

Avaliação e validação temporal da susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos rotacionais e translacionais superficiais (área-amostra de Calhandriz)

Rotational and shallow translational slides susceptibility assessment and temporal validation (test-site of Calhandriz)

R. Melo¹, J. L. Zêzere¹, S. Oliveira¹, A. Piedade¹, C. Henriques¹

¹Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, Alameda da Universidade 1600-214 Lisboa.

Abstract

This work presents the assessment and validation using a temporal criterion of rotational and shallow translational slides susceptibility. The statistical method of the Information Value is used to model susceptibility using a landslide inventory produced by Zêzere (1997) for the test-site of Calhandriz. The temporal validation is based on the analysis of the predictive capability of the landslide susceptibility models when confronted with the same type of slides occurred in the study area from January to March 2010. This quantitative evaluation showed a predictive ability of 81% for the rotational slides and 79% for shallow translational slides, which suggest a good capacity to predict new areas where the phenomenon may occur.

Keywords

Rotational slides, shallow translational slides, temporal validation, Informative Value method.

Sumário

Este trabalho apresenta a validação temporal dos modelos de susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos rotacionais e translacionais superficiais elaborados com o método estatístico do Valor Informativo, a partir do inventário de movimentos de vertente produzido por Zêzere (1997) para a área-amostra de Calhandriz. A validação temporal foi efectuada com base na análise da capacidade preditiva destes modelos quando confrontados com o mesmo tipo de deslizamentos ocorridos nesta área entre Janeiro e Março de 2010. Esta avaliação quantitativa demonstrou que a capacidade preditiva dos modelos se situa na ordem dos 81% para os deslizamentos rotacionais e 79% para os deslizamentos translacionais superficiais, o que sugere uma boa aptidão para detectar novas áreas de ocorrência do fenómeno em estudo.

Palavras-Chave

Deslizamentos rotacionais, deslizamentos translacionais superficiais, validação temporal, método do Valor Informativo.

Introdução

A área-amostra de Calhandriz, situada na Região a Norte de Lisboa, está integrada na bacia hidrográfica do Rio Silveira e possui cerca de 11,2km². A altitude varia entre os 43 e os 359m e as vertentes apresentam uma exposição dominante ao quadrante sul, acompanhando o pendor geral das formações geológicas. 62% da área total possui declives compreendidos entre os 5 e os 15 graus.

A área-amostra de Calhandriz integra três unidades litológicas. As “margas da Abadia”, do Kimeridgiano inferior e médio, abrangem cerca de 30% da superfície total da área e referem-se a uma unidade litológica heterogénea, onde predominam as margas e argilas, com intercalações de arenitos, calcarenitos e camadas lenticulares de calcários recifais. Os “calcários corácicos de Amaral”, do Kimeridgiano superior, ocupam 13,5% da área e correspondem a uma unidade litológica com uma espessura reduzida, muito compacta, e responsável pela formação de cornijas. Por último, os “calcários e margas de Arranhó”, do Kimeridgiano superior - Portlandiano inferior, abrangem cerca de 55% da área-amostra e dizem respeito a uma unidade litológica bastante heterogénea, incluindo margas e calcários margosos, com intercalações de argilas, calcarenitos e calcários compactos que também dão

origem a cornijas. Os fundos dos vales principais estão preenchidos por uma cobertura aluvial, que ocupa cerca de 1,5% da superfície da área-amostra.

De acordo com Zêzere (1997), encontram-se na área-amostra de Calhandriz alguns dos maiores movimentos de vertente da Região a Norte de Lisboa.

Objectivos

O inventário de movimentos de vertente elaborado por Zêzere (1997) para a área-amostra de Calhandriz, através de levantamentos de campo sistemáticos, integra um elevado número de ocorrências, não só devido à grande variedade de movimentos existentes, como também devido aos levantamentos de campo terem sido realizados imediatamente após o período de intensa actividade morfodinâmica ocorrida em Novembro e Dezembro de 1989. Consequentemente, o autor elaborou modelos de susceptibilidade à ocorrência dos diferentes tipos de movimentos de vertente, entre os quais dos deslizamentos rotacionais e translacionais superficiais. Durante o período compreendido entre Janeiro e Março de 2010, verificou-se a existência de um novo conjunto de movimentos de vertente na área de estudo, os quais foram imediatamente inventariados, à semelhança do que tinha sido feito anteriormente. Desta forma, a existência de dois inventários para a mesma área-amostra, em períodos de tempo distintos, possibilitou a validação temporal dos modelos elaborados por Zêzere (1997), bem como a avaliação quantitativa da sua capacidade de aferir áreas potencialmente sujeitas à ocorrência de instabilidade. Importa referir que a validação foi efectuada para os deslizamentos rotacionais e translacionais superficiais, atendendo a que, no evento de 2010, não se verificaram ocorrências significativas de outros tipos de movimentos.

Metodologia

Os modelos de susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos rotacionais e translacionais superficiais foram elaborados através do método do Valor Informativo (VI).

O Valor Informativo é um método estatístico que pressupõe uma definição prévia de unidades de terreno (no caso de estudo, unidades matriciais com 5m de lado) e a consideração de um conjunto de factores que controlam a resposta da variável dependente. Para cada uma das variáveis em estudo é determinado o respectivo Valor Informativo, a partir da equação 1 (Yin e Yan, 1988):

$$I_i = \log \frac{S_i / n_i}{S / n} \quad 1$$

onde I_i é o Valor Informativo da variável i ; S_i é o número de unidades de terreno com deslizamentos de tipo y (variável dependente) e com a presença da variável x_i (variável independente); n_i é o número de unidades de terreno com a presença da variável x_i ; S é o número total de unidades de terreno com deslizamentos de tipo y ; e n é o número total de unidades de terreno. O Valor Informativo total de uma unidade de terreno j é determinado pela equação 2:

$$I_j = \sum_{i=0}^m X_{ij} I_i \quad 2$$

onde m corresponde ao número de variáveis; e X_{ij} assume o valor 0 se a variável não se encontra presente na unidade de terreno e 1 na sua presença. Quando o valor de I_i é negativo, considera-se que a variável independente não é determinante na ocorrência da variável dependente. Já os resultados positivos indicam uma relação entre a presença da variável independente e a ocorrência da variável dependente, tanto mais acentuada quanto maior for o score.

No presente trabalho, consideram-se as seguintes variáveis independentes: declive (9 classes), exposição (9 classes), curvatura das vertentes (3 classes), litologia (3 classes), espessura dos depósitos de vertente (2 classes), morfoestrutura (2 classes) e wetness index (5 classes). Da sobreposição dos 7 temas resultou a definição de cerca 4800 unidades de terreno de condição única.

Os modelos estatísticos permitem efectuar, posteriormente, uma avaliação quantitativa dos resultados, através da determinação da performance ou sucesso do modelo (taxa de sucesso) e da sua capacidade preditiva (taxa de predição) (Chung e Fabbri, 2003; Guzzetti et al., 2006).

Para calcular as taxas de sucesso é necessário cruzar o mapa final de susceptibilidade com o mapa dos deslizamentos a partir do qual se elaborou o modelo. Através deste cruzamento obtém-se, para cada condição de susceptibilidade, a área correspondente (área total), bem como a área relativa ao fenómeno em estudo e presente nessas mesmas condições de susceptibilidade (área dos deslizamentos). Uma vez obtidos estes dados, torna-se necessário ordenar de forma decrescente todos os valores de susceptibilidade. Posteriormente, calculam-se as frequências acumuladas da área total, bem como as frequências acumuladas da área dos deslizamentos. Para efectuar as taxas de predição utiliza-se esta mesma metodologia, com a diferença que o mapa final de susceptibilidade é elaborado com base nas ocorrências inventariadas por Zêzere (1997) (inventário 1) e o cruzamento é efectuado com o mapa correspondente às ocorrências mais recentes (inventário 2).

A transposição, para um gráfico de dispersão, das frequências acumuladas da área total e das frequências acumuladas da área dos deslizamentos, traduz-se na representação das curvas de sucesso ou de predição. Contudo, estas curvas possibilitam, somente, uma análise visual dos modelos. De forma a quantificar o nível de performance ou predição do modelo, bem como efectuar comparações entre modelos, é necessário calcular a Área Abaixo da Curva (AUC) (Van Den Eeckhaut et al., 2009).

Resultados

Através da comparação entre os dois inventários (quadro 1) é possível constatar que existem diferenças significativas nos parâmetros morfométricos dos deslizamentos rotacionais em questão.

Quadro 1. Parâmetros morfométricos dos deslizamentos rotacionais presentes nos inventários 1 e 2

	Nº de casos	Comp. Máx. (m)	Comp. Méd. (m)	Larg. Máx. (m)	Larg. Méd. (m)	Área média (m ²)	Área total (m ²)
Inventário 1	19	495	167	462	105	16 565	314 743
Inventário 2	9	106	63	92	48	2 224	20 014

O inventário 1 regista 19 deslizamentos rotacionais que abrangem uma área total de 314 743m², sendo que o maior possui 142 090m² e o mais pequeno 776m². Já o inventário 2 integra 9 registos, claramente com dimensões inferiores relativamente ao primeiro, sendo de ressaltar que o maior deslizamento rotacional possui uma área de 5 606m², enquanto que o menor abrange cerca de 194m².

Relativamente aos deslizamentos translacionais superficiais (quadro 2), o inventário 1 integra, igualmente, movimentos com maiores dimensões, embora a diferença não seja tão acentuada como acontece com os deslizamentos rotacionais.

Quadro 2. Parâmetros morfométricos dos deslizamentos translacionais superficiais presentes nos inventários 1 e 2

	Nº de casos	Comp. Máx. (m)	Comp. Méd. (m)	Larg. Máx. (m)	Larg. Méd. (m)	Área média (m ²)	Área total (m ²)
Inventário 1	59	138	50	61	31	1 148	67 723
Inventário 2	17	60	27	36	19	410	6 970

O inventário 1 possui 59 ocorrências, com áreas compreendidas entre 4 222 e 127m², enquanto que o inventário 2 regista 17 ocorrências com áreas entre os 1 017 e os 67m².

O modelo de susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos rotacionais, elaborado com base no inventário 1, pode ser observado na figura 1.

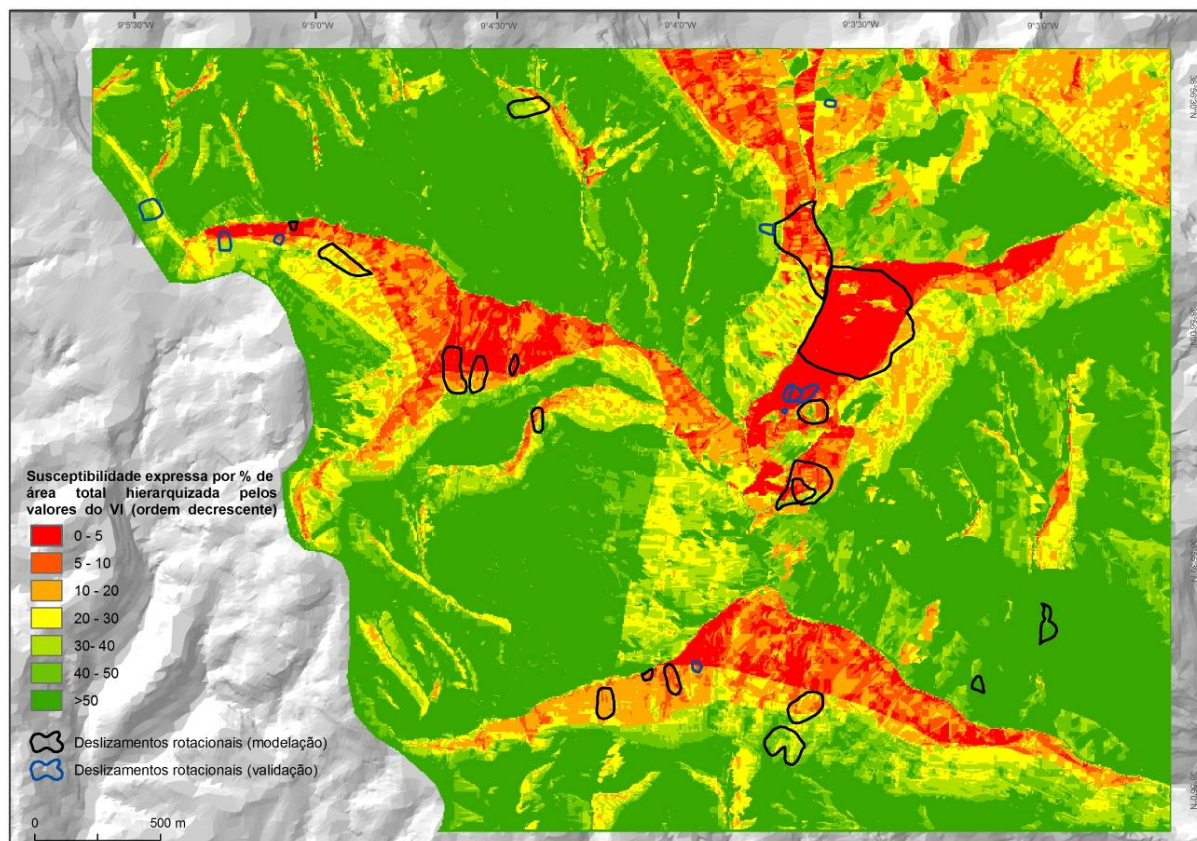


Figura 1. Modelo de susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos rotacionais, elaborado com base no inventário 1, através do método estatístico do Valor Informativo.

De acordo com o método estatístico do Valor Informativo, as classes da variável exposição com maior relação espacial com os deslizamentos rotacionais são as exposições a oeste e noroeste e, no que respeita à curvatura total, destacam-se as áreas côncavas. No caso dos depósitos de vertente, aqueles que possuem uma espessura superior a 0,5m são os que o modelo considera como mais importantes na ocorrência dos deslizamentos rotacionais, assim como a unidade litológica referente às margas da Abadia e as vertentes não cataclinais, no que respeita à morfoestrutura. Relativamente ao wetness index, os valores mais elevados são os que se consideram mais relevantes. As classes dos declives que se encontram acima dos 30°, embora apresentando um Valor Informativo pouco elevado, assumem uma importância relativa no contexto da variável.

De forma a estimar a performance e robustez do modelo, elaborou-se a taxa de sucesso (figura 2), com base na qual foi possível quantificar a sua eficácia através do cálculo da Área Abaixo da Curva (AUC). O resultado obtido foi de 88%. Relativamente à capacidade preditiva, determinada a partir do confronto do modelo com o inventário 2, o resultado da AUC foi de 81% (figura 2).

A curva de predição indica que nos 5% da área total classificada como mais susceptível aos deslizamentos rotacionais, se registaram 37% dos novos movimentos de vertente, valor que se alarga para 52% quando se consideram os 20% da área total classificada como mais susceptível. Quando

considerados os 50% da área de estudo com os valores de VI mais elevados, a percentagem de área instabilizada validada é de 97%.

O modelo de susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos translacionais superficiais, elaborado com base no inventário 1, pode ser observado na figura 3.

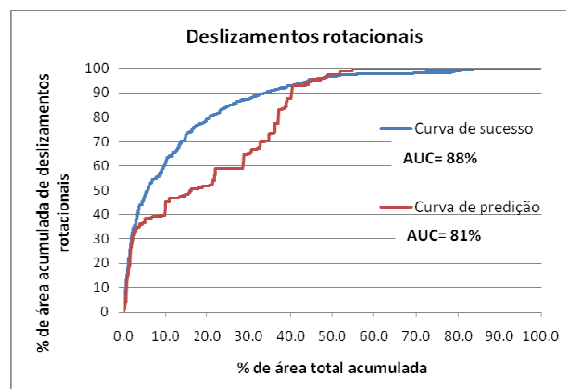


Figura 2. Taxa de sucesso e taxa de predição do modelo de susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos rotacionais.

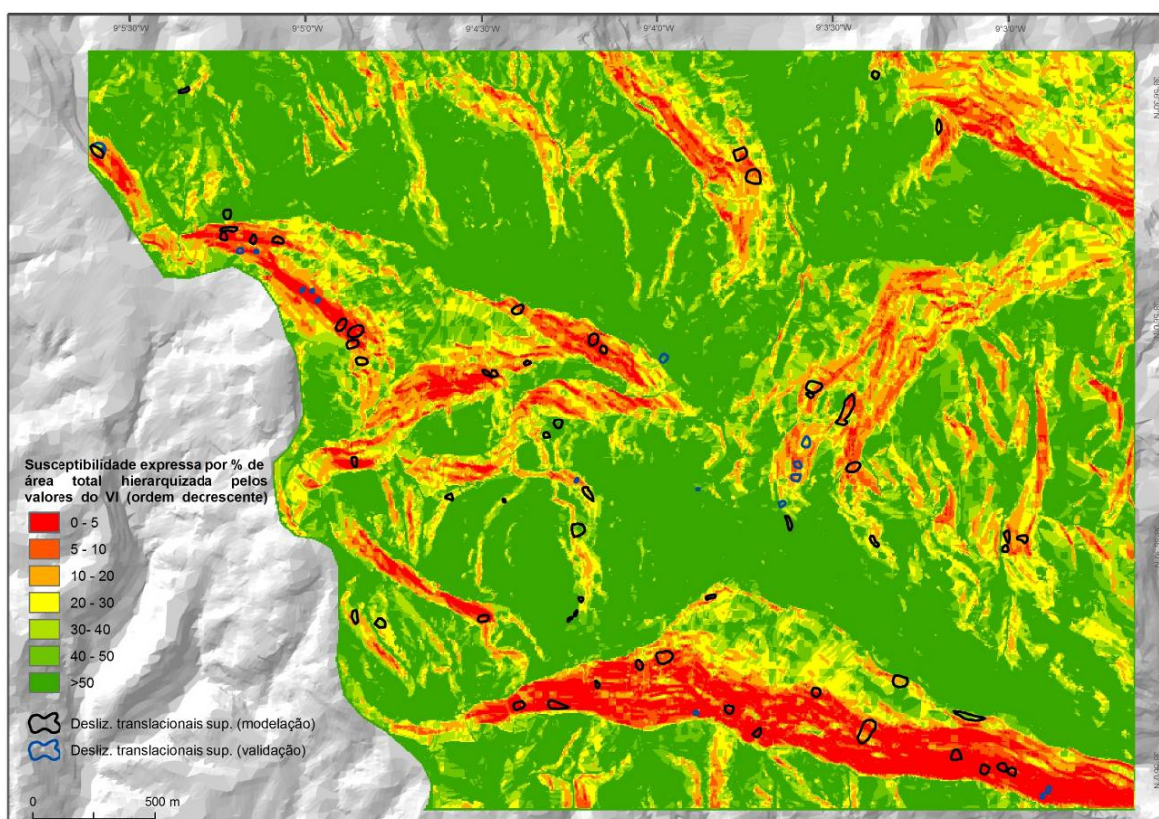


Figura 3. Modelo de susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos translacionais superficiais, elaborado com base no inventário 1, através do método estatístico do Valor Informativo.

As exposições mais preponderantes são as de norte e nordeste e, tal como nos deslizamentos rotacionais, destacam-se as áreas côncavas e as vertentes não cataclinais. Contudo, ao contrário daqueles, os depósitos superficiais com espessura inferior a 0,5m são os que apresentam uma maior relevância, assim como a unidade litológica respeitante aos calcários e margas de Arranhó.

Relativamente ao wetness index, os valores que reflectem uma menor propensão à acumulação de água são aqueles que se traduzem como os mais relevantes. Já no caso dos declives, todos aqueles que se encontram acima dos 30º são preponderantes na ocorrência deste tipo de deslizamentos. O resultado da AUC das curvas de sucesso e de predição foi de 84% e 79%, respectivamente (figura 4).

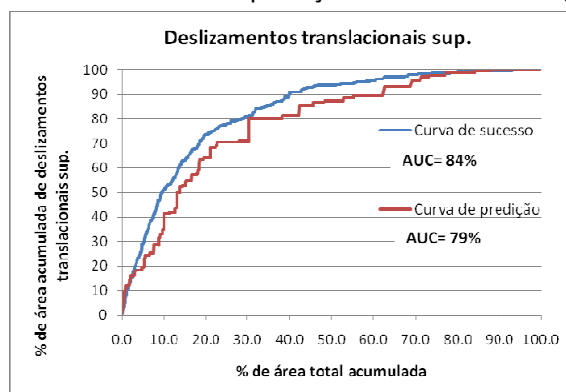


Figura 4. Taxa de sucesso e taxa de predição do modelo de susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos translacionais superficiais.

A curva de predição indica que nos 5% da área total classificada como mais susceptível aos deslizamentos translacionais superficiais, se registaram 19% dos novos movimentos de vertente, valor que se alarga para 64% quando se consideram os 20% da área total classificada como mais susceptível. Quando considerados os 50% da área de estudo com os valores de VI mais elevados, a percentagem de área instabilizada validada é de 87%.

Conclusões

Os diferentes tipos de deslizamentos têm distribuições espaciais distintas, determinadas por condicionalismos diferentes por parte dos factores de instabilidade. Esta conclusão retira-se dos scores do VI das diferentes classes das variáveis consideradas e resulta da distribuição dos movimentos de vertente do inventário 1.

Os movimentos de 2010 (inventário 2), para as duas tipologias, têm dimensões inferiores por comparação com os do inventário 1. Este facto é compreensível, atendendo a que o inventário 2 é um “inventário de evento” de magnitude limitada (Inverno de 2010), enquanto o inventário 1 é um inventário histórico, que inclui movimentos antigos, havendo a tendência para que apenas os maiores estejam conservados.

No entanto, apesar das diferenças morfométricas, os movimentos ocorridos em 2010 têm uma distribuição espacial que foi predita de modo muito satisfatório pelos modelos de susceptibilidade elaborados com base no inventário 1.

Agradecimentos

Este trabalho faz parte do Projecto *Développement d'Outils pour le Suivi des Mouvements de Sols dans le but d'aider au développement durable de la région SUDOE* (DO-SMS- SOE1/P2/F157), Interreg IV B SUDOE.

Referências bibliográficas

- Chung, C.-J., Fabbri, A., 2003. Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. *Natural Hazards*, 30(3): p.451-472.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., Ardizzone, F., 2006. Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology*, 81: p.166-184.
- Van Den Eeckhaut, M., Reichenbach, P., Guzzetti, F., Rossi, M., Poesen, J., 2009. Combined landslide inventory and susceptibility assessment based on different mapping units: an example from the Flemish Ardennes, Belgium. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9: p.507-521.
- Yin, K.L., Yan, T.Z., 1988. Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. In: C.Bonnard (ed.) *Proc. Fifth International Symposium in Landslides*, Lausanne, A.A. Balkema, Rotterdam, Holanda, 2: p.1269-1272.
- Zêzere, J. L., 1997. Movimentos de vertente e perigosidade geomorfológica na Região a Norte de Lisboa. Universidade de Lisboa. 539pp. (Tese de Doutoramento).