

Movimentos de massa em vertentes no norte de Portugal. Retrospectiva e actualização.

Laura Soares

Departamento de Geografia da Faculdade de Letras do Porto; Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT).

lmpsoares@gmail.com

Carlos Bateira

Departamento de Geografia da Faculdade de Letras do Porto; Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT).

carlosbateira@gmail.com

Resumo:

Partindo de algumas reflexões em torno de um artigo centrado nos factores responsáveis pela ocorrência de movimentos de vertente no norte de Portugal, que remonta à fase inicial da nossa investigação, é nosso objectivo apresentar os resultados de alguns projectos desenvolvidos posteriormente, reinterpretando e de certa forma validando algumas ideias que, a partir de 1997, orientaram o nosso trabalho.

Palavras-chave: Movimentos de vertente. Base de dados. Cartografia de susceptibilidade.

Abstract:

Mass movements in northern Portugal. Retrospective and updating.

This work presents some reflections around an article focused on the factors responsible for the occurrence of landslides in the north of Portugal, article that dates back to the initial phase of our research. Our aim is to present the results of some projects developed later, reinterpreting and somewhat validating some ideas that, from 1997, has guided our work.

Keywords: Slope movements. Databases. Susceptibility maps.

1. Introdução

Em 1997, no número 4 da revista *Territorium*, publicamos, a convite do Prof. Doutor Fernando Rebelo, um artigo intitulado *Movimentos em massa no norte de Portugal. Factores da sua ocorrência*. Neste artigo, após uma breve introdução teórica em que eram discutidos alguns conceitos associados aos riscos naturais, apresentavam-se os factores responsáveis pela ocorrência de processos de instabilidade geomorfológica, designadamente: os de ‘ordem hidroclimática’, considerando-se a precipitação como o ‘factor de ignição’ e chamando-se a atenção para os efeitos diferenciados dos parâmetros quantidade, intensidade e duração dos episódios chuvosos, em associação com as “(...) condições de infiltração, circulação e capacidade de armazenamento de água no solo” (BATEIRA e SOARES, 1997: 66); os de ‘ordem geológica’ tendo em conta aspectos relacionados com a litologia e tectónica (rede de falhas e fracturas), expressos, nomeadamente, pelas características dos materiais no seu comportamento face a processos de alteração diferencial e pelas formações superficiais derivadas (i.e. textura e espessura); os factores de ‘ordem geomorfológica’, em que se destacam o declive, forma e comprimento das vertentes, e o encaixe e morfologia dos vales; finalmente, os factores de ‘ordem antrópica’, salientando-se que “(...) muitas vezes é a intervenção do Homem que vai desencadear o processo ou transformá-lo uma catástrofe” (ob.cit.: 75)

A análise destes factores seria ilustrada por 4 estudos de caso previamente analisados (BATEIRA e SOARES, 1992; PEDROSA, BATEIRA e SOARES, 1995; BATEIRA e SOARES, 1997): o fluxo de detritos de Cavez (Cabeceiras de Basto, 1981), o movimento complexo de Covelo do Gerês (Montalegre, 1966); as quedas de blocos e deslizamentos ocorridos na cidade do Porto; a cheia rápida que afectou a bacia hidrográfica do rio Cavalum (Penafiel, 1996), ilustrativa dos efeitos derivados da actividade antrópica sobre a dinâmica natural. Salientando-se como objectivo principal a definição e caracterização dos “(...) factores de ordem natural e antrópica que estão na base da ocorrência” [de movimentos de massa no norte de Portugal], considerava-se que o conhecimento dos factores desencadeantes e condicionantes destes processos permitiriam aferir a probabilidade de ocorrência de um evento numa dada área e, conseqüentemente, “(...) tomar medidas de prevenção e/ou minimização das suas conseqüências” (BATEIRA e SOARES, 1997, p.63). Era ainda referida a necessidade de uma “análise integrada dos factores naturais e antrópicos [permitindo] a obtenção de documentos síntese [e a] definição de áreas de risco, [constituindo estes documentos] um instrumento essencial à tomada de decisões por parte das entidades envolvidas no planeamento e ordenamento do território, visando regulamentar os impactes ambientais de forma a poder existir uma efectiva prevenção dos riscos” (ob. cit.: 65).

Revisitando este artigo, que remonta à fase inicial da nossa investigação em torno da instabilidade de vertentes - e pese a tentação de o reformular à luz de uma renovada teia conceptual e metodológica -, é nosso objectivo apresentar os resultados de alguns projectos desenvolvidos posteriormente, reinterpretando e de certa forma validando algumas ideias que, a partir de 1997, orientaram o nosso trabalho.

2. Distribuição espacial dos movimentos de massa em vertentes no norte de Portugal

2.1. A base de dados *Disaster*

As bases de dados (BD) de eventos perigosos estão a montante de todo o processo de planeamento e gestão do risco, permitindo-nos analisar quatro questões essenciais: onde, como e porquê e quando. Ou seja: onde, no sentido de conseguirmos definir quais são e onde se localizam as áreas onde é maior a probabilidade de ocorrência de processos perigosos; como e porquê, baseado no conhecimento dos factores que promovem, desencadeiam e condicionam esses processos; quando, que se relaciona com a perspectiva temporal, ou distribuição temporal das ocorrências. As BD, ao reunirem, da forma mais exaustiva possível, os processos que ocorreram num dado contexto espacial e temporal, permitem-nos responder a estas questões, partindo da premissa de que se um desastre ocorreu numa área específica é porque ela reúne um conjunto de condições favoráveis que, se não tiverem sido alteradas, permanecem e podem ser reactivadas. Resumindo, as BD vão-nos permitir conhecer o contexto espaço-temporal dos eventos perigosos, o que, associado às características desses eventos, nos permite igualmente a sua previsão e mitigação, bem como um planeamento e actuação mais efetivos perante a sua ocorrência. Como referem GUZZETTI e TONELLI (2004: 227) “(...) under the assumption that damaging natural events will occur in the future in the same or in similar circumstances that lead to past events (a consequence of uniformitarianism, an accepted principle in geology and in natural hazard assessment), historical information on past events is a valuable aid to [the] assessment and [the] design of mitigation strategies at various scales”.

Note-se, ainda, que as BD, constituindo um inventário detalhado e georeferenciado de ocorrências danosas, são o ponto de partida de muitos dos modelos utilizados na elaboração da cartografia de susceptibilidade (que deve ser elaborada para cada perigo identificado num dado território) que, cruzada com a dos elementos expostos, permite produzir as designadas cartas de localização do risco, elementos essenciais dos planos municipais de emergência de protecção civil (JULIÃO *et al.*, 2009).

Por estes motivos, têm sido desenvolvidas várias BD de âmbito internacional, nacional, regional e local, apresentadas e discutidas por vários autores (DIKAU *et al.*, 1996; DIEZ-HERRERO *et al.*, 1998; GUHA-SAPIR e BELOW, 2002; TSCHOEGL, *et al.*, 2006; KOMAC *et al.*, 2007; QUARESMA, 2008; VAN DEN EECKHAUT e HERVÁS, 2012). Em Portugal, foi formalmente apresentada, a 26 de Novembro de 2012, a BD do projecto de investigação *DISASTER - Desastres naturais de origem hidro-geomorfológica em Portugal: base de dados SIG para apoio à decisão no ordenamento do território e planeamento de emergência*. Orientada para o estudo de cheias e movimentos de vertente que ocorreram em Portugal, entre 1865 e 2010, esta BD centra-se exclusivamente em eventos que implicaram danos pessoais (mortos, feridos, desaparecidos, evacuados e desalojados), pretendendo sobretudo apoiar a elaboração de estudos relacionados com o risco associado a estas ocorrências, analisando a distribuição espacial e temporal dos eventos catastróficos e considerando a sua tendência evolutiva. Neste sentido, constitui um suporte à decisão no âmbito do ordenamento do território e planeamento de emergência, nomeadamente no contexto da definição de medidas de prevenção/mitigação de desastres, permitindo reflectir sobre a susceptibilidade/perigosidade dos territórios e a vulnerabilidade dos elementos expostos. Visando colmatar uma lacuna na disponibilidade de dados validados

relativos a eventos de origem hidro-geomorfológica com consequências danosas em Portugal continental, a sua fonte de informação essencial, à semelhança do que acontece com BD's elaboradas em outros países (GUZZETTI, CARDINALI e REICHENBACH, 1994; TUDOR, 1997; GUZZETTI *et al.*, 2002; GUZZETTI e TONELLI, 2004; PETRUCCI e VERSACE, 2004; BLACK e LAW, 2004; BARNOLAS e LLASAT, 2007; DEVOLI *et al.*, 2007; ALCÁNTARA-AYALA, 2008; LLASAT *et al.*, 2009; HILKER, BADOUX e HEGG, 2009), centrou-se na consulta de jornais diários e semanários de tiragem nacional, regional e local, perfazendo um total de 145.344 exemplares de periódicos analisados. Neste projecto estiveram envolvidos cerca de 24 investigadores, integrados nas Universidades de Lisboa, Coimbra e Porto.

A BD em causa compreende vários campos de informação, tais como o tipo (cheia, movimento de vertente) e sub-tipo de ocorrência (i.e. cheia rápida, cheia progressiva, deslizamento rotacional, fluxo de detritos), a sua localização, o factor desencadeante e a fiabilidade da notícia. Comporta ainda a informação relativa aos danos decorrentes dos eventos, a que se associa uma cópia da notícia de jornal que serviu de base ao preenchimento da ficha (ficheiro em formato pdf). Os resultados encontram-se expressos numa plataforma Web-SIG alojada no Servidor da Universidade de Lisboa (<http://riskam.ul.pt/disaster/>), permitindo visualizar a localização espacial das ocorrências, assim como descarregar relatórios de dados sintetizados para diferentes unidades territoriais.

2.2. Apresentação de resultados: tipologia dos movimentos e danos associados

Centrando-nos no cenário que esta BD reflecte para os movimentos de vertente registados no norte de Portugal nos 145 anos em análise (Figura 1), salienta-se um total de 110 ocorrências *Disaster*¹, em que assumem maior destaque os desabamentos de terra e rocha e os fluxos de detritos, reafirmando as tipologias já indicadas em estudos prévios como mais frequentes em áreas do Maciço Varisco, em associação com os movimentos complexos (BATEIRA e SOARES, 1997; BATEIRA, 2001; SOARES, 2008; PEREIRA, 2009). Destes processos de instabilidade resultaram 341 mortos, feridos e desaparecidos (MFD) e 724 evacuados e desalojados (ED), o que, comparativamente com os danos associados às cheias, revela uma mortalidade acrescida.

Assinale-se, ainda, a sua maior incidência em áreas de maior concentração de pessoas e infra-estruturas, reflectindo em parte o critério de selecção das ocorrências contempladas na BD, mas que não deixa de acentuar o facto dos desastres naturais se associarem ao planeamento e gestão do território, que, frequentemente, tende a aumentar a vulnerabilidade dos elementos expostos. Salientam-se, como exemplos, a área urbana do Porto, principalmente a marginal do rio Douro - onde às condições naturais de susceptibilidade (presença de abruptos rochosos fracturados e alterados em ligação com o forte encaixe do curso de água) se associa uma densa ocupação - e o nítido alinhamento de eventos ao longo da ferrovia do Douro, que, até finais da década de 1990, ligava o Porto a Barca d'Alva (Figura 2).

Por outro lado, se em parte se mantém a incidência de processos de instabilidade no contexto dos maciços montanhosos do noroeste, em ligação com carácter acidentado do relevo e os elevados valores de precipitação, a sua dispersão acompanha as características do

¹ No âmbito do projecto em causa, define-se como 'ocorrência' um local geograficamente identificável afectado por cheia/inundação ou por movimento de massa em vertentes, com mortos, feridos, desaparecidos, evacuados e desalojados, independentemente do número de afectados, num determinado evento.

Movimentos de massa em vertentes no norte de Portugal. Retrospectiva e actualização.

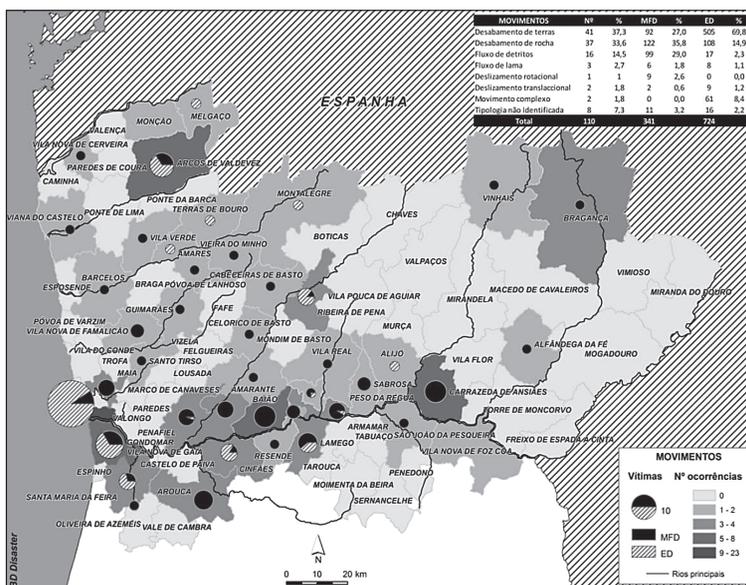


Figura 1
Distribuição espacial dos movimentos de massa em vertentes no norte de Portugal, considerando o número de ocorrências e danos associados.

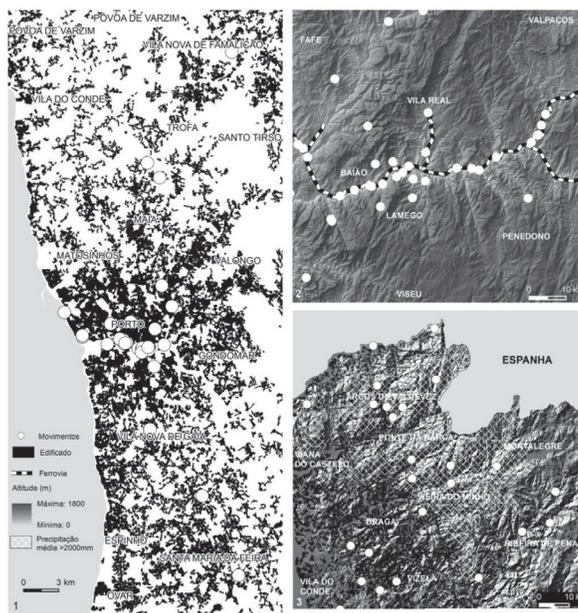


Figura 2
Importância dos factores antrópicos na distribuição dos movimentos.
1. Área urbana do Porto. 2. Linha do Douro. 3. Noroeste.

povoamento nestas áreas. Ressalta desta forma, no contexto destes eventos, a importância de um conhecimento integrado dos vários factores que condicionam a sua distribuição espacial e temporal, para que se possam implementar medidas passíveis de reduzir a vulnerabilidade.

3. Distribuição temporal dos movimentos de massa em vertentes no norte de Portugal

3.1. Reflexões em torno da base de dados Disaster

A distribuição temporal dos processos de instabilidade geomorfológica, considerando a área em estudo e o período em análise, traduz-se sobretudo por uma grande variabilidade, que não permite definir uma tendência clara (Figura 3). Mesmo a tendência polinomial, a que melhor se ajusta às características dos nossos dados, revela um valor de R^2 que, por extremamente baixo, inibe qualquer interpretação.

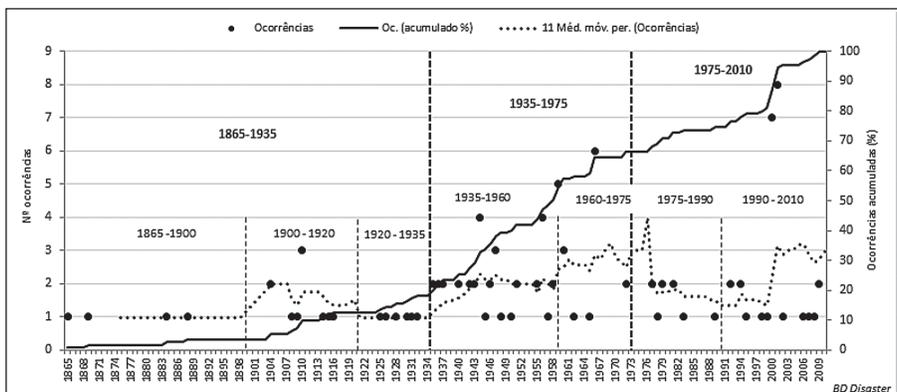


Figura 3
Distribuição temporal dos movimentos de massa em vertentes na região norte do país.

Assim, é de assinalar o aparente comportamento cíclico dos movimentos em causa, considerando diferentes escalas temporais, sendo possível desdobrar a série em estudo num conjunto de ‘ciclos’ com características distintas (BATEIRA *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2013). Estes ciclos são ilustrados pelas variações de declive da recta que define o valor acumulado das ocorrências, bem como pela utilização da média móvel (período=11). Desta análise decorre a existência de três períodos principais com comportamentos distintos face aos processos de instabilidade - 1865/1935, 1935/1975, 1975/2010 - no contexto dos quais é possível identificar subciclos com uma periodicidade aproximada de 21 anos.

3.2. A precipitação como factor desencadeante dos movimentos de vertente

Não sendo nosso objectivo imediato discutir que fator(es) pode(m) ser evocado(s) para explicar o comportamento cíclico assinalado, analisamos a relação que existe entre a distribuição temporal das ocorrências e a variação correspondente dos valores de precipitação

média anual (PMA) e intensidade média diária (IMD), centrando-nos no quadro espacial da região norte (SANTOS *et al.*, 2012). De uma forma geral, estas variáveis parecem igualmente revelar uma tendência cíclica, verificando-se, como seria de esperar, que os anos com maior número de ocorrências apresentam valores mais elevados de PMA e IMD - embora mais evidente no caso desta última (excepto em 1909) - assinalando a influência que a precipitação exerce sobre os processos em causa (Figura 4).

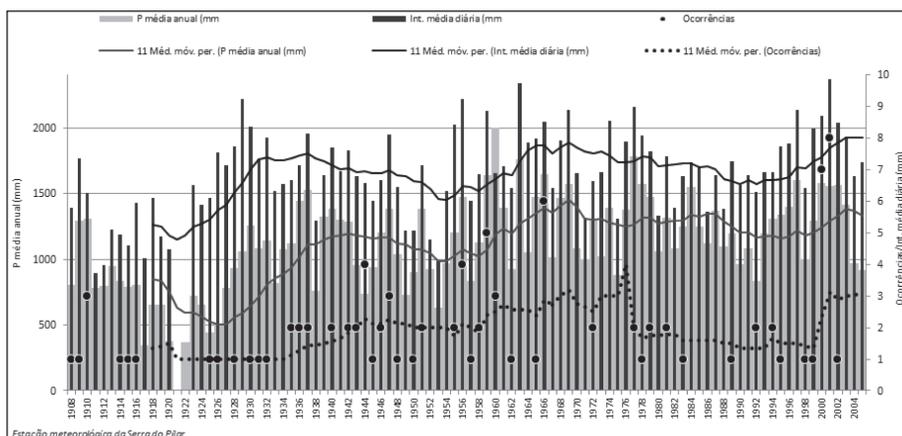


Figura 4

Relação das ocorrências com a precipitação média anual e a intensidade média.

No entanto, tal como assinalado em estudos prévios (ZÉZERE, 1997; ZÉZERE *et al.*, 2005; SOARES, 2008; PEREIRA, 2009; SOARES e BATEIRA, 2010) esta influência não é linear, considerando-se que episódios de precipitação com características distintas - ao nível da quantidade, intensidade e duração - condicionam a tipologia dos movimentos, pelo que se torna necessário separar "(...) the rainfall-landslide analysis for shallow and deep events, due to considerable differences in triggering physical mechanisms and associated threshold values of critical antecedent rainfall and rainfall intensity" (ZÉZERE *et al.* 2005: 342).

Neste contexto e utilizando vários estudos de caso, a que associamos algumas das ocorrências expressas na BD Disaster, verifica-se que os fluxos de detritos e de lama parecem reflectir uma certa tendência para ocorrerem em dias de máxima pluviosidade (embora enquadrados numa sequência chuvosa), enquanto os deslizamentos profundos, simples ou associados a outros processos (movimentos complexos), têm geralmente lugar após um período de chuva mais ou menos prolongado, mas sem que coincidam com os dias de maior precipitação (SOARES, 2008: 532). No entanto, a importância das precipitações antecedentes é comum às tipologias analisadas, verificando-se igualmente uma relação importante com os meses que detêm quantitativos bastante superiores à média (Figura 5).

A falta de estações meteorológicas com séries de dados que permitam uma análise pormenorizada, tem dificultado a definição de limiares críticos de precipitação para a ocorrência de processos de instabilidade no norte do país, à semelhança do que tem vindo a ser feito, por exemplo, para a região de Lisboa (ZÉZERE e RODRIGUES, 2002; ZÉZERE *et al.*, 2005; ZÉZERE *et al.*, 2008). No entanto, têm sido desenvolvidos alguns estudos neste domínio (PEREIRA, 2009;

PEREIRA, ZÉZERE e BATEIRA, 2010), se bem que aplicados apenas aos fluxos de detritos e de lama, salientando-se que “(...) a precipitação antecedente de 10 dias combinada com a precipitação do evento de 3 dias é muito importante” para o desenvolvimento destes processos, associada, obviamente, à precipitação do evento (PEREIRA, *ob.cit.*: 197).

De qualquer forma, é preciso ter em conta que estes limiares devem ser interpretados à luz do contexto morfoclimático específico em que ocorrem os movimentos, principalmente numa área de fortes contrastes topográficos como é o norte de Portugal, de que deriva a necessidade de uma boa cobertura de estações meteorológicas. Para além disso, é preciso considerar a influência exercida por outros factores condicionantes, designadamente as formações superficiais, cujo comportamento hidrológico depende da forma como as suas características intrínsecas - principalmente a espessura e textura - respondem aos episódios de precipitação.

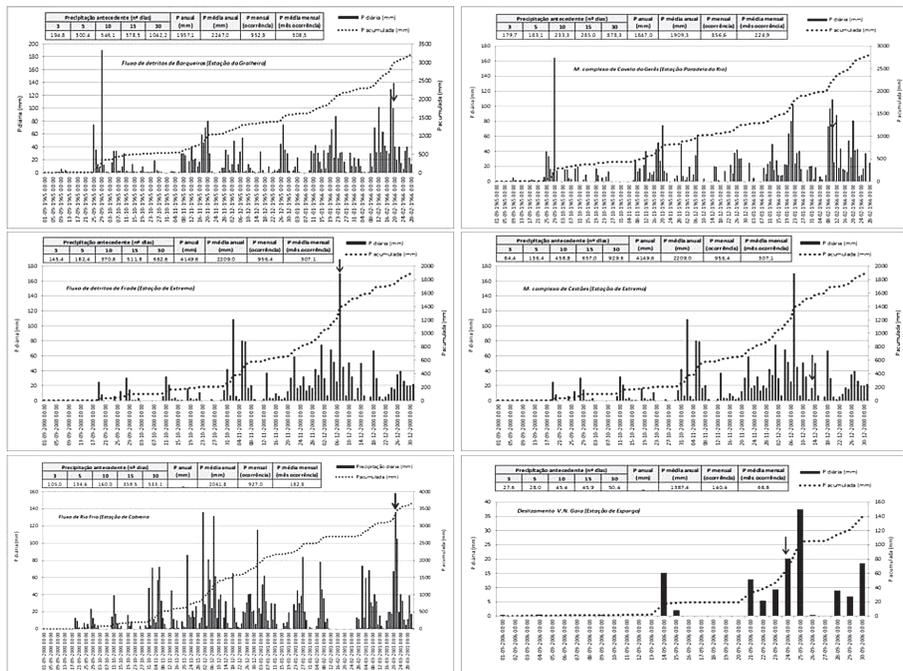


Figura 5
Valores de precipitação diária e precipitação acumulada associados a movimentos de vertentes de tipologia distinta.

4. Os factores condicionantes dos movimentos de massa em vertentes no norte de Portugal: a importância das formações superficiais.

Se as características da precipitação influenciam o tipo de processo de instabilidade geomorfológica, este factor não pode ser analisado separadamente das formações superficiais. Definidas como “(...) conjunto de materiais friáveis [autóctones, subautóctones ou alóctones]

presentes em dado perfil, desde o seu limite inferior, no contacto com o substracto rochoso, até aos componentes que se encontram mais próximo da superfície (...)", estas formações constituem um dos factores condicionantes de maior importância no contexto dos movimentos de vertente, influenciando a capacidade de infiltração, circulação e armazenamento de água, parâmetros que afectam a probabilidade de ocorrência e a intensidade que assumem os eventos de instabilidade (SOARES, 2008, p.30). Demonstrando a interdependência entre as características destes materiais e dos episódios chuvosos, estudos prévios apontam no sentido de em áreas onde predominam formações texturalmente grosseiras e espessas há maior probabilidade de se desenvolverem movimentos profundos e por vezes faseados, designadamente deslizamentos que podem ou não evoluir para outro tipo de processos (movimentos complexos), geralmente associados a eventos chuvosos abundantes e prolongados. Em contrapartida, nos locais onde se observam formações finas e peliculares registam-se essencialmente movimentos superficiais (como é o caso dos fluxos), em ligação com episódios chuvosos de forte intensidade e reflectindo uma certa tendência para ocorrerem em dias de máxima pluviosidade, o que proporciona quantitativos de água que rapidamente ultrapassam o limiar de saturação das formações de superfície (INNES, 1983; WIECZOREK, 1996; LAMBE, 1996; BROOKS *et al.*, 2002; MALET *et al.*, 2003; ZÉZERE *et al.*, 2005; YALCIN, 2007; SOARES, 2008).

Associado aos estudos de caso de movimentos de vertente, que reafirmam estas ideias (SOARES e BATEIRA, 2010), o projecto de investigação *TERRISC: paisagens de terraços agrícolas e riscos naturais*², desenvolvido entre 2004 e 2007, permitiu igualmente a obtenção de dados que vão de encontro às considerações anteriores. Visando o estudo do comportamento hidrológico de vertentes organizadas em terraços agrícolas, pretendia-se analisar a influência que as características das formações superficiais derivadas de granitóides e metassedimentos - enquanto suporte de culturas e palco de todo um conjunto de práticas de cultivo - exercem ao nível da estabilidade de vertentes. Os resultados obtidos derivaram da aplicação de um conjunto de metodologias que envolveu ensaios laboratoriais e de campo, nomeadamente, determinação da granulometria e composição mineralógica, resistência à penetração (*hand penetrometer*), condutividade hidráulica (permeâmetro de *Guelph*), capacidade de infiltração (infiltrómetro de duplo anel) e medição de níveis de escoamento (*Thalimedes*), aplicados em várias parcelas experimentais inseridas em duas pequenas bacias hidrográficas (SEIXAS *et al.*, 2006; PEREIRA *et al.*, 2006; BATEIRA *et al.*, 2007; SOARES *et al.*, 2010).

Da conjugação dos vários estudos realizados, resulta uma síntese que justifica a importância atribuída às características das formações superficiais enquanto variável condicionante dos processos de instabilidade de tipologia diferenciada (Figura 6).

Em áreas graníticas do Maciço Varisco, onde se concentram mais de 50% dos movimentos da base de dados *Disaster*, os materiais de superfície apresentam geralmente um domínio da fracção arenosa, que favorece a infiltração e circulação da água por fluxo interno, como ilustra o desfaseamento temporal entre os picos de precipitação e a resposta dos caudais das bacias hidrográficas utilizadas como amostra no projecto *Terrisc*. Associada à maior espessura que geralmente evidenciam, estas formações exigem uma maior quantidade e duração dos episódios chuvosos para que atinjam um estado de saturação, condição necessária para o desenvolvimento de movimentos. MORGAN e BRIGGS (1977) referem que em materiais grosseiros a

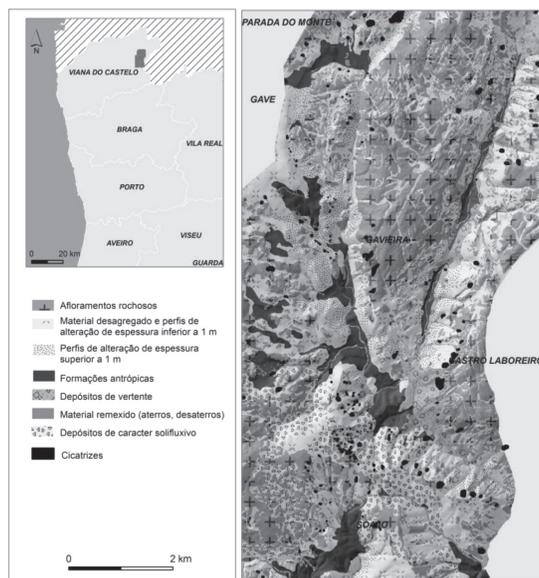
² A informação relativa a este projecto, pode ser consultada em <http://web.lettras.up.pt/cbateira/default.htm>

saturação pode mesmo não chegar a ocorrer, se as sequências chuvosas forem intercaladas por períodos secos, salientando que, por vezes, são suficientes dois dias sem precipitação para que a água gravitacional seja drenada dos materiais de superfície.

Neste sentido se justificam, por exemplo, ocorrências faseadas de um mesmo evento (como em Covelo do Gerês), acompanhando o ritmo dos episódios chuvosos.

O comportamento hidrológico das formações derivadas de rochas metassedimentares, assume aspectos distintos. Como geralmente predominam materiais texturalmente ricos em silte e argila a infiltração e drenagem interna são condicionadas, favorecendo o desenvolvimento de escoamento superficial, o que se reflecte na resposta quase simultânea dos caudais face aos picos de precipitação. No entanto, como estas formações tendem a ser menos espessas, normalmente tornam-se instáveis na sequência de precipitações intensas (i.e. fluxo de Frades), dando origem a movimentos rápidos e superficiais tal como referem SCHUSTER e WIECZOREK (2002: 64): “(...) very intense short-term rainfall is most apt to cause surficial failures, most commonly debris flows or mud flows, or shallow slides that quickly liquefy and are transformed into debris flows or mud flows”.

Assim, considerando a importância das formações superficiais como factor condicionante dos movimentos de massa em vertentes, é fundamental desenvolver uma metodologia adequada à sua representação (Figura 7), considerando a sua inserção nos modelos preditivos de instabilidade de vertentes³. Esta metodologia envolve um exaustivo trabalho de campo, combinado com a utilização de ortofotomapas e ferramentas SIG (SOARES, 2008; PEREIRA, 2009), que nos últimos anos tem contribuído para o desenvolvimento de estudos centrados na modelação da susceptibilidade a movimentos de vertente.



³ De acordo com PEREIRA (2009) as formações superficiais assumem-se como o factor condicionante de maior relevância, demonstrando a análise sensitiva que, em áreas de granitóides, detêm a melhor taxa de sucesso.

5. Modelação dos movimentos de massa em vertentes: a cartografia de susceptibilidade.

Embora em Portugal os movimentos de vertente sejam em muito menor número quando comparados com as cheias e inundações e não assumam a magnitude e o cariz devastador que evidenciam noutros países, estudos desenvolvidos em várias áreas demonstram a sua relevância no âmbito dos riscos naturais que afectam o território nacional (MARQUES, 1997, 2008; ZÉZERE, 1997; BATEIRA, 2001; ZÉZERE *et al.*, 2004; SOARES, 2008; PEREIRA, 2009), justificando, nomeadamente, a sua inserção no âmbito do Planeamento e Ordenamento do Território e Protecção Civil (BATEIRA e SOARES, 1997; ZÉZERE, 2007; ZÉZERE *et al.* 2007; PEREIRA *et al.* 2007; BATEIRA, 2010) e a publicação de normas, princípios e metodologias a que deve obedecer a cartografia de susceptibilidade (JULIÃO *et al.*, 2009).

É neste último domínio que se integram os estudos que temos desenvolvido mais recentemente, reflectindo e aplicando, em algumas áreas do norte do país, alguns dos modelos que têm vindo a ser apresentados por vários autores (Figura 8). Neste contexto destacam-se os métodos de avaliação relativa, salientando-se principalmente os modelos estatísticos de valor informativo e a regressão logística, uma vez que apesar dos modelos determinísticos de base física serem descritos e aplicados de forma satisfatória em diversos estudos (MONTGOMERY e DIETRICH, 1994; DIETRICH e MONTGOMERY, 1998; BAUM *et al.*, 2002, 2005; FRATTINI *et al.*, 2004; VIEIRA, 2007), em Portugal existem ainda poucos ensaios neste domínio (VASCONCELOS, 2011; PIMENTA, 2011).



Figura 8 Modelos aplicados na elaboração de cartografia de susceptibilidade a movimentos de vertente.

A nossa experiência é ainda recente e para já centrada na aplicação do *Shalstab*, mas tem permitido obter bons resultados (TEIXEIRA, 2012; TEIXEIRA *et al.*, 2012, 2013a, 2013b).

Não sendo nosso objectivo confrontar neste estudo os métodos aplicados, parece-nos relevante desde já salientar que a sua utilização deve ser ponderada em função dos objectivos, características das áreas em estudo, disponibilidade de informação de base e, principalmente, da escala de análise. Uma das principais vantagens dos modelos de base física, prende-se com o facto da sua aplicação ser independente da existência de um inventário dos movimentos de vertente, ao contrário do que acontece com os métodos estatísticos, sendo a localização das áreas instáveis apenas utilizada na fase de validação dos resultados. No entanto, pelos parâmetros que incorporam (declive, área de contribuição, coesão, peso específico, espessura do solo, ângulo de atrito e transmissividade), estes modelos só devem ser utilizados em estudos de grande escala, dadas as exigências de maior homogeneidade nas variáveis a considerar. A cartografia de susceptibilidade elaborada por métodos estatísticos, adapta-se melhor a trabalhos de menor escala abarcando áreas de trabalho de maior dimensão. Os seus resultados exigem uma base de dados o mais completa possível, uma vez que o cálculo da susceptibilidade exige o cruzamento dos movimentos (variável dependente) com os factores condicionantes (variáveis independentes ou condicionantes, i.e. litologia, formações superficiais, declives, exposição, curvatura, área de contribuição, densidade de fracturação, unidades morfológicas, uso do solo), cuja selecção implica uma análise prévia da sua significância e a atribuição de ponderações, que são distintas consoante as características das áreas em estudo.

Conclusão

O estudo dos movimentos de massa em vertentes no norte de Portugal, tem constituído uma das temáticas preferenciais da nossa investigação, acompanhada de perto pelas reflexões críticas do Professor Fernando Rebelo, que orientou o nosso percurso enquanto estudantes de doutoramento. O trabalho agora apresentado, tal como o seu título indica, constitui uma retrospectiva da investigação que desenvolvemos ao longo de mais de 15 anos, centrada nos processos de instabilidade geomorfológica, visando uma actualização das ideias que os nossos projectos foram permitindo maturar e desenvolver. Das considerações tecidas, destacamos algumas ideias chave:

- as BD de eventos perigosos situam-se a montante de todo o processo de planeamento e gestão do risco, como demonstra o seu desenvolvimento à escala mundial, nacional, regional e local. São fundamentais na definição das áreas onde é maior a probabilidade de ocorrência de processos perigosos, permitindo-nos identificar os seus factores desencadeantes e condicionantes, o que contribui para sua previsão, mitigação e planeamento/actuação mais efectivos perante a sua ocorrência. As BD são ainda essenciais na aplicação/validação dos modelos utilizados na elaboração da cartografia de susceptibilidade que, cruzada com a dos elementos expostos, permite produzir as cartas de localização do risco. A BD Disaster, que constitui um inventário detalhado das ocorrências hidro-geomorfológicas que tiveram lugar em Portugal Continental no período compreendido entre 1864 e 2012, permitiu colmatar uma lacuna na

- disponibilidade de dados validados relativos a cheias e movimentos de vertente que implicaram danos pessoais;
- para o norte de Portugal, pese o critério de selecção das ocorrências, esta BD veio comprovar a maior frequência dos desabamentos de terra e rocha e dos fluxos de detritos, indiciando a sua distribuição espacial uma ligação importante com as áreas de maior concentração de pessoas e infraestruturas. Salienta-se, assim, o facto dos desastres naturais se associarem a questões relacionadas com planeamento e gestão do território, que, frequentemente, tende a aumentar a vulnerabilidade dos elementos expostos;
 - ao nível da distribuição temporal das ocorrências no período alvo da BD, destaca-se sobretudo o aparente comportamento cíclico dos movimentos de vertente, considerando diferentes escalas temporais. Este comportamento acompanha, como seria de esperar, a própria variabilidade da precipitação, que no nosso país é o factor desencadeante por excelência dos processos de instabilidade geomorfológica;
 - conciliando vários estudos de caso, com a informação derivada da BD e o apuramento de algumas metodologias de análise *in situ*, verifica-se que as características das formações superficiais (principalmente a textura e espessura), condicionando o seu comportamento hidrológico em resposta a episódios chuvosos diferenciados, influenciam de forma clara a própria tipologia dos movimentos de vertente. Refira-se ainda, já no âmbito da modelação da susceptibilidade destes processos, o facto destas formações constituírem uma das variáveis condicionantes de maior significância estatística, detendo elevadas taxas de sucesso;
 - finalmente, considera-se a importância da aplicação de modelos preditivos à elaboração da cartografia de susceptibilidade, salientando-se que a utilização de modelos de base física e modelos estatísticos deve ser ponderada tendo principalmente em conta a escala de análise: se os primeiros se adequam a estudos de pormenor centrados em pequenas áreas, os métodos estatísticos adaptam-se à modelação da instabilidade a uma menor escala.

Bibliografia

- ALCÁNTARA-AYALA, I. (2008) - "On the historical account of disastrous landslides in Mexico: the challenge of risk management and disaster prevention". *Adv. Geosci.*, 14, pp. 159-164.
- BARNOLAS, M. e LLASAT, M. C. (2007) - "A flood geodatabase and its climatological applications: the case of Catalonia for the last century". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, pp. 271-281.
- BATEIRA, C. (2001) - *Movimentos de vertente, susceptibilidade geomorfológica e Sistemas de Informação Geográfica*. Tese de doutoramento em Geografia Física, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 475 p.
- BATEIRA, C. (2010) - "Avaliação da susceptibilidade natural na região norte de Portugal. Análise prospectiva e ordenamento do território". *Prospectiva e Planeamento*, Vol. 17, pp. 15-32.
- BATEIRA, C. e SOARES, L. (1992-1995) - "O fluxo de detritos de Cavez. Um exemplo de movimento de massa na evolução actual de vertentes". *Actas do VI Colóquio Ibérico de Geografia*, vol. 2, Publicações da Universidade do Porto, pp.985-998.

Movimentos de massa em vertentes no norte de Portugal. Retrospectiva e actualização.

- BATEIRA, C. e SOARES, L. (1997) - "Movimentos em massa no norte de Portugal. Factores da sua ocorrência". *Territorium* n° 4, Coimbra, Ed. Minerva, pp. 63-77.
- BATEIRA, C.; PEREIRA, S.; SEIXAS, A.; HERMENEGILDO, C. e SOARES, L. (2007) - "Hidrologia de terraços agrícolas e instabilidade de vertentes no vale do Douro". In: *Terrazas y Prevención de Riesgos Naturales*, Consell de Mallorca, pp. 41-66.
- BATEIRA, C.; SANTOS, M.; HERMENEGILDO, C.; SOARES, L.; PEREIRA, S.; QUARESMA, I. e SANTOS, P. (2013) - "Distribuição temporal dos desastres naturais de origem hidro-geomorfológica em Portugal continental (1865-2010)", *Atas/Proceedings do VI Congresso Nacional de Geomorfologia*, Coimbra, pp. 110-114.
- BAUM, R. L.; SAVAGE, W. Z. e GODT, J. W. (2002) - *TRIGRS: A FORTRAN Program for Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Analysis*. USGS, Colorado, 35 p.
- BAUM, R. L.; COE, J. A.; GODT, J. W.; HARP, E. L.; REID, M. E.; SAVAGE, W. Z.; SHULZ, W. H.; BRIEN, D. L.; CHLEBORAD, A. F.; MACKENNA, J. P. e MICHEL, J. A. (2005) - "Regional Landslide-hazard assessment for Seattle, Washington, USA". *Landslides*, 2, pp. 266-279.
- BLACK, A R. e Law, F. M. (2004) - "Development and utilization of a national web-based chronology of hydrological events". *Hydrological Sciences Journal*, 49, pp. 237-246.
- BROOKS, S.; CROZIER, M.; PRESTON, N. e ANDERSON, M. (2002) - "Regolith stripping and the control of shallow translational hillslope failure: application of a two-dimensional coupled soil hydrology-slope stability model, Hawke's Bay, New Zealand". *Geomorphology*, 45 p. 165-179.
- DEVOLI, G.; STRAUCH, W.; CHÁVEZ, G. e HØEG, K. (2007) - "A landslide database for Nicaragua: a tool for landslide-hazard management". *Landslides*, 4, pp. 163-176.
- DIETRICH, W. E. e MONTGOMERY, D. R. (1998) - *SHALSTAB: A Digital Terrain Model for Mapping Shallow Landslide Potential*. National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement. Technical Report.
- DIEZ-HERRERO, A.; GERARDO BENITO e LAÍN-HUERTA, L. (1998) - "Regional paleofloods databases applied to floods hazards and palaeoclimate analysis". In: *Palaeohidrology and Environmental Change*, John Wiley & Sons, pp. 335-347.
- DIKAU, R.; CAVALLIN, A. e JAGER, S. (1996) - "Databases and GIS for landslide research in Europe". *Geomorphology*, 15:227-239.
- FRATTINI, P.; CROSTA, G. B.; FUSI, N. e NEGRO, P. D. (2004) - "Shallow landslides in pyroclastic soils: a distributed modelling approach for hazard assessment". *Engenring Geology*, 73, pp. 277-295.
- GUHA-SAPIR, D. e BELOW, R. (2002) - *The quality and accuracy of disaster data. A comparative analyses of three global data sets*. Provention Consortium, 18 p.
- GUZZETTI, F.; CARDINALI, M. e REICHENBACH, P. (1994) - "The AVI Project: A Bibliographical and Archive Inventory of Landslides and Floods in Italy". *Environmental Management*, Vol. 18, N°. 4, pp. 623-633.
- GUZZETTI, F. e TONELLI, G. (2004) - "Information system on hydrological and geomorphological catastrophes in Italy (SICI): a tool for managing landslide and flood hazards". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4: 213-232.
- GUZZETTI, F.; CIPOLLA, F.; LOLLI, O.; PAGLIACCI, S.; SEBASTIANI, C. e TONELLI, G. (2002) - *Information system on historical landslides and floods in Italy*, Urban Hazards Forum, New York, 14 p.
- HILKER, N.; BADDOUX, A. e HEGG, C. (2009) - "The Swiss flood and landslide damage database 1972-2007". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9. pp. 913-925.
- INNES, J. (1983) - "Debris flows". *Progress in Physical Geography*, vol. 7, n° 4, pp. 469-501.
- JULIÃO, R.; Nery, F.; RIBEIRO, J.; BRANCO, M. e ZÉZERE, J. (2009) - *Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a Criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de Base Municipal*, ANPC, 93 p.

- KOMAC, M.; FAJFAR, D.; RAVNIK, D. e RIBICIC, M. (2007) - "Slovenian National Landslide DataBase - A promising approach to slope mass movement prevention plan". *Geologija* 50/2. pp. 393-402.
- LAMBE, P. (1996) - Residual Soils. In: *Landslides. Investigation and mitigation*. In: TURNER, A. K. e SCHUSTER, R. L. (Eds.) - *Transportation Research Board, Special Report 247*, National Academy Press, Washington D. C., pp. 507-524.
- LLASAT, M. C.; LLASAT-BOTIJA, M. e LÓPEZ, L. (2009) - "A press database on natural risks and its application in the study of floods in Northeastern Spain". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, pp. 2049-2061.
- MALET, J.-P.; REMAÎTRE, A.; MAQUAIRE, O.; ANCEY, C. e LOCAT, J. (2003) - "Flow susceptibility of heterogeneous marly formations: implications for torrent hazard control in the Barcelonnette Basin (Alpes-de- Haute-Provence, France)". In: *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment*, Rickenmann & Chen (eds), Millpress, pp. 351-362.
- MARQUES, F. M. (1997) - *As arribas do litoral do Algarve. Dinâmica, Processos e Mecanismos*. Dissertação de Doutoramento em Geologia, Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 556 p.
- MARQUES, F. M. (2008) - "Magnitude-frequency of sea cliff instabilities". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, pp. 1161-1171.
- MONTGOMERY, D. R. e DIETRICH, W. E. (1994) - "A Physically Based Model for the Topographic Control on Shallow Landsliding". *Water Resources Research*, 30, pp. 1153-1171.
- MORGAN, M. e BRIGGS, D. (1977) - *Sources and methods in Geography*, Butterworths, 192 p.
- PEDROSA, A.; BATEIRA, C. e SOARES, L. (1995) - "Covelo do Gerês: Contributo para o estudo dos movimentos de massa no Norte de Portugal". *Territorium*, nº 2, Coimbra, Minerva, pp. 21-32.
- PEREIRA, S.; ZÉZERE, J. L. e BATEIRA, C. (2010) - "Estabelecimento de limiares de precipitação de base empírica para a ocorrência de fluxos de lama e de detritos no Norte de Portugal". *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, Vol. VI, pp. 155-162.
- PEREIRA, S.; BATEIRA, C.; HERMENEGILDO, C. e SEIXAS, A. (2006) - "Análise comparativa do escoamento em terraços de áreas granitóides e metassedimentares". *Actas de las Jornadas sobre terrazas y prevencion de riesgos naturales*, Mallorca, pp. 149-158.
- PEREIRA, S.; BATEIRA, C. e SANTOS, M. (2007) - "Base de dados de movimentos de vertente: um instrumento de apoio ao PROT-Nort"e. *Inforgeo*, 22-23, pp. 24-36.
- PEREIRA, S. (2009) - *Perigosidade a movimentos de vertente na região Norte de Portugal*. Tese de Doutoramento em Geografia Física, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 373 p.
- PETRUCCI, O. e VERSACE, P. (2004) - "ASICal: a database of landslides and floods occurred in Calabria (Italy)". In: GAUDIO, R (ed) - *Proceedings of the 1st Italian-Russian workshop: new trends in hydrology*, Rende (Italy), CNR-GNDCI, 2823, pp. 49-55.
- PIMENTA, R. (2011) - *Avaliação da Susceptibilidade à Ocorrência de Movimentos de Vertente com Métodos de Base Física*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa.
- QUARESMA, I. (2008) - *Inventariação e análise de eventos hidro-geomorfológicos com carácter danoso em Portugal Continental*. Mestrado em Geografia Física, Especialização em Geografia Física, Recursos e Riscos Ambientais, Lisboa, 110 p.
- SANTOS, M.; BATEIRA, C.; HERMENEGILDO, C.; SOARES, L.; PEREIRA, S.; QUARESMA, I. e SANTOS, P. (2013) - "Temporal distribution of floods and landslides in Portugal (1865-2010)". *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 15, EGU2013-4308, EGU General Assembly.
- SCHUSTER, R. e WIECZOREK, G. (2002) - "Landslide triggers and types". In *Landslides*, Rybbår, Stemberk & Wagner (eds), pp. 59-75.

Movimentos de massa em vertentes no norte de Portugal. Retrospectiva e actualização.

- SEIXAS, A.; BATEIRA, C.; HERMENEGILDO, C.; SOARES, L. e PEREIRA, S. (2006) - Definição de critérios de susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente na Bacia Hidrográfica da Ribeira da Meia Légua". *Actas de las Jornadas sobre terrazas y prevencion de riesgos naturales*, Mallorca, pp. 87-96.
- SOARES, L. (2008) - *A importância das formações superficiais no âmbito dos processos de erosão hídrica e movimentos de vertente no NW de Portugal*. Dissertação apresentada à Faculdade de Letras da Universidade do Porto para a obtenção do grau de doutor na especialidade de Geografia no ramo de conhecimento em Geografia Física, 850 p.
- SOARES, L.; BATEIRA, C.; PEREIRA, S.; SEIXAS, A. e HERMENEGILDO, C. (2010) - "Processos de escoamento em terraços agrícolas no vale do Douro: comportamento hídrico em diferentes tipos de formações superficiais e secções de vertente". *XII Colóquio Ibérico de Geografia*, Porto. Disponível em <http://web.letras.up.pt/xiicig/resumos/144.pdf>
- SOARES, L. e BATEIRA, C. (2010) - As formações superficiais como factor condicionante dos movimentos de vertente no NW de Portugal, Porto". *Actas/Proceedings do V Congresso Nacional de Geomorfologia*, pp. 481-485.
- TSCHOEGL L.; BELOW, R. e GUHA-SAPIR, D. (2006) - *An Analytical Review of Selected Data Sets on Natural Disasters and Impacts*. UNDP/CRED Workshop on Improving Compilation of Reliable Data on Disaster Occurrence and Impact, 21 p.
- TUDOR, C. (1997) - *EPC Electronic Disaster Database and Its Characteristics*. Project Report 97-1, Emergency Preparedness Canada, 32p. Disponível em: <http://www.publications.gc.ca/collections/Collection/D83-5-97-1E.pdf>
- YALCIN, A. (2007) - "The effects of clay on landslides: A case study". *Applied Clay Science*, 38, pp. 77-85.
- VAN DEN EECKHAUT, M. e HERVÁS, J. (2012) - State of the art of national landslide databases in Europe and their potential for assessing landslide susceptibility, hazard and risk. *Geomorphology*, 139-140:545-558.
- VASCONCELOS, M. (2011) - *Cartografia de Susceptibilidade à Ocorrência de Movimentos de Vertente em Contexto Urbano: o Concelho de Lisboa*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa.
- VIEIRA, B. (2007) - *Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas*. Tese de Doutoramento, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 193 p.
- WIECZOREK, G. (1996) - "Landslide Triggering Mechanisms". In: TURNER, A. K. e SCHUSTER, R. L. (eds.) - *Landslides: Investigation and Mitigation*, Special Report 247, Washington, National Academy Press, pp. 76-90.
- ZÉZERE, J. L. (1997) - *Movimentos de vertente e perigosidade geomorfológica na região a norte de Lisboa*. Tese de Doutoramento em Geografia Física, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 575 p.
- ZÉZERE, J. L. e RODRIGUES, M. L. (2002) - "Rainfall Thresholds for Landsliding in Lisbon Area (Portugal)". In: RYBAR, STEMBERK e WAGNER (Eds.) - *Landslides*, A.A. Balkema, Lisse, pp. 333-338.
- ZÉZERE, J. L.; REIS, E.; GARCIA, R.; OLIVEIRA, S.; RODRIGUES, M. L.; VIEIRA, G. e FERREIRA, A. B. (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*, vol. 4, pp. 133-146.
- ZÉZERE, J. L. (2007) - "Riscos e Ordenamento do Território". *Inforgeo*, 20/21, Ordenamento Territorial, Associação Portuguesa de Geógrafos, pp. 59-63.
- ZÉZERE, J. L.; PEREIRA, A. R. e MORGADO, P. (2007) - "Perigos Naturais em Portugal e Ordenamento do Território. E depois do PNPOT?" *Geophilía - O sentir e os sentidos da Geografia*, CEG, Lisboa, pp. 529-542.
- ZÉZERE, J. L.; TRIGO, R. M.; FRAGOSO, M.; OLIVEIRA, S. C. e GARCIA, R. A. C. (2008) - "Rainfall-Triggered Landslides Occurred in the Lisbon Region in 2006: Validation of Regional Rainfall Thresholds and Relationships with the North Atlantic Oscillation". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, pp. 483-499.