

# Cartografia de Localização de Risco à Ocorrência de Movimentos de Massa em Vertentes: Caso de Estudo do Alto Minho, Portugal

S. Machado <sup>(a) (b)</sup>, R. P. Julião <sup>(c)</sup>

<sup>(a)</sup> Universidade Nova de Lisboa/Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, a52440@campus.fcsh.unl.pt.

<sup>(b)</sup> Forman Christian College (A Chartered University)/Department of Environmental Sciences, silviamachado@fccollege.edu.pk.

<sup>(c)</sup> CICS.NOVA, FCsh/Universidade Nova de Lisboa, rpj@fcsh.unl.pt.

## RESUMO

Os danos decorrentes da dinâmica do meio físico tornam os processos de instabilidade geomorfológica uma das principais ameaças associadas a eventos extremos de precipitação e/ou actividade sísmica. Neste contexto, estes assumem crescente importância na sensibilização dos responsáveis pela gestão do território para a utilização da cartografia de riscos naturais no âmbito do planeamento e ordenamento do território, em particular no quadro da Protecção Civil.

O presente trabalho pretende a identificação das áreas mais susceptíveis à ocorrência de movimentos de massa em vertente, de forma a permitir um uso do território mais adequado e diminuir a vulnerabilidade associada às infra-estruturas humanas e ao património natural. Para tal, foi usada uma metodologia baseada na desenvolvida por Balteanu *et al.* (2010).

**Palavras chave:** Geomorfolgia, Movimentos de Massa, Vulnerabilidade, Planeamento.

## 1. INTRODUÇÃO

A modelação do risco é realizada dentro do contexto mais amplo da gestão do risco e de desastres. A avaliação e a cartografia de risco são componentes centrais de um processo mais geral que, além de identificar capacidades e recursos disponíveis para reduzir os níveis de risco identificados ou os possíveis efeitos de um desastre (análise de capacidades), considera o planeamento de medidas adequadas de redução dos riscos (planeamento de capacidades), a monitorização e revisão de riscos e susceptibilidades, bem como consulta e comunicação dos resultados esperados (Commission Staff Working Paper, 2010), e a integração dos mesmos nos Planos Municipais de Ordenamento do Território.

Os processos de instabilidade geomorfológica constituem uma das principais ameaças associadas a eventos extremos de precipitação e/ou actividade sísmica. É cada vez mais importante considerar os danos relacionados com instabilidade geomorfológica na cartografia de riscos naturais, no âmbito dos planeamento e ordenamento do território, no quadro da Protecção Civil. As áreas susceptíveis à ocorrência de movimentos de massa em vertente devem ser identificadas para permitir um adequado uso do território e

a diminuição do grau de vulnerabilidade associado ao património natural e construído (Monteiro *et al.*, 2012).

Este trabalho teve por objetivo a identificação das áreas susceptíveis à ocorrência de movimentos de massa em vertente, e posterior elaboração de cartografia de elementos expostos e cartografia de localização do risco de ocorrência de movimentos de massa em vertentes para o Alto Minho.

## 2. METODOLOGIA

Considerando os modelos geográficos e o conhecimento de base sobre a dinâmica associada aos movimentos de massa em vertentes, foi possível identificar os principais fatores que condicionam ou maximizam o efeito, intensidade e grau de dano causado por esta tipologia de eventos. Assim, foi reunido um conjunto de bases de dados espaciais que, não só permitem uma análise à escala da região, como reúnem a capacidade de explicar a ocorrência deste tipo de eventos potencialmente catastróficos (Quadro 2.1). Este conjunto de dados foi integrado no modelo desenvolvido, no qual as diferentes variáveis espaciais são interpretadas como partes de uma equação algébrica que permite estabelecer as suas relações factuais.

**Quadro 2.1** Informação de base e temática para a determinação da susceptibilidade à ocorrência movimentos de massa em vertentes.

Designação	Fonte	Referência temporal	Escala / resolução
Limite administrativo	IGP	2012	1:25.000
Carta de ocupação do solo (2006)	ESA-IPVC	2006	1:25.000
Modelo de elevação digital	25 metros		
Carta geológica	1:50.000		
Registo de ocorrência de sismos	-		
Estações meteorológicas			
Dados de precipitação			

A cartografia de localização de risco adoptada seguiu a estrutura do modelo conceptual para a obtenção

da cartografia de localização de risco adaptada de Julião *et al.* (2009) (Figura 2.1).

Figura 2.1- Modelo conceptual para a obtenção da cartografia de localização de risco (Monteiro *et al.*, 2012).



### 2.1 Cálculo do Índice de Suscetibilidade aos Movimentos de Massa em Vertentes

Para a obtenção da carta de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em vertentes para o Alto Minho, foi calculado um Índice de Suscetibilidade aos Movimentos de Massa em Vertentes (ISM), adaptando-se a metodologia proposta por Balteanu *et al.* (2010). De acordo com esta metodologia, são considerados seis factores que controlam a ocorrência deste tipo de eventos, em particular factores condicionantes morfoestruturais como a litologia, declives, relevo local e a ocupação do solo, e factores que podem despoletar o processo de ruptura dos materiais, em particular a precipitação e a sismicidade (factores desencadeantes). Este conjunto de factores foi seleccionado tendo em conta a disponibilidade e qualidade (espacial e temática) dos dados com cobertura integral da área de estudo, assim como a hierarquia dos factores que promovem a ocorrência de movimentos de massa em vertente, de acordo com os estudos de Wachal e Hudak (2000) e Clerici *et al.* (2002).

#### 2.1.1 Relevo e topografia local

Considerando o modelo definido, foi desenvolvido um conjunto de procedimentos para a identificação das condições de relevo com elevada propensão à ocorrência de movimentos de massa em vertentes. Assim, a partir do modelo digital do terreno foi calculado um modelo de valores máximos e valores mínimos, e um modelo de declives. Enquanto que o modelo de declives pode ser directamente classificado quanto à sua suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em vertentes, a variável relativa ao relevo local, também chamada de amplitude de relevo, resulta da sobreposição espacial do modelo de valores máximos com o modelo de valores mínimos. Esta variável representa uma mais valia em relação ao cálculo do declive uma vez que reflecte a topografia de uma área mais abrangente, permitindo assim uma melhor integração dos factores topográficos no modelo de análise implementado, em particular no que toca à avaliação de movimentos relacionados com massas de rocha soltas.

#### 2.1.2 Ocupação do solo

No que se refere à ocupação do solo, esta foi classificada tendo por base a carta de ocupação do solo

(2006) disponível para a totalidade do Alto Minho. No que toca à sua classificação quanto ao grau de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em vertentes, os valores mais reduzidos foram atribuídos a zonas de floresta densa e a zonas de rocha nua, enquanto que os valores mais elevados de suscetibilidade foram atribuídos a zonas com vegetação esparsa, zonas de pastoreio e zonas de matos obtiveram as pontuações mais elevadas quanto ao seu grau de suscetibilidade.

#### 2.1.3 Litologia e geologia local

Do ponto de vista da análise de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em vertentes, a descrição e introdução da geologia como factor estrutural para o modelo de análise espacial, foi essencial para que os resultados possam, de forma efectiva, espelhar a realidade da área de estudo. Assim, e seguindo o modelo previamente definido, a carta geológica foi reclassificada quanto ao grau de suscetibilidade de cada um dos tipos geológicos identificados para o Alto Minho. A classificação do grau de suscetibilidade dos diferentes substratos geológicos teve em consideração a sua plasticidade, dureza e consolidação do material, realizada com base em conhecimento de especialista.

#### 2.1.4 Sismicidade

Aquando da análise da sismicidade local, foi considerada a localização geográfica das ocorrências de sismos, assim como a sua magnitude e/ou intensidade. Neste sentido, foi considerado para o desenvolvimento do modelo de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em vertentes, o histórico de ocorrências de sismos a partir do qual foi realizada uma análise de densidade de sismos, considerando o valor da magnitude de cada sismo como ponderador da análise de densidade efectuada. Este procedimento teve por base uma análise de densidade de kernel por forma a obter uma distribuição contínua e ponderada (i.e. calculada com base na magnitude dos diferentes sismos) da suscetibilidade à ocorrência de sismos no Alto Minho. Uma vez calculada a distribuição desta variável com base nos métodos descritos, o resultado foi classificado em 10 classes no sentido de ser integrado no quadro de análise descrito.

#### 2.1.5 Precipitação máxima em 24h

Ao nível da avaliação dos movimentos de massa

em vertentes, a precipitação representa um importante factor/variável a ter em consideração, uma vez que esta desencadeia em grande medida (tal como a sismicidade local) a ocorrência de desprendimentos de massas. A informação utilizada para este passo resultou da aplicação de metodologias específicas para suscetibilidade à ocorrência de cheias e inundações, tendo sido calculada a distribuição desta variável com base no método de Chow – Gumbel (Chow *et al.*, 1998). Esta informação foi posteriormente classificada em 4 classes (i.e. assumindo os valores 4, 6, 8, 10), conforme descrito por Balteanu *et al.* (2010).

## 2.2 Carta de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em vertentes

Uma vez obtida uma classificação ponderada entre 0 e 10 para cada variável considerada, minimizando desta forma os efeitos de sobre-manipulação dos dados do ponto de vista matemático, determinou-se a influência relativa de cada variável no processo de movimentação de massas em vertentes, com os rasters reclassificados (pelos valores de ponderação) de todas as variáveis, com base na seguinte expressão:

$$ISM = \frac{35V_{lit} + 25V_{dec} + 15V_{p24h} + 10V_{sis} + 10V_{ocup} + 5V_{rl}}{100}$$

em que ISM corresponde ao Índice de Suscetibilidade à ocorrência de Movimentos de massa em vertentes;  $V_{lit}$ , corresponde à classificação do substrato geológico,  $V_{dec}$ , corresponde à classificação do modelo de declives,  $VP_{24h}$ , corresponde à classificação da precipitação máxima em 24h,  $V_{sis}$ , corresponde à classificação do modelo de densidade de sismos,  $V_{ocup}$ , corresponde à classificação da cartografia de ocupação do solo, e  $V_{rl}$ , corresponde à classificação do modelo de relevo local.

Uma vez calculado o ISM, procedeu-se à extração (i.e. a atribuição da classificação de zero) dos locais para os quais a suscetibilidade é nula ou não aplicável. Para tal procedeu-se inicialmente à multiplicação das variáveis relacionadas com o declive, ocupação do solo e substrato geológico, sendo que posteriormente este resultado foi classificado de forma a validar as seguintes condições:

$$\begin{cases} se \ V_{dec} \times V_{ocup} \times V_{lit} = 0 & \delta = 0 \\ se \ V_{dec} \times V_{ocup} \times V_{lit} > 0 & \delta = 1 \end{cases}$$

em que  $\delta$  corresponde ao valor da célula.

Estes dois resultados foram finalmente multiplicados por forma a obter uma carta de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em vertentes após a classificação do resultado final em 4 classes de acordo com o Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de Base Municipal (Julião *et al.*, 2009).

## 2.3 Cartografia de elementos expostos

Os elementos expostos considerados foram divididos em diferentes categorias, de acordo com a cartografia 10k disponível. Estes foram sobrepostos com as áreas de suscetibilidade elevada da carta de suscetibilidade a movimentos de massa em vertente para obtenção do número de elementos afetados, não tendo sido possível o cálculo da extensão de afetação para cada elemento por constrangimentos de tempo e informação disponível.

## 2.4 Cartografia de Localização de Risco

Para a obtenção da localização do risco, procedeu-se à sobreposição da cartografia de suscetibilidade a movimento de massa em vertente (áreas de suscetibilidade elevada) com os elementos expostos.

## 2.5 Densidade de dispersão

Tendo em consideração os elementos expostos identificados para a área de estudo, reclassificou-se a classe de suscetibilidade elevada, conforme o número de elementos expostos que cada área apresentava. Após somar o número de elementos expostos calculou-se a densidade de dispersão, recorrendo à Hot Spot analysis (Getis-Ord  $G_i^*$ ), a qual permite, dado um conjunto de pesos atribuídos para cada feature, calcular estatisticamente os hotspots e coldspots (Z-scores e p-Values), permitindo obter as áreas com maior concentração de elementos expostos.

## 3. Resultados

Os locais de suscetibilidade elevada encontram-se associados a áreas de declives elevadas, com substrato rochoso mais facilmente desagregável. Estas áreas estão dispersas por todos os municípios do território do Alto Minho, representando cerca de 6.01% do mesmo, com maior incidência em Paredes de Coura, Arcos de Valdevez e Melgaço (Figura 2).

Da análise da composição das classes de vulnerabilidade verifica-se que uma grande extensão do território (mais de 31%) está classificada como moderada ou elevada suscetibilidade. Estas áreas encontram-se principalmente em grandes altitudes, com declives muito pronunciados (mais de 30%) e com uma elevada precipitação. Verifica-se uma grande influência dos fatores como a topografia local, a intensidade de precipitação, o declive e, com menor influência, mas ainda assim significativa, a geologia. É importante nestas situações identificar possíveis padrões ou atividades que possam potenciar a ocorrência de movimentos de massa em vertentes.

Considerando apenas a classe de suscetibilidade elevada,

A precipitação e a topografia local são os dois fatores mais preponderantes na determinação do grau de suscetibilidade nesta área (cerca de 56% dos casos), seguidos do declive e da geologia (36% e 8%, respetivamente)

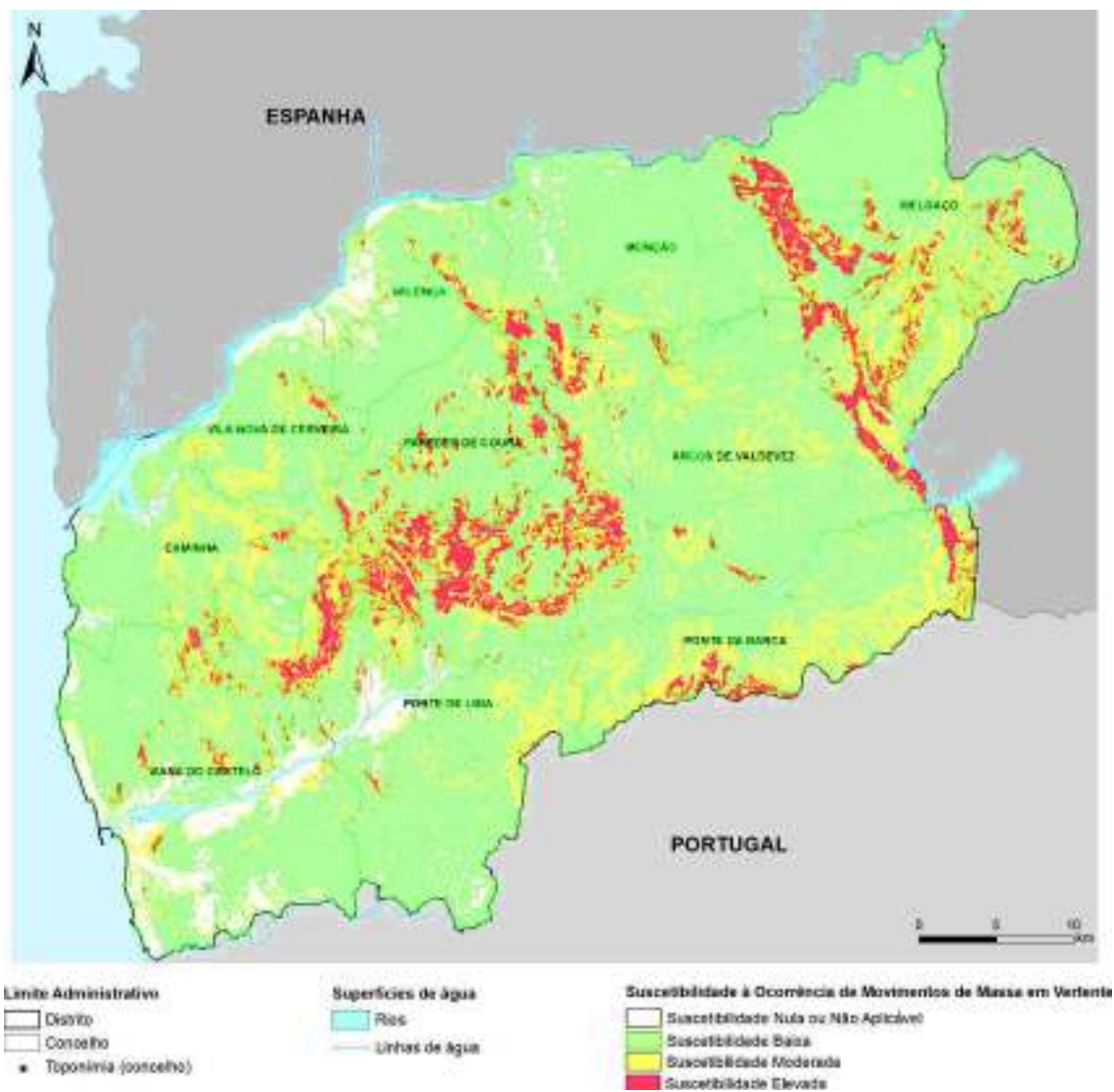


Figura 3.1 - Distribuição das classes de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massas em Vertente no Alto Minho.

Da análise da composição das classes de vulnerabilidade verifica-se que uma grande extensão do território (mais de 31%) está classificada como moderada ou elevada suscetibilidade. Estas áreas encontram-se principalmente em grandes altitudes, com declives muito pronunciados (mais de 30%) e com uma elevada precipitação. Verifica-se uma grande influência dos fatores como a topografia local, a intensidade de precipitação, o declive e, com menor influência, mas ainda assim significativa, a geologia. É importante nestas situações identificar possíveis padrões ou atividades que possam potenciar a ocorrência de movimentos de massa em vertentes.

Considerando apenas a classe de suscetibilidade elevada,

A precipitação e a topografia local são os dois fatores mais preponderantes na determinação do grau de suscetibilidade nesta área (cerca de 56% dos casos), seguidos do declive e da geologia (36% e 8%, respetivamente).

### 3.1 Localização de risco

A análise da interação entre a suscetibilidade a movimentos de massa em vertente e os principais ele-

mentos potencialmente afetados é importante, na região em estudo, dado que são responsáveis por um conjunto alargado de acidentes, cortes de via e/ou perda de bens.

De um total de 451.587 elementos expostos considerados, foram identificados como potencialmente afetados 18.271 elementos geográficos (4% do total dos elementos expostos identificados).

As categorias mais afetadas são as infraestruturas rodoviárias (e.g. auto-estradas e estradas regionais e nacionais) com 6527 elementos, os equipamentos de produção, armazenamento e distribuição de energia e combustíveis podendo potencialmente afectar cerca de 404 elementos geográficos, e as infraestruturas urbanas com 297 elementos identificados

### 3.2 Análise da densidade de dispersão

A análise de dispersão dos elementos expostos, relativamente às áreas de risco elevado de ocorrência de movimentos de massa em vertente permitem identificar as áreas mais prováveis de serem afetadas pela maior presença de elementos expostos.



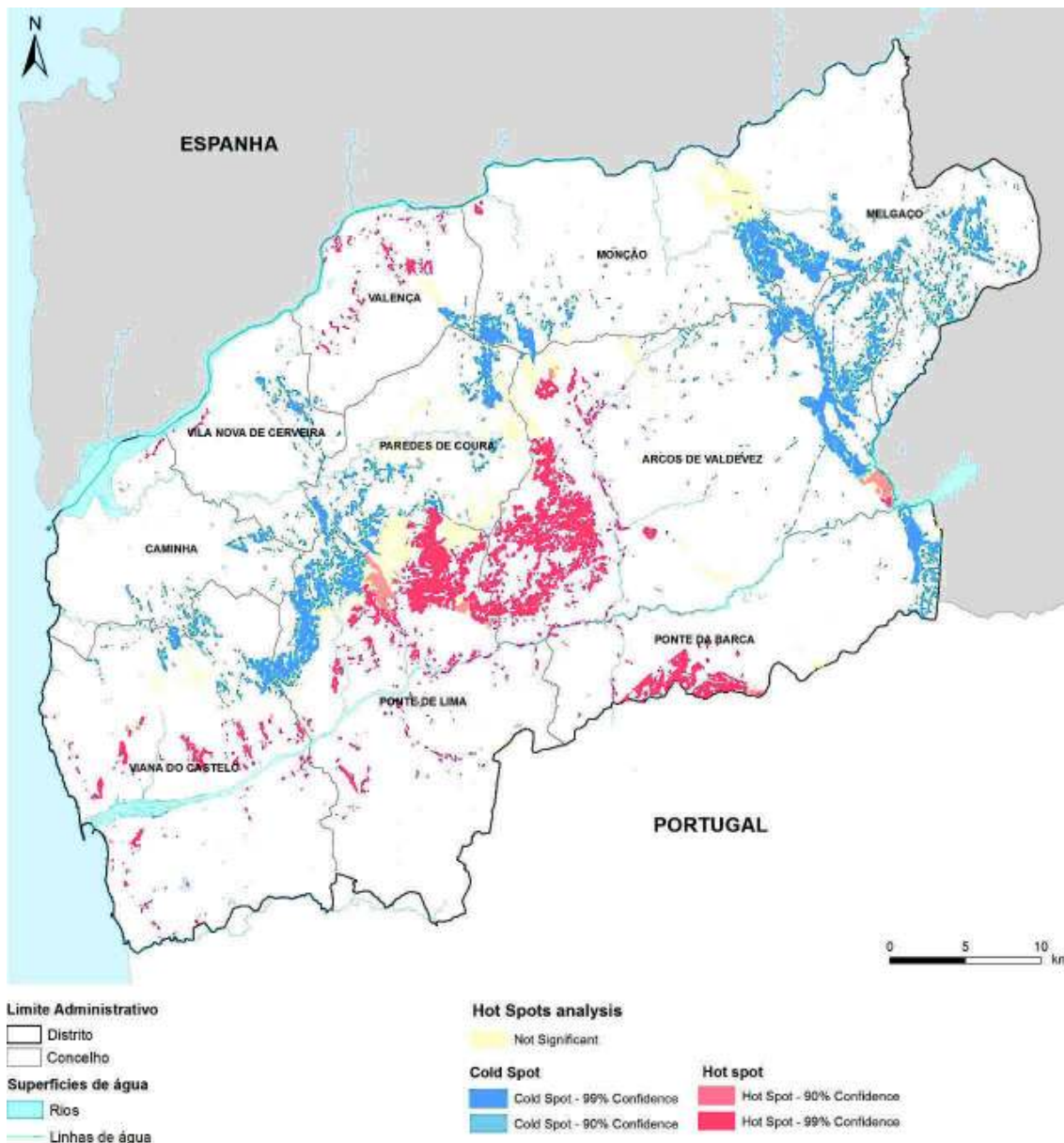


Figura 3.2 – Análise da densidade de dispersão os elementos expostos em relação às áreas de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em vertente.

Esta análise é fundamental para a definição de estratégias de mitigação de risco e de mais rápida resposta às potenciais ocorrências. Da análise da densidade de dispersão foi possível determinar as zonas com maior número de elementos expostos localizados em zonas de elevada suscetibilidade a movimentos de massa em vertente. Estas concentram-se principalmente no Vale do Lima, com maior incidência nos concelhos de Ponte de Lima e Arcos de Valdevez.

#### 4. CONCLUSÃO

Pretendeu-se com este trabalho a elaboração de Cartografia de Localização de Risco de movimento de massas em vertente e a determinação da densidade de dispersão dos elementos expostos. Os resultados obtidos apontam para a necessidade de criar mecanismos de descrição espacial que não só permitam o apoio à definição de áreas com maior ou menor risco, mas também

possibilitem a definição de modelos de acção territorial que considerem diferentes formas de actuação não só no contexto de uma determinada classe de suscetibilidade, mas também diferenciando dentro da mesma.

A elaboração de cartografia de suscetibilidade é fundamental para a compreensão, previsão e prevenção dos movimentos de vertente, sendo um valioso instrumento no processo de Ordenamento do Território e Planeamento de Emergência. Esta possibilita a tradução dos processos por áreas classificadas segundo a classe de suscetibilidade e antecipa a possibilidade de eventuais intervenções de mitigação de risco.

No quadro de análise dos movimentos de massa em vertentes é necessário atender a dois factores principais. Por um lado, o modelo de análise utilizado, uma vez que este se baseia num conjunto de pressupostos regionais e limitações de informação que condicionam a adopção de modelos preditivos por oposição aos modelos multi-dimensionais utilizados, por outro lado, o

carácter catastrófico das potenciais ocorrências relacionadas com este risco, o que indica para medidas preventivas e de monitorização sistemática no sentido de reduzir os consequentes impactes humanos e materiais.

A metodologia e análise realizada deixa muitas questões/novos avanços/desenvolvimentos futuros. No âmbito dos planos municipais/regionais de ordenamento do território seria interessante o cálculo de atributos de valor dos diferentes elementos expostos (valor patrimonial, valor cultural, custo de reconstrução, etc.) que permita a elaboração de uma carta de densidade de valores expostos.

## 5. AGRADECIMENTOS

Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais - Faculdade de Ciências Sociais e Humanas - Universidade Nova de Lisboa (CICS.NOVA.FCSH/UNL), UID/SOC/04647/2013, com o apoio financeiro da FCT/MEC através de fundos Nacionais e quando aplicável cofinanciado pelo FEDER no Âmbito do acordo de parceria PT2020.

Unidade de Geomática e Análise de Sistemas Ambientais (CIGESA), Instituto Politécnico de Viana do Castelo (IPVC)

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Balteanu, D., Chendes, V., Sima, M e Enciu, P., 2010. A country-wide spatial assessment of landslide susceptibility in Romania. *Geomorphology* 124:102-112.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. e Mays, L.W., 1988. *Applied Hydrology*. MCMLXXXVIII, por McGraw-Hill International Editions. Civil Engineering Series, Inc. ISBN: 0-07-010810-2.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., Vescovi, P., 2002. A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology* 48, 349 - 364.
- Commission Staff Working Paper “Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Management”; Brussels, 21.12.2010; SEC (2010) 1626 final.
- Julião R.P., Nery, F., Ribeiro, J.L., Branco, M.C. e Zezere, J.L., 2009. Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica de base municipal, ANPC, 93 pp.
- Monteiro, A, Caldas, B., Matos, M., Lopes, H., Alonso, J., Guerra, C., Santos, S., Paredes, C., *et al.*, 2012. Análise de Risco. Protecção Civil e Gestão de Risco no Alto Minho: PROTEC – GEORISK. Comunidade Intermunicipal do Alto Minho.
- Varnes, D.J., 1984. *Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice*. Paris: United Nations International.
- Wachal, D., Hudak, P., 2000. Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA. *GeoJournal* 51, 245 – 253.
- Zêzere, J.L., Pereira, A.R. e Morgado, P., 2006. Perigos naturais e tecnológicos no território de Portugal Continental. Centro de Estudos Geográficos. *Apontamentos de Geografia – Série de investigação*, n.º 19.