseio dos dados do inventário de escorregamentos da área de estudo, cedidos por Silva e Leal (2022), foram realizadas outras



análises que buscam compreender a distribuição espacial das ocorrências de acordo com as classes adotadas. Utilizando os arquivos vetoriais resultantes dos parâmetros e das cicatrizes, foi realizada a quantificação dos pixels do arquivo das cicatrizes em cada uma das classes dos três parâmetros adotados.

As informações foram utilizadas para calcular dois índices: (a) Concentração de Cicatrizes, que é a razão entre o número de células, de cada classe, afetadas pelas cicatrizes e o total de células afetadas na bacia; (b) Potencial de Escorregamentos (PE) que é a razão entre o número de células, de cada classe, afetadas pelas cicatrizes e o total de células dessa mesma classe.

REFERENCIAL TEÓRICO

a. Escorregamentos rasos em ambiente tropical úmido

Os movimentos de massa envolvem uma variada gama de materiais e processos, o que acarreta na existência de uma variedade de tipologias. De modo geral, tais processos consistem no movimento de solo e rocha sob influência da gravidade, porém, frequentemente, a água está presente no sistema e desempenha um papel primordial na compreensão da dinâmica dos movimentos de massa e na sua deflagração. Dentre os parâmetros utilizados para a distinção dos processos, destacam-se: velocidade e mecanismo do movimento, material, modo de deformação, geometria do movimento e conteúdo de água (Selby, 1993).

Ao longo das décadas, diversos autores elaboraram e propuseram sistemas de classificação de movimentos de massa, levando em conta os critérios supracitados, como Sharpe (1938), Varnes (1958, 1975), Nemcok *et al.* (1972), Hutchinson (1988) e Sassa (1989). No Brasil, os esquemas propostos por Freire (1965), Guidicini e Nieble (1984) e IPT (1991) são os de maior destaque, porém, pensando no meio tropical e subtropical úmido, no qual a Serra do Mar se insere, Augusto Filho (1992) apresenta a proposta mais alinhada com o contexto da pesquisa. O autor propõe quatro principais tipologias para os movimentos de massa: rastejos, escorregamentos (translacionais e rotacionais), quedas e corridas.

Os escorregamentos se caracterizam pelo movimento rápido do material presente na encosta, de curta duração, com um plano de ruptura bem definido, o que permite que seja possível fazer a distinção do que foi movimentado e o que não foi (Fernandes e Amaral, 1995). O material pode ter uma ampla variedade em sua composição, como solo, rocha, lixo, depósitos



de encosta, e esses materiais podem estar misturados entre si. Os escorregamentos se subdividem em rotacionais e translacionais (Amaral, 1996).

b. Fatores condicionantes morfológicos dos escorregamentos rasos

O conhecimento acerca dos condicionantes morfológicos e geológicos é determinante para identificar uma área propensa à ocorrência de movimentos de massa, visto que esses fatores podem corroborar com a sua detonação. Os condicionantes morfológicos dizem respeito às características do relevo e das encostas que podem sofrer com os escorregamentos, como exemplo é possível citar os parâmetros da declividade, curvatura e orientação.

A avaliação conjunta dos fatores morfológicos auxilia na compreensão dos padrões de ocorrência dos escorregamentos (Dias, 2018) e na determinação da sua localização espacial e temporal (Fernandes e Amaral, 1995). O papel dos parâmetros topográficos e da hidrologia de encostas são alguns dos principais fatores mais importantes para a compreensão da dinâmica dos movimentos de massa (Fernandes *et al.*, 2004). Portanto, os condicionantes morfológicos são importantes indicadores na identificação de áreas mais suscetíveis, visto que fazem uma relação das características das encostas que influenciam em sua estabilidade (Sidle *et al.*, 1985).

Os parâmetros topográficos são vastamente utilizados na literatura para determinar o grau de suscetibilidade aos movimentos de massa (Gao, 1993), sendo definidas classes para cada um deles que refinam as análises e o apontamento dos locais que podem protagonizar futuros escorregamentos. A declividade, por exemplo, se trata da angulação das encostas quando comparado à superfície. É um dos parâmetros mais importantes e mais utilizados na literatura para buscar uma maior compreensão da dinâmica dos escorregamentos (Sidle *et al.*, 1985), podendo ser compreendido pela equação de Coulomb (Guidici e Nieble, 1984) que destaca que quanto maior o ângulo, menor o fator de segurança, ou seja, da relação entre forças estruturantes e desestruturantes das encostas (Selby, 1993).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O inventário de escorregamentos da bacia do rio Bracuí de Silva e Leal (2022) possui um total de 482 registros de cicatrizes, ocorridos entre os anos de 2002 e 2023. Deste total, 405 são apenas dos resultantes da chuva dos dias 8 e 9 de dezembro de 2023, sendo este o evento

com a maior densidade e número absoluto de cicatrizes de deslizamentos registrado, até então, pelo inventário (Silva *et al.*, 2024).

A partir da análise dos dados vetoriais, verifica-se que 78% das encostas da bacia se concentram entre 0° e 30° (Figura 2). Nesta classe de declividade foi identificado um índice de CC de 32%, mas o destaque de 39% de concentração das cicatrizes se deu na classe de 30° a 40°. No contexto da Serra do Mar, estes ângulos estão associados aos topos mais suaves dos principais divisores de água e aos depósitos de sopé de encosta (Vieira, 2007). Embora o intervalo de 30° a 40° possua o PE em 6%, comprovando seu importante papel na detonação dos escorregamentos, o maior PE registrado foi na classe entre 50° e 60°, com significativos 16%, embora essas encostas representem pequena parcela do total na bacia.

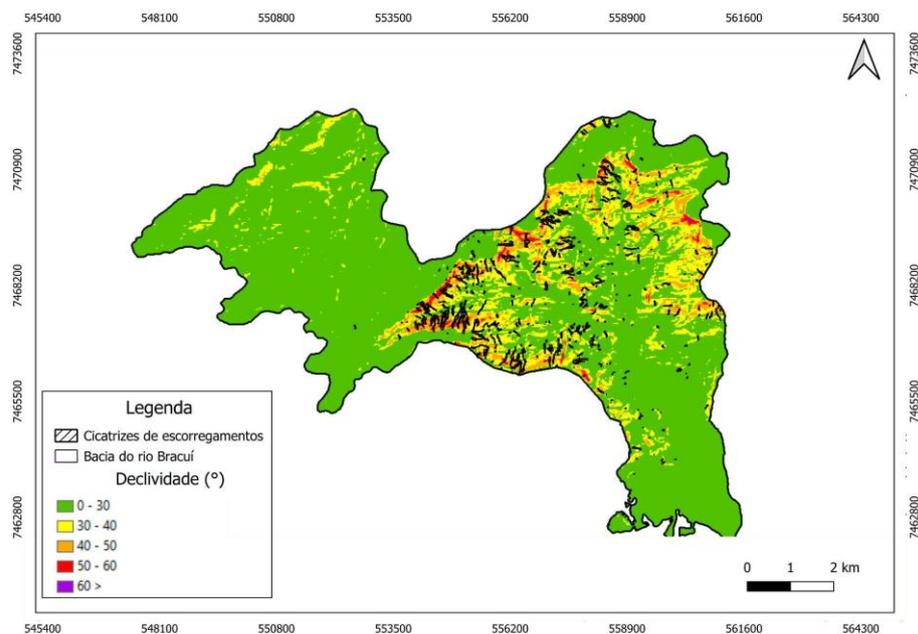


Figura 2 - Mapa de declividade da Bacia do rio Bracuí

Sobre a curvatura, constatou-se que aproximadamente 47% das encostas da bacia se enquadram na classe convexa, seguida pela classe côncava em 46%, restando apenas 8% de retilíneas (Figura 3). Por meio da CC foi evidenciada uma predominância das ocorrências nas encostas convexas (44%) e côncavas (39%), condizente com o quantitativo total de cada classe na bacia. Por outro lado, o PE foi de 1% e 2%, respectivamente, demonstrando potencial de deflagração ligeiramente maior na classe côncava.

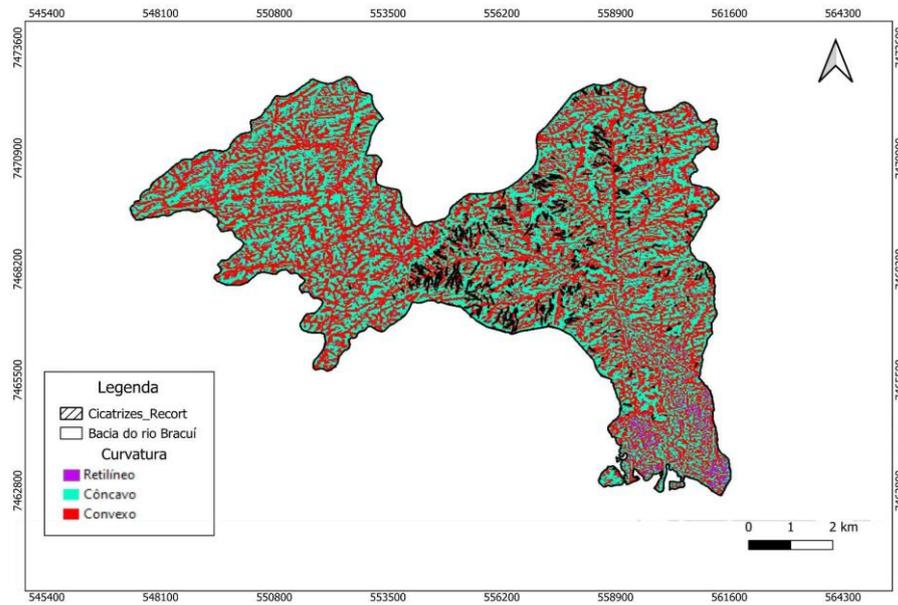


Figura 3 - Mapa de curvatura da Bacia do rio Bracuí

Em relação à orientação, observa-se uma significativa heterogeneidade na distribuição percentual das classes (Figura 4), porém a bacia do rio Bracuí possui 49% das suas encostas orientadas para o quadrante sul, sendo S (19%), SE (19%) e SO (11%). A CC demonstrou que 42% das ocorrências estão nas encostas voltadas para o quadrante sul, sendo para SE (23%), S (13%) e SO (6%), comportamento acompanhado pelo PE, com respectivos 6%, 6% e 3%.

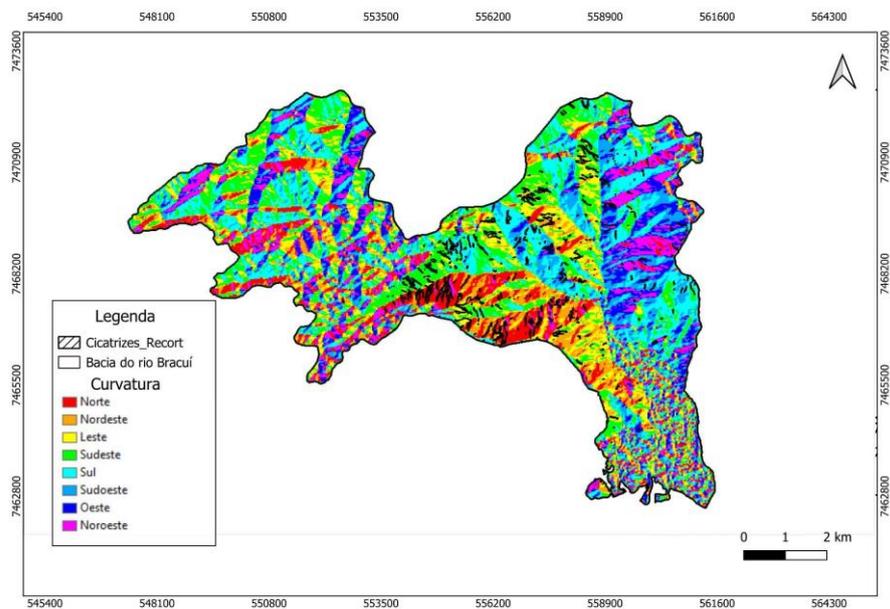


Figura 4 - Mapa de orientação da Bacia do rio Bracuí



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho teve como objetivo foi avaliar a influência da topografia na distribuição espacial dos escorregamentos na bacia do rio Bracuí utilizando os índices CC e PE da área de estudo selecionada, descrevendo seus aspectos físicos, e da avaliação da influência dos fatores condicionantes e deflagradores dessas ocorrências, a partir de uma perspectiva correlativa. Dessa forma, buscou-se identificar a existência de padrões na deflagração das ocorrências, se houveram classes de maior concentração e, conseqüentemente, a existência de controle topográfico.

Os resultados evidenciam a influência do controle morfométrico principalmente nas áreas de encostas entre 30° e 40°, convexas e voltadas para sul, reforçando a importância do estudo. Em um contexto de aumento de eventos extremos, pesquisas que se proponham a prever, prevenir e mitigar os impactos dos escorregamentos devem ter seu protagonismo no âmbito dos planejamentos urbano e ambiental, sendo considerados instrumentos fundamentais para aprimoração do mapeamento de áreas de maior suscetibilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, J. C. S. de. Caracterização do subsolo pelos métodos geofísicos de eletrorresistividade e magnetometria terrestre em áreas com histórico de movimentos de massa no município de Angra dos Reis, RJ. 2021. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, [S. l.], 2021.
- DANTAS, M.E. Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Rio de Janeiro, relatório e mapa, 63 p. 2000. DANTAS, M.E. et al. Diagnóstico geoambiental do estado do Rio de Janeiro. Repositório Institucional de Geociências - CPRM, [S. l.], p. 1-35, 2 jan. 2005. LEAL, P. J. V.; PIRES, F. J. S.; MAGALHÃES, P. F. A PRODUÇÃO E ANÁLISE DE DADOS NA COSTA VERDE: O CASO DOS MOVIMENTOS DE MASSA DE ANGRA DOS REIS. In: André Rodrigues; Andrés Del Río; Licio Monteiro; Silmara Marton. (Org.). Textos formativos desde as margens: Periferia, território e interdisciplinaridade. 1ed. Jundiaí: Paco Editorial, 2022, v., p. 156-172.
- DIAS, H. C.; BATEIRA, C. V. M.; PIZZATO, E.; MARTINS, T. D.; VIEIRA, B. C. Avaliação da Suscetibilidade a Escorregamentos Rasos com Base na Aplicação de Estatística Bivariada: Resultados Preliminares. REVISTA DO DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA, v. Especial, 2018.
- FERNANDES, N.F.; AMARAL, C.P. do. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. da. Geomorfologia e Meio Ambiente. 10ª. ed. [S. l.]: Bertrand Brasil, 2011. cap. 3, p. 123 –186
- FERNANDES, N. F., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T. ; VIEIRA, B. C., MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H.: Topographic Controls of Landslides in Rio de Janeiro: Field Evidences and Modeling. Catena, Amsterdam, 55, 163–181, 2004.



- GAO, J. 1993. Identification of Topographic Settings Conductive to Landsliding From Nelson County, Virginia, U.S.A. *Earth Surface Processes and Landforms*: 579-591
- LEAL, P. J. V.; PIRES, F. J. S.; MAGALHÃES, P. F. A PRODUÇÃO E ANÁLISE DE DADOS NA COSTA VERDE: O CASO DOS MOVIMENTOS DE MASSA DE ANGRA DOS REIS. In: André Rodrigues; Andrés Del Río; Licio Monteiro; Silmara Marton. (Org.). *Textos formativos desde as margens: Periferia, território e interdisciplinaridade*. 1ed. Jundiaí: Paco Editorial, 2022, v., p. 156-172.
- MACEDO, Eduardo Soares de; MARTINS, Pedro Paulo Dipe. Análise do Banco de Dados de Mortes por Deslizamentos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). In: *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia e Ambiental*, Bento Gonçalves. São Paulo: ABGE, 2015. p. 1-7.
- SELBY, M. J. Mass Wasting of Soils. In: *Hillslope Materials and Processes*. 2. ed. [S. l.]: Oxford University Press, USA, 1993. cap. 13, p. 249-298
- SIDLE, R.C., et al., 1985. *Hillslope Stability and LandUse, Water Resources Monograph*, vol. 11. American Geophysical Union, Washington, DC, 140 pp.
- VIEIRA, B. C.; CASTRO JUNIOR, E.; FERNANDES, N. F. Controles fito-morfológicos dos escorregamentos da bacia do rio Quitite (RJ). *Geosul (UFSC)*, v. 14, n.27, p. 324-328, 1998.