



CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE CICATRIZES DE ESCORREGAMENTOS

Heron Schwarz¹ & Gean Paulo Michel²

Palavras-Chave – Escorregamentos; Inventário de Cicatrizes; Morfometria.

INTRODUÇÃO

O estudo de movimentos de massa tem tomado destaque no ambiente científico, principalmente no âmbito de prevenção e minimização dos impactos gerados por este tipo de fenômeno. A identificação de sua ocorrência, bem como seu registro, tem se mostrado uma prática complexa, fato motivado por diversos fatores, dentre os quais destacam-se: (i) a ocorrência em locais remotos, (ii) a ineficiência dos métodos de registro; e (iii) a dificuldade em se executar o mapeamento de cicatrizes. Com o advento e otimização de tecnologias de sensoriamento remoto, diversos métodos de mapeamento tem surgido, limitados, contudo, às resoluções espaciais, espectrais e temporais dos produtos empregados. Tais tecnologias têm possibilitado, ainda, o levantamento de dados de caracterização de cicatrizes, associados à morfometria e às características locais da região afetada. Tais informações se mostram relevantes no entendimento do mecanismo de propagação e deflagração de escorregamentos em cada região, além de fornecerem dados importantes para estudos de estabilidade, produção de sedimentos ou hidrologia de encostas.

A caracterização das cicatrizes de escorregamentos é uma parte frequentemente desconsiderada no inventário de cicatrizes. Ainda, é comum que em inventários não sejam as cicatrizes o alvo de caracterização, mas ao invés, as encostas que deflagraram o escorregamento. Tais trabalhos, frequentemente, objetivam a análise das condicionantes geomorfológicas da ocorrência do escorregamento, avaliando, por exemplo, a declividade, forma e comprimento da encosta ou a profundidade do solo (Quadro 01). A análise das cicatrizes, resume-se, frequentemente, a parâmetros morfométricos simples, como área, comprimento e, em alguns casos, a profundidade da camada de solo deslocada pelo escorregamento, associada à estimativa do volume de sedimentos transportado.

Inexistem atualmente metodologias ou parâmetros definitivos ou suficientemente consolidados para a caracterização de cicatrizes, de forma que características diversas são analisadas nos inventários, de acordo com o objetivo do mesmo. Alguns dos parâmetros utilizados na caracterização de cicatrizes, segundo a literatura, estão descritos no Quadro 01.

Percebe-se que os parâmetros mais comumente utilizados, com base nos artigos analisados (Quadro 01), consiste na declividade da encosta, por sua intrinsecidade natural com a ocorrência de escorregamentos. Em segundo lugar aparece o índice de umidade topográfico, parâmetro frequentemente utilizado por modelos de estabilidade de encosta como forma de estimar ou ponderar a infiltração na superfície. A variabilidade no uso dos demais parâmetros de caracterização pode indicar a dificuldade de se definirem parâmetros de maior importância, bem como a elevada variabilidade espacial do fenômeno, assumindo características de maior relevância à deflagração de acordo com a região e ocorrência.

Apesar de não padronizada e por vezes escassa na literatura, a análise de características geomorfológicas e morfométricas é amplamente utilizada no mapeamento e modelagem de movimentos de massa. Marchesini et al. (2014) citam que, implicitamente, geólogos e geomorfólogos utilizam de análise destas características para identificar, no ambiente, deformações associadas à ocorrência de movimentos de massa, como a existência de concavidades e convexidades em regiões

1) MsC. Acadêmico do Programa de Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH/UFRGS, heron.schwarz@ufrgs.br

2) PhD. Professor Adjunto, IPH/UFRGS, gean.michel@ufrgs.br



de maior declividade. Segundo Guzzetti et al. (2012), o mesmo é feito comumente no mapeamento de cicatrizes por interpretação de imagens aéreas.

Quadro 1: Parâmetros de caracterização de cicatrizes.

Parâmetro	Fonte de Obtenção	Referência
Altitude	DEM	(1); (2); (3);
Ângulo da encosta	DEM	(1); (2); (3); (5); (6);
Direcionamento da encosta	DEM	(1); (2); (6);
Comprimento da encosta	DEM	(1);
Curva hipsométrica	DEM	(1); (6);
Distância até a rede de drenagem	DEM	(1); (2);
Distância até lineamentos	DEM	(1);
Distância até estradas	Imagem Óptica	(1); (2);
Litologia	Análise em campo	(1); (2);
Uso e ocupação do solo	Imagem Óptica	(1);
Profundidade do solo	Análise em campo	(1);
Índice de umidade topográfico	DEM	(1); (2); (3); (6);
Índice de vegetação	Imagem Óptica	(1); (2);
Rugosidade superficial	HRDEM	(4); (5);
Curvatura da cicatriz	DEM	(1); (5);
Dimensão Fractal	Cicatriz	(5);

Fonte: (1) Kavzoglu et al., 2015; (2) Chen et al., 2017; (3) Araújo et al., 2013; (4) Marchesini et al., 2014; (5) Glenn et al., 2006; (6) Petrea et al., 2014.

Além de características morfométricas, outras propriedades mensuráveis ou identificáveis podem influenciar na deflagração de escorregamentos. Como exemplo, pode-se citar características do solo, litologia, vegetação, dentre outros. A principal aplicação destes parâmetros se dá no âmbito de avaliação, estudo e modelagem de movimentos de massa, especialmente na estimativa de suas importâncias como variáveis explicativas da suscetibilidade à deflagração (MARCHESINI et al., 2014).

METODOLOGIA

O presente trabalho buscou analisar características morfométricas normalmente aplicadas à caracterização de bacias hidrográficas, em escorregamentos identificados e mapeados, através de duas diferentes metodologias de mapeamento, na Bacia Hidrográfica do Rio Mascarada. A bacia fica localizada entre os municípios de São Francisco de Paula, Rolante e Riozinho, na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul e é uma das sub-bacias do Rio dos Sinos, com uma área de aproximadamente 318 km² e altitudes variando de 74 m até, aproximadamente, 980 m.

Em 5 de janeiro de 2017, a região foi afetada por um evento hidrometeorológico extremo que favoreceu a ocorrência de movimentos de massa na área da bacia. Os escorregamentos na região foram mapeados através de duas diferentes metodologias, isto é, através de (i) mapeamento manual por sobreposição em ambiente GIS, e; (ii) mapeamento semi-automatizado através da análise de variação de índices espectrais, incluso de limiares de declividade. Foram identificados, através do



mapeamento manual, 403 escorregamentos na região. A aplicação do do mapeamento semi-automatizado, por sua vez, resultou em 303 escorregamentos (SCHWARZ, 2019).

Após o mapeamento, as cicatrizes foram caracterizadas com base em sua morfometria, em ambiente GIS. As características foram analisadas estatisticamente para identificação de correlações entre si e entre ambos os tipos de mapeamento, a fim de verificar sua estabilidade como parâmetros comparativos, independentemente do método de mapeamento.

As características morfométricas analisadas foram: Área (A), Perímetro (P), Largura (B), Comprimento (L), Fator de Forma (F_F) (Equação 1), Coeficiente de Compacidade (K_C) (Equação 2) e Índice de Conformação (I_C) (Equação 3).

$$F_F = \frac{B}{L} \quad (1)$$

$$K_C = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

$$I_C = \frac{A}{L^2} \quad (3)$$

RESULTADOS

Com relação às características obtidas a partir do mapeamento manual, as cicatrizes analisadas apresentaram grande variação de dimensão, tendo, a menor cicatriz 157 m² e a maior 29.814 m², sendo 61,5 % destas, menores de 5.000 m².

As características analisadas apresentaram correlação moderada à elevada, com exceção de $B \times F_F$ e $B \times I_C$. A correlação apresentada entre $B \times L$ (0,6164) indica que as cicatrizes podem apresentar forma similar. A elevada correlação entre $A \times P$ (0,9006) corrobora para esta afirmação. Considerando similaridade de forma entre as cicatrizes, parâmetros A , P , B e L apresentariam natural inter-relação, enquanto F_F , K_C e I_C , sendo obtidos através dos demais, podem apresentar elevada correlação com estes.

É necessário, contudo, considerar que o método de definição de B e L , através da representação da cicatriz a partir de um retângulo que à contenha, parte do pressuposto de similaridade de forma. Tal pressuposto foi firmado baseando-se em características da região de estudo, em especial a presença de solos de baixa espessura e a elevada declividade da região, além da análise de cicatrizes em campo. Tais fatores favorecem a ocorrência de escorregamentos do tipo translacional, onde o comprimento é muitas vezes superior à largura, favorecendo a predominância de cicatrizes com formato retangular. Na região de estudo as cicatrizes apresentaram um comprimento, em média, 3,39 vezes superior à largura, concordando com o pressuposto adotado. A correlação $B \times L$, contudo, se mostra mais fraca à medida que o comprimento da cicatriz aumenta.

O método de estimativa de B e L , contudo, pode apresentar falhas em casos específicos, quando a morfologia da encosta faz com que os escorregamentos mudem de direção, gerando curvas no direcionamento do fluxo. A elevada correlação entre F_F e I_C (0,9604), entretanto, pode indicar que tal cenário é escasso na área de estudo, uma vez que F_F foi estimado a partir da razão entre B e L (obtidos da representação em retângulo); enquanto o I_C é estimado a partir da razão entre a área efetiva das cicatrizes mapeadas (A) e o quadrado de L .

Como resultado do mapeamento semi-automatizado, foram identificadas 303 cicatrizes. O número reduzido, em comparação ao número de cicatrizes mapeadas manualmente (403) indica que parte das cicatrizes se fundiram em cicatrizes maiores. A maior cicatriz mapeada de forma semiautomatizada teve área igual a 40.200 m², superior à maior cicatriz mapeada manualmente, com 29.814 m².



Dentre as características morfométricas geradas, o F_F apresentou maior divergência entre os mapeamentos. Inicialmente, se observa muitas cicatrizes com $F_F = 1,00$ ($n = 42$). Isto é, com largura igual ao seu comprimento. Inicialmente considerou-se que este F_F resultante das cicatrizes com $A = 400 \text{ m}^2$, contudo, apenas 21 cicatrizes apresentam este valor de A , sendo que destas, apenas 12 apresentaram $F_F = 1,00$. O mesmo comportamento foi identificado nos I_C estimados, devido a dependência do parâmetro às dimensões da cicatriz.

Considerando variação nas medidas de posição das distribuições geradas pelas características de ambos os mapeamentos, K_C apresentou a menor variação. K_C gerou respostas similares em ambos os métodos de mapeamento, apresentando médias, no método manual e semi-automatizado, respectivamente, de 1,48 e 1,55 (Diferença de +4,58 %) e mediana, no método manual e semiautomatizado, respectivamente, de 1,39 e 1,49 (Diferença de +7,26 %).

A menor variação na distribuição de K_C , considerando as variações nas medidas de A e B e L , corrobora à afirmação de que este parâmetro seja menos suscetível ao método de mapeamento. Desta forma, K_C se mostra mais consistente na composição de um inventário de cicatrizes, em comparação a F_F e I_C .

CONCLUSÕES

As características morfométricas das cicatrizes, compõem informações importantes no entendimento da dinâmica hidrossedimentológica local e podem contribuir ao mapeamento de susceptibilidade à deflagração favorecendo, o uso de modelos de estabilidade específicos, bem como, aponta a possibilidade de aplicação de outros métodos de mapeamento de cicatrizes, baseados em identificação de formas específicas.

O K_C apresentou pouca variação em ambos os métodos de mapeamento, podendo ser utilizado de maneira comparativa e suprimindo a necessidade de outras características morfométricas analisadas. É aconselhado, aos trabalhos futuros, sua aplicação no inventário de cicatrizes para regiões com diferentes características geomorfológicas.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO J. P. C.; DOURADO, F. & FERREIRA, F. (2013). Morphometric analysis of landslide in the Mountain Region of the State of Rio de Janeiro in Brazil: the case study of D'antas watershed. *Geophysical Research Abstracts*, v. 15.
- CHEN, W.; POURGHASEMI, H. R. & NAGHIBI, S. A. (2017). Prioritization of landslide conditioning factors and its spatial modeling in Shangnan County, China using GIS-based data mining algorithms. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, v. 77, Issue 2, p. 611–629.
- GLENN, N. F.; STREUTKER, D. R.; CHADWICK, D. J.; THACKRAY, G. D. & DORSCH, S. J. (2006). Analysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity. *Geomorphology*, v. 73(1-2), p. 131-148.
- GUZZETTI, F.; MONDINI, A. C. & CARDINALI, M. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, v. 112, n. 1–2, p. 42–66.
- KAVZOGLU, T.; KUTLUG SAHIN, E. & COLKESEN, I. (2015). Selecting optimal conditioning factors in shallow translational landslide susceptibility mapping using genetic algorithm. *Engineering Geology*, v. 192, p. 101–112.
- MARCHESINI, I.; ROSSI, M.; MONDINI, A.; SANTANGELO, M. & BUCCI, F. (2014). Morphometric signatures of landslides. *Proceedings of the 3rd Open-Source Geospatial Research & Education Symposium OGRS 2014*, June, p. 10–13.
- PETREA, D.; BILASCO, S. & ROSCA, S. (2014). The determination of the Landslide occurrence probability by spatial analysis of the Land Morphometric characteristics. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, v. 9, n. May, p. 91–102.
- SCHWARZ, H. (2019). Identificação, Mapeamento e Caracterização de Cicatrizes de Escorregamentos. Dissertação (Mestrado). IPH/UFRGS. Porto Alegre (RS). 154 f.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio.