

Análise sensitiva dos factores de predisposição à instabilidade geomorfológica na área a norte de Lisboa

Sensitivity analysis of landslide predisposing factors in the area north of Lisbon

A. Piedade¹, J. L. Zêzere¹, R. A. C. Garcia¹, S. C. Oliveira¹

¹Centro de Estudos Geográficos. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa.
E-mail: aldinapiedade@campus.ul.pt

Abstract

The assessment of susceptibility associated to slope movements has evolved in recent years regarding methods, techniques and tools available. The indirect techniques to susceptibility mapping based on bivariate and multivariate statistical analysis, allow the validation of the landslide susceptibility models through data partition using temporal, spatial or random criteria. Both landslide assessment and validation are based on the assumption that the same causes are likely to generate the same effects, or in other words, the future slope movements are more likely to occur in areas with conditions similar to those that originate slope instability in the past. The sensitivity analysis of landslide susceptibility models is used to assess which predisposing factors have the higher contribution to increase the landslide susceptibility models performance. Therefore, the aim of this work is to apply a sensitivity analysis for shallow translational slides susceptibility models in two areas located in the region north of Lisbon: Fanhões-Trancão area and Lousa-Loures area. These two sample areas were chosen because they have similar geological and geomorphological characteristics and have been affected in recent years by the same type of slope movements. The obtained results through sensitivity analysis highlight the importance of the chosen variables to be use into the modelling procedures and which of them brings significant improvement to results of the landslide susceptibility models. The similar results obtained for both study areas give support and credibility to sensitive analysis as well as to landslide susceptibility outputs.

Keywords

Sensitivity analysis; Landslide Susceptibility; Shallow translational slides

Resumo

A avaliação da susceptibilidade a movimentos de vertente, especificamente a deslizamentos, tem evoluído no que se refere às técnicas e métodos, bem como às ferramentas que estão disponíveis para a sua avaliação. As técnicas de cartografia indirecta, baseadas em análises estatísticas bi-variadas e multi-variadas, permitem a validação dos modelos recorrendo à partição dos dados, através de um critério temporal, espacial ou aleatório, baseando-se no pressuposto de que os futuros movimentos de vertente devem ocorrer sob condições de terreno semelhantes às observadas nas áreas instabilizadas no passado. A análise sensitiva a modelos de susceptibilidade surge com o objectivo de aferir a importância relativa dos factores de predisposição, permitindo distinguir entre os factores que mais contribuem para melhorar a performance do modelo de susceptibilidade e aqueles que pouco acrescentam aos resultados finais. Neste contexto, é efectuada uma análise sensitiva a modelos de susceptibilidade a deslizamentos translacionais superficiais em duas áreas teste na região a Norte de Lisboa, inseridas no mesmo contexto geológico e geomorfológico: área de Fanhões-Trancão e área de Lousa-Loures. Os resultados obtidos da análise sensitiva aos modelos de ambas as áreas revelam-se esclarecedores quanto à importância da escolha dos parâmetros a inserir nos modelos, bem como no que respeita às variáveis que mais contribuem para o incremento da capacidade preditiva dos modelos de susceptibilidade a deslizamentos translacionais superficiais. O desenvolvimento do trabalho em duas áreas cujo contexto geológico e geomorfológico é semelhante é feito com o objectivo de atribuir uma maior robustez ao exercício da análise sensitiva e aos próprios resultados dos modelos de susceptibilidade.

Palavras-Chave

Análise sensitiva; Susceptibilidade; Deslizamentos translacionais superficiais

Introdução

A avaliação da susceptibilidade a movimentos de vertente tem actualmente à sua disposição métodos e técnicas que permitem a validação independente dos modelos obtidos, através do cruzamento de informação espacial. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitem a criação e o cruzamento de parâmetros de forma cada vez mais rápida e fiável, justificando o incremento de variáveis de entrada nos modelos de avaliação da susceptibilidade (Zêzere, 2005). Esta, independentemente do método utilizado, tem por base o pressuposto de que os futuros movimentos de vertentes têm maior probabilidade de ocorrência em condições semelhantes às que originaram instabilidade no passado.

O objectivo deste trabalho é efectuar uma análise sensitiva aos factores de predisposição utilizados na construção de modelos de susceptibilidade a deslizamentos translacionais superficiais, em duas áreas teste da região a Norte de Lisboa, inseridas no mesmo contexto geológico e geomorfológico: Fanhões-Trancão e Lousa-Loures.

Os modelos obtidos basearam-se em inventários de movimentos de vertente e num conjunto de 7 factores de predisposição, idênticos para ambas as áreas. Neste contexto, importa perceber se o aumento da quantidade de informação relativa aos factores de predisposição gera modelos de susceptibilidade com melhor capacidade preditiva. Assim, a análise sensitiva é aplicada no sentido de perceber como se comportam os diferentes factores de predisposição quando utilizados como variáveis num modelo de susceptibilidade a movimentos de vertente, tentando perceber quais os que mais contribuem para a explicação da distribuição espacial dos movimentos, identificando os factores de predisposição mais eficazes para a discriminação das áreas instáveis e estáveis, no que se refere aos deslizamentos translacionais superficiais.

A aplicação de um exercício de análise sensitiva a duas áreas com características geológicas e geomorfológicas similares é efectuada com o objectivo de testar a robustez dos modelos e da metodologia aqui adoptada, aferindo se os factores de predisposição que mais contribuem para a boa resolução dos modelos são os mesmos em ambas as áreas.

Área de estudo, instabilidades de vertente e factores de predisposição

As áreas de Fanhões-Trancão e de Lousa-Loures, com uma superfície de 20km² e 17km², respectivamente, inserem-se na região a Norte de Lisboa, localizando-se no concelho de Loures. Estas duas áreas-amostra são parte integrante da costeira Lousa-Bucelas, sendo marcadas por uma estrutura monoclinial com inclinações para S no caso de Fanhões-Trancão e SSE a SE em Lousa-Loures. Do ponto de vista litológico observa-se a alternância de rochas de diferente dureza, permeabilidade e plasticidade. Destacam-se os afloramentos do Complexo Vulcânico de Lisboa e as rochas sedimentares de idade cretácica como os calcários, arenitos, calcários margosos, pelitos e dolomitos (Zêzere, *et al*, 1999, 2005; Piedade *et al*, 2010a). A base de dados dos deslizamentos translacionais superficiais consiste num inventário obtido através de trabalho de campo para ambas as áreas, efectuado por Zêzere (1997), conforme descrito no quadro 1.

Quadro 1 – Inventário de deslizamentos translacionais superficiais nas áreas de estudo.

	N.º de Eventos	Área instabilizada (m ²)	Densidade de movimentos (km ²)	Total de área instabilizada (%)
Fanhões-Trancão	100	142 172	5,0	0,71
Lousa-Loures	82	37 099	4,8	0,22

Os factores de predisposição da instabilidade geomorfológica considerados para os modelos de susceptibilidade nas duas áreas são os seguintes: declive, exposição das vertentes, perfil transversal das vertentes, unidades litológicas, depósitos superficiais, unidades geomorfológicas e o uso do solo. No total observam-se 52 e 48 classes de variável, nas áreas de Fanhões-Trancão e de Lousa-Loures, respectivamente.

Metodologia

O primeiro passo no processo de integração cartográfica dos dados é o cálculo dos *scores* de susceptibilidade para cada classe de variável. O método estatístico bivariado utilizado para a avaliação da susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente nas áreas de Fanhões-Trancão e Lousa-Loures consiste no Valor Informativo (Yan, 1988; Yin e Yan, 1988).

Como foi anteriormente referido, a análise sensitiva é efectuada com o objectivo de determinar a importância relativa de cada factor de predisposição na construção de modelos de susceptibilidade. Assim, existem dois conjuntos de informação que estão presentes na primeira fase do exercício: (i) o inventário dos movimentos de vertentes; (ii) os factores de predisposição considerados isoladamente com as respectivas classes. Neste sentido, cada factor de predisposição é cruzado autonomamente com o conjunto de movimentos de vertente da própria área, gerando um modelo de susceptibilidade.

A validação é efectuada com recurso à construção de uma curva de sucesso e ao cálculo da respectiva Área Abaixo da Curva (AAC) para cada variável do modelo (factor de predisposição) isoladamente e os resultados obtidos são ordenados hierarquicamente, permitindo comparar a importância relativa de cada factor.

Essa hierarquia é respeitada na continuação da análise sensitiva, que passa a ser efectuada, de um modo sistemático, através da introdução de uma nova variável no modelo de susceptibilidade em questão (e.g. $M_2 = f(V_1 + V_2)$; $M_3 = f(V_1 + V_2 + V_3)$; $M_4 = f(V_1 + V_2 + V_3 + V_4)$; $M_n = f(V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + \dots + V_n)$). Para cada modelo obtido ($M_2 \dots M_n$) é calculada a AAC, com o objectivo de perceber qual a combinação de variáveis que obtém melhor capacidade preditiva (Zêzere *et al.*, 2005, 2008; Piedade, 2009). Este exercício é efectuado, de modo autónomo, para as duas áreas-amostra estudadas.

Resultados

O quadro 2 apresenta a hierarquia dos factores de predisposição que contribuem para a explicação dos deslizamentos translacionais superficiais na área de Fanhões-Trancão. Esta hierarquia é feita consoante a AAC da curva de sucesso calculada para cada variável isoladamente. Através deste exercício, verificou-se que, como seria de esperar, o declive é o parâmetro que mais contribuiu para a explicação deste tipo de movimento de vertentes, com uma AAC de 0,802. No top 3 das variáveis mais explicativas, para além do declive, encontram-se as unidades geomorfológicas e a exposição das vertentes. No final desta hierarquia, com menor capacidade de discriminação entre áreas deslizadas e não deslizadas, surge o uso do solo.

Quadro 2 – Hierarquia dos factores de predisposição para os deslizamentos translacionais superficiais na área de Fanhões-Trancão.

Hierarquia	Variável	AAC
1	Declive	0,802
2	Unidades geomorfológicas	0,788
3	Exposição das vertentes	0,738
4	Depósitos superficiais	0,731
5	Unidades litológicas	0,706
6	Perfil transversal das vertentes	0,672
7	Uso do solo	0,631

O quadro 3 apresenta a hierarquia dos factores de predisposição que contribuem para a explicação dos deslizamentos translacionais superficiais em Lousa-Loures. Verifica-se, à semelhança do observado em Fanhões-Trancão, que é o declive que mais contribui para a explicação deste tipo de movimento de vertentes, com uma AAC de 0,806. No top 3 das variáveis mais explicativas, para além do declive, encontram-se, novamente, as unidades geomorfológicas e a exposição das vertentes. No final desta hierarquia surgem os depósitos superficiais.

Quadro 3 – Hierarquia dos factores de predisposição para os deslizamentos translacionais superficiais na área de Lousa-Loures.

Hierarquia	Variável	AAC
1	Declive	0,806
2	Unidades geomorfológicas	0,739
3	Exposição das vertentes	0,682
4	Unidades litológicas	0,661
5	Uso do solo	0,661
6	Perfil transversal das vertentes	0,656
7	Depósitos superficiais	0,526

Com base nesta hierarquia, são desenvolvidos seguidamente, de modo sistemático, novos modelos de susceptibilidade para cada uma das áreas de estudo, com a introdução de uma nova variável em cada passo.

Todos os modelos de susceptibilidade obtidos com a introdução de mais variável apresentam uma capacidade preditiva bastante idêntica e muito satisfatória.

Discussão e conclusões

A análise sensitiva das variáveis é efectuada com o objectivo de aferir a importância relativa de cada factor de predisposição na distribuição dos movimentos de vertente e, ao mesmo tempo, avaliar a variação na qualidade dos modelos preditivos decorrente do número de variáveis consideradas. Os resultados sistematizados podemos concluir que a modelação da susceptibilidade com 2, 3, 4, 5, 6 ou 7 variáveis não produz diferenças muito significativas ao nível da capacidade preditiva dos modelos, revisto nas diferenças entre as AAC. Adicionalmente, verifica-se que o incremento de mais variáveis no modelo não gera, necessariamente, melhores resultados preditivos, não existindo assim uma relação linear entre o número de variáveis presentes no modelo e a respectiva capacidade preditiva.

Apesar disso, não é aconselhável eliminar à partida as variáveis que se presume terem uma menor capacidade preditiva. É mais prudente utilizar, numa primeira fase, o maior número possível de variáveis que possam ser consideradas como factores de predisposição (i.e., que evidenciem relações causa-efeito com os movimentos de vertente) e, numa fase posterior, simplificar os modelos de predição por análise sensitiva das variáveis, eliminando os factores que pouco ou nada acrescentam à predição.

A aplicação da análise sensitiva aos modelos considerados é ainda importante para demonstrar que as variáveis com melhor capacidade preditiva são as mesmas nas áreas de Fanhões-Trancão e de Lousa-Loures. Este facto reforça a ideia de que é possível a exportação de modelos de susceptibilidade entre áreas com características geológicas e geomorfológicas similares, sempre que seja possível a validação desses modelos de susceptibilidade, através de um inventário de movimentos de vertente da própria área (Piedade, 2009; Piedade *et al.*, 2010b).

Agradecimentos

Este trabalho faz parte do projecto “MapRisk – Metodologias de avaliação de perigosidade e risco de movimentos de vertente nos Planos Municipais de Ordenamento do Território” (PTDC/GEO/68227/2006), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

Referências

- Piedade, A. (2009) – Modelação especial em Sistemas de Informação Geográfica da susceptibilidade a deslizamentos na área de Lousa-Loures. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 114 pp.
- Piedade, A.; Zêzere, J. L.; Garcia, R. A. C.; Oliveira, S. C. (2010a) - Avaliação e validação de modelos de susceptibilidade a deslizamentos em áreas homogêneas na região a Norte de Lisboa. 16º Congresso da APDR - Regiões de Charneira, Canais de Fronteira e Nós, Universidade da Madeira, Funchal. ISBN 978-989-96353-1-9, p. 1318-1333.
- Piedade, A.; Zêzere, J. L.; Tenedório, J. A.; Garcia, R.A.C.; Oliveira, S. C.; Rocha, J. (2010b) – Generalization of landslide susceptibility models in geologic-geomorphologic similar context. *Geophysical Research Abstracts*, vol. 12. EGU2010-3666-2. European Geosciences Union.
- Yan, T. Z. (1988) – Recent advances of quantitative prognoses of landslide in China. Bonnard, C. (ed.), *Landslides. Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, Lausanne, 2, Balkema, Rotterdam, pp. 1263–1268.
- Yin, K. L. ; Yan, T. Z. (1988) – Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks. Bonnard, C. (ed.), *Landslides. Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, 2, Balkema, Rotterdam, pp. 1269–1272.
- Zêzere, J. L. (1997) – *Movimentos de Vertente e Perigosidade Geomorfológica na Região a Norte de Lisboa*. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Lisboa, 575 pp.
- Zêzere, J. L.; Ferreira, A.B.; Rodrigues, M. L. (1999) – The role of conditioning and triggering factors in the occurrence of landslides: a case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Geomorphology*. 1-2. 30: 133-146.
- Zêzere, J. L.; Garcia, R. A. C.; Oliveira, S. C.; Reis, E. (2005) – Análise sensitiva na avaliação da susceptibilidade a deslizamentos na Região a Norte de Lisboa. X Colóquio Ibérico de Geografia “A Geografia Ibérica no contexto europeu”, Évora, 15 pp.
- Zêzere, J. L.; Oliveira, S. C.; Garcia, R. A. C.; Reis, E. (2008) – Weighting predisposing factores for shallow slides susceptibility assessment on the region scale. In: Chen, Z., Zhang, J., Li, Z., Wu, F. e Ho, K. (eds.) *Landslides and Engineered Slopes: from the past to the future*. 2º Volume, London, pp. 1831 – 1837.