

# ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE ESCORREGAMENTOS NA REGIÃO SERRANA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO: O ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO D'ANTAS

Araújo, J.P. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO) ; Silva, L. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO) ; Alvear, M. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO) ; Arraes, T. (UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO DE JANEIRO) ; Dourado, F. (UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO DE JANEIRO) ; Fernandes, N. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO)

## RESUMO

Movimentos de massa podem ser considerados desastres naturais responsáveis por prejuízos econômicos e perdas de vidas. Compreender os fatores controladores destes processos é uma etapa fundamental para a previsão dos mesmos. Este trabalho parte da hipótese de que a topografia exerce um controle de primeira ordem nos movimentos de massa e objetiva analisar a influência de alguns parâmetros topográficos na distribuição espacial dos escorregamentos na Bacia do Córrego D'antas, em Teresópolis (RJ).

## PALAVRAS CHAVES

*Escorregamentos; Índices Topográficos; Região Serrana (RJ)*

## ABSTRACT

Mass movements can be considered natural disasters responsible for economic damages and loss of life. Understanding the factors that control these processes is an important step in its forecast. This paper considers the hypothesis that the topography plays a primary control in mass movements and aims to analyze the influence of some topographic parameters in the spatial distribution of landslides in D'antas Creek Basin in Teresópolis (RJ).

## KEYWORDS

*Shallow landslides; Topographic index; Mountainous Region (RJ)*

## INTRODUÇÃO

Em Janeiro de 2011 toda Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro (RSERJ) foi atingida por fortes precipitações que deflagraram milhares de escorregamentos causando prejuízos econômicos e óbitos. Trata-se de uma região que ainda carece informações que subsidiem planos de uso e ocupação visando evitar os acidentes causados pelos movimentos de massa. Desta forma, compreender os fatores controladores destes processos é uma etapa fundamental para a previsão dos mesmos. Para tanto, alguns índices morfométricos baseados em parâmetros de fácil obtenção e computados em Sistemas de Informação Geográfico (SIGs), possibilitam a avaliação das áreas críticas (AKGUN e TURK, 2010; CHEN e YU, 2011; CONOSCENTI et al., 2008; MILLER e BURNETT, 2008; NEFESLIOGLU et al., 2008; OZDEMIR, 2009; YILMAZ, 2009) e possuem a vantagem de serem facilmente aplicados. Os parâmetros analisados neste trabalho expressam a ação da força gravitacional sobre os processos de escorregamento (ângulo de da encosta), as condições de saturação do terreno pela convergência e concentração de fluxos superficiais e subsuperficiais (área de contribuição), os efeitos orográficos (valores elevação) e a saturação pela razão entre área de contribuição e ângulo da encosta através do Índice Topográfico de Saturação (ITS) (KIRKBY, 1975):  $ITS = \ln (As/\tan\beta)$  Onde: "As" corresponde à área de drenagem específica por unidade de contorno, ou seja, aos valores acumulados por pixel de toda a área drenada à montante desse pixel; " $\tan\beta$ " é o valor do ângulo da encosta de um pixel. Por fim, este trabalho parte da hipótese de que a topografia exerce um controle de primeira ordem nos processos de movimentos de massa. O objetivo principal é analisar a influência de alguns parâmetros topográficos e do Índice Topográfico de Saturação na distribuição espacial dos escorregamentos em uma bacia piloto na RSERJ.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foi selecionada a Bacia do Córrego D'antas, localizada no município de Nova Friburgo (RJ) e que possui uma área de aproximadamente 52km<sup>2</sup>. Esta bacia foi fortemente afetada por escorregamentos translacionais, principalmente no contato entre solo residual e rocha sã nas encostas laterais e em suas cabeceiras. As cicatrizes dos escorregamentos, ou seja, nas áreas de ruptura do material, foram mapeadas utilizando um mosaico confeccionado por imagens GeoEye obtidas pelo Google Earth, cujas cenas datam de 19 de Janeiro de 2011, sete dias após o evento. O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi produzido utilizando cartas topográficas de escala 1:10.000 (AMPLA) por meio do módulo TOPOGRID, desenvolvido a partir de rotinas propostas por Hutchinson (1989), considerado hidrológicamente consistente (ESRI, 1996; HUTCHINSON, 1989), através do software ArcGis 9.3 com resolução de 5m. O mapa de ângulo de encosta foi obtido através do algoritmo proposto por (ZEVENBERGEN e THORNE, 1987), utilizado no SHALSTAB (DIETRICH e MONTGOMERY, 1998) no software ArcView 3.3. O mapa de área de contribuição foi produzido pelo algoritmo de fluxo múltiplo presente no hydrotools do ArcView 3.3 (SCHÄUBLE, 2003) e calculado a partir do método de Quinn et al. (1991). Por fim, o mapa do Índice Topográfico de Saturação foi calculado através do raster calculator, no ArcGis 9.3, tendo como entrada os mapas de área de contribuição (em m<sup>2</sup>) e ângulo de encosta (em graus). Segundo proposta de Gao (1993), avaliou-se a distribuição de escorregamentos, considerando a Frequência (razão entre o número de células de cada classe e o número total de células da bacia), Concentração de Cicatrizes (razão entre o número de células de cada classe afetadas pelas cicatrizes e o total de células afetadas na bacia) e o Potencial de Escorregamentos (razão entre o número de células, de cada classe, afetadas pelas cicatrizes e o total de células dessa mesma classe).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

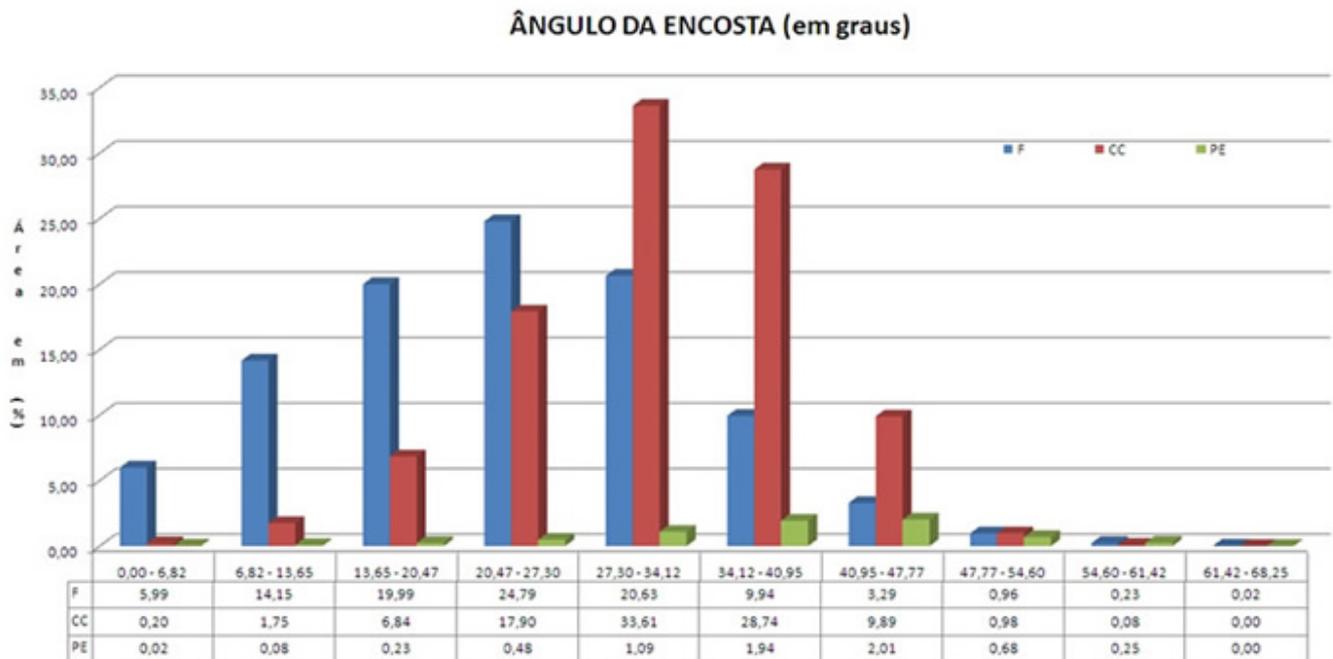
Os resultados dos mapeamentos são apresentados através de uma tabela (tabela 1). Tabela 1: A altitude pode influenciar a distribuição dos escorregamentos devido ao efeito orográfico. As duas classes de elevação que apresentam maior PE (1070-1187m e 1187-1303m), no terço médio da bacia, representam 41,51% de sua área e concentram 56,69% das cicatrizes. No terço superior da bacia, onde as altitudes variam entre, aproximadamente, 1303m a 2003m, observa-se uma baixa CC e PE devido ao elevado gradiente sustentado por estas elevações e à presença de paredões rochosos. Figura 1: Com relação ao ângulo de encosta (Figura 1), as áreas mais planas, cujos ângulos variam entre 0° e 20,47° ocupam aproximadamente 40% da bacia. São áreas associadas à presença de topos mais suaves e depósitos coluvionares que, apesar de frequentes, concentram somente 8,79% das cicatrizes de escorregamentos. Em contrapartida, 80,25% das cicatrizes estão concentradas entre os ângulos de 20,47° e 40,95°. As áreas que definiram o maior PE (2,01%) são aquelas cujos ângulos variam entre 40,95° e 47,77° e, apesar de serem pouco frequentes na bacia (3,29%), quando presentes estão relacionadas à uma maior susceptibilidade de escorregamentos. Estudos realizados na Serra do Mar, nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro (GUIMARÃES, 2000; SANTOS e VIEIRA, 2009; SILVA, 2011; VIEIRA, 2007), constataram que as classes de ângulo de encosta entre aproximadamente 40° e 50° definiram maior potencial de escorregamentos nas bacias analisadas. Observa-se, ainda, uma elevação dos valores de PE até a classe 47,7° seguido de uma redução destes valores nas classes superiores. Comportamento similar foi encontrado nos trabalhos realizados pelos autores supracitados. A redução dos valores de CC e PE nas classes de ângulos superiores a 50° se deve não somente à redução da frequência dessas classes, mas também à diminuição da cobertura de solo, muito delgada acima desse intervalo, e à remoção dos materiais por processos erosivos (SELBY, 1993; WOLLE e CARVALHO, 1989). A área de contribuição AC relaciona-se ao estado de saturação dos solos. As áreas secas, cujos valores na tabela 1 são baixos, correspondem aos setores convexos da paisagem, como por exemplo, os interflúvios. As áreas mais úmidas correspondem aos setores côncavos, ou hollows. No caso da Bacia do Córrego D'antas, o maior PE corresponde às células do grid nos intervalos de (log<sub>10</sub>) 1,32m<sup>2</sup> à (log<sub>10</sub>) 2,58m<sup>2</sup>. Este intervalo, entretanto, é bastante representativo na bacia F (77,27%) e concentra 90,98% das cicatrizes. Os valores mais elevados de AC possuem baixa F, CC e PE e representam, em grande parte, a rede de drenagem e os vales fluviais. Por fim, a comparação dos resultados entre diferentes autores, como em Fernandes et al., (2004); Guimarães (2000); Listo e Vieira (2010); Nery (2011); Santos e Vieira (2009); Silva (2011); Vieira (2007), suscita discussões sobre o método de

mapeamentos das feições de escorregamento e resolução do MDE. Neste trabalho, o Índice Topográfico de Saturação foi calculado segundo o pressuposto da condição de estado estacionário e uniformidade das propriedades do solo, a exemplo da transmissividade. Setores úmidos relacionam-se aos valores elevados de área de contribuição associados a um ponto qualquer e/ou encostas com baixo ângulo. Setores com menor umidade podem relacionar-se aos valores elevados de gradiente e/ou reduzidas áreas de contribuição. Na bacia do Córrego D'antas, as áreas associadas ao maior PE (0,86%), entre  $7,11\text{m}^2/\text{º}$  a  $9,59\text{m}^2/\text{º}$ , são também aquelas mais frequentes (62,10%) e que concentram a maior quantidade das cicatrizes (79,93%). A comparação destes resultados com aqueles encontrados na literatura limita-se ao número de trabalhos publicados, às características ambientais diferenciadas das regiões analisadas e à variação de tipologias e mecanismos de deflagração dos escorregamentos. Para fins de consulta vide Conoscenti et al., (2008); Yilmaz(2009); Akgun e Türk(2010); Ozdemir(2009).

Tabela 1

Classes	F (%)	CC (%)	PE (%)	Classes	F (%)	CC (%)	PE (%)
<i>Elevação (m)</i>				<i>Log<sub>10</sub> de AC (m<sup>2</sup>)</i>			
837 - 954	10,62	8,02	0,50	0,69 - 1,32	7,11	2,27	0,21
954 - 1070	24,56	27,65	0,75	1,32 - 1,95	40,53	56,21	0,93
1070 - 1187	25,27	37,74	1,00	1,95 - 2,58	36,74	34,77	0,63
1187 - 1303	16,24	18,95	0,78	2,58 - 3,21	10,06	5,10	0,34
1303 - 1420	11,43	6,06	0,35	3,21 - 3,84	3,24	1,59	0,33
1420 - 1537	7,35	1,12	0,10	3,84 - 4,47	1,26	0,07	0,04
1537 - 1653	2,95	0,38	0,09	4,47 - 5,10	0,52	0,00	0,00
1653 - 1770	0,83	0,09	0,07	5,10 - 5,72	0,28	0,00	0,00
1770 - 1886	0,53	0,00	0,00	5,72 - 6,35	0,14	0,00	0,00
1886 - 2003	0,23	0,00	0,00	6,35 - 6,98	0,12	0,00	0,00
<i>Ângulo de encosta (graus)</i>				<i>ITS (m<sup>2</sup>/º)</i>			
0,00 - 6,82	5,99	0,20	0,02	(-) 5,25 - (-) 2,78	0,00	0,00	0,00
6,82 - 13,65	14,15	1,75	0,08	(-) 2,78 - (-) 0,30	0,04	0,00	0,00
13,65 - 20,47	19,99	6,84	0,23	(-) 0,30 - 2,16	0,20	0,00	0,00
20,47 - 27,30	24,79	17,90	0,48	2,16 - 4,64	1,73	0,13	0,05
27,30 - 34,12	20,63	33,61	1,09	4,64 - 7,11	27,34	15,35	0,38
34,12 - 40,95	9,94	28,74	1,94	7,11 - 9,59	62,10	79,93	0,86
40,95 - 47,77	3,29	9,89	2,01	9,59 - 12,06	7,29	4,55	0,42
47,77 - 54,60	0,96	0,98	0,68	12,06 - 14,54	1,07	0,04	0,03
54,60 - 61,42	0,23	0,08	0,25	14,54 - 17,01	0,19	0,00	0,00
61,42 - 68,25	0,02	0,00	0,00	17,01 - 19,49	0,04	0,00	0,00

Figura 1



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisa a influência da topografia na distribuição dos escorregamentos e apresenta os intervalos da legenda de cada classe associados ao maior potencial de escorregamento. Os setores da paisagem que apresentaram maior suscetibilidade de escorregamentos foram aqueles onde a elevação variou entre 1070 - 1187m, ângulo da encosta entre 40,95º e 47,77º, área de contribuição entre (log10) 1,32m<sup>2</sup> - 1,95m<sup>2</sup> e valores de ITS entre 7,11m<sup>2</sup>/º a 9,59m<sup>2</sup>/º. Os índices utilizados permitiram uma primeira caracterização do controle topográfico sobre os escorregamentos. Em etapas futuras, serão utilizados outros parâmetros e índices, e serão realizadas análises comparativas entre bacias hidrográficas na RSERJ. A construção de um banco de dados mais consistente permitirá estimar limites críticos associados à deflagração de escorregamentos, que poderão ser aplicados em outras bacias na RSERJ de características geomorfológicas e geológicas similares.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Akgun, A., Türk, N., 2010. Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. *Environmental Earth Sciences*, 61, 595-611.
- Chen, C.-Y., Yu, F.-C., 2011. Morphometric analysis of debris flows and their source areas using GIS. *Geomorphology*, 129, 387-397.
- Conoscenti, C., Di Maggio, C., Rotigliano, E., 2008. GIS analysis to assess landslide susceptibility in a fluvial basin of NW Sicily (Italy). *Geomorphology*, 94, 325-339.
- Dietrich, W.E., Montgomery, D.R., 1998. SHALSTAB: A Digital Terrain Model for Mapping Shallow Landslide Potential, National Council for Air and Stream Improvement.
- ESRI, 1996. ARC/INFO Online Documentation. Environmental Systems Research Institute Incorporated. Redlands, CA, USA.

- Fernandes, N.F. et al., 2004. Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling. *Catena*, 55, 163-181.
- Gao, J., 1993. Identification of Topographic Settings Conducive to Landsliding from DEM in Nelson County, Virginia, U.S.A. *Earth Surface Processes and Landforms*, 18, 579-591.
- Guimarães, R.F., 2000. A modelagem matemática na avaliação de áreas de risco a deslizamentos: o exemplo das bacias dos rios Quitite e Papagaio (RJ). *Doutorado Thesis, UFRJ, Rio de Janeiro*.
- Hutchinson, M.F., 1989. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, 106, 211-232.
- Kirkby, M.J., 1975. Hydrograph Modelling Strategies. in: Peel, R., Chisholm, M., Haggett, P. (Eds.), *Process in Physical and Human Geography*. Heinemann, Londres,, pp. 69-90.
- Listo, F.L.R., Vieira, B.C., 2010. Análise de condicionantes topográficos como subsídio para avaliação de áreas de risco a escorregamentos rasos, VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, Recife, pp. 193-207.
- Miller, D.J., Burnett, K.M., 2008. A probabilistic model of debris-flow delivery to stream channels, demonstrated for the Coast Range of Oregon, USA. *Geomorphology*, 94, 184-205.
- Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Durmaz, S., 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Geomorphology*, 94, 401-418.
- Nery, T.D., 2011. Avaliação da suscetibilidade a escorregamentos translacionais rasos na bacia da Ultrafértil. *Mestrado Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo*, 156 pp.
- Ozdemir, A., 2009. Landslide susceptibility mapping of vicinity of Yaka Landslide (Gelendost, Turkey) using conditional probability approach in GIS. *Environmental Geology*, 57, 1675-1686.
- Quinn, P., Beven, K., Chevalier, P., Planchon, O., 1991. The prediction of hillslope paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. *Hydrological Processes*, 5, 59-79.
- Santos, W., Vieira, B.C., 2009. Influência dos fatores topográficos na distribuição de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar, Cubatão (SP), XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Viçosa, pp. 1 -16.
- Schäuble, H., 2003. *HYDRO TOOLS 1.0 for ArcView 3.x*.
- Selby, M.J., 1993. *Hillslope Materials & Processes*. 2nd. ed. Oxford University Press, New York.
- Silva, L.M., 2011. Modelagem Matemática Aplicada a Previsão de Áreas Susceptíveis a Escorregamentos Rasos no Morro do Baú - Santa Catarina. *Dissertação Thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro*, 110 pp.
- Vieira, B.C., 2007. Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas. *Doutorado Thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro*, 194 pp.
- Wolle, C.M., Carvalho, C.S., 1989. Deslizamentos em encostas na Serra do Mar Brasil. *Solos e Rochas*, 12, 27-36.
- Yilmaz, I., 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat--Turkey). *Computers & Geosciences*, 35, 1125-1138.

Zevenbergen, L.W., Thorne, C.R., 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12, 59-64.