

CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE AOS MOVIMENTOS DE TERRENO DO CONCELHO DE ALMADA, 1:10 000

SUSCEPTIBILITY TO LANDSLIDING MAP OF THE ALMADA COUNTY, SCALE 1:10 000

Silva, A. Paula F. da, *Centro de Estudos Geológicos da UNL, Monte de Caparica, Portugal,*
asilva@fct.unl.pt

Lamas, Pedro C., *Centro de Estudos Geológicos da UNL, Monte de Caparica, Portugal,*
pcl@fct.unl.pt

Rodrigues-Carvalho, J. A., *Centro de Estudos Geológicos da UNL, Monte de Caparica,*
Portugal, rc@fct.unl.pt

RESUMO

A partir de um inventário de movimentos de terrenos para o Concelho de Almada, e após o armazenamento desta informação numa base de dados geoespacial, o sistema de informação Geo-Almada (SIGEO-ALMADA), manipulou-se esta e outra informação, em ambiente SIG, tendo-se derivado automaticamente uma carta de susceptibilidade aos movimentos de terrenos para aquele território, na escala 1:10 000. Na presente comunicação apresentam-se as principais etapas empreendidas, as ponderações adoptadas para os diferentes tipos litológicos e classes de declives, e tecem-se algumas considerações sobre a metodologia seguida e os resultados obtidos.

ABSTRACT

Starting from a mass movement inventory of the territory of Almada Municipality, and after storing this information in a geospatial database, called Geo-Almada information system (SIGEO-ALMADA), specific geotechnical information was manipulated, in GIS environment, and an automatically derived landsliding susceptibility map, at the scale of 1:10 000, was accomplished for that territory. In this paper, the main steps undertaken along the work, as well as the weights adopted for the lithological types and slope classes are presented. Finally, some final considerations are drawn about the methodology used and the results obtained.

1. INTRODUÇÃO

O Concelho de Almada, limitado a norte, poente e no extremo NE por taludes escarpados, apresenta um já longo historial de movimentos de terrenos, principalmente na última centena e meia de anos, em consequência das diversas actividades antrópicas que nele se têm verificado. O forte crescimento industrial e populacional ocorrido nas últimas cinco ou seis décadas, teve como consequência a instalação de cada vez mais pessoas e estruturas em locais de perigo de instabilidade, o que tem levado as entidades competentes a sentirem necessidade de documentação de cariz geotécnico que, de algum modo, as apoie nas suas decisões sobre o uso do solo.

Esta problemática tem vindo a ser acompanhada pelos autores no decorrer das últimos duas décadas, no âmbito de diversos trabalhos de investigação, primeiro no designado Projecto TAGUS [1-3], o qual interessou inicialmente uma estreita faixa marginal entre Cacilhas e

Trafaria, tendo-se alargado os estudos, mais tarde, para a totalidade do Concelho de Almada [4, 5].

De entre os diversos tipos de movimentos de terrenos inventariados no Concelho, distinguem-se principalmente quedas, desmoronamentos e escorregamentos. Detectaram-se também amplas manchas de depósitos de vertente em fluência, bem como algumas acumulações de terrenos soltos, deslocados no decorrer de inverniais recentes por mecanismo do tipo fluxo de terras.

A grande maioria das evidências de instabilidade observadas na região concentra-se ao longo dos taludes ribeirinhos entre Cacilhas e Trafaria, em terrenos miocénicos, localizando-se também um número importante de ocorrências no trecho setentrional da Arriba Fóssil da Costa de Caparica, a poente, virada ao Atlântico. Para o interior, o território compõe-se de colinas com pequenos desníveis e de declive relativamente suave o que, aliado à existência de terrenos em regra mais grosseiros, plio-quadernários, justifica a muito maior raridade daqueles fenómenos. Assim, as quedas e desmoronamentos ocorrem essencialmente nos trechos mais escarpados daquelas zonas, ou seja, no sector de taludes para nascente da Ponte 25 de Abril e em certas extensões da Arriba Fóssil. Os escorregamentos têm-se verificado nas vertentes dos vales que intersectam os taludes marginais do Tejo. O mecanismo do tipo fluência afecta grandes extensões de terrenos soltos depositados na metade inferior das escarpas entre Cacilhas e a Ponte e, pontualmente, noutros locais.

No extremo norte do Concelho, formando uma extensa costeira entre Cacilhas e a Costa de Caparica, verifica-se a ocorrência de estratos alternadamente mais rijos, areno-carbonatados, e mais brandos, silto-argilosos, de idade miocénica e, para sul, cobrindo o resto do território, terrenos maioritariamente arenosos a areno-argilosos, mais modernos, pliocénicos a recentes. Existem, assim, três grandes grupos litológicos cujas características geotécnicas se podem resumir como se segue [4, 5]:

- rochas, em regra calcários margosos, margas arenosas ou arenitos algo carbonatados e lumachelas. São caracterizadas por resistência à rotura em compressão uniaxial abaixo de 20 MPa, o que as coloca no domínio das rochas de baixa resistência ou mesmo de muito baixa resistência.
- siltes, argilosos ou arenosos, sobreconsolidados. Apresentam-se, quando *in situ*, muito fissurados nas zonas mais próximas da superfície, com resistência em compressão uniaxial variando de 0,2 a 0,8 MPa e resistência ao corte caracterizada por coesão raramente superior a 100 kPa e ângulo de atrito elevado, entre 25° e 35°. Em termos de características de plasticidade, o limite de liquidez (LL) é da ordem de 40% e o índice de plasticidade (IP) ronda 20%. Estes materiais têm permeabilidade muito baixa. Nos solos deslocados, mais permeáveis, decrescem os valores do LL, em média, para 30%, mantendo-se os de IP nos 10%.
- complexo constituído essencialmente por 85% de solos grossos, em regra areias com misturas de seixos e/ou finos; quando ocorrem leitos argilosos, siltosos e de cascalheiras são geralmente lenticulares. As características de plasticidade são heterogéneas: a maioria dos solos são não plásticos ou têm $LL < 30\%$, e nestes casos, o IP tende a ser de 19% em média. Os ângulos de atrito são em média superiores a 35°, com excepção das intercalações mais argilosas.

Na presente comunicação, começa-se por definir o tipo de carta geotécnica elaborada referindo-se, em seguida, a metodologia adoptada no que se refere às cartas de factores utilizadas, escalas adoptadas, e apresentando-se o método seguido para a derivação automática da carta de susceptibilidade aos movimentos de terrenos. Uma carta de susceptibilidade aos movimentos de terrenos é uma carta geotécnica em que são definidas zonas com diferentes graus de propensão

para a ocorrência desses movimentos, tendo por base factores como a litologia, profundidade do nível freático, declives, inventariação de ocorrências, etc., com o objectivo de definir áreas com limitações geológicas e geotécnicas à ocupação humana.

Em todo o processo recorreu-se ao uso de um sistema de informação geográfica (SIG), o GEOMEDIA PROFESSIONAL® da *Intergraph*, tendo toda a informação, alfanumérica e geométrica relativa aos temas cartográficos necessários ao objectivo em prossecução, sido armazenada e manipulada em formato digital. Estes elementos integraram uma base de dados georreferenciados, no domínio das Ciências da Terra, que foi desenvolvida para o Concelho de Almada [5, 7] e que foi designada por “Sistema de Informação Geo-Almada” – SIGEO-ALMADA. Por último, referem-se os resultados obtidos e discute-se a sua validade.

2. METODOLOGIA ADOPTADA

2.1 Na globalidade

O sistema de informação utilizado neste trabalho integra um conjunto de bases de dados em ACCESS®, uma parte dos quais, por serem georreferenciados, podem ser visualizados em ambiente SIG, compatíveis com os formatos de ficheiros utilizados pelo GEOMEDIA PROFESSIONAL [5].

Os resultados dos trabalhos de cartografia foram incluídos num conjunto de cartas base, digitais, com a resolução da escala 1:5 000, às quais se associou informação alfanumérica, segundo uma estrutura de dados predefinida [5, 7]. A cada tema desenvolvido corresponde uma base de dados georreferenciados – por exemplo:

- **Declives**, inclui as seguintes sete classes de declives: 0-2%, 2-5%, 5-8%, 8-15%, 15-30%, 30-50% e >50%;
- **Litologia**, abrange a litologia e a tectónica;
- **Perigos Geológicos**, contempla a descrição dos movimentos de terrenos e fenómenos de erosão.

A partir deste conjunto básico de informação foi derivada outra, também espacialmente referenciada e com temática no domínio da cartografia geotécnica, e que integrou uma nova base designada de **Derivadas**.

A escala das análises efectuadas em ambiente SIG foi 1:5 000 mas, para minimizar eventuais imprecisões nos limites, considerou-se que a cartografia derivada não deveria ser apresentada a uma escala superior a 1:10 000.

O controlo de qualidade dos dados digitalizados/geocodificados incluiu sempre uma inspecção visual com base em impressões em plotter de rolo A0, a jacto de tinta, com uma resolução máxima de 600 dpi. Compararam-se, assim, os limites/pontos de observação do ficheiro digital com os das correspondentes cartas analógicas originais (respectivamente, nas escalas 1:5 000 e 1:1 000), para garantir que os dados estavam completos e avaliar a exactidão da vectorização/conversão de dados. Só então se converteu, em ambiente SIG, cada um dos ficheiros vectoriais para uma estrutura topológica. Para o efeito recorreu-se às ferramentas de manipulação, edição e validação dos elementos gráficos disponibilizadas pelo software, a fim de validar a topologia. Seguidamente, povoaram-se os atributos das tabelas associadas [5, 7].

Os principais tipos de movimentos de massa em vertentes detectados foram:

1. Escorregamentos de tipo rotacional, singulares ou sucessivos, ou de tipo planar, em geral pouco profundos, que afectam essencialmente as vertentes dos vales. Dos primeiros podem distinguir-se quanto à posição na vertente, escorregamentos de crista, envolvendo volumes relativamente pequenos, especialmente ao longo dos degraus de escarpas que sulcam os vales mais importantes que drenam para o Tejo; e escorregamentos de sopé. Um daqueles escorregamentos de crista esteve na origem de duas vítimas mortais em Porto Brandão [6].
2. Escorregamentos de detritos, superficiais, envolvendo coluviões pouco espessos e/ou a camada superior mais alterada dos terrenos miocénicos expostos em taludes mais declivosos.
3. Quedas de blocos e desmoronamentos de painéis rochosos, geralmente a partir dos degraus das escarpas que atingem maior altura.
4. Fluência, em algumas vertentes, que se tem vindo a desenrolar ao longo de várias décadas.
5. Fluxos de terra que se desenvolvem, em regra, em áreas susceptíveis a escorregamentos e que, devido à presença de excesso de água nos terrenos envolvidos, passam a ter comportamento fluido.

A reclassificação da informação contida no SIGEO-ALMADA relativa aos declives dos terrenos e à litologia para avaliar a susceptibilidade à ocorrência de movimentos de terrenos teve em consideração diversos pressupostos que se descrevem, sucintamente, em seguida. Essa reclassificação levou à produção de novos registos e à derivação de nova informação (sob a forma de tabela) na base de dados *Derivadas*, que resultou da manipulação da informação relativa aos declives do terreno e à litologia.

A sobreposição destas cartas de factores para obtenção de uma carta derivada, implicou que fosse desenvolvida uma classificação que considerasse um pequeno número de classes significativas para cada factor. Quando se procedeu à sobreposição sequencial de todos os eles, foram definidos domínios homogéneos cujo número, dimensão e natureza dependeram do critério utilizado para os factores iniciais da análise.

2.2 Elaboração da carta de susceptibilidade

Na análise condicional para a obtenção de uma carta de susceptibilidade aos movimentos de terrenos, definiram-se apenas duas variáveis – litologia e declives - que foram objecto de uma distribuição por classes consideradas significativas para o fim pretendido.

A elaboração das cartas iniciou-se pela atribuição, a cada factor, de valores numéricos proporcionais à importância de cada classe, tendo em atenção o objectivo pretendido. As intersecções que têm pontuação máxima são caracterizadas pelo nível de factores mais desejáveis e níveis intermédios são imputados de acordo com o nível/grau de aceitação. Os pesos atribuídos foram então somados para cada intersecção obtida em área. Deste modo, os valores mais elevados e os mais baixos reflectem, respectivamente, sítios mais e menos favoráveis do ponto de vista da estabilidade.

A ponderação para os factores declives e litologia levou à descrição de, respectivamente, três e quatro classes. Para o efeito, reclassificaram-se as sete classes de declives e as dez litologias definidas nas cartas de base, para as que se indicam nos Quadros 1 e 2.

Quadro 1 – Reclassificação das classes de declives.

Classe de declive	Ponderação	Significado
< 15%	5	Estabilidade boa a muito boa
15 – 30%	3	Estabilidade moderada
> 30%	1	Estabilidade reduzida

Quadro 2 – Reclassificação das litologias.

Litologia	Ponderação	Significado
Depósitos de vertente; Siltes e siltes argilosos a arenosos; Argilas e siltes	1	Susceptibilidade elevada
Aterros	não controlados	Susceptibilidade elevada
	controlados	Susceptibilidade baixa
Cascalheiras e areias argilosas; Areias e arenitos com mistura de finos/seixos; Areias, siltes argilosos e bancadas carbonatadas espessas	3	Susceptibilidade moderada
Aluviões, areias de duna e praia, aterros não controlados predominantemente de enrocamento	Excluídos da análise por não serem afectados por movimentos de massa em vertente (<i>considerados com valor nulo na BD</i>)	

3. RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Carta de inventário

A análise da informação que integra o SIGEO-ALMADA permite retirar algumas conclusões interessantes que se apresentam em seguida. Dos cerca de 190 movimentos de terrenos incluídos na base de dados, mais de metade estão considerados como inactivos (58%), 9% encontram-se estabilizados por obras de engenharia e 17% foram considerados como suspensos, isto é, poderão ser reactivados mediante, por exemplo, condições meteorológicas excepcionais. Apenas 5% são considerados como activos (fluência) e outros tantos classificados como intermitentes [5].

A distribuição dos eventos em função da data/intervalo de anos estimado para a respectiva ocorrência (Fig. 1), permite verificar que as invernias de 1962/63 e 1963/64, que apresentaram uma pluviosidade média anual entre 1000 mm e 1250 mm na estação de Lisboa – Instituto Geofísico Infante D. Luís [4], foram responsáveis por um número elevado de eventos, em especial queda de blocos (23 ocorrências) e escorregamentos (18). Ulteriormente, no decorrer da invernia de 1995/96 verificou-se novo importante episódio de movimentos de terrenos, também em consequência de precipitações anormalmente elevadas, tendo desta vez assumido a primazia os escorregamentos (nove eventos) e acessoriamente as quedas de blocos (5), logo seguidos pelos desmoronamentos por lasqueamento já no trecho da arriba fóssil entre a Trafaria e o IC 20.

A deficiente cobertura aerofotográfica disponível para as décadas de 30 a 60, sobre o trecho da Arriba Fóssil a sul do IC 20, impossibilitou que se efectuasse uma datação mais fina dos

movimentos de massa naquele trecho, ao contrário do que se passou para a vertente Norte do Concelho. Os elementos de movimentos sem datação (4,2% do total) que existem na base de dados, dizem todos respeito a este sector ou, inclusive, às vertentes da Ribeira da Foz do Rego, próxima da Arriba.

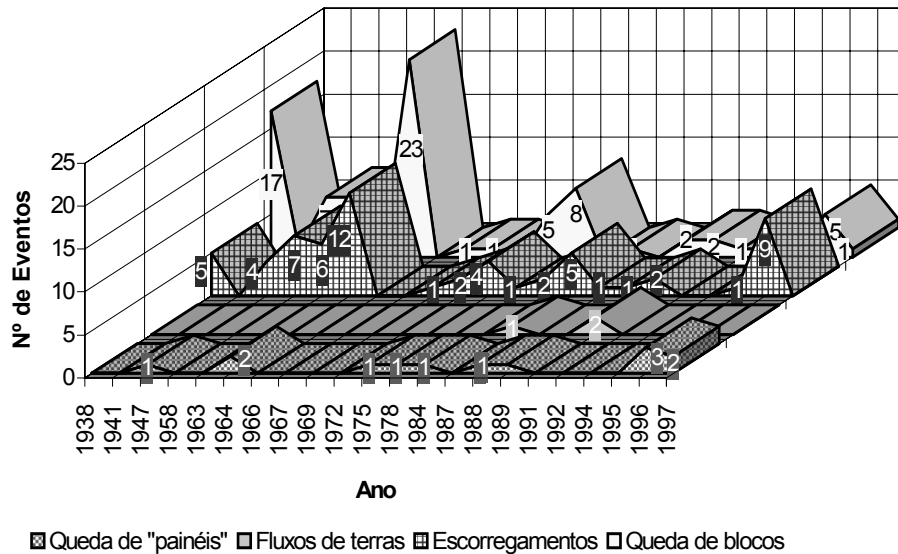


Figura 1 - Distribuição dos movimentos de terreno inventariados no Concelho de Almada em função da data estimada/determinada da ocorrência [5].

3.2 Carta de susceptibilidade

A análise do cruzamento automático de informação permitiu verificar uma boa correspondência entre os factores seleccionados inicialmente e a incidência de movimentos de terrenos. A litologia onde se verifica maior susceptibilidade é a dos siltes argilosos ou argilas siltosas miocénicas, em especial os que conformam os taludes do Tejo, ainda em plena evolução geomorfológica. Nos degraus intermédios daqueles taludes, estas formações apresentam-se mais descomprimidas e, portanto, são também sede de alguns movimentos de terrenos.

Por comparação directa com a carta de inventário de movimentos de terrenos, foi possível definir três zonas (Fig. 2) com diferentes incidências daquele fenómeno (elevada, moderada e baixa ou nula), não se tendo verificado sequer a necessidade de recorrer à contagem de ocorrências para as definir.

Assim, o zonamento obtido para a susceptibilidade aos movimentos de terrenos foi o seguinte [5]:

- **zonas de susceptibilidade elevada** - foram todas aquelas cujo valor do factor de ponderação da litologia era 1, independentemente do declive, ou de litologias classificadas com factor de ponderação 2 ou 3 mas declive superior a 30% (ponderação 1); correspondem aos taludes miocénicos da margem sul do Tejo, e respectivos depósitos de vertente, e aos mio-pliocénicos da Arriba Fóssil e, ainda, a alguns trechos do vale da Ribeira do Foz do Rego, cujos declives são superiores a 30%;

- **zonas de susceptibilidade moderada** - coincidem com áreas que envolvem algumas das anteriormente descritas, isto é, de litologias ponderadas com factor 2 ou 3, mas com declives entre 15% e 30% (ponderação 3) ou de declive inferior a 15% (ponderação 5) em litologia ponderada com factor 2. Englobam ainda litologias ponderadas como de susceptibilidade baixa (ponderação 5) mas declive superior a 30% (ponderação 1); é o caso das áreas correspondentes a alguns depósitos de vertente da região, às arribas do Alfeite, às zonas do reverso dos taludes da margem sul do Tejo que drenam para a Vala do Caramujo ou, ainda, que integram a bacia de drenagem da Vala da Enxurrada/Ribeira da Trafaria e seus afluentes.
- **zonas de susceptibilidade baixa ou nula** – abrangem a maior parte da área do concelho; correspondem a todas as litologias ponderadas com factor 5 e declive superior a 15% (factores de ponderação 3 e 5), bem como as ponderadas com factor 3, mas declive inferior a 15% (factor ponderação 5).

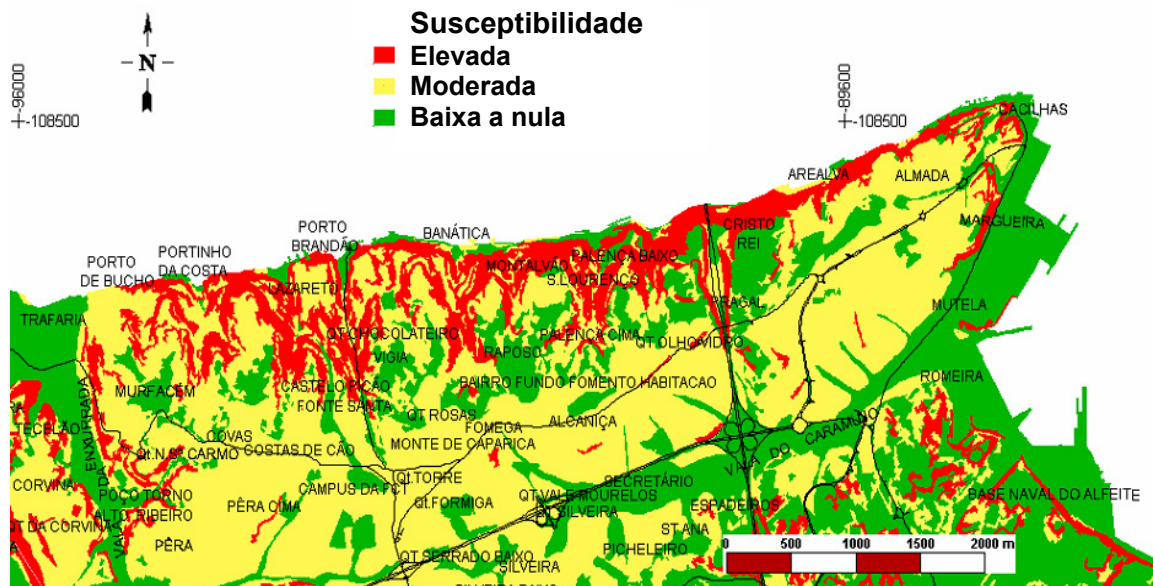


Figura 2 – Extracto da Carta de Susceptibilidade aos Movimentos de Terrenos do Concelho de Almada [5].

4. CONCLUSÕES

A disponibilização de informação básica, no domínio das Ciências da Terra, em bases de dados georreferenciados para o Concelho de Almada (SIGEO-ALMADA), veio disponibilizar um acervo de dados de qualidade aferida que permitiu a obtenção de um conjunto de cartas geotécnicas derivadas e de síntese.

A manipulação e análise em ambiente SIG da informação relativa aos declives, litologia e inventário de movimentos de massas em vertentes permitiram a derivação, em formato digital na escala 1:10 000, de uma carta de susceptibilidade aos movimentos de terrenos para o Concelho, na qual se definem três zonas com diferentes graus de propensão à instabilidade.

Estas cartas aqui referidas, poderão ser utilizadas na tomada de decisões a nível municipal e no âmbito da protecção civil, bem como no desenvolvimento de outro tipo de cartografia, nomeadamente de perigosidade e do tipo *hazard*.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Rodrigues-Carvalho J.A. & Costa C. N., Modificações nas escarpas da Margem Sul do Tejo entre 1958 e 1975 - Um exemplo de utilização de Detecção Remota para o estudo da influência antrópica nos processos geológicos e naturais, *Bol. Geotécnico* (SAGT-FCT/UNL), 2(1986): 175-197.
- [2] Rodrigues-Carvalho J.A & Lamas P.C., Carta de movimentos de terrenos dos taludes da Margem Sul do Tejo, *Bol. Geotécnico* (SAGT-FCT/UNL), 3(1987): 57-70.
- [3] Lamas P.C., *Carta de riscos de movimentos de terrenos dos taludes da margem Sul do Tejo (Cacilhas-Trafaria)*, Dissertação de Mestrado, UNL, Lisboa (1989): 110 pp.
- [4] Lamas P. C., *Os taludes da margem sul do Tejo. Evolução geomorfológica e os mecanismos de rotura*, Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Geotecnia (Geologia de Engenharia), UNL, Lisboa (1998): 379 pp.
- [5] Silva A.P. da, *Cartografia geotécnica do concelho de Almada e o Sistema de Informação GEO-ALMADA*, Dissertação para obtenção do Doutor em Geotecnia (especialidade em Geologia de Engenharia), UNL, Lisboa, 2 vols. (2003): 343 pp.
- [6] Larangeira M. *et al.*, Relatório sobre os acidentes naturais verificados na frente norte do concelho. CMA, *Relatório não publicado*, Almada (1996).
- [7] Silva A. P. da; Lamas P. C.; Rodrigues-Carvalho J. A. & Larangeira M., *Os movimentos de terrenos no sistema de informação geotécnica Geo-Almada*. Actas do 8º Congresso Nacional de Geotecnia, SPG, Lisboa (2002): 136-144.