

AVALIAÇÃO DA PERIGOSIDADE A DESLIZAMENTOS SUPERFICIAIS TRANSLACIONAIS EM SANTA MARTA DE PENAGUIÃO (VALE DO DOURO)

Susana PEREIRA¹, José Luís ZÊZERE¹, Carlos BATEIRA²

¹ *RISKam, Centro de Estudos Geográficos, IGOT, Universidade de Lisboa,*

Email: susana_pereira@campus.ul.pt

Email: zezere@campus.ul.pt

² *DyNaT, CEGOT, Universidade do Porto,*

Email: cbateira@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE

Deslizamentos; Perigosidade; Vale do Douro; SIG.

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se uma avaliação da perigosidade geomorfológica para o concelho de Santa Marta de Penaguião (70 km²), localizado na Região do Douro Vinhateiro. O inventário de movimentos de vertente baseou-se na interpretação de fotografias aéreas (escala 1: 5 000) e trabalho de campo, tendo sido identificados 734 deslizamentos translacionais superficiais. A susceptibilidade foi avaliada à escala 1:10 000 e o método do Valor Informativo foi utilizado para ponderar e integrar o conjunto de factores condicionantes. O modelo de susceptibilidade foi validado a partir da partição da base de dados de deslizamentos em dois grupos com 50% da população, com base num critério aleatório. Um grupo foi utilizado para construir o modelo de susceptibilidade e o outro foi usado para a sua validação independente e para o cálculo da taxa de predição. A perigosidade foi avaliada com base em probabilidades empíricas para um cenário de precipitação desencadeante equivalente a um evento ocorrido em Janeiro de 2001.

KEYWORDS

Landslides; Hazard; Douro Valley, Portugal; GIS

ABSTRACT

A landslide hazard assessment is developed in this study for the municipality of Santa Marta de Penaguião (70 km²), located in the Douro Wine Region. The landslide inventory was constructed based on aerial photo-interpretation (1:5.000 scale) and field work. The landslide database includes 734 shallow translational slides. The landslide susceptibility was assessed at the 1: 10 000 scale using the Information Value Method to weight the set of landslide predisposing factors. The susceptibility results were validated by partitioning the landside database in two groups with 50% of landslide population using a random criterion. The first landslide group was used as training group and the second landslide group was considered as validation group allowing the independent validation of the landslide susceptibility model by computing its prediction rate curve. Landslide hazard was assessed based on empirical probabilities and using a rainfall triggering scenario equivalent to an event occurred in January 2001.

1. INTRODUÇÃO

Varnes (1984) definiu o conceito de perigosidade como “a probabilidade de ocorrência de um processo potencialmente danoso [movimento de vertente] numa determinada área e num certo período de tempo”. O conceito de perigosidade (*hazard*) envolve três dimensões: espacial, temporal e a magnitude do evento. Assim, a perigosidade a movimento de vertente pode ser definida como a probabilidade de ocorrência de um evento de determinada magnitude numa área específica (Crozier e Glade, 2005).

Este trabalho tem como objectivo principal a avaliação da susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos translacionais superficiais (cuja área é uma variável *proxy* da magnitude) e um cenário de perigosidade utilizando uma abordagem estatística/probabilística no concelho de Santa Marta de Penaguião. A área de estudo localiza-se na paisagem do Douro Património Mundial (UNESCO), que tem sido afectada por processos de instabilidade de vertentes, justificando a implementação de medidas de protecção contra os deslizamentos.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no Maciço Antigo onde as rochas plutónicas e metamórficas são dominantes. No final da tectogénese, a cadeia Hercínica foi afectada por uma intensa fracturação que controlou a evolução geomorfológica regional (Ferreira, 1991). Neste contexto, Santa Marta de Penaguião é atravessada pela falha regional Verín-Régua-Penacova, correspondente a um desligamento tardi-hercínico com a direcção NNE-SSW (Ferreira, 1991). A deformação tectónica explica também o encaixe vigoroso da rede hidrográfica e a presença de vertentes declivosas. As altitudes na área de estudo variam de 70 a 1416 metros.

A área de estudo é composta predominantemente por rochas metamórficas contrastadas (e.g., filitos, metagrauvaques, metaquartzogruvaques e quartzitos). Estas rochas encontram-se bastante fracturadas e os materiais alterados são abundantes em rochas laminadas ricas em argila. A maior parte da área (73%) é ocupada pela Formação da Desejosa, composta por filitos com laminações finas e paralelas, metagrauvaques e metaquartzogruvaques. A Formação do Pinhão, composta por filitos cloríticos, quartzo clorítico e grauvaques metaquartzíticos, ocupa 23% da área de estudo. No sector norte localizam-se duas manchas de granito de grão médio a grosseiro e no sector oeste encontram-se conglomerados e quartzitos (Pereira, 2000).

A paisagem está fortemente marcada pela monocultura da vinha em terraços agrícolas. Mais de 52% da área de estudo está ocupada com vinha (ver tabela 1). A vinha desenvolve-se predominantemente nas vertentes expostas ao quadrante Sul e plantada em terraços agrícolas com muros de suporte com xisto. Recentemente estas estruturas têm vindo a ser substituídas por patamares agrícolas sem estruturas de suporte, que aumentam a instabilidade de vertentes por deslizamentos superficiais.

O principal factor desencadeante de movimentos de vertente é a precipitação e a precipitação média anual varia entre os 700 mm no fundo dos vales e os 2500 mm no topo da Serra do Marão.

3. METODOLOGIA

A Tabela 1 apresenta o conjunto de factores condicionantes de deslizamentos e as respectivas classes utilizadas para avaliar a susceptibilidade em ambiente de SIG.

A avaliação da susceptibilidade foi realizada com base na metodologia descrita por Zêzere et al.

(2004, 2008), utilizando o conceito de função de favorabilidade (Chung e Fabri, 1993). A ponderação das variáveis na avaliação da susceptibilidade a deslizamentos translacionais superficiais foi realizada com base no método de estatística bivariada do Valor Informativo. Este método foi proposto por Yan (1988) e está descrito em Yin and Yan (1988).

A qualidade do zonamento da susceptibilidade foi avaliada, numa primeira fase, através da determinação da taxa de sucesso do modelo (Chung and Fabbri, 2003). A taxa de sucesso foi calculada depois de ordenar de forma descendente os valores de susceptibilidade obtidos e cruzando esses resultados com os mesmos deslizamentos utilizados para ponderar os factores condicionantes. Em seguida, realizou-se uma validação independente do modelo de susceptibilidade, realizando uma partição aleatória da população total de deslizamentos (734 deslizamentos translacionais superficiais) em dois grupos, cada um com 50% dos deslizamentos.

O primeiro grupo foi utilizado para construir um novo modelo de susceptibilidade e o segundo foi usado para a sua validação independente e para o cálculo da correspondente taxa de predição (Figura 1). As rupturas de declive das curvas das taxas de predição foram utilizadas para definir as classes de susceptibilidade (Figura 1), como foi proposto por Zêzere et al. (2004).

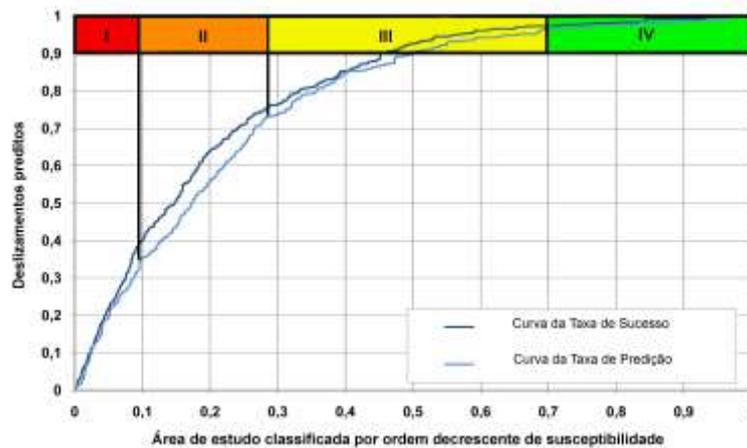


Figura 1 – Curvas de sucesso e de predição do modelo de susceptibilidade a deslizamentos translacionais baseados na partição aleatória do inventário de movimentos de vertente.

A probabilidade de um pixel ser afectado por um deslizamento no futuro pode ser estimada para diferentes cenários, baseada na seguinte equação (Zêzere et al., 2004):

$$P = 1 - \left(1 - \frac{At}{Ay} \text{predy}\right)$$

Onde: At é a área total que será afectada por deslizamentos num cenário desencadeante, correspondendo a um período de retorno específico; Ay é a área total de susceptibilidade a deslizamentos na classe y ; e predy é o valor preditivo da classe de susceptibilidade y .

A perigosidade foi avaliada sob a forma de probabilidades empíricas, com base num cenário de instabilidade igual ao que ocorreu em Janeiro de 2001, que desencadeou 603 deslizamentos translacionais superficiais (área instabilizada de 93029 m²). Assume-se que a repetição de um evento de precipitação igual ao verificado em 2001 desencadeará as mesmas consequências na área de estudo (i.e., o mesmo número de deslizamentos e uma área total instável equivalente).

A discussão sobre as condições de precipitação responsáveis pelo desencadeamento de

deslizamentos na área de estudo pode ser encontrada em Pereira (2010) e Pereira et al. (2010). O evento de instabilidade de Janeiro de 2001 está associado a um evento de precipitação de 97.2 mm em 72 horas (período de retorno = 1.71 anos) combinado com uma precipitação antecedente de 10 dias de 169,9 mm (período de retorno = 1.59 anos) (registos de precipitação de Vila Real). Como o evento de precipitação e a precipitação antecedente são independentes, o período de retorno da combinação de precipitação é de 2.72 anos.

Tabela 1 – Mapas temáticos e respectivos Valores Informativos utilizados na avaliação da susceptibilidade. Os valores a negrito estão mais relacionados com a distribuição de deslizamentos.

Mapa Temático	ID	N.º de píxeis da classe	N.º de píxeis com deslizamentos por classe	Valor Informativo	Fonte de Informação
Declives					
>5º	1	143741	54	-1,351	Derivado do MDE (pixel de 5 m)
5º - 10º	2	140941	52	-1,369	
10º - 15º	3	297019	264	-0,490	
15º - 20º	4	525664	674	-0,123	
20º - 25º	5	605629	996	0,125	
25º - 30º	6	500622	914	0,230	
30º - 35º	7	314102	674	0,392	
>35º	8	244144	393	0,104	
Exposições					
Plano	1	145775	89	-0,865	Derivado do MDE (pixel de 5 m)
N	2	350946	130	-1,365	
NE	3	365169	228	-0,843	
E	4	372137	475	-0,128	
SE	5	378360	1025	0,625	
S	6	323250	995	0,752	
SW	7	279829	503	0,214	
W	8	267250	307	-0,233	
NW	9	289142	269	-0,444	
Perfil transversal das vertentes					
Côncavo	1	1156500	1846	0,273	Derivado do MDE (pixel de 5 m)
Rectilíneo	2	238500	455	-0,546	
Convexo	3	1377700	1720	-0,428	
Unidades Geomorfológicas					
Depressão tectónica	1	31790	1	-1,7	Análise do MDE, Mapa Litológico; Trabalho de Campo;
Interflúvios aplanados	2	310778	85	-1,7	
Planície de Inundação	3	43132	81	0,258	
Vales encaixados em xistos da Formação da Desejosa	4	1374026	1909	-0,043	
Vertentes declivosas em quartzitos	5	26723	0	-1,700	
Vales encaixados em metaquartzograuvaques	6	442956	645	0,004	
Vertentes complexas em granito	7	36240	53	0,008	
Vertentes controladas pela tectónica	8	505905	1247	0,530	
Litologia					
Quartzitos	1	24559	0	-0,300	Mapa Geológico (escala 1:50000 e 1: 200000); validação com interpretação de ortofotomapas e trabalho de campo
Conglomerados	2	12738	0	-0,300	
Granito	3	63376	70	-0,274	
Formação do Pinhão	4	650770	880	-0,071	
Aluviões	5	5420	0	-0,300	
Formação da Desejosa	6	2012387	3070	0,049	
Uso do solo					
Florestas degradadas, cortes e novas plantações	1	212129	8	-3,650	Corine Land Cover 2000 (escala 1: 100 000), validação com interpretação de ortofotomapas e trabalho de campo
Floresta mista	2	439505	127	-1,613	
Agricultura em espaços naturais	3	349661	283	-0,583	
Vinha	4	1432187	3446	0,506	
Floresta de Folhosas	5	126730	31	-1,780	
Matos	6	74741	19	-1,741	
Olivais	7	12651	0	-3,700	
Pastagens Naturais	8	60342	0	-3,700	
Vegetação esparsa	9	602	0	-3,700	
Área urbana descontínua	10	31103	89	0,679	
Floresta de resinosas	11	32650	18	-0,967	
Estruturas de suporte de solos					
Patamares agrícolas	1	482510	922	0,275	Interpretação de ortofotomapas e validação com trabalho de campo
Terraços com muros em xisto	2	954280	2514	0,597	
Terraços Florestados com muros em xisto	3	37685	14	-1,362	
Vertente Natural	4	1297054	571	-1,193	

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O inventário de movimentos de vertente inclui 734 deslizamentos translacionais superficiais, o que corresponde a uma densidade de 10,5 por km². A área média destes movimentos é de 137 m² e a sua profundidade varia entre 1 e 1,5 metros.

A sobreposição de 7 temas independentes permitiu a identificação de 10.058 unidades de condições únicas e o Valor Informativo varia numa escala contínua não classificada entre -10.139 (susceptibilidade baixa) e 3.229 (susceptibilidade elevada).

A Áreas Abaixo da Curva (AAC) do modelo de susceptibilidade é, como seria de esperar, mais elevada na taxa de sucesso (0.802) do que na taxa de predição (0.780). Como já foi referido, as classes de susceptibilidade foram definidas a partir das rupturas de declive da curva de predição, a qual é ainda utilizada para a definição de probabilidades espaciais empíricas. Assim, a classe de susceptibilidade I inclui 10% da área de estudo e é a mais propensa à ocorrência de deslizamentos. Partimos do princípio de que 35,4% dos futuros deslizamentos translacionais superficiais ocorrerão nesta classe de susceptibilidade. A segunda classe de susceptibilidade inclui 18,4% da área de estudo e valida 37,7% dos futuros deslizamentos. As classes III e IV são menos susceptíveis à ocorrência de deslizamentos.

Para o cenário de perigosidade de 2.72 anos (Figura 2) a probabilidade de ocorrência é mais elevada para a Classe I (4.80×10^{-3} por pixel) e mais baixa para a classe IV (1.53×10^{-4} por pixel).

5. CONCLUSÕES

Os deslizamentos translacionais da área de estudo são tipicamente de pequena dimensão e os seus vestígios são rapidamente apagados nas áreas agrícolas devido à reconstrução de terraços e à lavra. Os deslizamentos inventariados verificaram-se durante a última década e devem ser registados imediatamente após a sua ocorrência para produzir inventários mais rigorosos e melhorar o zonamento da susceptibilidade. Apesar destas limitações o inventário revelou-se credível para a avaliação da susceptibilidade.

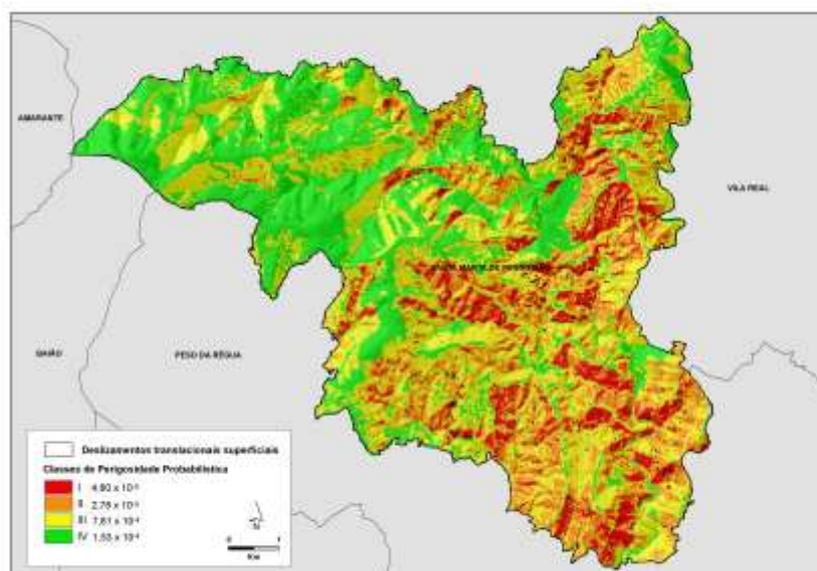


Figura 2 – Perigosidade probabilística para deslizamentos translacionais superficiais desencadeados num cenário de precipitação igual ao de Janeiro de 2001.

Os factores condicionantes dos deslizamentos foram seleccionados tendo em conta o seu

significado físico, as especificações da área de estudo (e.g. estruturas de suporte das vertentes) e disponibilidade de informação (e.g. DEM baseado em curvas de nível com uma equidistância de 10 m). Os resultados obtidos na análise dos factores condicionantes de instabilidade são bastante satisfatórios. As combinações de condições mais favoráveis ao desenvolvimento de deslizamentos superficiais translacionais são as seguintes: declives superiores a 25º, exposições a Sul e Sudeste, perfil geral das vertentes côncavo, presença de filitos laminados da Formação da Desejosa, áreas controladas pela tectónica e ocupadas com vinha e terraços com muros de suporte.

As classes mais elevadas de susceptibilidade localizam-se ao longo do vale do Rio Corgo, em vertentes controladas pela tectónica e em vales encaixados na Formação da Desejosa.

A análise probabilística da perigosidade é realizada apenas com base num cenário de precipitação desencadeante e a relação entre a quantidade de precipitação e a magnitude do evento não é linear, pelo que não é possível generalizar estes resultados para outros cenários instabilidade de vertentes.

BIBLIOGRAFIA

- Chung CF, Fabbri A (1993) The representation of geosciences information for data integration, *Nonrenewable Resources*, 2 (2): 122-138.
- Chung, CF, Fabbri A (2003) Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natural Hazards*, 30: 451-472.
- Ferreira AB (1991) Neotectonics in Northern Portugal: a geomorphological approach. *Z. Geomorphologie N.F.*, 82: 73-85.
- Pereira E (coord.) (2000) Carta Geológica de Portugal, 1:200 000: Folha 2, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- Pereira S (2010) Perigosidade a Movimentos de vertente na Região Norte. Dissertação de doutoramento, Universidade do Porto.
- Pereira S, Zêzere JL, Bateira C (2010) Potencialidades dos limiares empíricos de precipitação para o desencadeamento de fluxos de detritos e de lama na Região Norte. Actas do VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física, vol. 4, Coimbra.
- Varnes D, Intern. Ass. of Eng. Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes (1984) *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*, UNESCO, Paris.
- Yan TZ (1988) Recent advances of quantitative prognoses of landslide in China. In: *Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, edited by: Bonnard, C., Vol. 2, Balkema, Rotterdam, 1263-1268.
- Yin KL, Yan TZ (1988) Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks, in: *Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, edited by: Bonnard, C., Vol. 2, Balkema, Rotterdam: 1269-1272.
- Zêzere JL, Reis E, Garcia R, Oliveira S, Rodrigues ML, Vieira G, Ferreira AB (2004) Integration of spatial and temporal data for the definition of different landslide hazard scenarios in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4: 133-146.
- Zêzere JL, Garcia R, Oliveira S, Reis E (2008) Probabilistic landslide risk analysis considering direct costs in the area north of Lisbon (Portugal). *Geomorphology*, 94 (3-4): 467-495.