

ANÁLISE E CORRELAÇÃO DE ATRIBUTOS MORFOMÉTRICOS E SUA INFLUÊNCIA NOS MOVIMENTOS DE MASSA OCORRIDOS NA BACIA DO RIO ROLANTE, RS

Samuel Gameiro¹, Renata Pacheco Quevedo², Guilherme Garcia de Oliveira³, Luis Fernando Chimelo Ruiz⁴, Laurindo Antonio Guasselli⁵

¹ Mestrando no PPGSR^a, samuel.gameiro@ufrgs.br; ² Mestranda no PPGSR^a, renata.quevedo@ufrgs.br; ³ Professor do DI^b e do PPGSR^a, g.g.oliveira10@gmail.com; ⁴ Doutorando do PPGSR^a, ruiz.ch@gmail.com; ⁵ Professor do DG^c, do POSGea^c e do PPGSR^a, laurindo.guasselli@ufrgs.br.

^aPós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PPGSR), Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre/RS.

^bDepartamento Interdisciplinar (DI), UFRGS, RS-030, km 92, 11.700, Tramandaí – RS.

^cDepartamento de Geografia (DG) e Programa de Pós-Graduação em Geografia (POSGea), Instituto de Geociências, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre/RS.

RESUMO

Em janeiro de 2017, após intensa precipitação, ocorreu uma série de movimentos de massa na bacia do rio Rolante, causando sérios impactos à população local. Este estudo teve como objetivo relacionar atributos do terreno extraídos do modelo digital de elevação ALOS-PALSAR com as cicatrizes mapeadas do evento. Foram obtidos 11 atributos morfométricos, os quais foram analisados a partir da extração de estatísticas descritivas, do índice de correlação linear e de gráficos de caixas. Atributos como elevação, declividade, fator LS e profundidade dos vales se mostraram muito eficientes na diferenciação de áreas de ocorrência de movimentos de massa, enquanto que atributos amplamente utilizados na literatura, como TWI e orientação do relevo, não apresentaram padrões bem definidos para os movimentos na Bacia do Rolante.

Palavras-chave — Modelo Digital de Elevação, ALOS-PALSAR, Desastres, Estatística Descritiva.

ABSTRACT

In January 2017, after intense precipitation, a series of mass movements occurred in the Rolante River Basin, causing serious impacts to the local population. This study aimed to relate soil attributes extracted from the ALOS-PALSAR digital elevation model with the scars mapped from the event. Eleven morphometric attributes were obtained, which were analyzed from the extraction of descriptive statistics, the linear correlation index and the box charts. Attributes such as elevation, slope, LS factor and valley depth were very efficient in the differentiation of areas of occurrence of mass movements, whereas attributes widely used in the literature, such as TWI and relief orientation, did not present well defined patterns for the movements in the Rolante River Basin.

Key words — Digital Elevation Model, ALOS-PALSAR, Disasters, Descriptive Statistics.

1. INTRODUÇÃO

Os desastres relacionados a fenômenos naturais extremos são responsáveis por perdas e danos nos âmbitos social, econômico e ambiental, em escala global [1]. Em algumas situações, as intervenções antrópicas resultantes do processo de urbanização, como modificações de vertentes, impermeabilização do solo, remoção de vegetação, entre outros, podem ser consideradas como fatores condicionantes para a ocorrência de eventos adversos [2].

Em janeiro de 2017, após chuvas intensas e concentradas, houve uma série de movimentos de massa que deslocou grande quantidade de materiais para o fundo do vale do rio Mascarada, na bacia hidrográfica do rio Rolante, RS. Os materiais formaram barreiras naturais ao longo do canal e o rompimento dessas feições gerou uma das maiores enxurradas registradas no município de Rolante [3].

Para melhor gestão de áreas suscetíveis a esses eventos, é indispensável o estudo da morfometria da superfície terrestre, que visa compreender a conformação geomorfológica e a configuração da paisagem, na quantificação das partes físicas da bacia, que refletem na hidrologia formada sob condições geográficas e climáticas similares [4].

Vários parâmetros morfométricos são usados para análise de bacias hidrográficas, entre eles pode-se citar magnitude da rede de drenagem, comprimento total dos canais de escoamento, densidade da drenagem, coeficiente de manutenção, altimetria, declividade, comprimento de vertente, formas do relevo, gradiente de inclinação, posição de inclinação, aspecto, profundidade de vale, etc. [5][6]. Com esses parâmetros, é possível avaliar as condições da bacia em relação a desastres naturais como inundações, enxurradas e movimentos de massa.

Este estudo teve como objetivo analisar e correlacionar atributos morfométricos extraídos de um modelo digital de elevação (MDE) com um inventário de cicatrizes de movimentos de massa ocorridos em 2017 na bacia do rio Rolante, RS.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização da área de estudo

A bacia do rio Rolante está localizada na porção nordeste do RS (Figura 1). O rio pertence à bacia hidrográfica do rio dos Sinos, um dos principais rios da Região Hidrográfica do Guaíba. Inserida em grande parte na unidade geomorfológica da Serra Geral, a região é composta, principalmente por rochas basálticas e areníticas, possuindo áreas com depósitos de sedimentos nas margens dos rios. Os principais usos e cobertura da terra se referem às florestas, pastagens, plantações e silvicultura.

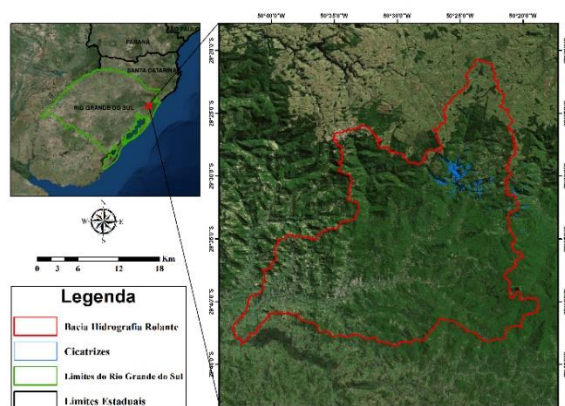


Figura 1. Mapa de localização da Bacia do Rio Rolante

2.2 Metodologia

A primeira etapa do estudo envolveu o mapeamento das cicatrizes dos movimentos de massa ocorridos em 2017 por meio da vetorização manual com o uso de imagens do *software* Google Earth datadas de 24/08/2017. Os polígonos foram exportados para o formato *shapefile*, visando o processamento em ambiente de Sistema de Informação Geográfica.

Em seguida, para extração dos atributos morfométricos, foi utilizado um MDE com resolução espacial de 12,5 m, do sensor PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) a bordo do satélite japonês ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*). A partir do MDE, utilizando os *softwares* SAGA GIS e ArcGIS 10.3, foram extraídos 11 atributos morfométricos da área em estudo, os quais são descritos no Quadro 1.

Na terceira etapa, o inventário de cicatrizes foi convertido de polígonos para o formato de pontos, um em cada pixel das imagens de atributos do terreno. Paralelo a isso, foi gerado um polígono envolvendo o inventário, e obtidos pontos aleatórios externos às cicatrizes, os quais foram considerados como amostras de não ocorrência de movimentos de massa. Desta forma, o conjunto amostral para análise estatística foi composto por pontos localizados no interior das cicatrizes (1) e pontos externos (0).

Quadro 1. Atributos morfométricos extraídos do MDE.

Atributo Morfométrico	Descrição
Elevação (ELV)	Define valores de elevação em relação a um referencial.
Declividade (DCL)	Mudança máxima na elevação da distância entre a célula e seus oito vizinhos.
Orientação do Terreno (ORT)	Identifica a direção descendente da taxa máxima de mudança de valor de cada célula para seus vizinhos.
Sombreamento (SMB)	Ângulo entre a superfície e os feixes de luz recebidos.
Curvatura Horizontal (CVH)	Mede a convergência ou divergência ao longo da superfície terrestre.
Curvatura Vertical (CVV)	Exibe a forma ou a curvatura do terreno no plano vertical.
Fator LS	Cálculo do fator de comprimento de declive com base na inclinação e na área de captação específica.
<i>Topographic Wetness Index</i> (TWI)	Mostra a propensão de um local ser saturado com água.
Fluxo Acumulado (FAC)	Área de drenagem a montante de cada célula.
Distância Vertical à Hidrografia (DVH)	Calcula a distância vertical para um nível de base da rede de drenagem.
Profundidade do Vale (PRV)	Relaciona o desnível altimétrico entre a rede de drenagem e as linhas de cumeadas e topos de morros.

Os valores de cada atributo morfométrico foram extraídos para o conjunto amostral, resultando em uma tabela para análise estatística em relação às áreas de ocorrência e de não ocorrência de movimentos de massa. Os seguintes indicadores foram analisados: i) estatísticas descritivas centrais e de dispersão, tais como mínimos, máximos, médias e desvios; ii) gráficos de caixas (*boxplot*) de cada atributo, buscando identificar aqueles que melhor descrevem e separam os dois tipos de amostras; iii) análise de correlação linear dos atributos, de modo a selecionar os aspectos morfométricos que mais influenciam na ocorrência dos movimentos de massa na área de estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao final do inventário, foram detectadas 308 cicatrizes em imagens de agosto de 2017. A área total aproximada dessas cicatrizes resultou em aproximadamente 70,4 hectares, sendo 0,22 hectares de média, 0,006 de valor mínimo e 3,56 de valor máximo.

Os atributos extraídos do MDE ALOS-PALSAR são apresentados na Figura 2. A ELV média na Bacia do Rolante é de 641 m, a ORT tem predominância para S – SE e a DCL média é relativamente baixa, com valores em torno de 26°. O único valor com média negativa é CVH (-0,05).

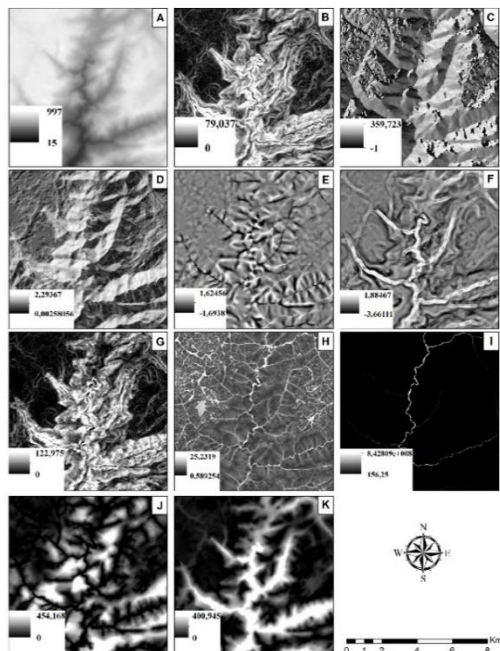


Figura 2. Atributos Morfométricos extraídos a partir do MDE ALOS-PALSAR. A) ELV; B) DCL; C) ORT; D) SMB; E) CVH; F) CVV; G) LS; H) TWI; I) FAC; J) DVH; L) PRV.

O conjunto amostral, obtido a partir das cicatrizes e dos pontos aleatórios externos a elas, resultou em 28.659 amostras centralizadas em pixels do MDE. Destes, 19.659 se referem a áreas de ocorrência (Classe 1) e 9.000 se referem a locais onde não ocorreram (Classe 0).

Em relação às estatísticas de cada atributo, pode-se afirmar que os movimentos de massa ocorreram em áreas de menor elevação, com média de 584 m e desvio padrão de 141 m, bem inferior ao valor obtido nos pontos de não ocorrência, de 768 m para média e de 178 m para o desvio padrão.

Outro resultado relevante se refere à declividade média, que foi bem superior nas áreas de ocorrência (31,0°) do que nas demais áreas (15,4°). Um padrão semelhante foi observado em outros estudos de movimentos de massa [7][8].

Foi possível destacar também que a forma de relevo predominante nas amostras de ocorrência está associada à curvatura horizontal convergente e vertical côncava, diferentemente dos demais pontos amostrais, que apresentam uma neutralidade nos índices de curvatura. Esse resultado também é amparado pela literatura científica [7]. Além disso, os movimentos de massa predominaram em locais com maior profundidade dos vales, com média de 154 m. Nos pontos de não ocorrência o valor foi bem inferior, de apenas 56 m.

A Figura 3 mostra os gráficos de caixa dos atributos do terreno, separados nas duas classes amostrais. Esse tipo de gráfico sintetiza a distribuição dos valores dos atributos por quartis, revelando a separação ou confusão entre as classes.

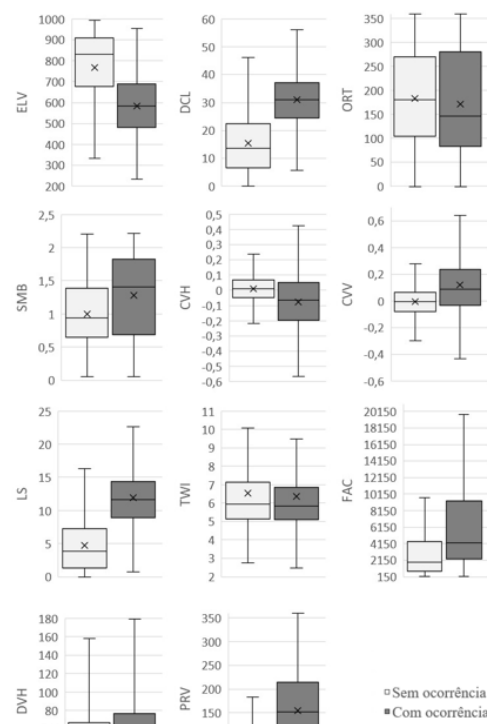


Figura 3. Gráficos de caixa (boxplots) para os atributos morfométricos em relação às amostras de ocorrência (1) e não ocorrência (0).

Observa-se que os atributos ORT, TWI e DVH foram os que apresentaram maior confusão entre as classes. Para esses aspectos morfométricos, não foram identificadas, na área de estudo, tendências espaciais na distribuição dos movimentos de massa.

Por outro lado, os índices relacionados à curvatura do terreno, à elevação, à profundidade dos vales, às declividades e ao fator LS apresentaram um padrão de valores bem diferenciado para as classes de ocorrência e não ocorrência. Pode-se afirmar, portanto, que se tratam de atributos mais relevantes para explicar os movimentos na área de análise.

Na Tabela 1 são apresentadas as correlações lineares entre os atributos morfométricos, além do índice de correlação em relação às classes de ocorrência e de não ocorrência de movimentos de massa. Os valores foram obtidos para a totalidade do conjunto amostral.

Relacionando os atributos, se observa uma forte correlação positiva (0,8) entre a declividade e o fator LS, indicando que esses atributos apresentam um grau elevado de dependência entre si. Outro índice relevante se refere à correlação negativa (-0,77) entre a elevação e a profundidade dos vales. Ainda assim, de modo geral, pode-se considerar

que os atributos apresentam um satisfatório grau de independência, uma vez que os valores de correlação linear tendem a 0.

Tabela 1. Correlação linear dos atributos morfométricos em relação à ocorrência de movimentos de massa.

	ELV	DCL	ORT	CVH	CVV	SMR	FAC	LS	TWI	PRV	VDH	CLASSE
ELV	1,00	-0,44	0,06	0,18	-0,40	-0,20	-0,13	-0,47	-0,10	-0,77	0,15	-0,49
DCL		1,00	-0,07	0,00	0,15	0,34	-0,08	0,81	-0,45	0,40	0,23	0,57
ORT			1,00	-0,03	-0,02	-0,59	0,00	-0,06	0,01	-0,06	-0,12	-0,05
CVH				1,00	-0,22	0,07	-0,09	-0,27	-0,41	-0,30	0,39	-0,20
CVV					1,00	0,00	0,13	0,19	0,20	0,59	-0,44	0,25
SMR						1,00	-0,04	0,31	-0,17	0,16	0,20	0,23
FAC							1,00	0,01	0,45	0,15	-0,08	0,04
LS								1,00	-0,11	0,49	0,03	0,57
TWI									1,00	0,20	-0,39	-0,03
PRV										1,00	-0,42	0,52
VDH											1,00	0,04

Outro resultado de destaque em relação à correlação linear apresentada na Tabela 1, se refere às variáveis que apresentam uma boa correspondência com as classes, isto é, que contribuem para separar e identificar as áreas de movimentos de massa. Nesse aspecto, se destacam: i) declividade (0,57); ii) fator LS (0,57); iii) profundidade dos vales (0,52); elevação (0,49).

Por outro lado, as variáveis ORT, FAC, TWI e DVH foram as que apresentaram os menores índices de correlação com o evento ocorrido em 2017. Isso complementa e reforça os resultados obtidos com a estatística descritiva e gráficos de caixa de que esses atributos não são representativos para a separação entre classes de ocorrência e de não ocorrência de movimentos de massa.

Os resultados apresentados são importantes na caracterização das áreas de movimentos de massa, uma vez que identificam os atributos do terreno mais relevantes. Como exemplo de aplicação de tais resultados, pode-se destacar a modelagem e mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa a partir de modelos matemáticos empíricos, que consideram a dependência numérica das variáveis independentes e as classes do mapa final. Esse tipo de modelo normalmente apresenta melhor resultado no mapeamento quando realizada uma pré-seleção dos atributos, evitando assim a redundância das informações ou o uso de variáveis pouco explicativas do fenômeno estudado [9].

4. CONCLUSÕES

Com base nos objetivos propostos, na metodologia aplicada e nos resultados obtidos, as principais conclusões foram:

- i) Atributos do terreno obtidos a partir de um MDE podem ser utilizados para diferenciar as áreas de ocorrência de movimentos de massa, com destaque para a elevação, declividade, fator LS, profundidade dos vales e curvatura da superfície;
- ii) Alguns atributos amplamente utilizados na literatura científica, tais como o TWI e a orientação do relevo, não

apresentaram um padrão bem definido nos movimentos de massa ocorridos em 2017 na bacia do rio Rolante;

iii) A análise estatística por meio de índices descritivos (medida central e dispersão), gráfico de caixas e da análise de correlação linear permitiram identificar as melhores variáveis para discriminar e entender a distribuição de áreas de ocorrência e não ocorrência de movimentos de massa.

5. AGRADECIMENTOS

À FAPERGS, pelo apoio financeiro, processo 17/2551-0000894-4, Edital 01/2017 e à CAPES, pelas bolsas de mestrado e doutorado.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Tominaga, L.K.; Santoro, J. e Amaral, R.D. “Desastres naturais: conhecer para prevenir”, Instituto Geológico, São Paulo, pp. 196, 2009.
- [2] Zêzere, J. L. “Dinâmica de vertentes e riscos geomorfológicos”, Universidade de Lisboa, Lisboa, pp. 128, 2005.
- [3] SEMA. “Diagnóstico Preliminar: Descritivo dos eventos ocorridos no dia 5 de janeiro de 2017 entre as regiões dos municípios de São Francisco de Paula e Rolante/RS”, Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Porto Alegre, pp. 26, 2017.
- [4] Costa, R.C.A. “Indicadores Morfométricos: uma ferramenta no diagnóstico da vulnerabilidade ambiental”, Dissertação de Mestrado, Unesp-Jaboticabal, pp. 78, 2015.
- [5] Pelegrino, M.H.P.; Silva, S.H.G.; Menezes, M.D.; Silva, E.; Owens, P.R. e Curi, N. “Mapping soils in two watersheds using legacy data and extrapolation for similar surrounding areas”, Ciência e Agrotecnologia, v.40, n.5, pp.534-546, 2016.
- [6] Xie, P., Wen, H.; Ma, C.; Baise, L. G. e Zhang, J. “Application and comparison of logistic regression model and neural network model in earthquake-induced landslides susceptibility mapping at mountainous region, China”, Geomatics, Natural Hazards and Risk, v.9, n.1, pp.501-523, 2018.
- [7] Meten, M.; Prakashbhandary, N. e Yatabe, R. “Effect of landslide factor combinations on the prediction accuracy of landslide susceptibility maps in the Blue Nile Gorge of Central Ethiopia”, Geoenvironmental Disasters, v.2, n.9, pp.1-17, 2015.
- [8] Samia, J.; Temme, A.; Bregt, A.; Wallinga, J.; Guzzetti, F.; Ardizzone, F. e Rossi, M. “Characterization and quantification of path dependency in landslide susceptibility”, Geomorphology, v.292, pp.16-24, 2017.
- [9] Oliveira, G.G.; Pedrollo, O.C. e Castro, N.M. “Simplifying artificial neural network models of river basin behaviour by an automated procedure for input variable selection”, Engineering Applications of Artificial Intelligence, v.40, pp.47-61, 2015.