

VI

Congresso Nacional  
de Geomorfologia

Geomorfologia: novos e velhos desafios



Atas

...  
Proceedings

**Editores:**

Adélia Nunes  
Lúcio Cunha  
João Santos  
Anabela Ramos  
Rui Ferreira  
Isabel Paiva  
Luca Dimuccio

21 a 23 de fevereiro de 2013  
Universidade de Coimbra

**© 2013, APGeom**  
**Associação Portuguesa de Geomorfólogos**

Departamento de Geografia  
Faculdade de Letras da Universidade do Porto  
Via Panorâmica,s/n  
4150-564 Porto

apgeom.dir@apgeom.pt

**Editores**

Adélia Nunes  
Lúcio Cunha  
João Santos  
Anabela Ramos  
Rui Ferreira  
Isabel Paiva  
Luca Dimuccio

**Design e Formatação:**

Anabela Ramos  
Isabel Paiva  
Rui Ferreira

**VI Congresso Nacional  
de Geomorfologia**

Departamento de Geografia  
Faculdade de Letras  
Universidade de Coimbra  
Col. S. Jerónimo  
3004-530 Coimbra

21 a 23 de fevereiro de 2013

**Apoios:**



Associação Portuguesa de Geomorfólogos



International Association of Geomorphologists



Departamento de Geografia (FLUC)



Centro de Estudos de Geografia  
e Ordenamento do Território

ISBN: 978-989-96462-4-7

**Radiocarbon Dating with Accuracy and Precision**

**BETA**  
Beta Analytic  
Radiocarbon Dating  
www.betalab.com

Beta Analytic Provides:  
• ISO 17025 accredited measurements  
• Quality assurance reports  
• Over 30 years of experience

Results in as little as 2 days  
Australia Brazil China India Japan Korea UK USA

## **CONTRIBUIÇÃO DA INTERFEROMETRIA RADAR PARA A DETERMINAÇÃO DO ESTADO DE ACTIVIDADE DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE**

### **RADAR INTERFEROMETRY CONTRIBUTION FOR THE ASSESSMENT OF LANDSLIDE STATE OF ACTIVITY**

Oliveira, Sérgio Cruz de, *RISKam-CEG-IGOT-UL, Lisboa, Portugal, cruzdeoliveira@campus.ul.pt*  
Zêzere, José Luís, *RISKam-CEG-IGOT-UL, Lisboa, Portugal, zezere@campus.ul.pt*  
Catalão, João, *DEGGE-FC-UL, Lisboa, Portugal, jcfernandes@fc.ul.pt*

#### **RESUMO**

A caracterização do estado de actividade numa abordagem mais tradicional reflecte sobretudo a dinâmica e os processos envolvidos na instabilidade das vertentes. Neste sentido, a classificação do estado de actividade dos movimentos de vertente na bacia do Rio Grande da Pipa, região norte de Lisboa, encontra-se demasiado dependente da data de conclusão do respectivo inventário (2010) e da data do último evento de instabilidade conhecido (2010). A utilização de dados de deformação PSInSAR, registos históricos e recentes, combinados em matriz, foi apresentado recentemente como uma solução para a determinação/redefinição do estado de actividade dos movimentos de vertente e veio permitir actualizar o conhecimento acerca da actividade dos movimentos de vertente na área de estudo.

#### **ABSTRACT**

The traditional approach to characterize the state of activity of landslides reflects essentially the dynamics and processes involved in the instability of slopes. Generally speaking, the classification usually adopted in the Rio Grande da Pipa basin (north of Lisbon region) is too dependent on the date of landslide inventory's conclusion (2010) and on the date on which the last landslide event occurred in on the study area (2010). The use of PSInSAR deformation maps, historical and recent terrain deformation records, combined into a matrix, was recently proved to be a solution for assess/correct the state of activity of landslides and has enabled an update in the knowledge about the activity behavior of the landslides in the study area.

#### **1. INTRODUÇÃO**

A caracterização do estado de actividade constitui uma etapa fundamental na avaliação da perigosidade, e tem por base, frequentemente, critérios geomorfológicos relacionados com a frescura dos elementos que caracterizam os movimentos de vertente, cuja conservação depende da idade do movimento. Em regra, a determinação do estado de actividade apenas com recurso a observações de campo é bastante difícil, principalmente no caso dos movimentos mais antigos e movimentos lentos a muito lentos. Uma das formas de ultrapassar este problema consiste no cruzamento dos inventários de movimentos de vertente com os mapas de deformação PSInSAR (e.g., Herrera et al., 2009). Este trabalho tem como objectivo avaliar o potencial dos registos de deformação obtidos por interferometria radar na determinação do estado de actividade dos movimentos de vertente.

#### **2. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO E DADOS DE BASE**

A bacia do Rio Grande da Pipa (Arruda dos Vinhos), com 110 km<sup>2</sup> (Figura 1), apresenta no contexto nacional uma das situações mais favoráveis em termos de predisposição natural para a instabilidade de

vertentes. Predominam na bacia formações sedimentares do Jurássico Superior, com destaque para as Camadas da Abadia (Kimeridgiano Inferior), que ocupam cerca de 58 % da área total da bacia. Litologicamente destaca-se uma alternância entre calcários, margas, argilas e arenitos controlados estruturalmente por um empolamento tectónico de grande raio de curvatura e que origina localmente uma inversão de relevo, com as rochas mais antigas e menos resistentes à erosão a ocupar o centro da bacia.

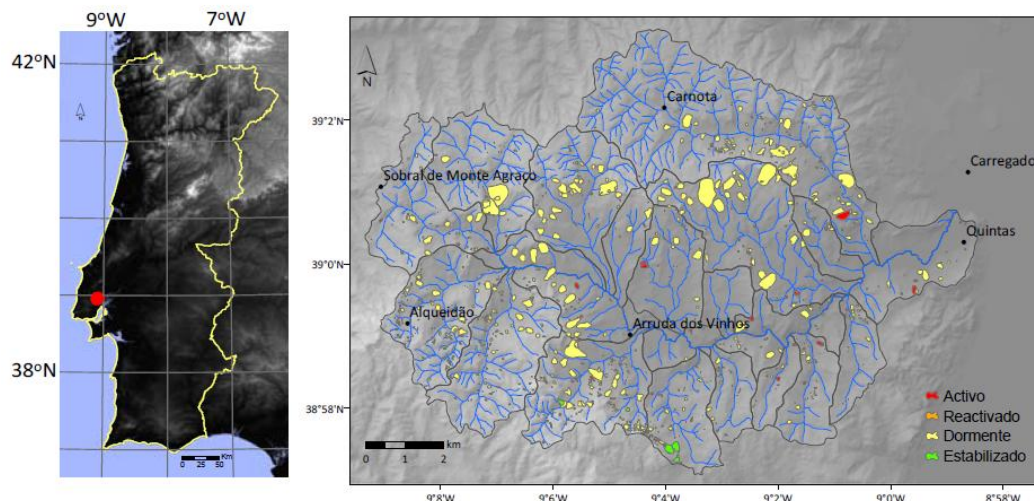


Figura 1 – Enquadramento da bacia do Rio Grande da Pipa e inventário histórico de movimentos de vertente classificados segundo o estado de actividade (classificação adaptada para a região a norte de Lisboa).

Como dados de base foram utilizados: (i) um inventário histórico das manifestações de instabilidade ocorridas na bacia do Rio Grande da Pipa (1434 movimentos de vertente, Figura 1); e (ii) quatro mapas de deformação PSInSAR para diferentes períodos e provenientes de diferentes sensores (Quadro 1).

Quadro 1 - Características gerais das imagens radar utilizadas na determinação do estado de actividade dos movimentos de vertente da bacia do Rio Grande da Pipa.

Mapas de deformação	Período	Fonte	Fonte
PSInSAR_rgp1	Jun. 1992-Dez. 1997	ERS1 /ERS2	Benevides, 2009
PSInSAR_rgp2	Abr.2003-Dez. 2005	ENVISAT	Benevides, 2009
PSInSAR_rgp3	Ago. 2003 - Set. 2010	ENVISAT	Cooksley e Mora, 2010
PSInSAR_rgp4	Nov. 2006 – Jun. 2010	ALOS PALSAR	Cooksley e Sánchez, 2010

### 3. CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE ACTIVIDADE

#### 3.1. Abordagem tradicional

O estado de actividade incide sobre o momento de ocorrência (ou recorrência) dos movimentos de vertente e evolução da sua actividade no tempo. Os movimentos de vertente da área de estudo foram classificados em quatro estados, adaptando a classificação à dinâmica dos movimentos e à data de conclusão do inventário: activo (ocorridos no período de instabilidade 2009-2010); reactivado (movimento mais antigo, com reactivação no ultimo evento de instabilidade); dormente (mantem condições potenciadoras de instabilidade) e estabilizado (alvo de intervenção de estabilização).

#### 3.2. Abordagem baseada em mapas de deformação PSInSAR

A determinação do estado de actividade dos movimentos de vertente lentos com base na deformação dos terrenos, adquirida através de mapas de deformação PSInSAR, foi testado recentemente a partir da estimativa da velocidade média anual referente a dois intervalos de tempo distintos, i.e., deformação

histórica e recente (Righini et al. 2012). Uma variação desta metodologia é apresentada por Cigna et al. (2012) e contempla o cruzamento do estado de actividade determinado de forma convencional com os registos de deformação PSInSAR posteriores à data dos movimentos de vertente.

Na Figura 2 estão representadas as duas matrizes de caracterização do estado de actividade baseadas nos registos de deformação PSInSAR. Foram considerados neste trabalho como dados de deformação históricos os obtidos através das imagens ERS ou ENVISAT e de deformação recente os provenientes de imagens ALOS/ENVISAT, estas últimas desde que incluam o ano de 2010. Na área de estudo, a determinação da velocidade representativa de deformação foi dificultada pelo reduzido número de Persistent Scatterers (PS) em cada movimento, pelo que se considerou o PS com a velocidade de deformação (LOS) máxima para a determinação do estado de actividade.

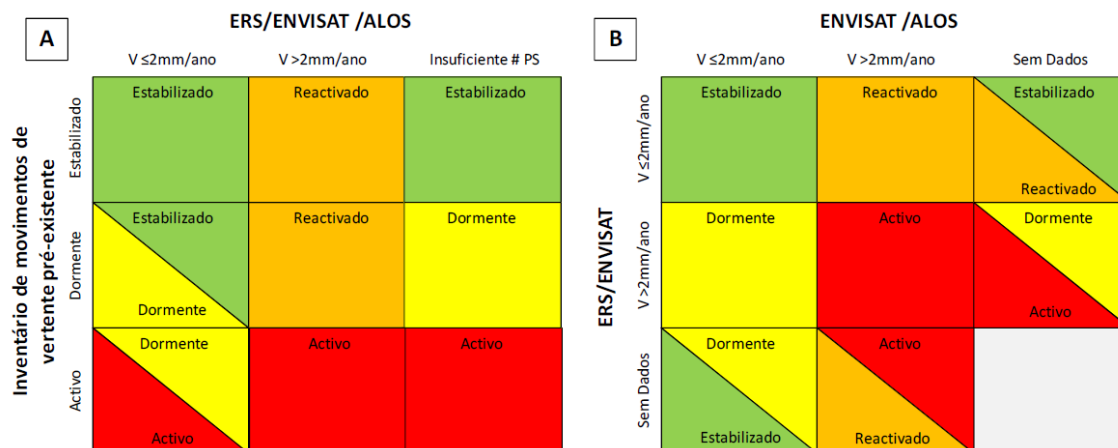


Figura 2 - Matriz de caracterização do estado de actividade de movimentos de vertente lentos: (A) Relação entre o estado de actividade definido para os movimentos de vertente inventariados na bacia do RGP e os dados de deformação PSInSAR (ERS/ENVISAT/ALOS) posteriores à data desses mesmos movimentos (adaptado de Cigna et al., 2012); (B) Relação entre dados de deformação PSInSAR históricos (ERS/ENVISAT) e recentes (ENVISAT/ALOS) (adaptado de Righini et al. (2012).

#### 4. RESULTADOS

O cruzamento de cada um dos mapas de deformação PSInSAR com o inventário de movimentos de vertente permitiu isolar 276 PS localizados no interior dos movimentos de vertente de um total de 10.837 PS que compõe os quatro mapas de deformação PSInSAR. Destes 276 PS quase 74 % recaem sobre deslizamentos rotacionais profundos e aproximadamente 18 % sobre deslizamentos translacionais e rotacionais superficiais em contexto de talude antrópico. No total, apenas para 61 dos movimentos de vertente é possível verificar o potencial da utilização da interferometria radar para a determinação do estado de actividade. As Figuras 3A e 3B representam o estado de actividade desses 61 movimentos, com base nas metodologias propostas por Righini et al. (2012) e Cigna et al. (2012).

De acordo com a abordagem tradicional da determinação do estado de actividade (Figura 1), a maior parte dos movimentos de vertente foi classificada como dormente (1171 movimentos, equivalentes a 90 % do total de área instabilizada). Apenas 246 movimentos foram classificados como activos, todos eles referentes ao último evento de instabilidade, ocorrido em 2010. Foram ainda contabilizadas sete reactivações e 10 movimentos estabilizados de forma efectiva, por implementação de medidas correctivas. Quando comparado com as abordagens sustentadas pelos registos de deformação PSInSAR, podemos verificar que para estes 61 movimentos a manutenção do estado dormente foi rara. Com efeito, durante o período de observação 1992 – 2010 quase todos os 61 movimentos analisados registaram deformação num determinado sector. Deste modo, verifica-se que movimentos de vertente de maior dimensão e mais antigos, ocorridos tipicamente há mais de 20/30 anos, supostamente dormentes, encontram-se de facto activos, provavelmente com movimentos de *creep* pós-ruptura. Pese embora não se registem manifestações superficiais de instabilidade, as observações de campo confirmam estas deformações, pela ocorrência de danos em infraestruturas localizadas nestes



movimentos de vertente, aquando da ocorrência de precipitação em quantidade/duração suficiente para romper com a inércia à deformação.

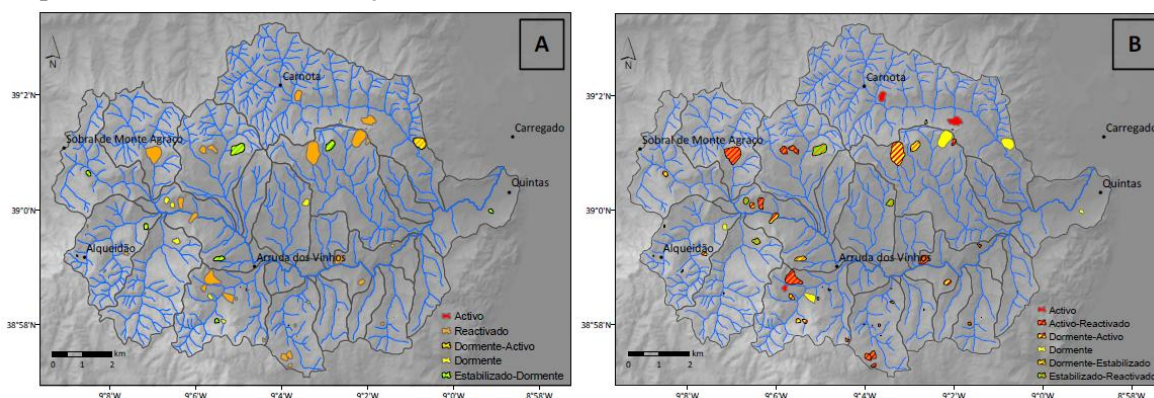


Figura 3 – Estado de actividade determinado para os 61 movimentos de vertente para os quais existem registos de deformação PSIInSAR. (A) Metodologia definida por Righini et al. (2012) deformação histórica e recente; (B) Metodologia definida por Cigna et al. (2012) deformação PSIInSAR posterior à data de ocorrência dos movimentos de vertente.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho demonstrou a importância da aplicabilidade dos dados de deformação dos terrenos baseados na técnica PSIInSAR no auxílio da determinação/reclassificação do estado de actividade de movimentos de vertente antigos, tipicamente lentos no contexto das manifestações de instabilidade ocorridas na bacia do Rio Grande da Pipa, região Norte de Lisboa. Verificou-se que a maior parte dos movimentos antes considerados dormentes são de facto activos e este facto deve ser tomado em consideração no ordenamento do território.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho enquadra-se no âmbito das actividades do Projecto Pan-European and nation-wide landslide susceptibility assessment, European and Mediterranean Major Hazards Agreement (EUR-OPA), Conselho da Europa e, no caso do primeiro autor, nas actividades preparatórias da Bolsa de Pós-Doutoramento SFRH/BPD/85827/2012 da Fundação para a Ciência e para a Tecnologia (FCT).

## REFERÊNCIAS

- Benevides, P. (2009) – *Aplicação da interferometria radar no estudo de deslizamentos de terra na região de Lisboa*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geográfica (Detecção Remota), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.
- Cigna, F.; Bianchini, S.; Casagli, N. (2012) – “How to assess landslide activity and intensity with Persistent Scatterer Interferometry (PSI): the PSI-based matrix approach”. *Landslides*, DOI 10.1007/s10346-012-0335-7.
- Cooksley, G.; Mora, O. (2010) – *Lisbon InSAR ground motion study (ENVISAT)*. Final report: Altamira Information InSAR study. Ref. AI\_SUDOE\_LISBON\_ENVISAT, v01.0, 28/12/2010.
- Cooksley, G.; Sánchez, M. (2010) – *Lisbon InSAR ground motion study (ALOS)*. Final report: Altamira Information InSAR study. Ref. AI\_SUDOE\_LISBON\_ALOS, v01.0, 28/12/2010.
- Herrera, G.; Davalillo, J.C.; Mulas, J.; Cooksley, G.; Monserrat, O.; Pancioli, V. (2009) – “Mapping and monitoring geomorphological processes in mountainous areas using PSI data: Central Pyrenees case study”. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, n.º9, pp. [1587-1598].

Righini, G.; Pancioli, V.; Casagli, N. (2012) – “Updating landslide inventory maps using Persistent Scatterer Interferometry (PSI)”. *International Journal of Remote Sensing*, vol.33/n.º7, pp. [2068-2096].