

Geoboletim

Folha informativa do Centro de Geofísica de Évora

15 de Maio de 2008

Número 8



Centro de Geofísica de Évora, Rua Romão Ramalho, 59, 7002 554 Évora, Portugal • Tel: 266 745300 • Fax 266 745394 • <http://www.cge.uevora.pt>

Editorial

As competências científicas de numerosos membros do Centro de Geofísica de Évora colocam esta unidade de investigação numa posição privilegiada em Portugal, no domínio dos **riscos naturais**. A investigação desenvolvida nesta área justificou já a edição de dois cursos em "Riscos Naturais e Tecnológicos e sua Prevenção" (o último em Novembro de 2007, com cerca de 300 inscrições), dirigidos a um vasto público, maioritariamente ligado à Protecção Civil. Este conhecimento justifica também a colaboração regular que o CGE tem mantido, no domínio da formação, com a Escola Nacional de Bombeiros.

O Geoboletim inicia agora um ciclo de edições temáticas dedicadas aos riscos naturais, dando-se particular destaque neste número ao **risco sísmico**.

A. Alexandre Araújo *Centro de Geofísica de Évora, Departamento de Geociências da Universidade de Évora*

GeoComentário

Ana Maria Silva *Centro de Geofísica de Évora, Departamento de Física da Universidade de Évora*

Entre 15 de Julho e 30 de Setembro de 2006 e na sequência do Programa do Governo **Compromisso com a Ciência** a Fundação para a Ciência e a Tecnologia abriu um concurso para a celebração de **contratos-programa com instituições do sistema científico e tecnológico nacional** com o objectivo de promover a inserção profissional de doutorados no sistema científico e tecnológico através de contratos individuais de trabalho de 1000 investigadores doutorados. A **Universidade de Évora** candidatou-se a 12 posições através de três das suas Unidades de Investigação avaliadas, entre elas, o **Centro de Geofísica de Évora**. Esta Unidade, candidatou-se a oito posições tendo-lhe sido atribuídas seis. As seis vagas foram postas a concurso num portal nacional da FCT referenciado na imprensa científica internacional em finais de Junho de 2007 e cobriram os seguintes domínios de investigação considerados estratégicos pelo CGE para a consolidação e desenvolvimento futuro da sua investigação: **Sismologia** (Fonte sísmica, movimentos fortes, tomografia sísmica, risco sísmico); **Geofísica/Geologia** (processos superficiais, tectónica, e estrutura da Terra e de outros Planetas); **Geologia** (modelação numérica de processos geológicos, designadamente processos de deformação e litosféricos); **Modelação atmosférica e do Clima** (novas parametrizações de aerossóis e nuvens, camada limite atmosférica, previsão de situações extremas); **Aerossóis e Clima** (desenvolvimento de novos algoritmos de inversão de aerossóis, combinação de dados de multi-plataformas de observação para estudos de impacto de aerossóis no clima); **Arquitecturas de escoamento de geofluidos** (Escoamentos e

Destaque

Riscos naturais e ordenamento do território

Alexandre d'Orey Cancela d'Abreu

9

Índice

Editorial	1
GeoComentário	1
GeoInformação	2
GeoAgenda	2
GeoArtigo - Actividade sísmica na região de Almodôvar e sua relação com a Geologia local: uma análise preliminar	3
Geoartigo - Risco sísmico na região de Lisboa - O projecto LISMOT	5
Geoartigo - Probabilistic modeling of earthquake occurrence: first examples of data integration within a Bayesian framework.	5
GeoArtigo - Inferring Deformation Fields From Multidate Satellite Images	7
GeoArtigo - Earthquake behavior and seismic hazard	7
GeoPalavra - Riscos naturais e ordenamento do território	9

transferência de energia em estruturas complexas de sistemas naturais ou de engenharia).

Foram recebidas **48 candidaturas**, distribuídas de forma mais ou menos uniforme pelos seis domínios científicos, tendo-se constatado: i) a qualidade excepcional de um número elevado de concorrentes, ultrapassando em cerca de quatro as seis vagas atribuídas pela FCT; ii) a maioria de candidatos de origem estrangeira, face aos nacionais. Das 48 candidaturas recebidas apenas cinco eram de candidatos portugueses. Foi surpreendente constatar o elevado número de excelentes candidatos da área das Ciências da Terra e do Espaço procurarem a Universidade de Évora, que, apesar de possuir um Centro de Excelência nesta área, não é tradicionalmente considerado o de referência e que os considerados de referência não tiveram a afluência esperada. Cerca de metade das 1000 vagas de investigadores doutorados colocadas a concurso a nível nacional ficaram sem candidatos. Três dos seis candidatos admitidos no Centro de Geofísica de Évora já se encontram a trabalhar na Unidade (ver mais informação na rubrica **GeoInformação** deste número), tendo assinado contrato como **Investigadores auxiliares da Universidade de Évora** por um período de cinco anos. Em breve, anuncia-se novo concurso, onde o Centro de Geofísica de Évora, se candidatará a mais posições, nas áreas que em 2007 não foram contempladas, apesar de consideradas estratégicas para o seu desenvolvimento e submetidas a concurso: **paleogeotermia** e desenvolvimento de **protótipos de instrumentação ambiental de detecção remota**.

GeolInformação

Em Outubro de 2007 **Mouhaydine Tlemçani**, membro do CGE, realizou provas de Doutoramento tendo apresentado uma tese com o título "Medição de impedâncias usando Conversores Analógico Digitais e Algoritmos de Processamento de Sinal".

A 5 de Março de 2008 **Patrícia Moita**, membro do CGE, realizou provas de Doutoramento tendo apresentado uma tese com o título "Granitóides no SW da Zona de Ossa-Morena (Montemor-o-Novo-Évora): Petrogénese e processos geodinâmicos"

Breve resumo dos curricula dos três investigadores doutorados contratados pela Universidade de Évora e acolhidos no CGE através do concurso referido no Geocomentário:

Claudia Adam

Tese de doutoramento no IPGP (Instituto de Física do Globo de Paris, França);

Pós-doutoramento de três anos no Japão (JAMSTEC Agência Japonesa para Geociências e Tecnologia Marinhas).

Principal área de interesse - Comportamento mecânico da litosfera e sua interacção com o manto subjacente. Para estudar estes fenómenos desenvolveu modelos numéricos e analíticos validados por dados geofísicos observáveis (batimetria, gravimetria, sísmica). Começou a estudar este assunto em domínio intraplaca (pontos quentes do Pacífico e Atlântico) e interessa-se actualmente, mais particularmente pelas margens.

Delphine Fitzenz

(<http://eost.u-strasbg.fr/dfitzenz/indexEnglish.html>)

Investigação dedicada à caracterização e modelação da evolução temporal de falhas activas, com o objectivo de utilizar mais metodologias baseadas no risco sísmico. Trabalhou pela primeira vez estes tópicos no Instituto Federal de Tecnologia na Suíça (ETH) Zurique, sob a supervisão de Steve Miller.

Passou 2 anos e meio na U. S. Geological Survey e na Universidade de Stanford, trabalhando nomeadamente com Steve Hickman e Norman Sleep.

Nos últimos 3 anos trabalhou com uma bolsa de reintegração Marie Curie com colaboradores no IPG de Estrasburgo, França e no laboratório HPT da Universidade de Utrecht, Holanda

Frank Wagner

Estudou Meteorologia e Geofísica na Universidade de Leipzig, Alemanha tendo obtido o seu diploma e feito a tese de

doutoramento no Instituto de Pesquisa Troposférica em Leipzig, Alemanha. Mais, tarde trabalhou no Instituto Meteorológico da Universidade de Munique, Alemanha. Presentemente trabalha no CGE. A sua investigação centra-se no estudo de propriedades ópticas e microfísicas de aerossóis, a distribuição vertical de partículas e o impacto dos aerossóis no clima.

Além da contratação dos doutorados anteriores acolhemos também o investigador visitante André Jalobeanu (CNRS, França) e um jovem investigador Matthieu Ferry, com uma posição de pós doutoramento, desde Janeiro de 2007.

André Jalobeanu

(<http://lsit-miv.u-strasbg.fr/paseo/jalobeanu.php>)

Investigação principal - processamento e análise de dados estruturados (imagens, sinais, séries temporais) através de inferência Bayesiana, com uma forte ênfase em propagação de incerteza e avaliação.

Presentemente está a trabalhar no uso de imagens ópticas para determinação de modelos de elevação digital (DEM) e incertezas relacionadas, aplicado a Ciências do Ambiente e à Geofísica. O seu trabalho envolve ferramentas tais como matemática aplicada e estatística. Contudo, não sendo estatístico nem matemático, o seu background é processamento e engenharia de imagem e Física (PhD em restauração de imagem de satélite em INRIA Sofia Antipolis, França; Ms em Astrofísica e imagem, Nice, França.). Antes de vir para o CGE trabalhou 3 anos no Centro de Investigação Ames da NASA (Califórnia, EUA) em reconstrução superficial 3D, e 3 anos como cientista de investigação em LSIT (Estrasburgo; França) em fusão de dados aplicados a processamento de imagem de satélites e astronómicas.

Matthieu Ferry

Conhecer o passado para prever o futuro. Aplicando os métodos da Geofísica, da Geomorfologia e da Geologia, procura os traços dos sismos antigos. Esta aproximação paleo-sísmica tem por finalidade compreender o funcionamento fundamental das falhas activas e de melhorar os modelos de risco sísmico. Os seus trabalhos recentes na Escola Politécnica Federal de Zurique (ETH-Z) e no Instituto de Física do Globo de Estrasburgo (IPGS) dizem respeito à Suíça, Turquia, Jordânia, Mongólia e Portugal.

Para mais informação, contactar:

Maria Rosa Duque Centro de Geofísica de Évora e Departamento de Física da Universidade de Évora mrada@uevora.pt

GeoAgenda

- 2008-May 12-15-IAG, FIG-Lisbon, Portugal-Joint Conferences of the Thirteen FIG Symposium on Deformation Measurements and Analysis, and the Fourth IAG Symposium on Geodesy-Web: <http://measuringchanges.lnec.pt/>
- 2008-May 20-23 - NATO Advanced Research Workshop on "Constructal human dynamics, security and sustainability, University of Évora <http://www.eventos.uevora.pt/arw/>
- 2008-May 19-23 -IAMAS-Gijon, Spain-International Symposium "Effects of Climate Change on the World's Oceans"-Web: http://www.pices.int/meetings/international_symposia/2008_symposia/Climate_change/climate_background_3.aspx
- 2008-May 28-31-IMM, CETEM-Carrara, Italy-Second edition of the International Congress on Dimension Stones (ICDS)-Web: <http://www.icds.immcarrara.com/>
- 2008-May 28-31-IAGA, FMI-Helsinki, Finland-First International

Workshop on High-Energy Particle Precipitation in the Atmosphere (HEPPA)-Web: <http://heppa2008.fmi.fi/>

- 2-5 Jun 2008 Karlovy Vary, CZECH REPUBLIC. IMWA 2008 congress. Organised by Jointly convened by IMWA, Technical University of Ostrava, Charles University Prague, Water Research Institute and Czech IAH Chapter. INFO: Web: <http://www.natur.cuni.cz/imwa2008/>
- 2008-June 8-13 - Saariselk, Finland-Seismix2008-Web: <http://www.seismo.helsinki.fi/seismix/>
- 2008-June 15-20-IUGG / CMG-Longyearbyen on Spitsbergen, Norway-27th IUGG Conference on Mathematical Geophysics: Dynamics in Earth Systems-Email: hilde.lynnbakken@fys.uio.no
- 2008-June 16-20-CMG-Norway-Dynamics in Earth Systems: Flow, Fracture and Waves-Contact: Not Available

- 18-20 Jun 2008 Istanbul, TURKEY. Symposium on Flow and Transport in Heterogeneous Subsurface Formations: Theory, Modelling & Applications. Organised by IAHR. INFO: Web: <http://www.iahr-gw2008.net/>
- 2008-June 22-28-IAGA, ASCR-Bojnice, Slovakia-11th Castle Meeting on New Trends in Geomagnetism: Palaeo, Rock and Environmental Magnetism-Web: <http://gauss.savba.sk/nt2008.php>
- 23-28 Jun 2008 Naples, Florida, U.S.A.. 20th Salt Water Intrusion Meeting. INFO: Web <http://conference.ifas.ufl.edu/swim/index.htm>
- 1-3 July, YORSGET: International Meeting of Young Researchers in Structural Geology and Tectonics, Oviedo, Spain. Information: Miguel Gutiérrez-Medina mgutierrez@geol.uniovi.es, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, +34-985-10-32-02.
- 2008-July 7-11-IAMAS-Cancun, Mexico-International Conference on Clouds and Precipitation (ICCP)-Web: <http://convention-center.net/iccp2008/>
- 2008-July 8-11 - Reggio Calabria and Messina, Italy-MERCEA 2008 - Seismic Engineering International Conference commemorating the 1908 Messina and Reggio Calabria Earthquake-Web: <http://www.mercea08.org/>
- 8-12 Jul 2008 Quito, ECUADOR. IX Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Organised by ALHSUD; GECAIH.INFO: Oscar Larrea, Presidente del GECAIH. Email: olarrea@emaapq.com.ec or cecaih@hotmail.com Web: <http://www.alhsud.com>
- 2008-July 24-26 GGET, Porto, Portugal-GGET'2008 8ª Conferência Anual; 6º Encontro de Campo-Web: <http://www2.fc.up.pt:80/gget2008/>
- 2008-August 6-14-IUGS-Oslo, Norway-33rd International Geological Congress-Web: <http://www.33igc.org/>
- September 15-20, Euroengeo 2008: II European Conference of International Association for Engineering, Cities and their Underground Environment, Madrid, Spain. Information: EUROENGE0 2008, Tel: + 34 91 391 05 78, + 34 91 336 77 57; FAX: + 34 91 536 05 08;
- 22-24 September, GeoMod2008, International Geomodelling Conference, Florence, Italy. Information: Giacomo Corti, +39.055.275.7528
- 1-4 Sep 2008 Montpellier, FRANCE. XIIIth IWRA World Water Congress. Organised by IWRA. INFO: Email: wwc2008@msem.univ-montp2.fr Web: <http://www2008.msem.univ-montp2.fr>
- 15-18 Sep 2008 Prague, CZECH REPUBLIC. HydroPredict'2008 -- International Interdisciplinary Conference on Predictions for Hydrology, Ecology and Water Resources Management: Using Data and Models to benefit Society. Organised by IAHS, BOKU, USGS and other institutions. INFO: Email: mchill@usgs.gov or karel.kovar@mnp.nl Web: <http://www.natur.cuni.cz/hydropredict2008/>
- 2008-October 18-23 - Obergurgl, Austria-New Challenges in Earthquake Dynamics: Observing and Modeling a Multi-Scale System - ESF-FWF Conference in Partnership with LFUI-Web: <http://www.esf.org/conferences/>
- 26-31 Oct 2008 Toyama City, JAPAN. 36th Congress of IAH; Integrating Groundwater Science and Human Well-being.. Organised by Japan National Chapter of IAH. INFO: Email: iah-toyama@lni.co.jp Web: <http://www.lni.co.jp/iah2008/>
- 2-3 October, 2008 U.S. EPA/NGWA Remediation of Abandoned Mine Lands Conference, Denver, Colorado USA. Information: Marti Otto, U.S. EPA, otto.marta@epamail.epa.gov; or Robert Masters, NGSA +1-800- 551-7379, [\[rmasters@ngwa.org\]](mailto:[rmasters@ngwa.org]) . (Abstracts deadline: 18 April 2008.)
- 8-10 October, 8th International Hydrogeological Congress of Greece & 3rd Workshop on Fissured Rocks Hydrology, Athens, Greece. Information: G. Migiros, Agricultural University of Athens, Tel: +30 210 5294157; Fax: +30 210 5294161; [\[hydrogeology@aia.gr\]](mailto:[hydrogeology@aia.gr])
- 2008-November 24-28-EGU-Santiago de Chile-The Andes: Challenge for Geosciences, 4th EGU Alexander von Humboldt International Conference-Email: peter.fabian@wzw.tum.de

Para mais informação contactar:

Joaquim Luís Lopes Centro de Geofísica de Évora e Departamento de Geociências da Universidade de Évora - lopes@uevora.pt

GeoArtigo

Actividade sísmica na região de Almodôvar e sua relação com a Geologia local: uma análise preliminar

A. Araújo⁽¹⁾, M. Bezzeghoud⁽²⁾, B. Caldeira⁽²⁾, J. P. Rocha e J. F. Borges⁽²⁾ Centro de Geofísica de Évora,⁽¹⁾ Departamento de Geociências da Universidade de Évora, ⁽²⁾Departamento de Física da Universidade de Évora

No âmbito do projecto de Tomografia Sísmica da Litosfera Continental Algarvia (POCI/CTE-GIN/59750/2004), foi detectado, entre finais de Janeiro e início de Fevereiro de 2006, um enxame de epicentros de sismos na região de Almodôvar (Rocha et al., 2008, fig. 1).

O alongamento aproximadamente NE-SW desta mancha de epicentros é paralelo à orientação de falhas cartografadas na Carta Geológica de Portugal à escala 1/200.000, folha 8. Esta mancha de sismos é coincidente com uma falha provável, certamente marcada na carta a partir de foto-interpretação. Nesta carta, estão representadas abundantes falhas com orientação variável entre NE-SW e ENE-WSW, para sul desta região, até à Orla Algarvia. Estes acidentes são considerados desligamentos esquerdos tardi-variscos e a referida zona sísmica poderá representar a reactivação actual

de um destes acidentes. Apesar de haver alguma margem de erro, a zona sísmica alonga-se claramente ao longo da Ribeira de Oeiras. Numa análise geomorfológica preliminar, com recurso às cartas topográficas 557 e 565, à escala 1/25000, procurou-se identificar eventuais desníveis na superfície da Meseta, alinhados segundo esta orientação (fig. 2). A morfologia da região não parece denotar quaisquer ressaltos na superfície da Meseta segundo esta direcção contudo, a orientação geral das principais linhas de água é perfeitamente concordante com o alinhamento da mancha de sismos. O traçado dos rios tende a fixar-se em zonas em que as rochas são mais brandas e a orientação das principais linhas de água, subparalelas e quase perpendiculares à orientação das estruturas variscas (NW-SE), é um provável indicador de corredores de fracturação segundo a direcção NE-SW.

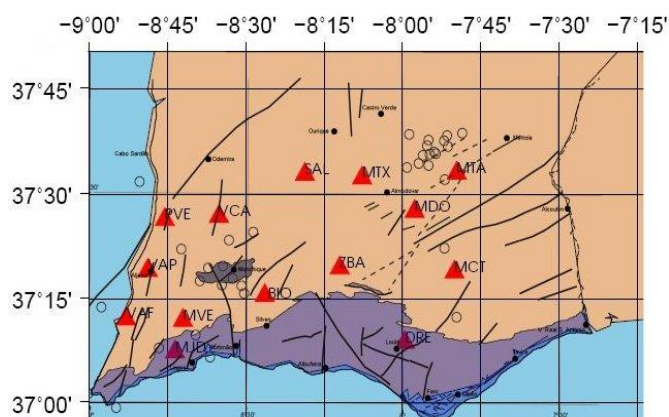


Figura 1 – Mapa das estações sísmicas (triângulos) e da distribuição de sismos (círculos) entre finais de Janeiro e início de Fevereiro de 2006, com base nos resultados preliminares obtidos na campanha de tomografia sísmica realizada em 2006. As falhas representadas foram retiradas da Carta Geológica de Portugal (adaptado de Rocha et al., 2008)

A tendência geral para uma gradual descida da superfície topográfica em direcção a NE, reflecte o rebaixamento erosivo associado à actual rede de drenagem, uma vez que o principal rio

da região, o Guadiana, onde desaguam as três linhas de água representadas na figura, corre a NE da área representada.

O processamento dos dados sísmicos é uma tarefa que continua a ser realizada, mas que se revela demorada, devido à grande quantidade de dados (18 meses) a serem tratados e analisados. Espera-se contudo que até final de 2008, a interpretação sismotectónica definitiva esteja concluída.

Agradecimentos

O presente trabalho foi financiado pelos projectos da FCT (POCTI/CTE-GIN/59750/2004) e FCT/CGE/SEISMOLITOS.

Bibliografia

Rocha J. P., M. Bezzeghoud, B. Caldeira, A. Araújo, J. F. Borges, F. Vilalonga e Catherine Dorbath, 2008. Microsismicidade na vizinhança da "Falha de Almodôvar", 6ª Assembleia Luso Espanhola de Geodesia e Geofísica. 11-13 Fevereiro. Tomar 2008. 251-252

Rocha, João Pedro Mendes (2007). Monitorização da Sismicidade da Região do Baixo Alentejo e Algarve no âmbito do Projecto de Tomografia Sísmica da Litosfera Continental Algarvia. Trabalho de Fim de Curso, Curso de engenharia Geológica, Universidade de Évora. 49 pp.

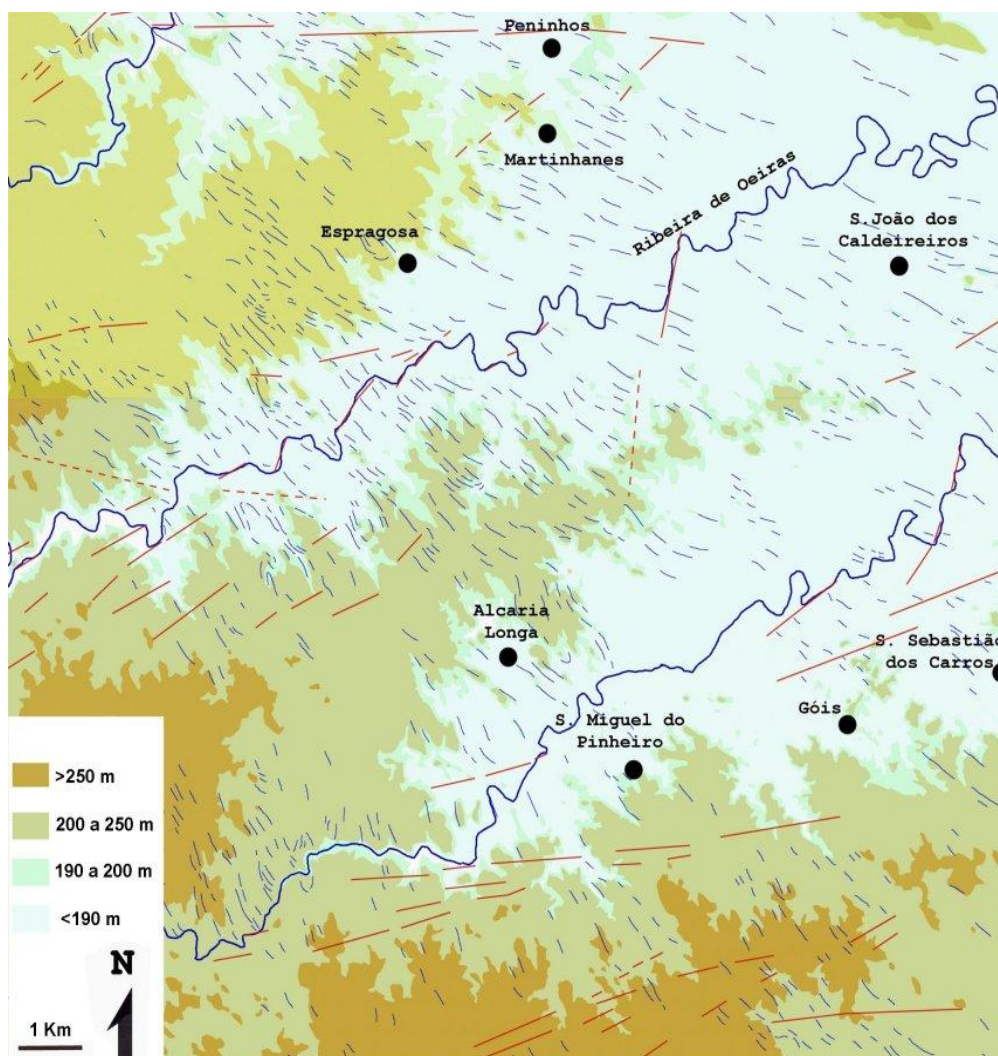


Figura 2 - Morfologia da região entre Almodôvar e Mértola, onde ocorre a concentração anômala de sismos (figura elaborada a partir da carta militar à escala 1/25.000, folhas 557 e 565). Os traços azuis e vermelhos foram obtidos por foto interpretação (azul - orientação da estrutura; vermelho - lineamentos eventualmente coincidentes com linhas de falha).

GeoArtigo

Risco sísmico na região de Lisboa – O projecto LISMOT

José Borges⁽¹⁾, Bento Caldeira⁽¹⁾, Mourad Bezzeghoud⁽¹⁾ e Rui Dias⁽²⁾ *Centro de Geofísica de Évora, (1) Departamento de Física da Universidade de Évora, (2) Departamento de Geociências da Universidade de Évora*

Ao longo da história a região de Lisboa foi afectada por vários terremotos responsáveis por elevados danos materiais e perdas de milhares de vidas humanas (sismos de 1344, 1531, 1755, 1969 e 1909). Estudos recentes demonstram ser de extrema importância o papel desempenhado pelas fontes sísmicas locais no risco sísmico desta área. Sendo esta uma das regiões mais populosas de Portugal é previsível que um sismo de magnitude equivalente aos que ocorreram no passado possa vir novamente a afectar esta região provocando grande destruição e morte.

No sentido de contribuir para uma avaliação do potencial sísmico da região de Lisboa, o CGE, em colaboração com o Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), irá proceder, nos próximos três anos, no âmbito do projecto financiado pela FCT PTDC/CTE-GIN/82704/2006 coordenado pelo CGE, a um estudo sísmológico da região do Vale inferior do Tejo que

implicará: (1) o estabelecimento de um modelo 3D da estrutura da região; (2) a identificação das falhas activas e avaliação do respectivo potencial sísmico; (3) construção de cenários sísmicos com recurso a cálculo numérico paralelo - a implementação será feita no cluster ROMULO do CGE.

Este projecto beneficiará ainda da interacção com dois outros projectos financiados pela FCT, ambos sediados no CGE: o projecto POCI/CTE-GIN/55994/2004 (em fase de finalização) que deu origem ao um modelo de estrutura 3D e cenários sísmicos para o SO da Ibéria e margem atlântica adjacente e o projecto SISMOT - agora iniciado - cujo objectivo se centra no desenvolvimento de metodologias que permitam a modelação de fontes sísmicas extensas por inversão conjunta de dados sísmicos, geodésicos e movimentos sísmicos intensos.

GeoArtigo

Probabilistic modeling of earthquake occurrence: first examples of data integration within a Bayesian framework.

Delphine Fitzenz*, Steve H. Hickman *USGS Menlo Park, CA, Andre Jalobeanu** *SIIT Strasbourg, France, Chris Spiers* *HPT Lab Utrecht University, The Netherlands*

** Presently at CGE, University of Évora*

After a contribution presented at the 5th International Workshop on Statistical Seismology: Physical and Stochastic Modelling of Earthquake Occurrence and Forecasting (EMFCSC. Erice, Sicily. 31 May - 6 June. 2007)

A better understanding of the rheological properties of fault zones is key to understanding the behaviour of seismogenic zones and the seismic hazard associated with them. Advances in the performance of computers and numerical methods have allowed considerable progress in the modelling of the dynamic rupture propagation in the past 10 years. One limitation of this approach stems from the paucity of the available information regarding the fault properties at the onset of the rupture and the capacity of the interseismic processes to maintain or re-create complexity.

This work therefore focuses on finding new ways to constrain the rheology of fault zones, in particular during the interseismic periods. Particular attention is paid to the evaluation of the natural sources of variability and to the propagation of both these variabilities and the measurement errors through forward probabilistic models of seismogenesis. The challenge will consist in explaining the observations (e.g., surface deformation, seismicity, stress orientation, wave velocities) thanks to these models.

A growing set of information is available to characterize seismically active areas, e.g., topography, seismicity records, focal mechanisms, surface deformation fields, stress orientations, structural data, laboratory experiments on natural or analog material... However, the following questions remain largely unanswered: 1) how can we best integrate field observations with the physical processes evidenced during lab experiments to better understand the rheology of seismogenic areas? 2) how best to apply this knowledge to a seismic hazard assessment based on the physics (or chemistry) of the processes at play in fault systems?

The life of active faults can be viewed as a succession of short, dynamic deformation periods during which the accumulated seismic energy is released, namely as fracturing, slip, radiated seismic waves (a.k.a. earthquakes) and long periods of slow deformation (a.k.a. interseismic periods). Most characterizations of the interseismic fault behaviour consist in an assessment of the average creep rate (if there is any) and the fault locking depth using surface deformation data (mainly GPS). On the other hand, experimentalists have been studying slow rock deformation mechanisms for

decades. In Fitzenz et al., 07, 08, we propose a general Bayesian framework to build integrative numerical models of seismogenesis and we show a first application to the integration of laboratory rock deformation data to constrain the interseismic behaviour of an active fault. Results are shown in terms of the probability density functions for time to failure and the fault properties at failure. We advocate that this way we can assess the robustness of the model results with respect to the data and model choices. Moreover, model results are then of the same nature as the ingredients of the computation chain for probabilistic seismic hazard assessment.

I therefore propose to (1) work on the development of physical models, (2) by integrating data as they become available (or as they are shown to be critical for our understanding), and (3) in order to propagate data and model uncertainties through to the final model results. This can be done in a Bayesian framework. Physical models have the advantage that they do not only explain one particular dataset: they also make predictions that can be compared to other types of data, therefore reducing the non-unicity of the results of simpler inversion procedures. The Bayesian framework allows to propagate data uncertainties (covariance matrix) but also to perform a model selection.

illustrated on Figure 1, once combined, physical models and Bayesian methods can help address critical questions such as (1) What data do we need to measure with precision?, (2) what are the dominant processes for each type of behavior included in the models? (3) what are the modules governing the large-scale behavior of fault systems? (4) what properties do we identify in the model results as indicative of the state of a fault? (5) what dominates the uncertainties on the model predictions?

The feedbacks between these questions and the elaboration of the modular models can help focus data acquisition campaigns and can help refine our understanding (feedback between the right part of Figure 2 and its left part).

Indeed, geological, geodesy, or geophysical data can be used to model the geometry and boundary conditions for a given seismogenic region, but together with laboratory data they can also

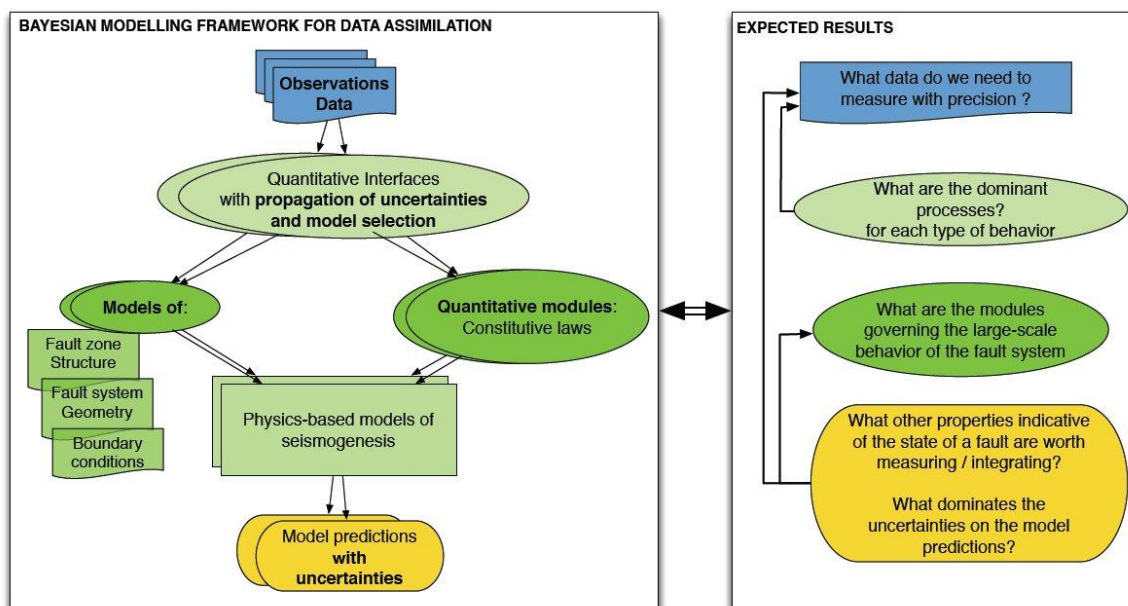


Figure 1. Flowchart of the interplay between data, physical models, and conceptual and practical questions regarding the behavior of fault systems.

help constrain the constitutive laws governing the fault zone rocks, the host rock, and the underlying lower crust or upper mantle.

Two main lines of research using this approach can stem from this preliminary work.

On the one hand, the integrative capabilities of the physics-based, Bayesian, modelling framework could contribute to the epistemic uncertainty (knowledge-driven, i.e., that can be reduced by additional data or models) assessment in probabilistic seismic hazard assessment.

Indeed, quantifying seismic hazard requires working with datasets obtained using widely varying techniques with different spatial or temporal resolutions and precision, analyzed in the light of - or fed into - competing conceptual and numerical models of interacting physical or chemical processes. It also requires the estimation and propagation of two types of uncertainties: those associated with the inherent variability in any type of measurement or observation (i.e., aleatory), and those arising when one tries to explain a dataset using a wrong model (i.e., epistemic). These latter uncertainties can be related to alternative earthquake source models (faults or seismotectonic areas), alternative attenuation models (Cramer 2001, Vilanova and Fonseca 2007), and site classifications when site-effects are included. One way to take into account all possible models is to build a logic-tree. Each step or level in the logic-tree corresponds to a suite of competing models computed using inherently noisy, biases, or incomplete datasets. Each step therefore includes both epistemic and aleatory uncertainties. The epistemic uncertainty (knowledge-driven, i.e., that can be reduced by additional data or models) assessment currently relies on Monte Carlo simulations using the weights given to alternative possibilities by expert panels.

We could investigate how Bayesian model averaging (Bayesian combination of models) could be used in conjunction with newly available data to replace some of the branches of the logic tree and make less use of "expert" decisions, e.g., choice of an attenuation law or of a model for fault zone structure.

On the other hand, numerical models of seismogenesis can be used as tools to perform methodological studies on seismic hazard assessment. Some key issues in seismic hazard assessment would require many decades and possibly centuries of high quality quantitative seismological data to be fully addressed. This is

particularly true in regions of low to moderate seismicity where earthquake occurrence rates are low and hence damaging earthquakes occur infrequently. Waiting for sufficient observational centuries is obviously not an option since reliable seismic hazard assessments are required today. Indeed, estimates that are too conservative are expensive for the society, whereas estimates overlooking the possibility of occurrence of infrequent large earthquakes are hazardous.

In this context, I contribute to the project VISPA Virtual Seismic Playground lead by Cecile Cornou (LGIT Grenoble, France), to be proposed to the French Agence Nationale de la Recherche (ANR). Our aim is to use long (several tens of thousands of years) physics-based synthetic earthquake catalogs (that I could provide using my numerical models constrained by geological and geophysical information on boundary conditions and fault network geometry) as the real but not entirely (or not precisely) known earthquake catalog. The seismic hazard assessment team would be provided 200 year time-intervals of this catalog. The results would outline the consequences of using sparse (and possibly biased) sampling of all possible earthquake scenarios that affects all available observational seismic databases.

I am grateful to be able to contribute to this special issue of the Bulletin dedicated to natural hazards right upon my arrival in Portugal as this gives me the opportunity to present my research interests to the community. I am looking forward to hearing comments or suggestions about the ideas I have developed here. Please feel free to contact me! My papers can be downloaded from <http://eost.u-strasbg.fr/dfitzenz/indexEnglish.html>.

References

- Cramer, C. H. (2001), A seismic hazard uncertainty analysis for the new Madrid seismic zone, *Engineering Geology*, 62, 251–266.
- Fitzenz, D., A. Jalobeanu, and S. H. Hickman (2007a), Integrating laboratory creep compaction data with numerical fault models: a Bayesian framework, *J. Geophys. Res.*, 112 (B08410), doi: 10.1092006JB004,792.
- Fitzenz, D. D., S. H. Hickman, A. Jalobeanu, and C. J. Spiers (2007b), Probabilistic modeling of earthquake occurrence: first examples of data integration within a Bayesian framework, in *5th International Workshop on Statistical Seismology: Physical and Stochastic Modeling of Earthquake Occurrence and Forecasting*, edited by E. Boschi, R. Console, M. Cocco, and S. Wiemer.
- Vilanova, S.P. and J. F. B. D. Fonseca (2007), Probabilistic seismic-hazard assessment for Portugal, *BSSA*, Vol.97, No.5, 1702-1717.

GeoArtigo

Inferring Deformation Fields From Multidate Satellite Images

A. Jalobeanu and D. Fitzenz *Centro de Geofísica de Évora*

In this work, we focus on a geophysical application of image processing: the measurement of high resolution ground deformation from two optical satellite images taken at different dates. Disparity maps estimated from image pairs using classical algorithms usually lack quantitative error estimates. This can be a major issue when the result is used to measure physical parameters, such as ground deformation or topography variations. Thus, we develop a robust inverse method to infer the dense disparity map from two images. We adopt a probabilistic approach, which provides a rigorous framework for parameter estimation and enables us to evaluate the related uncertainties as well. Therefore all the parameters are described in terms of random variables. We use Bayesian inference to recover the a posteriori probability density function (pdf) of the disparity map. To validate the method, we apply it to SPOT 5 images acquired before and after the Bam earthquake (Iran) and show that the results are compatible with synthetic aperture radar (SAR) measurements.

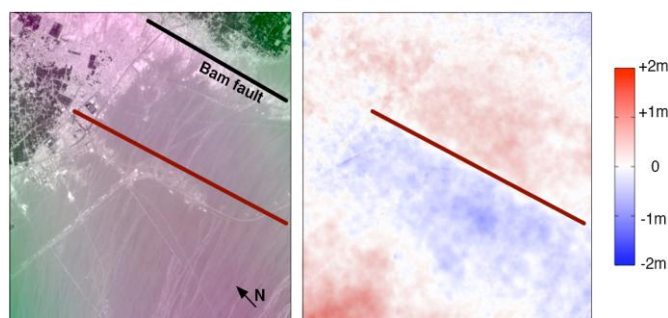
Several applications could greatly benefit from a high resolution, dense and accurate monitoring of the ground motion from optical images: for instance landslides, tectonic motions such as co-seismic and post-seismic deformation fields; also erosion-related displacements on coastlines, badlands, sand dunes or any dynamic structure that can perceptively evolve over a few years and be observed by satellite. Due to the limited image resolution (typically 1m) and the sometimes slow, or small displacements, a sub-pixel accuracy is necessary, despite the noise and the viewing conditions. It is therefore a challenging problem.

Why use optical images? LIDAR data are expensive and therefore scarcely available; SAR measurements can not be obtained wherever the coherence is lost due to temporal variations of the ground. Then, optical images prove particularly useful since they provide a complementary source of information, rather inexpensive and potentially robust to radiometric changes.

In order to effectively measure ground deformations and assess their accuracy, we require a sub-pixel estimation accuracy, the robustness with respect to radiometric variations due to changes between the two acquisition dates, and the ability to compute uncertainties on the final result. At first sight, existing nonrigid image registration methods or optical flow estimation techniques from computer vision or medical imaging could be used to provide the deformation field. However, these methods never meet all our requirements at once. It is particularly difficult to find methods that can cope with the spatially varying changes specific to remote

sensing imagery, and achieve sub-pixel accuracy at the same time. Many are limited to integer pixel displacements by design. Moreover, stereo disparity estimation methods can never be used because they have all been designed to estimate 1D motions from rectified imagery, whereas we aim at an unconstrained 2D vector field. Finally, when it comes to error propagation, few attempts have been made, none in a 2D framework. Of course state of the art methods propose various ad-hoc indicators of local correlation or matching quality, but we wish to propose a quantitative error estimate rather than qualitative measures that are, in practice, difficult to interpret. We keep in mind the use of the estimated deformation fields as inputs to subsequent analysis algorithms (for instance inversion methods to derive the 3D fault structure from surface displacements in the case of earthquakes). To this end, error estimates are useful only if they carry the uncertainty arising from the observation noise and the lack of information in the input data.

Recent techniques based on image correlation in the Fourier space are worth mentioning even if they do not estimate errors. Indeed, they achieve an accuracy of 0.1 pixel by working on large-size sliding windows, after resampling the data according to the known satellite geometry and terrain topography. However, due to the minimum window size, it is not possible to obtain offset maps with a high spatial resolution. Conversely, in our approach, we do not assume a rigid motion within windows, and we invert a probabilistic image formation model instead of using phase or correlation cues. The error estimates arise naturally from the probabilistic formulation of the problem.



Left: color-coded 2D displacement map in the image space, computed from a pair of SPOT 5 images taken before and after the Bam (Iran) earthquake. Right: North-South projection of the displacement map eliminating most topographic artifacts (includes some residual geometric effects).

GeoArtigo

Earthquake behavior and seismic hazard

Matthieu Ferry *Centro de Geofísica de Évora*

Seismic hazard assessment in a region may be achieved by means of a probabilistic and/or deterministic approach. The former relies on the statistical characterization of seismicity (e.g. through the Gutenberg-Richter law) while the latter aims at considering physical aspects of earthquakes and their causative faults. For that matter, Active Tectonics and, more generally, the study of surface deformation associated with large earthquakes has become essential for a modern and realistic assessment of seismic hazard.

Exactly 30 years ago, K. Sieh demonstrated that excavating trenches across the San Andreas fault provided access to the most recent earthquakes. As a fault breaks, its rupture may propagate to the surface, displace it then be fossilized and preserved by sediments. Man-made artificial exposures, combined with state-of-the-art datation techniques (e.g. radioisotopic ^{14}C and ^{210}Pb , luminescence) reveal the history of those ruptures and the chronology of said past earthquakes

Field observations along the surface rupture of the 1906 San Francisco earthquake led Reid (1910) to theorize the concept of elastic rebound: as tectonic plates move, they accumulate stress along faults which then break into an earthquake, reach a new state of equilibrium and start again accumulating stress before a new event. Under constant loading and all things being equal, this

implies a quasi-periodic behavior for faults with events of similar magnitude occurring with a similar return period (Figure 1). This is what is actually observed over relatively short time windows along major plate boundaries and especially along fast-moving faults. Most of the San Andreas system in California behaves quasi-periodically with return periods ranging from 100 to 200 years for the 4 to 5 most recent earthquakes.

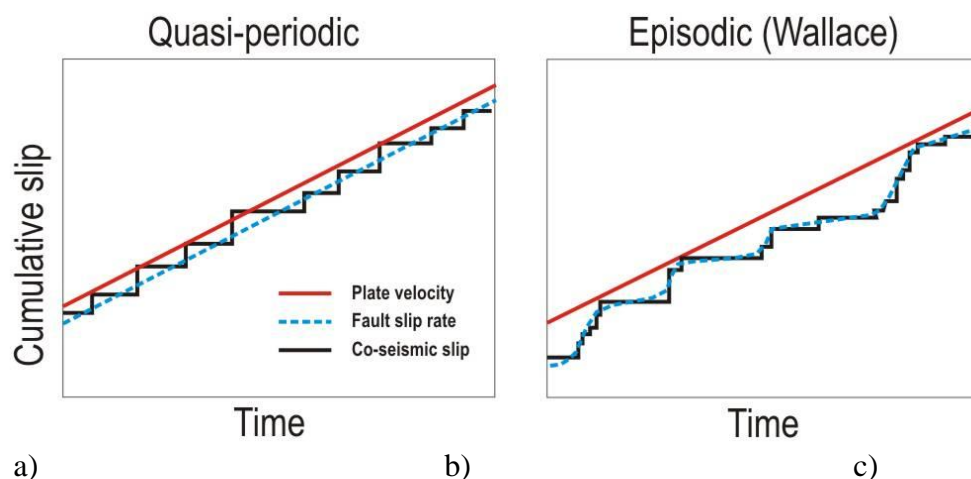


Figure 1. Earthquake behavior models. On a given fault, earthquakes of similar magnitude (slip) may occur at regular time intervals (left) or group into clusters of seismicity separated by periods of quiescence (right).

Of course, the generalization of this simple model encounters exceptions which, as studies multiply, appear more and more to be the rule. Indeed, the quasi-periodic model could only be part of the whole story.

Firstly, the fault –or fault segment to be precise- is considered as an independent entity, which it usually is not. Large faults capable of producing large earthquakes are part of systems of variable complexity. The North Anatolian fault (NAF) in Turkey produced two M 7+ earthquakes in 1999 that claimed more than 25'000 lives and weakened the national economy for several years. The 1999 Izmit and Düzce earthquakes were the last of a sequence of destructive events that started in 1939 at the far eastern tip of the NAF system and ruptured westward each and every segment to the Sea of Marmara. Historical documents show that a similar phenomenon had already happened in the XIIth century. When an earthquake occurs, the deformation produced along the fault modifies the local stress field. If a nearby fault is already tectonically loaded and close to reaching its rupture threshold, this may be the fire to the powder keg. This approach, called *Coulomb stress transfer*, had been applied to the NAF before the 1999 events and led to a very strong warning about an imminent threat to the region of Izmit. Recent and on-going works to which I participate around the Sea of Marmara aim at precisely deciphering such relationships between segments in order to assess the present and future hazard to the city of Istanbul.

Secondly, intra-continental faults affecting the interior of tectonic plates often display complex patterns and geometries and consequently complex behaviors. They often are part of a diffusely deforming region where strain does not concentrate along well-defined and well-expressed large faults and sources of interactions and complexity abound. This is the case of the Basel- Reinach fault in Switzerland for which I showed that Mw ~6.5 events occur on average every 2'500 years but with return intervals ranging from 1'500 to 4'000 years, thus demonstrating that periodicity does not

apply there. This was the first characterization of past large earthquakes for that fault and it had

a strong impact on seismic hazard for the region. Indeed, the previous knowledge was limited to a single Mw 6.5 earthquake that occurred in 1356. Previous probabilistic computations relied on that number and had to use an unrealistic return period of 650 years (present – 1356). This has now been corrected and the seismic hazard level reduced by one degree.

Thirdly, long-term studies show important variations around the quasi-periodic behavior. Recent research I led on the Dead Sea fault in Jordan (Figure 2) benefited from very favorable conditions: a semi-arid climate for an excellent preservation of geomorphic features, a long and very complete historical record and a rich archeological heritage that has been affected by earthquakes in the past. Combining historical, archeological and geological records enabled me to identify 13 Mw ~7 earthquakes for the last 14'000 years, which occurred during clusters (episodes) of high activity separated by periods of quiescence (Figure 1).

Hence, it is crucial to characterize a fault to understand what kind of behavior it follows and at what stage it is presently, in order to realistically assess the associated hazard.

Today, the Center of Geophysics aims at applying a similar approach to the Lower Tagus Valley (LTV) fault zone. For more than a century now, geologists have assumed the Lower Tagus Valley is home of a major fault zone still to be discovered. The destructive earthquakes of 1909 and 1531 probably were large enough to produce surface rupture and set favorable conditions for an Active Tectonics study. A thorough multi-disciplinary work combining seismic imaging, geophysical prospecting, and geomorphology and trenching could help locate the LTV fault and characterize its rupture history and behavior for the last 10'000 years at least. Vilanova and Fonseca's (2007) recent work points out the relationship between high uncertainties on seismic hazard and limited knowledge of active faults for the city of Lisbon.

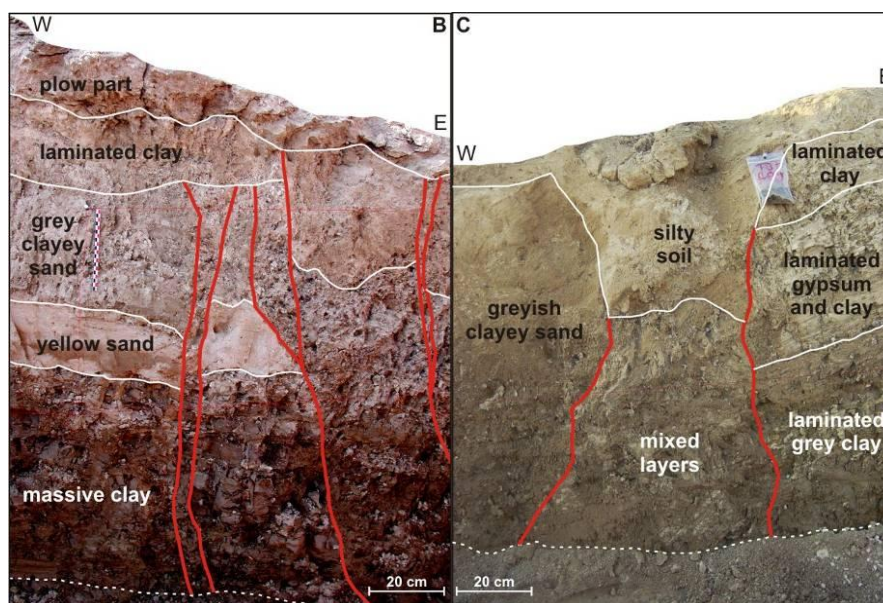


Figure 2. - Trench exposure excavated across the Dead Sea fault in Jordan. Recent ruptures (in red) affect sedimentary units (in white) dated by ¹⁴C. The paleoseismic analysis revealed three events: the most recent corresponds to the historically well-documented Mw 7+ AD 1033 earthquake.

Expected results would hence serve as crucial input data to improve our assessment of seismic hazard for that region.

References

Ferry, M. et al. Evidence for Holocene palaeoseismicity along the Basel-Reinach active normal fault (Switzerland); a seismic source for the 1356 earthquake in the Upper Rhine Graben. *Geophysical Journal International*

160, 554-572 (2005).

Ferry, M. et al. A 48-kyr-long slip rate history for the Jordan Valley segment of the Dead Sea Fault. *Earth and Planetary Science Letters* 260, 394-406 (2007).

Vilanova, S.P. & Fonseca, J.F.B.D. Probabilistic Seismic-Hazard Assessment for Portugal. *Bulletin of the Seismological Society of America* 97, 1702-1717 (2007).

GeoPalavra

Riscos naturais e ordenamento do território

Alexandre d'Orey Cancela d'Abreu *Departamento de Planeamento Biofísico e Paisagístico da Universidade de Évora*

Os riscos naturais, mais ou menos modificados pela actuação humana, são (deveriam ser) condicionantes fundamentais do processo de ordenamento do território, entendido este como a organização e distribuição de usos e funções no espaço e no tempo, contribuindo assim para o desenvolvimento integrado e sustentado das comunidades humanas. Este desenvolvimento é o que deve resultar da utilização racional dos recursos naturais e humanos presentes, bem como da conservação de outros valores permanentes do território, e que se traduz num progresso conjunto e harmonioso das várias actividades, permitindo não só a sobrevivência e segurança, mas também a progressiva melhoria da qualidade de vida das comunidades ligadas aos diferentes espaços territoriais.

Neste âmbito, os riscos naturais, porque implicam problemas relativos à segurança de pessoas e bens, devem ser considerados como parâmetros básicos do ordenamento territorial, o que é reconhecido de um modo muito claro no Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT), recentemente aprovado pela Assembleia da República (Lei nº 58/2007, de 4 de Setembro), em que se indicam e representam graficamente:

- Riscos de Incêndio (Alto / Muito alto)
- Perigo Sísmico
- Perigo de Maremoto
- Perigo de movimento de massa

- Perigo de inundação (áreas, pontos críticos, troços críticos)
- Troços críticos de erosão litoral

No Relatório deste programa nacional, surgem fundamentadas referências a riscos naturais, com destaque para a erosão costeira, assim como considerações gerais relativas à prevenção e redução de riscos (pontos 55 a 60 do capítulo 4 respeitante à estratégia e modelo territorial de Portugal 2025)

No Programa de Acção, o PNPOT refere-se muito directamente aos riscos naturais, nomeadamente no "Objectivo estratégico 1 - Conservar e valorizar a biodiversidade, os recursos e património natural, paisagístico e cultural, utilizar de modo sustentável os recursos energéticos e geológicos, e monitorizar, prevenir e minimizar os riscos", que se subdivide em vários objectivos específicos, de que se destacam os seguintes, por referirem com particular relevo questões associadas aos riscos naturais:

- 1.1 Desenvolver os sistemas de conhecimento e informação sobre o ambiente e recursos naturais (veja-se medida prioritária 7);
- 1.3 Definir e executar uma Estratégia Nacional de Protecção do solo (veja-se medida prioritária 4);
- 1.6 Definir e executar uma política de ordenamento e gestão integrada da zona costeira, nas suas componentes terrestre e marítima (vejam-se as medidas prioritárias 1, 2 e 3);
- 1.11 Avaliar e prevenir os factores e as situações de risco, e desenvolver dispositivos e medidas de minimização dos respectivos efeitos (vejam-se as medidas prioritárias 1, 2, 3, 5 e 6).

Para além do que se encontra bem sistematizado e realçado no PNPOT, existe no quadro legal português um grande número de diplomas que, directa ou indirectamente, dão orientações ou estabelecem normas de ordenamento relacionadas com os riscos naturais. É o caso da Lei da Água, das regras relativas ao litoral, do regime jurídico da Reserva Ecológica Nacional, entre muitas outras. Também ao nível europeu existem declarações e resoluções neste âmbito, nomeadamente a recente Directiva relativa à Avaliação e Gestão de Riscos de Inundação (Directiva 2007/60/CE do Parlamento e do Conselho, de 23 de Outubro de 2007) ou a Carta Europeia do Litoral.

Apesar do que se referiu, verifica-se frequentemente que não se cumprem em Portugal as boas regras que constam de normas legais ou de recomendações, e que parecem tão óbvias a quem se debruça um pouco sobre a relação entre riscos naturais e ordenamento do território. De facto, salvo raras e honrosas excepções, continuamos a (des)ordenar o país como se não existissem riscos naturais ou, no caso em que é impossível negar a sua presença, como se a ciência e as técnicas disponíveis permitissem ultrapassar todos os obstáculos sem custos significativos. Apesar de, ano após ano, sermos atingidos por incêndios florestais catastróficos, por inundações e secas, pelo avanço do mar em diversos troços da nossa costa, tanto os decisores como o comum dos cidadãos permitem-se ultrapassar as regras que constam nos instrumentos de gestão territorial e ignorar os alertas que são dados por cientistas e técnicos, avançando para formas de ocupação do território sujeitas aqueles riscos ou que os agravam.

Se o que se encontra à frente dos nossos olhos é esquecido ou ignorado, o que dizer dos riscos que são mais dificilmente detectáveis, como é o caso dos riscos sísmicos, do perigo de maremotos ou de instabilidade de falésias ou de encostas?

Como lidar com os casos em que particulares ou autarcas se lamentam dos prejuízos materiais ou mesmo de perda de vidas, quando na maioria dos casos as situações de risco se encontravam perfeitamente detectadas e estudadas? Como encontrar mecanismos legais que identifiquem e responsabilizem quem tomou decisões erradas de ordenamento face a conhecimentos que apontavam inequivocamente para sérios riscos naturais?

Estas são questões que mantêm uma enorme pertinência nos tempos actuais devido ao elevado sofrimento humano e aos custos materiais que decorrem de opções erradas de ordenamento. Há que recordar as dezenas de milhões de euros em que foram estimados os prejuízos das inundações que ocorreram em diversos

pontos do país ainda há bem poucos meses, ou as centenas de milhões de euros que se têm gasto para proteger troços de costa sujeitas a intensos processos erosivos ou, ainda, os danos provocados pelos incêndios catastróficos de 2003 e 2004. Não se pode também ignorar que uma parte substancial dos custos que resultam dos efeitos de processos naturais combinados com o desordenamento do território recai sobre os contribuintes que, na sua maioria, não tiveram qualquer responsabilidade sobre as opções que foram escolhidas.

A Administração Pública, nos seus diversos níveis de actuação, deveria ter um papel regulador do interesse público que está em jogo nestas situações de riscos naturais, mas esquece ou demite-se frequentemente deste papel. Apesar de algum esforço na elaboração de normas, estratégias, planos e recomendações, falha constantemente na sua aplicação concreta ao território. Falha nomeadamente ao nível da caracterização aprofundada das situações de risco, ao nível da monitorização e fiscalização do que se vai alterando no território, quando equaciona sectorialmente e só no curto prazo o uso e transformação do território. Neste último caso, tem sido relativamente frequente os organismos oficiais abrirem excepções que contrariam as regras gerais, invocando para tal interesses sócio-económicos mas ignorando alternativas viáveis - caso da ocupação turística de uma restinga tão frágil como a de Tróia (será que daqui a alguns anos se vai exigir a construção de obras de protecção contra a erosão costeira, à custa do erário público?) ou da plataforma logística de Castanheira do Ribatejo (em pleno leito de cheia do Tejo, sobre um centena de hectares dos mais férteis do país, exigindo aterros gigantescos).

A comunidade académica tem um largo campo de estudo nas questões relativas aos riscos naturais e às suas relações com o ordenamento do território. Existe já muita investigação aplicada neste âmbito, mas há que desenvolvê-la, principalmente num sentido mais operativo (aplicação directa aos instrumentos de gestão territorial) e mais facilmente compreensível pelo cidadão comum, de modo a permitir maior transparência e responsabilização dos decisores.

Este boletim está disponível na internet em
<http://www.cge.uevora.pt>

Todas as informações úteis para a próxima edição do **Geoboletim** deverão ser enviadas até ao dia 1 de Setembro de 2008

Direcção e Coordenação Editorial

Alexandre Araújo

Correio electrónico: gboletim@uevora.pt

Depósito legal: 238091/06

ISSN: 1646-3676, Janeiro, 2008

Painel Editorial

Alexandre Araújo, Ana Maria Silva, Maria Rosa Duque, Joaquim Luís Lopes, Mourad Bezzeghoud e Rui Namorado Rosa

Tiragem: 500 Exemplares

Este Boletim é impresso em papel reciclado no Serviço de Reprografia e Publicações da Universidade de Évora

Apoio: FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

