



ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

Workshop: Tectónica recente e Perigosidade Sísmica em Portugal

1 e 2 de Julho de 2011

Universidade de Évora, Anfiteatro 1 do Colégio Luís António
Verney

www.tecto2011.cge.uevora.pt

Evento apoiado pelos projectos de investigação:

PALEOSISPOR – Paleoseismological Study of Active Faults in Mainland Portugal

PTDC/CTE-GIN/66283/2006

NEFITAG – Strong ground motion and near field effects in the Lower Tagus Valley
Region” – PTDC/CTE-GIX/097946/2008”

Organização: Alexandre Araújo (aaraujo@uevora.pt)

José Fernando Borges (jborges@uevora.pt)

Programa

Dias 1 e 2 Julho de 2011

Local – Colégio Luís António Verney, anfiteatro

1º Dia, sexta-feira, 1 de Julho

9h Recepção dos participantes

9.30 Sessão de abertura

Palestras:

10h – Perigosidade sísmica - desenvolvimentos recentes e implicações para a Ibéria

António Ribeiro - Centro de Geologia FCUL, aribeiro@fc.ul.pt

10.40h – Pausa para café

11.00h – Sismicidade ao longo da fronteira de placas tectónicas entre os Açores e a região Ibero-Magrebina

Mourad Bezzeghoud – Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora, mourad@uevora.pt

11.40 h – Perigosidade e Risco Sísmico em Portugal

Carlos Oliveira – Instituto Superior Técnico – csoliv@civil.ist.utl.pt

12.20h – Almoço

14.00h – Os estudos de paleossismicidade na caracterização de falhas activas

João Cabral – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa / LATEX – jcabral@fc.ul.pt

14.30h – Estudos de Perigosidade sísmica no Vale Inferior do Tejo

José Borges – Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora, jborges@uevora.pt

15.00h – Evidências geomorfológicas e sedimentológicas de tectónica activa durante a etapa de incisão do Rio Tejo em Portugal.

António Martins (1), Pedro Cunha (2) - (1) Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora, aam@uevora.pt; (2) Instituto do Mar – Centro do Mar e do Ambiente, Dep. Ciências Terra – Univ. Coimbra, pcunha@dct.uc.pt

15.30h – Princípio de Gestão de Emergência

Comandante Mário Macedo

Bombeiros Sapadores de Setúbal

16.00h – Pausa para café

16.20h – O papel da CCDR Alentejo na prevenção de riscos e na política de ordenamento do território

Direcção da CCDR Alentejo

16.50h – Riscos Naturais e o papel dos media

Teresa Firmino – Jornal O Público, tfirmino@publico.pt

17:20h – Debate – Risco sísmico em Portugal

2º Dia, sábado, 2 de Julho

9.00h – O projecto PALEOSISOR: resultados preliminares

João Cabral – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa / LATEX – jcabral@fc.ul.pt

9.30h – Evidências de neotectónica no vale do rio Minho (sector Ourense-Ribadavia, Galiza)

Alberto Gomes (1), Augusto Pérez Alberti (2), Pedro P. Cunha (3)

(1) Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do Território- CEGOT, Dep. de Geografia – Univ. do Porto, albgomes@gmail.com; (2) Universidad de Santiago de Compostela, España; augusto.perez@usc.es, (3) Instituto do Mar – Centro do Mar e do Ambiente, Dep. Ciências Terra – Univ. Coimbra, pcunha@dct.uc.pt

10.00h – Superfície de aplanamento do Douro ancestral e terraços fluviais na área do Pocinho, zona de falha da Vilarica, referências geomorfológicas na determinação de desnivelamentos tectónicos e soerguimento crustal.

Pedro P. Cunha (1), Fernando C. Lopes (2), Alberto Gomes (3), Diamantino I. Pereira (4), João Cabral (5), Gerardo De Vicente (6) & António Martins (7)
Dep. Ciências da Terra da Univ. Coimbra; IMAR-CMA; (2) Dep. Ciências da Terra – Univ. Coimbra; Centro de Geofísica – Univ. Coimbra (3); Dep. Geografia da Univ. Porto; CEGOT; (4) Centro de Geologia e Dep. Ciências da Terra, Univ. Minho; (5) Dep. de Geologia, Faculdade de Ciências da Univ. Lisboa, LATTEX-IDL; (6) Dep. Geodinâmica, Fac. Ciências Geológicas, Univ. Complutense; (7) Dep. de Geociências, Centro de Geofísica da Univ. Évora.

10.30h – Geologia, Geomorfologia e sismicidade na região de Ciborro-Arriolos: Actividade tectónica local ou associada a uma estrutura com importância regional?

Alexandre Araújo e António Martins – Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora, araujo@uevora.pt, aam@uevora.pt;

11.00h – Pausa para café

11.30 – Apresentação das comunicações em poster

12.30h – Almoço.

14.00h – Towards reproducible methods in probabilistic seismic hazard assessment for slow regions

Delphine Fitzenz – Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora, delphine@uevora.pt

14.30h – Resultados preliminares dos projectos LISMOT e NEFITAG.

José Borges – Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora, jborges@uevora.pt

15.00h – Resultados preliminares do projecto SISMOD

Bento Caldeira – Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora, bafcc@uevora.pt

15.30h – A rede sismográfica do projecto WILAS

Nuno Afonso Dias – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa/ Instituto D. Luiz, nmdias@fc.ul.pt

16.00h – Fenómenos sismo-electromagnéticos

Hugo Gonçalves da Silva – Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora, hgsilva@uevora.pt

16.30h - A tecnologia LiDAR e a aplicação à geomorfologia.

André Jalobeanu – Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora, jalobeanu@uevora.pt

17.00h – Pausa para café

17.30h – Debate sobre as comunicações apresentadas: linhas de investigação futuras no domínio da tectónica activa e da perigosidade sísmica.

18.00h – sessão de encerramento

Resumos

1º Dia, sexta, 2 de Julho

Perigosidade sísmica - desenvolvimentos recentes e implicações para a Ibéria

António Ribeiro - Centro de Geologia FCUL, aribeiro@fc.ul.pt

Resumo

Revê-se o estado da arte em perigosidade sísmica com ênfase na interferência próxima e distante de eventos sísmicos e respectivos processos causadores entre os extremos de deformação asísmica e sísmica. Analisam-se as implicações para a sismicidade da área Ibero-Atlântica emersa e imersa, e consequências à escala global, na perspectiva das placas macias.

Sismicidade ao longo da fronteira de placas tectónicas entre os Açores e a região Ibero-Magrebina

Mourad Bezzeghoud – Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora, mourad@uevora.pt

Resumo

Ao longo do limite entre as placas Eurásia-Núbia, no troço que se estende desde as ilhas dos Açores até o Estreito de Gibraltar e região Ibero-Magrebina, distinguem-se diferentes características tectónicas. A interacção entre a Ibéria e a África resulta numa região complexa situada na parte ocidental do limite entre as placas Eurásia e África. A região estudada corresponde à transição de uma fronteira oceânica (entre os Açores e o Banco Gorringe), até um limite continental onde Ibéria e África colidem. O limite de placas é muito bem delimitado na parte oceânica, a partir das ilhas dos Açores ao longo da falha Açores-Gibraltar até aproximadamente 12° W (oeste do Estreito de Gibraltar). De 12° W a 3.5° E, incluindo a região Ibero-Magrebina e estendendo-se até a parte ocidental da Argélia, a fronteira é mais difusa e forma uma ampla área de deformação.

As características da sismicidade observada na região sugere a divisão da parte ocidental do limite Eurásia-Núbia, a partir da Crista Médio-Atlântica - a oeste, até Argel - a leste, em seis zonas: zona I (de 30° W à 27° W, Junção Tripla a Ilha Terceira), zona II (de 27° W a 23° W), zona III (de 23° W a 11° W, Falha da Glória), zona IV (de 11° W a 6° W, Banco de Gorringe a Cádiz), zona V (de 6° W para 1° W, Béticas, Cordilheiras do Rif e Mar do Alborão) e VI (de 1° W a 3.5° E, noroeste da Argélia e Montanhas do Tell). Vamos examinar as diferentes características destas seis zonas a partir da variabilidade da sismicidade e mecanismos focais.

Os estudos de paleossismicidade na caracterização de falhas activas

João Cabral – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa / LATEX – jcabral@fc.ul.pt

Resumo

Quando se avalia a perigosidade sísmica em áreas densamente povoadas, onde se concentra importante actividade económica, a análise da sismicidade deve considerar períodos de tempo suficientemente longos para abarcar convenientemente o fenómeno da sismogénese. Especialmente em regiões intraplaca, com sismicidade histórica e instrumental baixa, isso implica a utilização de metodologias geológicas, e paleossismológicas em particular. Nestas áreas os ciclos sísmicos duram entre 103 e 105 anos, de modo que a actividade sísmica actual e histórica não representa adequadamente a sismicidade regional

considerando períodos de tempo longos, visto que a sismicidade histórica cobre apenas uma parte do ciclo sísmico. Neste tipo de ambiente geodinâmico podem ocorrer falhas com taxas de actividade baixas, que se comportam como estruturas sísmicamente silenciosas, mas que têm a capacidade de produzir sismos catastróficos e ruptura superficial, embora com períodos de recorrência longos. Os estudos geológicos (de neotectónica) e paleossismológicos são essenciais para avaliar se as falhas actualmente “silenciosas” são, de facto, falhas activas com taxas de actividade baixas, e, eventualmente, para definir o seu potencial sismogénico, particularmente significativo na estimativa da perigosidade sísmica para períodos de retorno longos.

A metodologia a aplicar, do domínio da Paleossismologia, baseia-se em que os sucessivos deslocamentos cossísmicos numa falha activa, ao afectarem a superfície topográfica e sedimentos recentes (ou solos) localizados junto à superfície, ficam “gravados” no registo geológico, através de uma expressão estrutural e/ou morfológica característica. A informação paleossismológica inclui também a identificação e caracterização de estruturas resultantes de fluidização de sedimentos por acção de vibrações sísmicas intensas (paleossismos) e, em ambiente marinho profundo, do registo sedimentar de eventos turbidíticos resultantes dessa acção. Há ainda a referir o reconhecimento do registo sedimentar de antigos tsunamis (tsunamis) associados a paleossismos.

As técnicas usuais nos estudos paleossismológicos incluem análise geomorfológica detalhada e abertura e estudo de trincheiras em locais seleccionados sobre falhas activas, para a caracterização de relações de corte e sobreposição de rupturas nas falhas relativamente a marcadores estratigráficos recentes presentes nesses locais. O objectivo consiste na avaliação de taxas de actividade a curto prazo, identificação de paleossismos, estimativa da sua magnitude e intervalo de recorrência, e tempo decorrido desde o último evento gerado.

Estudos de Perigosidade sísmica no Vale Inferior do Tejo

José Borges – Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora, jborges@uevora.pt

Resumo

Ao longo da sua história esta região foi abalada por vários terremotos: os mais importantes tiveram origem a sudoeste da Ibéria (Borges et al., 2001). Estes sismos, possuidores de elevada capacidade destrutiva, estão provavelmente associados a estruturas offshore localizada a sudoeste da costa portuguesa com orientação N-S a NNE-SSW. O maior sismo histórico a afectar esta área e um dos maiores jamais descritos ($M_w \sim 8.5$) é o de 1. Nov 1755, o maior sismo instrumental desta região ocorreu em 1969 ($M_w = 7.3$) e o mais recente ($M_w=6.1$) ocorreu no dia 12 de Fevereiro de 2007.

A área de estudo sofreu também o efeitos de eventos ligados fontes locais, os quais originaram importantes perdas de vidas e avultados danos materiais: destacam-se os sismos históricos 1344, 1531 e 1909. A Localização das fontes destes eventos e a sua caracterização apresentam ainda algumas incertezas. Devido à escassez de descrições históricas o epicentro dos sismos de 1344 e 1531 encontram-se mal localizados, contudo, a destruição gerada por estes sismos na área de Lisboa não deixa margem para dúvidas quanto à sua origem que deverá estar associada à área do LTV. Embora sendo um sismo instrumental, o acidente tectónico que originou o sismo 1909 ($M_w = 6.0$), responsável pela destruição a Vila de Benavente, é ainda desconhecido.

A geometria, topografia e estrutura da Bacia Cenozoica do Baixo, e da bacia Lusitaniana do Mesozoico (situada a oeste da primeira), contribuem, como já foi demonstrado, para um reforço das amplitudes das ondas sísmicas, dificultando, por essa razão, a localização de eventos históricos baseadas no estudo da intensidade sísmica. Por outro lado, esse efeito de amplificação reforça os valores máximos espectáveis para o movimento do solo nessas regiões, aumentando, deste modo, o risco sísmico a elas associado.

A Liquefacção e a subsidência do solo são outro tipo de efeitos que frequentemente causam de muita destruição, particularmente em terrenos não consolidados - existem claras evidências deste fenómeno na área em redor do epicentro do sismo de Benavente.

Evidências geomorfológicas e sedimentológicas de tectónica activa durante a etapa de incisão do Rio Tejo em Portugal.

António Martins (1), Pedro Cunha (2) - (1) Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora, aam@uevora.pt; (2) Instituto do Mar – Centro do Mar e do Ambiente, Dep. Ciências Terra – Univ. Coimbra, pcunha@dct.uc.pt

Resumo

Tectonic displacements affecting the culminant sedimentary unit (probable Late Pliocene to lowermost Pleistocene) of the Lower Tejo Basin are common. Using geomorphologic and stratigraphic references, these vertical displacements can reach up to 70 m. There are geomorphologic evidences that the faults have been active during the Pleistocene, displacing the terraces, whose ages are known in the lower ones (Martins, et al., 2010). However, faulted surfaces affecting terrace deposits have been very difficult to found and are often considered unreliable. This seems strange because a staircase of six terrace levels (T1 to T6, from the upper to the lower), indicating a long-term uplift during the Pleistocene, is present.

Several depositional episodes related to the evolution of Tejo River were identified: the culminant sedimentary unit (P - sandstones and conglomerates) of the sedimentary basin, deposited just before the beginning of the incision stage of the drainage network; T1 terrace (conglomerates); T2 terrace (conglomerates); T3 terrace (conglomerates); T4 terrace (conglomerates and sandy at top); T5 terrace (gravels and sands); T6 terrace (gravels and a sandy-muddy at top); H - Holocene valley infill (gravel base and sandy at top). Terrace correlation was based upon: a) aerial photograph analysis, geomorphological mapping and field topographic survey; b) K-feldspar infrared stimulated luminescence (IRSL) dating of the lower terraces, as quartz optically stimulated (OSL) signal of the samples from these terraces was close to saturation in almost all samples. The IRSL dating also included a correction for anomalous fading. The ages of the two upper terraces (T1 and T2) are beyond the upper range of the dating method. The T3 terrace is much older than 300 ka (minimum age), T4 is < 340 to 150 ka, T5 is 136 - 75 ka, and the T6 is 60 – 30 ka. Using the age of the T4 surface, for the last 150 ka a time-averaged incision rate was quantified as ~0.35 m/ka in the more uplifted block of the valley (east of Chamusca town) and ~0.13m/ka in the west side of the valley. For the reach III (Abrantes area) the time-averaged incision rate was quantified as 0,25 m/ka.

If we consider the beginning of the incision stage of the Tejo River coeval with the depositional surface of the Spanish alluvial fans (raña of Sierra Morena Central), dated as ~1.7 Ma (Escudero y Olmo, 1997), in a similar geomorphologic position as the culminant sedimentary unit of the Lower Tejo Basin, then the ages of the surfaces of the T1 terrace could be ~850 to 970 ka and the T2 ~600 to 670 ka, using an interpolation considering the luminescence ages of the younger terraces. If that is true, the incision rate seems to be faster in recent times.

Long-term fluvial incision appears to have been controlled by regional uplift but the interplay of eustatic and climate controls could have played the main role in the episodes of dynamic equilibrium and aggradation.

References:

- Escudero, B., and Olmo, D., 1997. *Resultados paleomagnéticos de la raña del Hespérico Meridional (Montoro, Córdoba)*. *Geogaceta*, 21, 31-34.
- Martins, A., Cunha, P., Buylaert, J.P., Huot, S., Murray, A., Dinis, P., Stokes, M., 2010. *K-feldspar IRSL dating of a Pleistocene river terrace staircase sequence of the Lower Tejo River (Portugal, western Iberia)*.

2º Dia, sábado, 2 de Julho

O Projecto PALEOSISPOR

J. Cabral e Equipa Paleosispor Departamento de Geologia, LATTEX, IDL, Faculdade de Ciências, Lisboa, Portugal, jcabral@fc.ul.pt

Resumo

No território continental português conhecem-se relativamente bem as falhas com evidências de actividade fini-neogénica a quaternária, ou seja, no regime tectónico corrente ($\approx 2-3$ Ma). As estimativas das taxas de actividade a longo prazo indicam valores variáveis, compreendidos entre 0,005 e 0,3-0,5 mm/ano, correspondendo maioritariamente a falhas com taxas de actividade baixas. Em áreas de actividade tectónica baixa como Portugal Continental, o ciclo sísmico (recorrência) dos sismos grandes é longo (ciclo sísmico médio $M=6,5-7$ é de 2.000 a 200.000 anos), de modo que estes sismos provavelmente não estão assinalados nos registos histórico e instrumental (≈ 2.000 anos).

A presença de falhas activas com taxas de actividade baixas – lentas, ou sismicamente "silenciosas", requer uso da investigação paleossismológica para caracterizar convenientemente a sismicidade. Este facto levou a que a aquisição de dados paleossismológicos em Portugal continental fosse prioridade de diversas equipas nos finais dos anos 90, início de 2000, conduzindo a estudos no Vale Inferior do Tejo (1998-2005) (Fonseca et al., projectos TAGUS e TAGUS 2, Cabral et al., projecto SHELTA) e na falha da Vilariça (2005) (Rockwell et al., projecto barragem do Sabor). A continuada escassez de dados paleossismológicos e a consciência da sua importância levou à submissão de novos projectos em 2006, nomeadamente o projecto PALEOSISPOR, coordenado por J. Cabral e agrupando elementos da FCUL, FCTUC, UE e ISEP.

O projecto, a 3 anos, foi inicialmente recusado, sendo aprovado após recurso interposto pelo IR, com um orçamento de 80k€, correspondente a 60% do orçamento solicitado inicialmente. Os trabalhos iniciaram-se em Janeiro de 2009, tendo decorrido estudos paleossismológicos essencialmente nas seguintes áreas:

- SW vicentino (Algarve) para estudo do sistema de falhas de S. Teotónio-Aljezur-Alfambras-Sinceira, com abertura de 4 trincheiras de investigação paleossismológica e pesquisa de terraços marinhos deslocados; detectou-se uma falha na depressão tectónica de Alfambras, deslocando provavelmente horizontes quaternários, cuja idade está ainda por confirmar, bem como diversos níveis marinhos em curso de caracterização;
- na área de Moura (sítio da Defesa de S. Brás), para estudo da falha de Vidigueira-Moura, com abertura de 3 trincheiras para investigação paleossismológica na falha; os resultados evidenciaram inactividade da falha posteriormente a terraço fluvial com idade OSL de ~ 90 ka;
- no Vale Inferior do Tejo, com realização de ensaios CPT na área de Vila Franca de Xira (VFX), para detectar deslocamentos produzidos pela falha de VFX nas aluviões do rio Tejo; os resultados obtidos apontam para deslocamento da base do enchimento aluvial de $\sim 2,5$ m, a confirmar;
- na falha da Vilariça, com a realização de 1 trincheira no sítio de Vale Meão (Pocinho), onde se encontraram evidências de ruptura superficial em sedimentos com idade OSL de ~ 16 ka, corroborando actividade tectónica recente e cinemática dominante em desligamento indicada por Rockwell et al. (2009), e 3 trincheiras na depressão de Longroiva, onde não se detectou falhamento nos sedimentos quaternários aí presentes.

Prevê-se a continuação de trabalhos nalgumas das áreas já pesquisadas, sendo contudo clara a necessidade da sua continuação no âmbito de projectos futuros, submetidos e em curso de avaliação, ou a submeter.

Geologia, Geomorfologia e sismicidade na região de Ciborro-Arraiolos: Actividade tectónica local ou associada a uma estrutura com importância regional?

Alexandre Araújo e António Martins – Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora, araujo@uevora.pt, aam@uevora.pt;

Resumo

A região de Évora apresenta uma actividade sísmica fraca, aparentemente difusa mas persistente (Borges et al, 2001; Bezzeghoud e Borges, 2003). Numa análise detalhada dos dados da sismicidade, publicados pelo Instituto de Meteorologia, esta actividade concentra-se preferencialmente na região a norte de Évora, abrangendo a região de Azaruja, Arraiolos, Mora e Ciborro. Esta zona apresenta alguns lineamentos que correspondem a escarpas de falha separando compartimentos desnivelados da superfície fundamental da Meseta Sul, como é o caso da escarpa de S. Gregório (virada a norte), da escarpa de Aldeia da Serra (virada a oeste) ou a do Ciborro que faz localmente o limite da bacia do Tejo com o soco paleozóico e que se traduz por uma escarpa de direcção WNW-ESE, virada a NE. A análise da Geologia e da Geomorfologia da região mostram evidências de actividade tectónica ao longo destes acidentes no Cenozóico, mas não existem critérios estratigráficos para datar com rigor essa actividade. No entanto a actividade tectónica das falhas do Ciborro e Aldeia da Serra parece demonstrada por um conjunto de knickpoints (roturas de declive nos perfis longitudinais dos cursos de água que cruzam as falhas), verificando-se uma relação linear entre a área da bacia a montante da base das escarpas (supostamente pontos de partida da migração dos knickpoints) e a distância percorrida por estes.

Os sismos que ocorrem nesta região são geralmente de magnitude baixa, não permitindo determinar os respectivos mecanismos focais, contudo Bezzegoud e Borges (2003) apresentam soluções para dois mecanismos focais de sismos com magnitude 3.2, com epicentro próximo de S. Gregório, no dia 19-01-1997 e magnitude 4.0, com epicentro em Azaruja em 31-07-1998. Estes mecanismos indicam uma direcção de compressão NW-SE e são compatíveis com planos de ruptura do tipo desligamento direito, de direcção N80W a N85W, inclinados 60 a 70° para sul. Esta atitude coincide com a determinada em afloamento para a falha de Ciborro. Considerando uma cinemática actual preferencialmente do tipo desligamento direito para os acidentes de direcção WNW-ESSE, o relevo de Aldeia da Serra poderá corresponder a um “push up” activo (Araújo e tal, 2010). Nesta apresentação colocamos a hipótese destas estruturas serem um testemunho local de uma estrutura maior com expressão regional, eventualmente responsável pelo sismo de Benavente de 1909.

Bibliografia

- Araújo, A., Matos, J. e Martins, A. (2010) A elevação de Aldeia da Serra (Arraiolos): um “push up” activo associado à falha de Ciborro e ao lineamento de S. Gregório? <http://metododirecto.pt/CNG2010/index.php/vol/article/view/56>, 4pp.
- Borges, J. F., Fitas, A. J. S., Bezzeghoud, M. e Teves-Costa, P. (2001) – Seismotectonics of Portugal and its adjacent Atlantic area. *Tectonophysics*, nº 337, 373-397.
- Bezzeghoud, M. e Borges, J. F. (2003) – Mecanismos focais dos sismos em Portugal Continental. *Física de la Tierra*, nº 15, 229-245.

Towards reproducible methods in probabilistic seismic hazard assessment for slow regions

Delphine Fitzenz – Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora, delphine@uevora.pt and team of the LTV-SourceMod4PSHA, including Boris Le Goff (PhD student) and Rafaela Chumbo (Bolseira)

Resumo

In slow tectonic regions, the time between consecutive earthquakes on any given fault can be very large compared to the short time period over which we have instrumental records of the seismicity (ca. 120 years). However, the seismic hazard might be high, as well as the vulnerability, since the population might not have any recent memory of past damaging events, or indeed, might not know that such events are possible nearby.

In such contexts, those methods that rely heavily on large datasets of seismicity with precise location and earthquake size are inadequate:

- to determine the active fault geometry and segmentation, or even the geometry of areas purported to have homogeneous seismogenic potential;
- to assess whether the relative frequency of small and large earthquakes follows a Gutenberg-Richter power law for individual faults as it generally does for seismically active areas, or whether some faults exhibit either small events or large ones, but rare intermediate-size events;
- to choose recurrence models, either for small to large events, or for large events only.

In the project LTV-SourceMod4PSHA, we concentrate on building seismic source models for probabilistic seismic hazard assessment. We want these source models to be reproducible, to integrate as much quantitative data as possible, and expert judgement as well, e.g., in the form of priors, and to keep track and propagate the major sources of uncertainties so as to be able to make a list of recommendation.

I present briefly the 2 main lines we have pursued in the past year:

- use of Bayesian inference to get the seismic activity rates of contiguous zones and the geographical limit between them from earthquake catalogs only; assessment of the value of having information on the preferential orientation for faulting;
- use of dated cumulative offsets and other earthquake geology data in combination with instrumental, historical, and archeological catalogs, as well as trench data to constrain the parameter space of candidate recurrence models, and to propose the best combination of models in a Bayesian sense (without expert decision). We show that the small temporal-scale variations of the fault slip rate, e.g., from geomorphic markers, or vertical offsets seen on seismic profiles for dip-slip fault are very important and should be acquired and reported every time they can be assessed.

More recently, we have engaged in a re-evaluation of the 1909 event, namely through the re-evaluation of the intensity data (in collaboration with our spanish colleagues), and the assessment of the seismic activity in the West-East direction between Benavente and the Spanish border (with our geologist colleagues). This last step would benefit from high-resolution microseismicity data in that area. Once we have selected those intensity data that rely pertain to the Benavente earthquake, and a training set was gathered for the overall region to get the relationship between intensity, magnitude, and epicentral distance, we will perform the re-evaluation of the location and size of the 1909 Benavente event using the Bakun and Wentworth method.

Resultados preliminares dos projectos LISMOT e NEFITAG.

José Borges – Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora, jborges@uevora.pt

Resumo

O principal objectivo do Projecto NEFITAG é a construção de cenários sísmicos para a região do Vale Inferior do Tejo (LTV). A concretização deste propósito obriga a um conhecimento da estrutura (modelos de velocidade para a bacia), o emprego de métodos numéricos, à compreensão dos efeitos da propagação e do papel das heterogeneidades a diversas escalas, do efeito da topografia e os efeitos de amplificação local (efeitos de sítio). Para além da localização das fontes de sismos e caracterização das referidas fontes através da utilização de métodos geofísicos, este projecto tem uma componente de mitigação: com efeito, a modelação dos movimentos sísmicos, conjuntamente com a com a classificação dos solos, as cartas de liquefacção e uma completa descrição das frequências naturais, permitirão orientar os decisores na procura de metodologias para a redução dos danos provocados por sismos na região do Vale Inferior do Tejo.

Resultados preliminares do projecto SISMOD

Bento Caldeira – Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora, bafcc@uevora.pt

Resumo

Sobre a reconstituição da cinemática da ruptura de grandes terremotos por inversão de dados sísmicos ou geodésicos, com método de Programação Linear (LP) no espaço DUAL. A descrição que se pode fazer da fonte sísmica é em primeiro lugar um produto da imaginação humana, obviamente circunscrito pelas teorias físicas e assistido pelos métodos matemáticos. Nesse contexto, a modelação da ruptura sísmica consiste em encontrar valores para os parâmetros do modelo físico-matemático adotado, a partir dos quais é possível reproduzir numericamente os efeitos produzidos pelo terremoto que são registados à superfície. Esses efeitos podem ser tanto os movimentos elásticos produzidos a distâncias próximas da fonte (movimentos fortes em campo próximo) ou muito afastadas (distâncias telesísmicas), - registados em estações sísmicas, ou ainda as deformações inelásticas - registadas por técnicas geodésicas. O nível de detalhe e a exatidão com que os parâmetros característicos da ruptura de grandes sismos podem ser estimados, depende da combinação das duas classes de fatores envolvidos no processo: os dados e os métodos. Para fontes finitas, o modelo cinemático consiste numa distribuição espaço temporal de vetores deslizamento distribuídos sobre um plano (de falha) previamente subdividido numa malha de sub-falhas. Os parâmetros que caracterizam o vector deslizamento de cada sub-falha são: a amplitude do deslizamento, a direção, o instante de início e a função que descreve como evolui no tempo (função temporal ou, alternativamente o tempo de subida quando a função temporal tiver uma forma previamente fixada - ex^o triangular).

Atualmente a abordagem mais popular para determinar estas distribuições de deslizamentos é a inversão de movimentos fortes registados em campo próximo ou inversão conjunta de dados sísmicos em campo próximo e telesísmicos. A razão para a preferência de dados de campo próximo é por permitirem reconstituições da ruptura com maior detalhe do que as obtidas com dados telesísmicos. As principais dificuldades na utilização dos dados de campo próximo prendem-se: -em primeiro lugar, com a sua escassez para muitas das zonas sismogénicas importantes, ainda com mal cobertas por acelerómetros; - em segundo lugar, pelas maiores exigências na modelação de tais formas de onda, quer em termos de capacidade de cálculo, quer com os modelos de estrutura requeridos, que devem ser mais detalhados e não existem para muitas das zonas Terra.

Neste trabalho apresentaremos um novo método para reconstruir a cinemática da ruptura de grandes terremotos, desenvolvido no âmbito do projecto SISMOD. É um método que pode produzir distribuições espaço temporais de deslizamentos em fontes finitas, por inversão de dados sísmicos ou geodésicos, segundo um método de Programação Linear (LP) definido no espaço Dual. Para testar o método foi definido um modelo sintético de ruptura, usado para calcular os sismogramas usados para reconstituir a fonte, segundo o processo usado com dados reais. Foram feitas reconstituições da fonte com estes dados, usando a abordagem proposta e outros algoritmos padrão usados. As funções de Green, para quaisquer dos casos, foram calculados por um método das diferenças finitas aplicado a um modelo de estrutura 3D. Os resultados revelam significativas vantagens deste método face aos concorrentes; tanto ao nível da capacidade para reconstruir a fonte como no tempo de cálculo.

A rede sismográfica do projecto WILAS

Nuno Afonso Dias – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa/ Instituto D. Luiz,
nmdias@fc.ul.pt

Resumo

A Litosfera da Iberia foi formada na sequência de uma série episódios de colisão e estiramento continental. O principal episódio deu-se durante a Orogenia Varisca, no Paleozóico Inferior, durante a qual colidiram 3 blocos tectónicos. No Mesozóico, o estiramento associado ao rifting e ruptura da Pangea afectou fortemente a estrutura crustal da orla ocidental ibérica. Desde o Miocénico a interacção entre os blocos continentais da Africa e Iberia tem-se caracterizado por um regime tectónico de convergência difusa entre margens, resultando numa vasta área de deformação confinada pelos dois blocos. Esta

deformação traduz-se a sul por uma elevada taxa de sismicidade, com ocorrência de eventos de magnitude elevada.

Na orla ocidental da Península Ibérica a sismicidade observada apresenta sismicidade com taxas mais baixas, em ocorrência e energia libertada, e concentra-se primordialmente nas zonas do Alto Alentejo, Estremadura e sistema de Régua-Verin. A relação entre as estruturas superficiais e profundas e a sua extensão lateral está ainda por estabelecer, não se compreendendo até que ponto esta sismicidade observada e as taxas de deformação crustal associadas se devem à estrutura herdada de orogenias anteriores.

Desde 2007 que a rede sísmica existente em Portugal tem sofrido um incremento em termos quantitativos e qualitativos, por várias instituições nacionais: Instituto de Meteorologia, Instituto Dom Luiz, Centro de Geofísica de Évora, Instituto Superior Técnico, Centro de Geofísica da Universidade de Coimbra. Dadas as características descritas para a sismicidade, este esforço centrou-se essencialmente a sul do rio Tejo, ou na região em torno de Lisboa. A caracterização espaço-temporal dos parâmetros hipocentrais da sismicidade é naturalmente dependente da rede sísmica disponível, mas depende igualmente do conhecimento da estrutura sísmica crustal.

O Projecto WILAS-West Iberia Lithosphere and Asthenosphere Structure, é um projecto financiado pela FCT (PTDC/CTE-GIX/097946/2008) para o triénio 2010-2012, no qual se pretende coordenar os esforços de todas as entidades nacionais a operar estações sísmicas BB. Em colaboração com o GFZ-Potsdam e o projecto espanhol TOPOIBERIA, estão a ser instaladas cerca de 30 novas estações sísmicas BB, a maioria temporárias e localizadas essencialmente a Norte do Rio Tejo, com o objectivo de instalar no território nacional uma rede homogénea de espaçamento 60x60 km. O tipo de cobertura e os objectivos associados são similares aos projectos Earthscope/USArray nos EUA, TOPOIBERIA/IBERArray em Espanha ou Pyrope em França.

O incremento na cobertura instrumental permitido por esta rede permitirá uma melhor definição da sismicidade em Portugal, quer por melhorar a localização dos eventos detectados pelas redes permanentes, quer por permitir a detecção de novos eventos de baixa magnitude.

Physics of Seismo-Electromagnetic Phenomena

Hugo Gonçalves da Silva – Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora,
hgsilva@uevora.pt H.G. Silva and M. Bezzeghoud

Resumo

The seismo-electromagnetic phenomena (SEMG) are integrated in a relatively recent research field that studies diverse phenomena such as: unusual seismo-electrical signals [1], abnormal ultra-low-frequency (ULF) seismo-electromagnetic emissions [2], very-low-frequency (VLF) and low-frequency (LF) radiobroadcast anomalies associated with ionosphere perturbations [3], variation of total electron content of the ionosphere [4], and atypical infrared emissions [5], all related with the preparatory stage of impending earthquakes. In the past, like many other branches of science like Quantum Mechanics, SEMG have been responsible for intense debates about its credibility, in this case concerning its applicability to short-term earthquake prediction [6]. In fact, the development of a truly pre-quake forecasting system is still an elusive plan, but SEM emissions are now a very well established effect extensively reported in literature. Nevertheless, much of the Physics implicated is still not fully understood.

Thus, our main effort is directed towards a systematic field observation of SEMG effects and the development of both constructive theoretical models and laboratorial experiments to promote a better understanding of the Physics engaged in these phenomena. In this presentation we will present a sum up of our recent achievements [7,8,9], focusing future work and improvements.

[1] A. Konstantaras, et al., On the electric field transient anomaly observed at the time of the Kythira M=6.9 earthquake on January 2006, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 7, 677 (2007).

[2] T. Bleier, et al., Investigation of ULF magnetic pulsations, air conductivity changes, and infra red signatures associated with the 30 October Alum Rock M5.4 earthquake, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9, 585 (2009).

- [3] P. Biagi, et al., An overview on preseismic anomalies in LF radio signals revealed in Italy by wavelet analysis, *Annals of Geophysics* 51, 237 (2008).
- [4] V. Chauhan, et al., Ultra-low-frequency (ULF) and total electron content (TEC) anomalies observed at Agra and their association with regional earthquakes, *Journal of Geodynamics* 48, 68 (2009).
- [5] D. Ouzounov, et al., Outgoing long wave radiation variability from IR satellite data prior to major earthquakes, *Tectonophysics* 431, 211 (2007).
- [6] S. Uyeda, et al., Short-term earthquake prediction: Current status of seismo-electromagnetics, *Tectonophysics* 470, 205 (2009).
- [7] H.G. Silva, et al., Atmospheric electrical field anomalies associated with seismic activity, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 11, 987 (2011).
- [8] H. G. Silva, et al., Electric transport in different granitic rocks, EGU General Assembly 2011 (EGU 2011), 3-8 April 2011, Vienna (Austria).
- [9] H.G. Silva, et al., Piezoelectric effect during solid fracture causing electromagnetic emissions, International Conference on Computational Modelling of Fracture and Failure (CFRAC 2011), 6-8 June 2011, Barcelona (Spain).

The topographic LiDAR technology and its application to geomorphology.

André Jalobeanu – Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora,
jalobeanu@uevora.pt

Resumo

The main goal of the AutoProbaDTM project is to develop new methodologies to measure the topography from LiDAR data (light detection and ranging). It includes algorithmic development, implementation and validation over a large test area. A 200 km² study area was chosen NW of Arraiolos, Portugal, so the derived elevation model could be used for geomorphological applications. Indeed, automatically generating the bare ground topography can help avoid time-consuming, costly and tedious GPS field measurements over fault scarps and knickpoints. In this presentation we will focus on the principles of the airborne LiDAR technology, from data acquisition to data processing. We will also outline the challenges we are facing, for instance the ability to develop computationally efficient ways to process huge volumes of complex raw data, without compromising the accuracy of the reconstructed terrain model. Indeed, half a billion laser shots were used, each generating a waveform recording, representing 100 GB of raw data in an undocumented binary format. Moreover, full automation is still an unsolved problem. Finally, very few existing techniques are able to offer a quantitative error map associated with the topography. We plan to provide fast, automated methods to derive topographic maps and to compute error maps as well, based on a probabilistic approach to modeling surfaces and data acquisition, solving inverse problems and handling uncertainty.

Comunicações em Poster

A Falha de Pinhal Novo – Alcochete no contexto da Neotectónica do Vale Inferior do Tejo

C. Moniz(1), J. Cabral(2), J. Madeira(2)

(1) Unidade de Geologia e Cartografia Geológica, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Lisboa, Portugal; (2) Departamento de Geologia, LATTEX, IDL, Faculdade de Ciências, Lisboa, Portugal catarina.moniz@lneg.pt

Resumo

A Zona de Falha de Pinhal Novo - Alcochete (ZFPNA) localiza-se na zona S do Vale Inferior do Tejo, sector oriental da Península de Setúbal, na Bacia Cenozóica do Baixo Tejo, correspondendo a uma das principais macroestruturas tectónicas da região de Lisboa.

O registo de eventos sísmicos históricos importantes ocorridos nesta área revela a presença de falhas activas sismogénicas, caracterizadas por taxas de movimentação baixas, de 0,05 a 0,1 mm/ano, características de zonas intraplaca. Estas estruturas estão ainda deficientemente conhecidas, sendo o seu estudo essencial para a avaliação do risco sísmico regional.

A ZFPNA terá funcionado como bordo da Bacia Lusitana neste sector, implicando o seu enraizamento profundo, no soco paleozóico, tendo sofrido reactivação em tectónica pelicular durante a inversão tectónica miocénica. Constitui uma das principais estruturas provavelmente activas da região (entendida como a actividade no regime tectónico actual, abrangendo aproximadamente os últimos 3,5 Ma). Identificada essencialmente por dados de sub-superfície, tem uma direcção aproximada NNW-SSE e geometria complexa, ramificada, abarcando uma zona de deformação com cerca de 1,5 km de largura.

O deslocamento dos horizontes estratigráficos mais superficiais, reconhecidos em perfis de reflexão sísmica e em sondagens efectuadas para fins diversos, e da superfície basal dos sedimentos pliocénicos em particular, aponta para actividade tectónica recente na ZFPNA, que é corroborada por evidências geomorfológicas, ainda que escassas, nomeadamente um relevo alongado associado e assimetria na rede de drenagem.

A ZFPNA evidencia condições para gerar sismos resultantes de ruptura ao longo de um comprimento de de pelos menos 20 km e uma largura de 9 km a 18 km, compreendida na crosta sismogénica inferida pelos dados de sismicidade instrumental. As estimativas do sismo máximo expectável apontam para uma magnitude entre 6 e 7, com intervalos médios de recorrência na ordem de 3.000 a 11.000 anos. Estes longos períodos de retorno poderão justificar a ausência de registos de sismicidade significativa associada a esta zona de falha, salvaguardando-se, contudo, a possibilidade de o importante sismo histórico de Setúbal, em 1858, ter ocorrido num segmento meridional desta estrutura.

Interpreta-se assim a ZFPNA como uma estrutura tectónica provavelmente activa, com movimentação dominante transpressiva esquerda desde o Pliocénico superior, que se tem comportado como sísmicamente "silenciosa" mas capaz de gerar sismos fortes com intervalos de recorrência longos, desconhecendo-se em que fase do ciclo sísmico se encontra actualmente.

Inferring activity rates and geographical limits between contiguous zones: a Bayesian approach to seismic source modeling

Boris Le Goff Centro de Geofísica de Évora/ Universidade de Évora Boris Le Goff
boris@uevora.pt

Resumo

An important step in the Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) consists in defining the seismic source model. Such a model expresses the association of the seismicity characteristics with the tectonically-active geological structures evidenced by seismotectonic studies. Given that most of the faults are not characterized well enough, the source models are generally defined as areal zones, delimited with finite boundary polygons, within which the seismicity and the geological features are deemed homogeneous (e.g., focal depth, seismicity rate). Besides the lack of data (short period of recorded magnitude), such a method generates different problems for regions with low tectonic plate velocity: 1) a large sensitivity of resulting hazard maps to the location of zone boundaries, while these boundaries are set by expert decisions; 2) the zoning cannot represent any variability or structural complexity in seismic parameters; 3) the seismicity rate is distributed throughout the zone and we lose the location of the determinant information used for its calculation.

We investigate an alternative approach to model the seismotectonic zoning, with two main objectives: 1) obtaining a reproducible method that 2) preserves the information on the sources and extent of the uncertainties, so as to allow to propagate them (namely through Ground Motion Prediction Equations on to the hazard maps). We chose to use Bayesian methods. A one zone generative model has been developed, creating synthetic catalogs drawn from a Poisson distribution as occurrence model, a truncated Gutenberg-Richter law as magnitude frequency relationship and a uniform spatial distribution, to assess the minimum number of data, n_{min} , required in an earthquake catalog to find the activity rate with some level of accuracy. Then, an inference with two zones, differentiated by two different surface activity rates, was performed to obtain the geographical limit between them. Current extensions to this approach consist in incorporating preferential fault orientation, and assessing the new n_{min} needed to resolve the source parameters and dimensions. Future work will strive to incorporate all available data, characterized by different dimensions (e.g., 2D structural maps with features as 1D fault lines, or fault orientations; 3D hypocenters). We emphasize that such an approach is reproducible once priors and data sets are chosen. Indeed, we will strive to incorporate expert opinions as priors, and avoid using expert decision. Instead, the products will be either directly the result of the inference, when only one model is considered, or the result of a combination of models in the Bayesian sense.