

# Geoboletim

Folha informativa do Centro de Geofísica de Évora

31 de Janeiro de  
2013  
Número 22



Centro de Geofísica de Évora, Rua Romão Ramalho, 59, 7002 554 Évora, Portugal • Tel: 266 745300 • Fax 266745394 • <http://www.cge.uevora.pt>

## Editorial

**Ana Maria Silva** *Centro de Geofísica de Évora, Universidade de Évora*

Esta edição do Geoboletim vai ser dedicada a dois temas de investigação que são desenvolvidos no Centro de Geofísica de Évora e que estão integrados no conjunto de acções a serem apoiadas pelo novo Programa Europeu HORIZON 2020 de financiamento das actividades de I&D no período 2014-2010, já aprovadas pelo Parlamento Europeu. Trata-se da área "Climate change impact on marine ecosystems and maritime economy", onde o Investigador do CGE Daniele Bortoli, apresenta as principais actividades e resultados conseguidos na avaliação de constituintes atmosféricos com impacto nas alterações climáticas, feita a partir de instrumentação de detecção remota que tem desenvolvido em colaboração com o Instituto italiano ISAC; e da área "Cultural Heritage" onde o Investigador do CGE Nick Schiavon apresenta as principais actividades e resultados conseguidos no estudo e conservação de materiais utilizados no património cultural em colaboração com o Laboratório HERCULES e que estiveram na base do mestrado ERASMUS MUNDUS - ARCHMAT, por ele coordenado.

## GeoComentário

**António Heitor Reis** *Director do Centro de Geofísica de Évora, Departamento de Física, ECT, Universidade de Évora*

Desde há meses que a Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) vem anunciando substanciais alterações no modelo de financiamento público das unidades de investigação e das actividades associadas (bolsas, projectos, programas de doutoramento, infraestruturas científicas e tecnológicas, e apoios à participação em redes e organizações internacionais). Neste contexto têm sido tornadas públicas, tanto pelo Governo como pela FCT, as grandes linhas da nova política que deverão passar por:

I) apoio preferencial a projectos de grande qualidade científica, com metas a atingir em períodos quadrienais, desenvolvidos por equipas de dimensão adequada – sugerindo a organização em redes - e que tenham como referência a competitividade actual do sistema científico europeu. A continuação do financiamento estará dependente de avaliações periódicas relativamente ao grau de realização das metas a atingir;

II) apoio à criação e ao desenvolvimento de infraestruturas e equipamentos científicos de uso comum; Os conceitos-base desta nova política de financiamento público estão em linha com o quadro em que irá ser lançado o novo programa europeu HORIZON 2020 de financiamento das actividades de I&D no período 2014-2010, já aprovadas pelo Parlamento Europeu em 27/11/2012 (Carvalho report). De facto, sendo previsível que as verbas nacionais destinadas ao financiamento das actividades de I&D serão escassas, o Governo já anunciou que tem como objectivo preparar o sistema científico nacional para tirar o máximo partido dos financiamentos.

III) dar oportunidade às actuais unidades de investigação para procederem a reestruturações internas e associações em rede, de modo a melhor se posicionarem para aceder ao novo quadro de financiamento. Os conceitos-base desta nova política de financiamento público estão em linha com o quadro em que irá ser lançado o novo programa europeu HORIZON 2020 de financiamento das actividades de I&D no período 2014-2010, já aprovadas pelo Parlamento Europeu em 27/11/2012 (Carvalho report). De facto, sendo previsível que as verbas nacionais

## Índice

<b>Editorial</b>	<b>1</b>
<b>GeoComentário</b>	<b>1</b>
<b>GeoInformação</b>	<b>2</b>
<b>GeoAgenda</b>	<b>3</b>
<b>GeoArtigo - Activities of the atmospheric Trace Gases group at the Geophysics Centre of Evora</b>	<b>4-6</b>
<b>GeoArtigo - ARCHAEOOMETRY: a bridge between Analytical Sciences, Archaeology and Cultural Heritage</b>	<b>6-9</b>
<b>GeoSeminários</b>	<b>10</b>
<b>Resumos das teses de doutorandos e mestrados do CGE de 2012</b>	<b>11-13</b>
<b>GeoPalavra</b>	<b>14-15</b>

destinadas ao financiamento das actividades de I&D serão escassas, o Governo já anunciou que tem como objectivo preparar o sistema científico nacional para tirar o máximo partido dos financiamentos disponibilizados pelo programa HORIZON 2020. Este programa desenvolve-se em 3 eixos principais: 1) Excellent Science; 2) Industrial Leadership; 3) Societal Challenges. São enunciados os objectivos principais: "Structural funds should be used to their full extent to support capacity building in the regions through dedicated activities aimed at enabling centres of excellence to develop, modernizing universities, purchasing of scientific equipment, local technology transfer, supporting start-ups and spin-offs, local interaction between industry and academia, enabling clusters in the priority areas of Horizon 2020 and as a source of small grants given for the preparation of proposals to be submitted to Horizon 2020".

No eixo 1 estão previstos apoios a acções como: "Linking in a competition emerging institutions and centres of excellence in less innovation performing regions to leading international counterparts elsewhere in Europe. This will involve twinning of staff exchanges, expert advice and assistance and the development of joint strategies for the development of centres of excellence". No eixo 3 são previstos apoios a acções em "Climate change impact on marine ecosystems and maritime economy". Adicionalmente, é dado destaque à área da energia, nomeadamente energias renováveis, armazenamento de energia e captura de CO<sub>2</sub>. As áreas de "Water & Ecosystems", "Availability of raw materials" e "Cultural Heritage" também são contempladas.

É neste quadro, em que a política científica nacional se conjuga com o quadro de financiamento europeu que o CGE terá de definir a sua estratégia para os próximos anos. A reestruturação interna que realizámos em 2011/12 permite uma boa adaptação a este novo contexto e proporciona a flexibilidade necessária para o desenvolvimento do quadro de parcerias e redes colaborativas que possam dar corpo à estratégia a ser desenvolvida.

## GeoInformação

**Entre Junho (penúltimo número do Geoboletim) e final de Dezembro de 2012, regista-se a participação de membros do CGE nos seguintes eventos:**

- Participação a convite de vários membros do CGE no International Symposium on "Climate Change, Impacts and Vulnerabilities in Brazil: preparing the brazilian northeast for the future" (**CCIV2012**), Natal-RN, Brasil - May 27th - June 1st, 2012.
- Participação de vários membros do CGE na 7ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Meteorología y Geofísica (7ªAHPGG) que decorreu em San Sebastian, em Junho de 2012.
- Participação no IRS 2012 - International Radiation Symposium (<http://www.irs2012.org/>) que decorreu em Berlim, Alemanha, de 6 a 10 de Agosto de 2012, com apresentação de vários trabalhos.
- Participação na EAC 2012- European Aerosol Conference (<http://www.eac2012.com/>) que decorreu em Granada, Espanha, de 2 a 7 de Setembro de 2012, com apresentação de vários trabalhos.
- Participação no 3º Workshop em "Parameterization of Lakes in Numerical Weather Prediction and Climate Modelling", em Helsinquia, de 18 a 20 de Setembro de 2012, com apresentação de trabalhos.
- Participação no 46º Congresso Brasileiro de Geologia e 1º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa, de 30 de Setembro a 5 de Outubro em Santos, Estado de São Paulo, Brasil, com uma comunicação oral intitulada "Cartografia Geológica de detalhe em Timor Leste".
- Colaboração na realização do II Congresso de Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2012, 1 e 2 de Novembro, CCV de Estremoz, como membro da comissão científica, como orientador de uma saída de campo à transição entre as Zonas de Ossa-Morena e Sul Portuguesa e como autor do respetivo livro-guia.
- Colaboração no Workshop em Cartografia Geológica, de 23 a 25 de Novembro organizado pelo Geoclube no CCV de Estremoz, como monitor do Módulo I: Aplicação da Geometria Descritiva à Cartografia Geológica.
- O grupo da Terras Sólida do CGE participou activamente no evento 15ª World Conference on Earthquake Engineering de 24-28 Setembro de 2012, LNEC, PT, através da participação de alguns dos seus membros na comissão científica e organizador, assim como na apresentação de 4 comunicações que fazem parte do livro de proceedings do referido evento.
- Alexandre Araújo participou, no dia 14 de Dezembro, como arguente, no júri das provas de doutoramento de Rui Jorge e Pinho da Silva Ramos, subordinadas ao tema "Condicionamentos tectonoestratigráficos e litogeoquímicos da evolução metamórfica varisca, nas unidades para autóctones (Trás-os-Montes)", Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- Ana Maria Silva participou, no dia 18 de Dezembro, como arguente, no júri das provas de doutoramento de Maria Angeles Obregon, intitulada "Estudio de los aerosoles en columna sobre Cáceres a partir de medidas radiométricas", Dep Física, Universidad de Extremadura, Espanha.
- International Journal of Global Warming, 2012 Vol. 4 No. 3/4. Special Issue on Global Warming Perspectives and New Solutions. Guest Editors: A. Heitor Reis and Rui Salgado.
- Candidatura do Laboratório de Ciências e Tecnologia da Terra, Atmosfera e Energia LCTTAE, liderada pelo CGE, no âmbito do Programa Estratégico do "Sistema Regional de Transferência de Tecnologia - SRTT" foi aprovada em Novembro de 2012 com o financiamento de cerca de 1.800.000 €.
- O Projecto "APOLLO: Archaeological and Physical On-site Labour - Lifting Outputs" coordenado pelo Laboratório Hercules em parceria com o CGE foi aprovado em Novembro e financiado com verbas do QREN.
- Vários membros do grupo Terra Sólida do CGE são organizadores de sessões que irão ter lugar na European Geoscience Union

Para mais informação, contactar:

**Maria Rosa Duque** Centro de Geofísica de Évora e Departamento de Física, ECT, Universidade de Évora  
[mrada@uevora.pt](mailto:mrada@uevora.pt)

Assembly (EGU-2013) que se irá realizar em Viena, Áustria de 7-12 Abril de 2012

- Luís Lopes participou, no dia 08 de Junho, como arguente, no júri das provas de doutoramento de Susana Paixão Pereira Mestre Barradas, subordinadas ao tema "La capacidad de diálogo entre la piedra natural y el ser humano para el diseño y desarrollo de nuevos productos. Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño", Universidad Politécnica de València, Espanha.
- Luís Lopes participou na organização e foi membro do comité científico do GlobalStone Congress 2012 realizado em Borba, Vila Viçosa e Estremoz de 16 a 20 de Julho;
- Luís Lopes apresentou a comunicação "O Cluster da Pedra Natural – Estratégia económica e dinamização das rochas ornamentais em Portugal" na 3ª Reunião do Projecto: Mineria XXI (Red Iberoamericana para la aplicación y divulgación de tecnologías limpias enfocadas a la caracterización y aprovechamiento de recursos minerales: Minería del Siglo XXI. RED 310RT0402) realizado entre 24 e 25 de Julho em Guayaquil, Equador.
- Luís Lopes participou, no dia 07 de Novembro, como presidente do júri, nas provas de mestrado de Licínia de Fátima Família Ourives, subordinadas ao tema "Ensaio Triaxial Cíclico em Agregados" do Mestrado em Engenharia Geológica da Universidade de Évora.
- Luís Lopes apresentou a convite da organização, a conferência "The Geology as an indispensable tool for optimizing the exploration of dimension Stones" no MERSEM 2012, 8th International Marble and Natural Stone Congress, 13 – 15 de Dezembro, Afyonkarahisar, Turquia.
- Mourad Bezzeghoud foi designado Science Officer of the Seismology Division pela European Geosciences Union;

**Prestaram provas de doutoramento em 2012 na Universidade de Évora o seguinte investigador:**

- Paulo Canhoto, 2012. *Optimização de sistemas de transferência de calor e aproveitamento do potencial de exergia ambiental – Aplicação a permutadores de calor compactos e a bombas de calor*, Ph.D em Eng Mecatrónica, Universidade de Évora.

**Prestaram provas de mestrado em 2012 na Universidade de Évora os seguintes investigadores:**

- Ernestina Brázio Correia, 2012. *Caracterização da poluição (aerossóis) à superfície na região Alentejo*, Mestrado em CTAE, Universidade de Évora.

- Marta Filipa Melgão, 2012. *Deteção remota da coluna de ozono recorrendo a irradiâncias espectrais medidas à superfície*, Mestrado em CTAE, Universidade de Évora.

- Noel Alexandre Fontes Moreira, 2012. *Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar – badajoz – Córdova no sector de Abrantes*, Mestrado em CTAE, Universidade de Évora.

- Ricardo Jorge Gomes Torres, 2012. *Predição de movimentos sísmicos intensos em Portugal – uma aproximação baseada no método das diferenças finitas* Mestrado em CTAE, Universidade de Évora.

Este boletim está disponível na internet em

<http://www.cge.uevora.pt>

Todas as informações para o Geoboletim deverão ser enviadas até ao dia 10 de Janeiro de 2013

## GeoAgenda

**10 Mar 15 Mar 2013;** Reykjavik, Iceland; AGU Chapman Conference on Fundamental Properties and Processes of Magnetotails;  
<http://www.agu.org/meetings/chapman/2012/gcall/>

**18 Mar 19 Mar 2013;** Ericeira, Portugal; 8º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG; <http://simposio.apmg.pt>

**21 Mar 2013 20 Mar 2013;** Takayama, Japan; Neutrino Geoscience 2013;  
<http://www.awa.tohoku.ac.jp/geoscience2013/>

**21 Mar 23 Mar 2013;** Limassol, Greece; 4th International Conference on Geography and Geology;  
<http://www.naun.org/wseas/cms.action?id=3248>

**28 Mar 29 Mar 2013;** Karaj, Iran; 3RWD — 3rd Conference on Range, Watershed and Desert;  
<http://www.3rwdconf.persianblog.ir>

**07 Apr 12 Apr 2013;** Vienna, Austria; EGU/SM1.5/ERE5.2 — European Geosciences Union;  
<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/session/12568>

**07 Apr 12 Apr 2013;** Vienna, Austria; EGU/NP8.3 — Multifractional Brownian motions in geosciences;  
<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/session/12245>

**17 Apr 19 Apr 2013;** Salt Lake City, Utah, United States; SSA — 2013 Seismological Society of America (SSA) Annual Meeting;  
<http://www.seismosoc.org/meetings/index.php#2013>

**24 Apr 28 Apr 2013;** Gorlitz, Germany; Basalt 2013;  
[http://www.senckenberg.de/root/index.php?page\\_id=15387&preview=true](http://www.senckenberg.de/root/index.php?page_id=15387&preview=true)

**06 08 Jun 2012;** Rueil-Malmaison, France GeoFluids VII;  
<http://www.geofluids2012.com>

**03 May 05 May 2013;** Meknes, Morocco; CMGA6 — 6ème colloque maghrébin de géophysique appliquée;  
<http://www.fs-umi.ac.ma/cmga6-meknes-2013>

**20 May 24 May 2013;** Moscow, Russia; Rodinia2013: Supercontinental Cycles and Geodynamics;  
<http://www.rodinia-2013.ru/>

**03 Jun 07 Jun 2013;** Pisa, Italy – EGC 2013 – European Geothermal Congress; [info@geothermalcongress2013.eu](mailto:info@geothermalcongress2013.eu)

**05 Jun 09 Jun 2013;** Antalya, Turkey; ECROF — 22nd European Current Research on Fluid Inclusions;  
<http://www.ecrofi2013.org>

**09 Jun 14 Jun 2013;** Avignon, France; WRI 14 — Water–Rock Interaction 14;  
<http://www.wri14-2013.fr/en/home.html>

**12 Jun 14 Jun 2013;** Freiberg, Saxony, Germany; Isotope Workshop XII;  
<http://www.esir.org.pl/>

**12 Jun 16 Jun 2013;** Porto, Portugal; EMAS 2013-13th European Workshop; <http://www.emas-web.net/>

**16 Jun 22 Jun 2013;** Varna, Bulgaria; The 13th International GeoConference SGEM;  
<http://www.sgem.org/>

**01 Jul 03 Jul 2013;** Évora, Portugal — 1st Iberian Meeting on Aerosol Science and Technology – RICTA 2013;  
<http://www.ricta2013.cge.uevora.pt/>

**01 Jul 07 Jul 2013;** Lisbon, Portugal; STRATI 2013 — International Congress on Stratigraphy;  
<http://www.strati2013.org/>

**03 Jul 05 Jul 2013;** Vienna, Austria; CORALS-2013 — Conference on Cathodo luminescence and Raman Spectroscopy in Geosciences;  
<http://www.univie.ac.at/Mineralogie/Corals2013/index.html>

**03 Jul 07 Jul 2013;** Helsinqua, Finlândia; 7th European Conference on Severe Storms – ECSS;  
[http://www.essl.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=99%3Aecss2013-main-page&catid=42&Itemid=59](http://www.essl.org/index.php?option=com_content&view=article&id=99%3Aecss2013-main-page&catid=42&Itemid=59)

**08 Jul 09 Jul 2013;** London, United Kingdom; ICGSE 2013 — International Conference on Geological Sciences and Engineering;  
<http://www.waset.org/conferences/2013/london/icgse/>

**16 Jul 19 Jul 2013;** Oviedo, Spain; JGEOLIT2013 — VII. LITTORAL GEOMORPHOLOGY MEETING. OVIEDO 2013;  
<http://www.geol.uniovi.es/jgeolit2013/>

**24 Jul 26 Jul 2013;** Rio de Janeiro, Brazil; RIO Acoustics — 2013 IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium;  
<http://www.rioacoustics.org>

Para mais informação, contactar:

**Joaquim Luís Lopes** Centro de Geofísica de Évora e Departamento de Geociências, ECT, Universidade de Évora [lopes@uevora.pt](mailto:lopes@uevora.pt)

## GeoArtigo

### Activities of the atmospheric Trace Gases group at the Geophysics Centre of Evora

Daniele Bortoli, *Centro de Geofísica de Évora, Universidade de Évora, Évora, Portugal; Institute of Atmospheric Sciences and Climate*

#### Abstract

The activities regarding the monitoring of atmospheric tracers (nitrogen dioxide - NO<sub>2</sub> and ozone -O<sub>3</sub>) at the CGE are relatively young. They started in 2000 and in the last 12 years the obtained results are very satisfactory into two main research fields: i) the development of new optical instrumentation for the measurement of scattered radiation, ii) the use advanced algorithms applied to the spectral data measured with the developed equipments to obtain information on the total columns and vertical distribution of the above mentioned compounds. In addition, the validation/comparison of the ground based data with satellite borne instruments are presented.

The multi-purpose UV-Vis. remote sensing equipment SPATRAM (Spectrometer for Atmospheric Compounds Measurements) is a scanning spectrometer for the measurements of the electromagnetic radiation in the 250-950 nm spectral range. In this paper the SPATRAM is briefly presented and the new solutions adopted will be described and discussed. Since April 2004 the instrument is installed at the observatory of the Geophysics Centre of Evora, and currently it is utilized to carry-out measurements of the zenith scattered radiation, the so-called "Passive mode", in order to retrieve – using the DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy) methodology – the vertical content and distribution of O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub>. For the continuous NO<sub>2</sub> monitoring the 425-455 nm spectral range is investigated. For the O<sub>3</sub> retrieval the spectral interval 320-340 nm is chosen. The measurements are in good agreement with the photochemical theory of NO<sub>2</sub> (O<sub>3</sub>), showing the maximum values during the summer (spring) and the minimum during the winter (autumn) seasons. The ground based results obtained for Ozone column content are compared with data from satellite borne equipment (OMI – Ozone Monitoring Instrument) and it is shown that the two data sets are in good agreement, with a correlation coefficient of 0.96.

#### 1. Introduction

In the last years the monitoring of atmospheric trace gases, in the troposphere as well as in the stratosphere, assumed a great importance from ground based equipments and from satellite borne instruments in the frame of global warming and climate change. In this frame the development of new systems and instruments for the assessment of the atmospheric composition is deeply required. The technological improvement in the fields of the CCD cameras, of the computer systems and of the data processing suggested to the authors the development of a new ground based remote sensing instrument (SPectrometer for Amospheric TRAcers Monitoring – SPATRAM), with the same optic module of the 'old' GASCOD (Gas analyzer Spectrometer correlating Optical Differences) system (Evangelisti et al 1995), but with new solution in terms of: i) type and number of signal input, ii) thermoregulation system, iii) use of a CCD array detector, iv) management of the mechanical, optical and electrical components and v) remote control of the equipment and real time data processing.

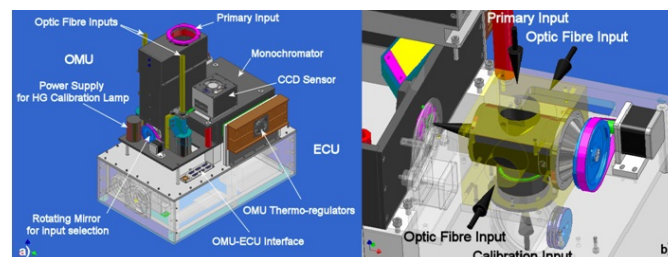
The SPATRAM instrument is a scanning spectrometer able to measure in the UV-Visible spectral range (250-950nm) with a very high spectral resolution ranging from 0.3 to 0.7 nm in the UV end visible respectively. The measurements obtained with SPATRAM allows for the retrieval of the minor compounds in the atmosphere, with improved temporal resolution, flexible management and enhanced capability of measurements. The methods to retrieve the required information is the Differential Optical Absorption Spectroscopy (DOAS). DOAS is based on the UV-visible molecular absorption of atmospheric gases, DOAS is a spectroscopic technique well suited for the simultaneous detection of many atmospheric trace gases such as NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, BrO, OClO (in Polar Regions), IO, HCHO, BTX (Benzene, Toluene and Xylene) and others. In these last years, in the frame on the environmental and atmospheric monitoring topics, the optic instrumentation on board airborne platform or satellite assumed a huge importance. The advantage of the data obtained from satellite equipment is mainly recognized in

their global coverage; nevertheless the ground based stations are always used and necessary for the comparison/validation of the satellite data). In the next section of this paper the structure and the components of the SPATRAM equipment are presented and discussed in details. Section 3 presents and discusses the results obtained for the NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> total column contents and the comparison with equivalent data from satellite-borne equipment are presented.

#### 2. SPATRAM Design

The development of the SPATRAM instrument is the result of the collaboration between the Geophysics Centre of the University of Evora (CGE-UE), Portugal, the Institute for Atmospheric Sciences and Climate of the National Council of the Researches (ISAC-CNR), Italy, and National Agency for New Technologies, Energy and the Environment (ENEA), Italy (Bortoli, 2005, Bortoli et al. 2010). In the SPATRAM, the spectrometer is installed inside a thermostatic box able to keep the internal temperature within the working range of the instrument (typically 15°C for the Optical Mechanical Unit - OMU). The Electronic Control Unit (ECU), equipped with 1GHz CPU, drives the spectrometer both in an automatic way and in an unattended mode according to predefined measurement cycles.

In figure 1(a) the Optical Mechanical Unit is shown and some of the components are highlighted: i) the primary input for the radiation (also called Optic Tower); ii) the optic fiber inputs; iii) the rotating mirror module; iv) the monochromator; v) the ventilated box containing the CCD sensor; vi) the modules for the thermoregulation of the OMU and some other auxiliary devices: the interface between OMU and ECU, the switching power supply for the mercury calibration lamp. By means of the rotating mirror module (Figure 1(b)), the monochromator of SPATRAM can receive the radiation from four different inputs: from the primary input, from the two optic fibre inputs and from the integrating sphere installed on the calibration input.



**Figure 1** – (a) Schematic view of the SPATRAM instrument The Optical Mechanical Unit (OMU), the Electronic Control Unit (ECU) and the main modules in the OMU are highlighted. (b) The rotation mirror module for the selection of one between the four available inputs. (adapted from Bortoli et al 2010)

The radiation enters the instrument passing through the quartz window of the primary input or with an optic fibre entering the Optic fibre input. An Optic system composed of a flat and a spherical mirror carries the radiation to the rotating Mirror that focus the light beam on the slit of the monochromator. The focused radiation enters the monochromator where is decomposed in its wavelengths. The CCD sensor receives the spectrum after the reflection by means of a secondary flat mirror tilted at 45°. The quartz window is placed in order to protect the optic parts contained in the optic tower. Moreover the features of transparency to the UV radiation of the fused silica allow measurements having a wide spectral range (starting from 250 nm). Instead of the classic Cassegrain telescope used in similar equipment, the Optic Tower described above was preferred, mainly due to the low cost of realization, to the simple installation and also due to the relatively simplicity of the optical alignment.

In the previous instrument of the GASCOD family, the quality of the mounting and of the focusing could be checked only in a qualitative way during the alignment of the grating, since both the detector and the software for the data acquisition, were not developed for this purpose. With SPATRAM it is possible to have the instantaneous visualization of the acquired spectrum of a calibration lamp and in addition, thanks to the array CCD detector, the mirror can be exactly positioned for the best focusing. The technical data of the grating adopted give an F/5 monochromator and in the design of the equipment this features was taken into account in the coupling with the entrance optics. The full spectral range covered by the instrument (250-900nm) can not be obtained with a single scan but with a rotation of the grating allowing for the analysis of the spectrum in successive windows of approximately 60 nm each. In order to reach this result, trying also to minimize the risk of degrading the spectra, a mechanism based on a micrometric screw allowing for positioning the grating was developed. This system has a precision in the movement of 0.05 nm, thanks to a mechanical reduction of  $\frac{1}{4}$ , and a ratio of  $1/(256 \times 103)$  round/step in the stepper motor used to rotate the screw. An optoelectronic switch is used for the reference position and it can be adjusted in order to obtain the maximum performances of the grating. Two more electric switches are utilized to mark the limits of the useful mechanical path. All these devices are continuously monitored during the execution of the measurements minimizing the risk of wrong positioning of the grating.

The Electronic Control Unit is located under the OMU (Figure 1(a)) to which it is rigidly connected and the main components are: a monoboard PC, three stepper motors controllers, linked to the PC through a serial port; a customized board acting as signal amplifier for the output of the temperature sensors and as driver of the relays via the opto insulate decoupled ports of the stepper motor controllers; the 12/24V and the CCD driver power supplies; six relays for the control of the ON/OFF status for the 12/24V and CCD driver power supplies, of the thermo regulation of the spectrometer and for the ON/OFF status of a mercury and a halogen calibration lamps installed in the OMU.

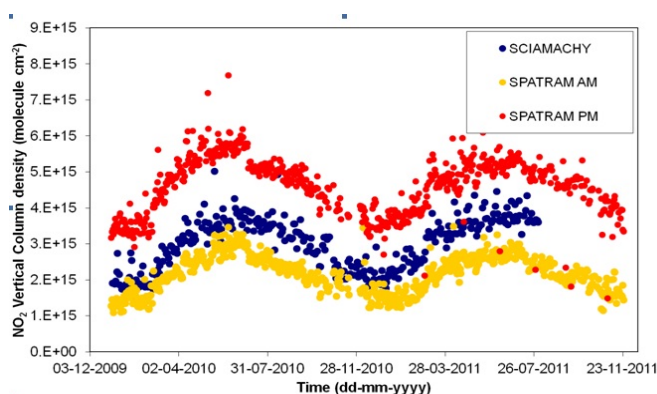
The spectrometer is managed with a software tool completely developed by the authors.

The Data Acquisition System (DAS) is implemented in ANSI C standard with the support of the multi-platform MGUI (Morello Graphic User Interface) library. The multiplatform features, allow the program to run on computers equipped with Win9x, Win2000, WinXp. One of the main features of the DAS is the possibility to carry out measurements in unattended and automatic mode by means of an ASCII file containing the key-words and the parameters for pre-defined measurements cycles. The measurements are stored in binary or ASCII format, in daily folders, on the personal computer of the ECU. The SPATRAM is equipped with a net card 10/100 Mbps that allows the spectrometer to be connected to the Internet. Therefore the instrument can be remotely controlled in all its functionality by means of one of the tools for the remote desktop management. Thanks to this possibility the instrument can be always monitored by authorized staff. In addition a module providing the daily back-up of the measured data (via FTP on a specified server) is implemented in the Data Acquisition System, in order to minimize the risk of loss of data.

### 3. NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> time series

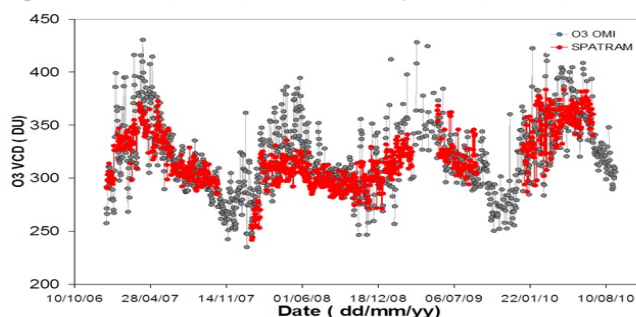
Due to the high photochemical activity of NO<sub>x</sub> compounds (Bortoli et al, 2009, 2009a), the NO<sub>2</sub> Vertical Column Densities presents higher values during the sunset (PM) than in the sunrise (AM) period (Figure 2). This result is in accordance with the photochemical reactions of the NO<sub>x</sub> family. The NO<sub>2</sub> VCD presents seasonal cycles, registering higher concentrations in the summer season and lower values in during winter. In this season the NO<sub>2</sub> VCD values reach the minimum value of  $(1.3 \pm 0.5) \times 10^{15}$  molecules cm<sup>-2</sup> at sunrise (AM) for 4th January 2010 and  $(2.2 \pm 0.1) \times 10^{15}$  molecules cm<sup>-2</sup> at sunset (PM) for 1st February 2010. The minimum values for the AM and PM values during 2011 are respectively of  $(2.3 \pm 0.2) \times 10^{15}$  molecules cm<sup>-2</sup> (14th January 2011) and  $(2.8 \pm 0.2) \times 10^{15}$  molecules cm<sup>-2</sup> (26 th October 2011). The maximum values for the AM and PM values during 2010 are respectively of  $(3.65 \pm 0.3) \times 10^{15}$  molecules cm<sup>-2</sup> ( 8 th June 2010) and  $(5.5 \pm 0.3) \times 10^{15}$  molecules cm<sup>-2</sup> ( 12 th May 2010). For 2011 the maximum AM value was reached at 6th June 2011 with  $(3.8 \pm$

$0.3) \times 10^{15}$  molecules cm<sup>-2</sup> and at 23rd May of 2011 with  $(5.9 \pm 0.3) \times 10^{15}$  molecules cm<sup>-2</sup>. In figure 2 is also plotted the time series of the NO<sub>2</sub> VCD obtained with the SCIAMACHY instrument on board the ENVISAT satellite. It is clear that the two datasets are in good agreement. Due to the overpass of ENVISAT in the morning (~11:00AM UTC), the SCIAMACHY values are located between the AM and PM SPATRAM NO<sub>2</sub> VCD values (respectively at 6:00-8:00 AM and 6:00-8:00 PM UTC depending on the season and for SZA of 90° where the error associated with the SPATRAM measurement is lower.



**Figure 2** – Time series of the NO<sub>2</sub> Vertical Column Density- obtained with the SPATRAM equipment installed at Évora Observatory for the SZA of 90°, during 2010 and 2011, and the NO<sub>2</sub> total columns acquired from the SCIAMACHY spectrometer onboard ENVISAT satellite.( available at [http://www.doas-bremen.de/scia\\_no2\\_data\\_acve.htm](http://www.doas-bremen.de/scia_no2_data_acve.htm))

In figure 3 the O<sub>3</sub> VCD time series are plotted versus the time of the year in order to examine the seasonal behavior of this gas. In addition, the OMI O<sub>3</sub> values are compared with the O<sub>3</sub> VCD values derived from SPATRAM instrument, for the same period. The results obtained using the SPATRAM instrument corroborate the well-known fact that the maximum of O<sub>3</sub> VCD values in mid-latitudes are found in spring and the minimum values in fall. This O<sub>3</sub> cycle exhibits the maximum of monthly mean values ( $\pm$  one standard deviation) in the spring season: May 2007 ( $373 \pm 26$ ) DU, April 2008 ( $336 \pm 6$ ) DU, May 2009 ( $353 \pm 9$ ) DU and April 2010 ( $399 \pm 11$ ) DU and the minimum of monthly mean values in the autumn/winter: October 2007 ( $293 \pm 12$ ) DU, January 2008 ( $242 \pm 18$ ) DU, September 2009 ( $304 \pm 11$ ) DU and January 2010 ( $302 \pm 38$ ) DU.



**Figure 3** – Time series of the O<sub>3</sub> VCD obtained with the SPATRAM equipment installed at Évora Observatory for the SZA of 87°, during 2007-2010, and the O<sub>3</sub> data from the OMI instrument aboard the EOS- Aura Satellite.(adapted from Domingues et al., 2013)

The seasonal behavior of O<sub>3</sub> registered at Évora's Observatory is consistent with the literature for the northern mid-latitudes. Although the explanation of total ozone tendency has still not been quantified, the likely contribution processes have been identified. In the middle-latitudes and specifically over the Iberian Peninsula the total ozone column presents a strong seasonal variability mainly caused by dynamical factors such as Dobson-Brewer circulation. The comparison between the SPATRAM and the OMI data describes the same seasonal behavior.

7% with higher values during the spring seasons. The main reason for the differences found between the SPATRAM and OMI instruments could be due to the fact that the OMI data are the daily overpass of the AURA satellite over a pixel of about 300 Km<sup>2</sup> containing the Évora station while the SPATRAM Field Of View (FOV), determined by the monochromator f number (f# = 5), is of about 1 x 10<sup>-5</sup> sr.

## Referências

- Bortoli, D., 2005, SPATRAM – Spectrometer for ATmospheric TRAcers Measurements, a Prototype Equipment for the monitoring of minor compounds of the atmosphere. PhD dissertation, University of Évora, Évora, Portugal.
- Evangelisti, F. et al., 1995, Differential optical absorption

spectrometer for measurement of tropospheric pollutants. *Applied Optics*, 34, pp. 2737–2744.

Bortoli et al 2010, A new multipurpose UV-Vis spectrometer for air quality monitoring and climatic studies, *International Journal of Remote Sensing*, 31, 3, 705-725, 2010. DOI: 10.1080/01431160902896231

- Bortoli D. et al., 2009, Monitoring of atmospheric ozone and nitrogen dioxide over the south of Portugal by ground-based and satellite observations, *Optics Express* 17, 15, 12944-12959

- Bortoli D., et al., 2009a, Monitoring of atmospheric minor compounds at the Évora Station - Portugal, *International Journal of Remote Sensing*, 30, 15-16, 4209-4226, 2009. (I.F.: 1.089)

- Domingues A.F. et al 2013, Ozone seasonal variation with ground-based and satellite equipments at Évora Observatory - Portugal during 2007-2010, *EOGC Springer Book*, (in press)

## GeoArtigo

### ARCHAEOLOGY: a bridge between Analytical Sciences, Archaeology and Cultural Heritage

Nick Schiavon, Centro de Geofísica de Évora, Universidade de Évora, Évora, Portugal; Coordinator of the Cultural Heritage and

#### Abstract

A multi-analytical methodological approach has become the gold standard not only in “hard science” research but also in the field of Sciences Applied to the Study and Conservation of Art Objects and of Cultural Heritage items. i.e. in the newly emerging area of Archaeometry. In this review, a few case studies in the field drawing from research carried out at the HERCULES Laboratory and at CGE are discussed focusing in particular to show how analytical sciences may be particularly useful when investigating earth materials of different nature such as glass, mortar, metal and stone. The rationale of the recently EU sponsored ERASMUS MUNDUS Master in ARCHAEOLOGICAL MATERIALS SCIENCES (ARCHMAT) coordinated by the author at the University of Évora within a Consortium of 11 academic and non-academic partner institutions across Europe and beyond is also presented

#### 1. Introduction

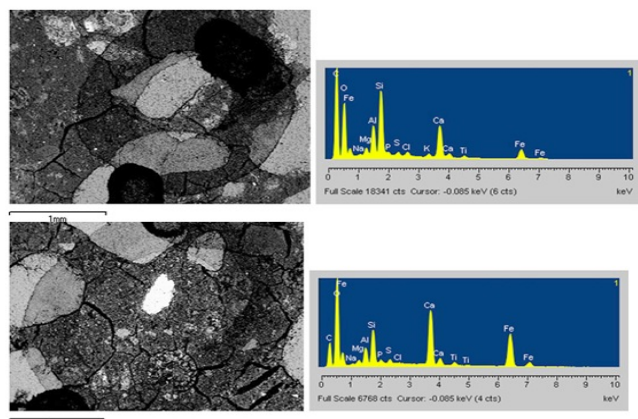
The study and conservation of Cultural Heritage materials is a research area with a strong multidisciplinary connotation that requires highly specialized skills spanning across the Humanities and Science fields and a “symbiotic” cooperation with scholars and professionals from Archaeology, History, Arts and Conservation studies and Hard Science experts (chemists, physicists, geologists, biologists) joined together in a common effort to provide answers to problems unsolvable using tools based only on historical/archaeological evidence. The need for a common language between restorers and conservation scientists is indeed widely felt in the Archaeometry and Cultural Heritage fields where the increasing development of more sophisticated chemical and physical analytical techniques providing long awaited answers to archaeological questions (geological provenance and sources of raw earth materials, ancient production technology and commercial trade routes) and conservation (weathering/corrosion mechanisms, durability, compatibility and effectiveness of restoration methods and products) have highlighted the existence of a knowledge gap that urgently needs to be bridged. In the often interwoven archaeometry and conservation science research fields, acquiring data on the bulk and surface elemental composition of objects of art and archaeological artifacts constitutes an essential step in any methodological research approach. Similarly, identification of pigments in paintings, pottery and ancient manuscripts and/or characterization of corrosion products and mechanisms affecting various cultural heritage materials (stone, glass, metal amongst others) are some of the topics in conservation where detailed chemical/mineralogical data provides a much needed helping hand. In fact, it is fair to affirm that only by knowing the bulk and surface chemistry of materials a conservator may be in the position of selecting the most appropriate restoration products and methods to be applied to any given case study. Chemical, isotopic and mineralogical analytical techniques, for instance, have been often used to obtain compositional data on archaeological artefacts of different nature such as ceramics, stone, glass and bronze; chemical analyses of ancient mortars and plasters have also been performed in

the past as part of the routine analysis of archaeological materials such as Roman and medieval wall paintings. In this article, a short summary of case studies of research carried out by the author and co-workers on Portuguese mortars, Roman glass, Phoenician bronzes and 16th century basaltic rock-hewn churches in Ethiopia will be presented. This review is not of course intended to be exhaustive but rather to present a selection of ongoing lines of research active within the Património and Arqueometria Activity Center of CGE in collaboration with the HERCULES Laboratory for the Study and Conservation of Cultural Heritage of Évora University.

#### Case study 1: Historical Mortars in Lisbon harbor military raves fortifications

SANTOS SILVA, A., CRUZ, T., PAIVA M.J., CANDEIAS, A., ADRIANO, P., SCHIAVON, N., MIRAO, J.P. (2011) Mineralogical and chemical characterization of historical mortars from military fortifications in Lisbon harbour (Portugal). *Environ Earth Sci* 63:1641–1650

Historical mortars from sixteenth to seventeenth century military forts located at the mouth of the Tagus River in Lisbon have been characterized by polarized light microscopy (PLM), thermal analysis (TG/DTA), X-ray diffractometry (XRD) and Scanning Electron Microscopy combined with Energy Dispersive Spectroscopy (SEM + EDS). Historical mortars are composite materials consisting of an aerial (air hardening) or anhydrous (water-hardening) binder (gypsum or lime based and, in the oldest cases, also mud) combined with an aggregate fraction commonly made up of sand-to-gravel sized mineral grains, rock and/or fossil fragments. Aggregate material is usually derived from local beach or fluvial sand deposits available nearby the building/site under consideration, although more unusual materials such as, for example, finely crushed pottery, tiles or bricks (the “cocciopesto” mortar for instance, widely produced during Roman times) have also been used. Hydraulic binders are characterized by two main properties (a) they harden in the presence of water and (b) they produce a mortar with water-resistant properties. The results indicate that the mortars used in Lisbon military forts investigated were all hydraulic lime-based. The presence of well-rounded lime lumps indicates a limited use of water during the lime hydration process. The detection of hydrated calcium chloroaluminate and carboaluminate compounds mostly at binder-aggregate interfaces (fig. 1) provides evidence for the onset of pozzolanic reactions during mortar production as further confirmed by the presence of ceramic fragments in the aggregate fractions intentionally added by the fort builders to increase the hydraulic properties of the mortars. The higher mechanical strength and greater resistance to degradation processes imparted by these pozzolanic compounds could explain why, despite the extreme proximity of the investigated sites to the sea, salt weathering processes do not appear to have significantly affected the studied mortars.

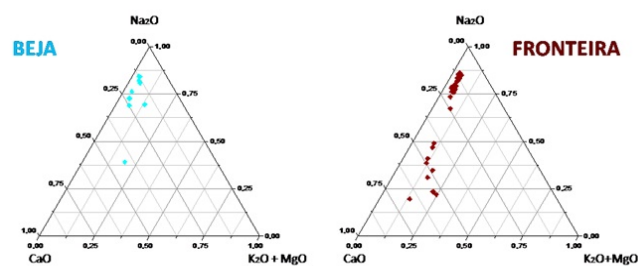


**Figure 1** – (top) Neoformation pozzolanic compounds occurring within the binder. EDS spectrum reveals that these compounds are calcium aluminates with iron, titanium, potassium, magnesium and sodium as minor elements; (bottom) Neo-formation pozzolanic compounds at the aggregate grain/binder interface. The EDS spectrum reveals a similar elemental composition as before.

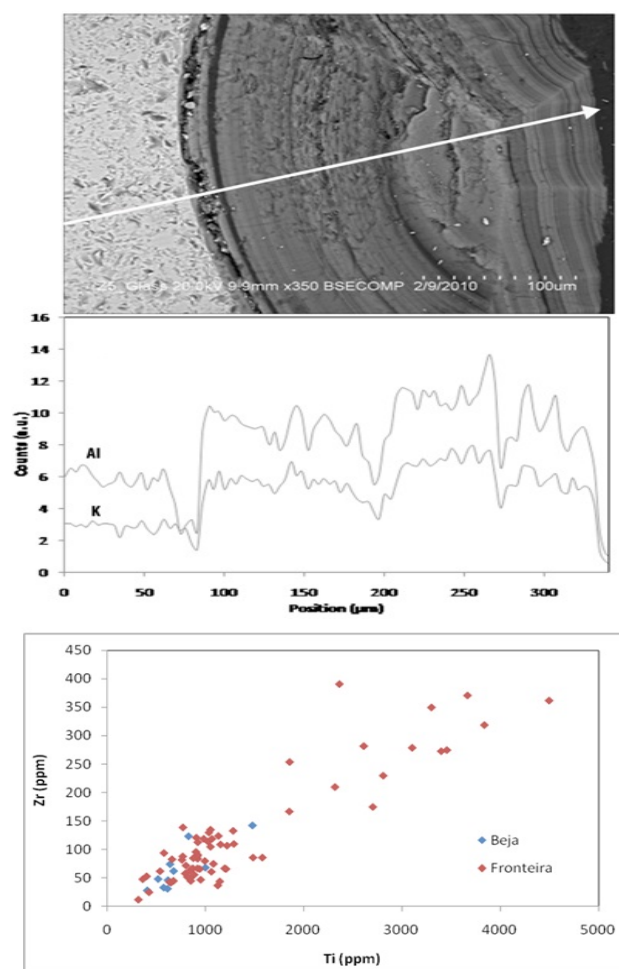
## Case study 2: Roman glass in South-Western Iberia

SCHIAVON, N., CANDEIAS, A., FERREIRA, T., DA CONCEIÇÃO LOPES, M., CARNEIRO, A., CALLIGARO, T., MIRAO, J.P. (2012) A combined multi-analytical approach for the study of Roman Glass from Southwest Iberia: Synchrotron-XRF, external-PIXE/PIGE and VP-BSEM-EDS. *Archaeometry* 54, 6 974–996

An integrated, multi-analytical approach combining the high sensitivity of SR- $\mu$ XRF, the light element capability of PIXE/PIGE under a helium flux and the spatial resolution of BSEM + EDS has been used to characterize chemical composition and corrosion of glass samples (first to fourth centuries AD) from an important, but scarcely investigated, Roman region of South-West Iberia (southern Portugal). Fragments of glass artifacts from two archaeological excavations situated near the towns of Fronteira (a Roman rural villa in the São Pedro locality: third to fourth centuries AD) and Beja (second century AD) from the Alentejo region of southern Portugal were collected for analysis. The sampling sites were selected in view of their strategic locations near major Roman trade and cultural routes, the Fronteira site being in the immediate proximity of the Roman main road connecting Lusitania's capital, Emerita Augusta (Merida), to Olisipo (Lisbon), while the Beja site is close to the Iberian Pyrite Belt (IPB), an important mining area, massive sulphide ore deposits of which have been exploited since Roman times. The main component of Roman glass is siliceous sand ( $\text{SiO}_2$ ), known as the glass former, which is usually extracted from fluvial or beach sedimentary sand deposits. Soda was added as a modifier to lower the melting temperature of the silica, and the most common source was natron, a complex, polyphase evaporitic deposit rich in Na carbonates, found in Upper Egypt. Other components included phases containing transition element chromophore ions ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^+$  and  $\text{Cu}^{2+}$ ) and elements such as Mn and Sb, present either as impurities in the sand former or intentionally added to provide the glass with a finished coloring effect. The geochemical trends and associations of major, minor and trace elements were investigated to shed light on production techniques, the provenance of raw materials and decay mechanisms. The results, while confirming a production technique common to Roman glasses throughout the Empire, that is a silica-soda-lime-low-Mg, low-K composition (fig. 2), with glass additives as coloring and/or decoloring agents (Fe, Cu, Mn, Sb), show occasionally high Zr–Ti contents, suggesting a more precise dating for these glasses to the second half of the fourth century. The Ti–Fe–Zr–Nb geochemical correlations in the pristine glass (fig. 3) indicate the presence of minerals such as ilmenite, zircon, Ti-rich Fe oxides and columbite in the sands used as raw materials for the glass former: these minerals are atypical of granitic-type source rocks. The unusually high K content in the corrosion layers (fig. 3) is inconsistent with burial conditions in K-rich soils derived from the alteration of 2:1 clays in K-bearing soil sequences.



**Figure 2** – Pristine glass (PIXE/PIGE).  $\text{Na}_2\text{O}$ – $\text{CaO}$ –( $\text{K}_2\text{O}$  +  $\text{MgO}$ ) ternary diagrams for Beja and Fronteira glasses, showing a soda–silica–lime



**Figure 3** – (top) Elemental linescan profile through corrosion layers (BSEM + EDS), showing K and Al enrichment; (bottom) Binary PIXE plots: Zr–Ti

## Case study 3: Early Iron Age bronze statuettes in southern Portugal

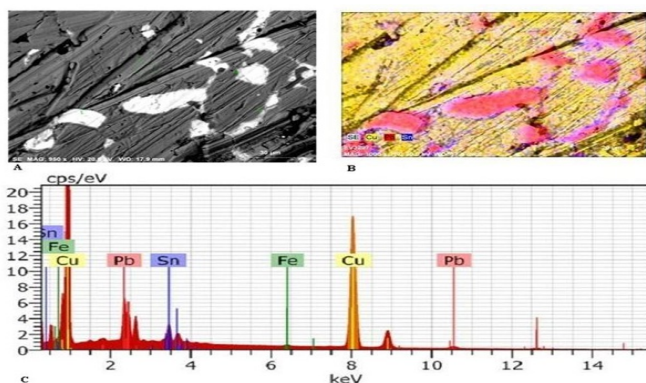
SCHIAVON, N., CELAUROA, MANSO, M., BRUNETTIA, SUSANNA, F. (Accepted) Early Iron Age bronze statuettes in Southern Portugal: combining archaeological data with EDXRF and BSEM+EDS to assess provenance and production technology. *Applied Physics Part A*

A simple, fast and non destructive analytical methodology combining X-ray Fluorescence (EDXRF) and Back-scattered Electron Microscopy coupled with Energy Dispersive Spectroscopy (BSEM+EDS) has been applied to characterize the alloy's composition of small ex-votos metal statuettes of unknown provenance and age stored in the Museum of Évora in Southern Portugal (fig. 4), and to compare it with Early Iron-Age artefacts of

similar typology recovered from the well known Phoenician settlement (5th century BC) of Alcácer do Sal located about 50 km W of Évora. Aim of the study was two-folded: a) confirm the age and provenance of the bronzes from the Alcácer settlement; b) assess whether the combined archaeometric approach could shed light on the interaction between local (Iberian peninsula) and allochthonous (Phoenician) technological know-how and on how the “orientalizing” Phoenician influence had been modulated locally in the making of metal artifacts. In this respect, for comparative purposes, selected bronze statuettes displaying orientalizing features of Phoenician origin from the Nuragic collection of the National Archaeological Museum in Cagliari and the G.A. Sanna Museum of Sassari, Sardinia were also analysed by EDXRF. Results indicate that all statuettes are made of an alloy of Cu/Sn or Cu/Sn/Pb with variable Sn and Pb content. The presence of Pb-enriched areas in the alloy (fig. 5) suggest a production technology involving, in most of the case, the voluntary addition of locally available Pb, while the presence of Fe (always > 0.05%) results from smelting of ferrous minerals, but can also be considered in the light of the possible use of reducing operative conditions and/or fluxing agents. The alloy’s compositional data is consistent with a provenance of the Évora statuettes from the known Phoenician settlement of Alcácer do Sal in Southern Portugal



**Figure 4** – Early Iron-age ex voto Bronze statuettes from the Évora Museum collections



**Figure 5** – BSEM + EDS analysis of bronze showing Pb enriched globular areas (bright)

#### Case study 4: biodeterioration of basaltic rock-hewn churches of Lalibela, Northern Ethiopia

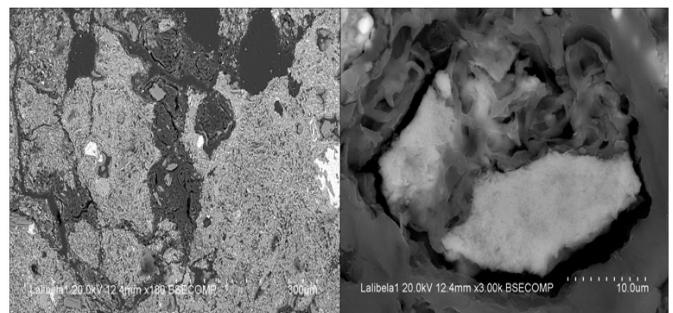
SCHIAVON N., DE CARO, T., KIROS A., CALDEIRA, A. T., Parisi, I. E., Ricucci C., Gigante G. E. (accepted) A multi-analytical approach to investigate stone biodeterioration at a UNESCO world heritage site: the volcanic rock-hewn churches of Lalibela, Northern Ethiopia. *Applied Physics Part A*

A multi-analytical approach combining Optical Microscopy (OM), Backscattered Variable Pressure Scanning Electron Microscopy + Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (VP-BSEM + EDS), Powder X-ray Diffraction (PXRD), Raman Spectroscopy and Microbiological techniques has been applied to characterize decay products and processes occurring at the surface of two rock-hewn churches (Bete Gyorgis and Bete Amanuel) at the UNESCO’s World Heritage site of Lalibela, Northern Ethiopia (fig. 6). The two churches were carved into volcanic scoria deposits of basaltic composition. In their geological history, the Lalibela volcanic rocks

underwent late to post magmatic hydrothermal alteration together with partial laterization and are therefore characterized by a decay-prone highly vesicular micro-texture with late stage to post-magmatic precipitation of secondary mineral phases (calcite-zeolite-smectite). The main objective of the study was to gain a better insight into the weathering products and mechanisms affecting the surface of the stone monuments and to assess the relative contribution of natural “geological” weathering processes versus biological/salt attack in stone decay at this unique Heritage site. Results indicate that while the main cause of bulk rock deterioration and structural failure could be related to the stone inherited “geological” features, biological attack by micro- (bacteria) and/or macro (lichens) organisms (fig. 7) is currently responsible for severe stone surface physical and chemical weathering leading to significant weakening of the stone texture and to material loss at the surface of the churches walls. A prompt and careful removal of the biological patinas with the correct biocidal treatment is therefore recommended



**Figure 6** – Bete Gyorgis (left) with widespread lichenous cover and Bete Amanuel (right) churches at Lalibela



**Figure 7** – (left) physical penetration of lichen’s hyphae deep within the stone substrate exploiting and enlarging pre-existing fractures and porosity; (right) biological attack on clinopyroxene mineral showing both physical and chemical decay

#### ARCHMAT: the first European ERASMUS MUNDUS Master in Archaeometry

ARCHMAT is a 2 year EMMC (120 ECTS) within a consortium of 3 HEI (Evora-UE, the coordinating institution, Rome-UNIROMA1, Thessaloniki-AUTH) as full partners, 5 HEI (Avignon-UA, Palermo-UNIPA, Zaragoza-UNIZAR-ICMA, Fez-UF and Rio de Janeiro-UERJ) and 3 non HEI Research centres (Laboratório José Figueiredo/Instituto dos Museus e da Conservação -IMC, Scientific Laboratory Musei Vaticani-MV, Archaeological Museum of AIANI) as associated members, providing students with specialized skills in archaeology and analytical characterization of materials from prehistory (megalthic) to classical times (Greek and Roman). After completion of 90 ECTS (3 semesters) and 30 ECTS of a Master thesis, a Joint EM Master degree will be awarded by the three full partners (UE-AUTH-UNIROMA1) together with a Joint Diploma supplement signed by all partners. ARCHMAT provides a common, integrated platform for high quality students coming from different educational backgrounds (Science and Humanities) to understand the advanced scientific methods used to investigate archaeological materials and aims to form highly specialized professional experts in the emerging field of Archaeometry, i.e. Physical Sciences applied to the study of Archaeological and Cultural Heritage materials. Classes will be delivered at Évora (coordinator), La Sapienza Roma and Thessaloniki.

In the first semester of ARCHMAT, the first 9 ECTS will act as introductory ones and will follow two paths according to the student's original educational background, i.e. Introductory Science courses to Humanities students and Introductory Archaeology Courses to Science students. The remaining ECTS will be earned by successful completing highly specialized courses with progressing complexity and laboratory workload involvement in Archaeometry focusing on three different historical periods: a) Prehistory-Megalithic (University of Évora), b) Greek (Aristotle University Thessaloniki) and c) Roman (University of Rome La Sapienza) classical periods. The relevance of ARCHMAT for its prospective students relies on its international, multidisciplinary and wide-ranging dimension. Most of the existing Master courses in the general field of Archaeometry provide excellent training opportunities but are strongly biased towards a purely archaeological approach. Of the more hard science-based Masters in Archaeological materials analysis none can benefit from the wide international and consolidated expertise offered in ARCHMAT where a highly qualified international team of experts in all Archaeometry aspects (both from Humanities and Science research fields and from a wide range of geographical locations in Europe and beyond) have joined efforts to share their know-how with the ARCHMAT students. At the end of the course, the successful ARCHMAT student will have acquired a specialized knowledge in the multi-analytical characterization of a wide range of archaeological and Cultural Heritage materials (stone, glass, earth, ceramics, bricks, textile, metals) drawn from case studies across Europe and the Mediterranean and learn skills that will enable him to independently plan an Archaeometry project. Students with excellent bachelor degrees from both Science (Physics, Earth Sciences, Chemistry, Biology, Biochemistry) and Humanities (Art, History, Archaeology, Conservation Science) will be eligible to apply. The ARCHMAT Master Diploma holder should find himself in a privileged position to apply for job opportunities in the private sector

(Restoration SMEs, private profession) and/or Scientific Laboratories of Museums, or other Governmental Institutions (Ministry of Culture, Regional and National local authorities) but also at several International Organizations devoted to the Protection of Cultural Heritage objects and sites such as ICCROM and UNESCO. Last but not least, the participation as associate partners of non academic Institutions with high level national/international reputation in ARCHMAT and with strong contacts/affiliations with Governmental agencies and Industry such as the Instituto dos Museus e da Conservação (IMC) in Lisbon, the Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (ICMA) in Zaragoza, the Scientific Laboratory of the Musei Vaticani (MV) in the Vatican State, the Museum of Aiani (MA) in Greece will prove extremely useful to ARCHMAT students in their post-Master search for job opportunities worldwide.



## GeoSeminário

### Evolução Paleozóica da Gondwana

**Professor Rui Dias**, *ECT, CGE, Universidade de Évora; Centro de Ciência Viva de Estremoz*

#### Resumo:

Durante o Paleozóico a interação de várias placas litosféricas, com diversos ciclos de Wilson, levaram, não só à unificação da Gondwana no início, como também do próprio Pangeia no final desta era. Se alguns destes ciclos são exclusivamente paleozóicos (é o caso do Orógeno Variscano nos setores setentrionais), outros resultam de processos extensivos iniciados no final do Neoproterozóico e

cujas fases colisionais só ocorreram no Paleozóico Inferior registados em várias faixas móveis Brasilianas-Pan-Africanas (e.g. Orogenia Búzios - SE do Brasil).

Neste simpósio serão abordados os processos e mecanismos associados à evolução geodinâmica da Gondwana durante o Paleozóico, e sua influência sobre a margem continental e a deformação intracontinental.

## GeoSeminário

### Cumulus Boundary Layers in the Atmosphere: High Resolution Models and Satellite Observations

**João Martins** *Instituto Infante D. Luiz*

#### Resumo:

Planetary Boundary Layer (PBL) mediates the interactions between the Earth surface and the free troposphere, through the turbulent fluxes of heat, moisture, momentum and chemical constituents. Its structure influences the cloud types that characterize a given region. In this talk focus is given to different scales/regions: - Amazon (convective development over land) - Caribbean/shallow cumulus convection over the ocean - GPCI/WGNE Pacific Cross Section

(Lagrangian transition from stratocumulus to shallow cumulus and deep cumulus along the Trade winds - Climatology of PBL height over the tropical, subtropical and mid-latitude oceans.

In each exercise, different sets of data were used, from high resolution models to climate model output and reanalysis, in situ radiosondes and also remote sensing data. The weaknesses and strengths of each dataset are emphasized and show that the PBL characterization is still a challenging issue both in observational and modelling perspectives.

## GeoSeminário

### Neutrinos - messengers from the centre of the Sun and the Earth

**Sofia Andringa**, *Investigadora do Laboratório de instrumentação e física experimental de partículas*

#### Resumo:

The "solar neutrino problem" was solved in the beginning of the XXI century by revealing that neutrinos have mass and oscillate. Today, these effects are understood and neutrinos can now be used to

study their sources. Recently, also Geo-neutrinos have been measured, providing constraints of radiogenic heat from the Earth. SNO+, a new neutrino experiment starting next year, will measure both Solar and Geo-neutrinos. What can it contribute to a better understanding of these and other Earth properties?

## Resumos das teses de Doutoramento do CGE que se concluíram em 2012

**Optimização de sistemas de transferência de calor e aproveitamento do potencial de exergia ambiental – Aplicação a permutadores de calor compactos e a bombas de calor**

Paulo Canhoto

**Orientação:** António Heitor Reis - CGE, DFIS, Universidade de Évora**Financiamento:** SFRH/BD/36840/2007 - Fundação para a Ciência e Tecnologia

A optimização de sistemas de transferência de calor é uma questão importante em ciência e tecnologia devido a preocupações ambientais e de consumo de energia. O objectivo é obter a geometria interna e o funcionamento óptimos para a maximização da performance, contribuindo assim para o uso racional de energia e para a redução de emissões de gases de efeito de estufa. Os sistemas de transferência de calor são utilizados numa grande variedade de aplicações de engenharia e tecnologias e têm como principal função transferir calor entre fluidos, ou entre um sólido e um fluido, requerendo muitas vezes o fornecimento externo de energia para funcionar, como é o caso de bombas de calor e dissipadores de calor. Existem outros equipamentos que não requerem o consumo de energia, como por exemplo os dissipadores de calor de convecção natural e os tubos de calor, os quais são desenhados de forma óptima para promoverem e maximizarem a transferência de calor. A análise exergética também é uma ferramenta importante para a optimização destes sistemas, porque considera as irreversibilidades internas e permite comparar o trabalho útil máximo que se obtém a partir de diferentes fluxos de energia em relação a condições ambientais de referência. Esta abordagem é útil na análise de sistemas acionados por uma fonte externa de energia e que trocam calor com a atmosfera. Por outro lado, o aquecimento produzido pelo sol na superfície e na atmosfera terrestres não é uniforme, gerando gradientes de temperatura dependentes do tempo. Nesse sentido, pode-se identificar e definir um potencial de exergia entre o ar e o solo ou a água de rios e lagos, que está associado às diferenças de

temperatura naturais, e que pode ser aproveitado para melhorar a performance de bombas de calor geotérmicas (ar-solo) em sistemas de condicionamento de ar, comparando com os sistemas clássicos ar-ar. Esta abordagem mostra ainda que a utilização de recursos com baixa exergia é vantajosa em relação ao consumo de vectores energéticos de elevado conteúdo exergético (combustíveis fósseis) para a produção de aquecimento ou arrefecimento de baixa exergia em edifícios.

Esta tese apresenta a optimização de dissipadores de calor e de bombas de calor geotérmicas para melhoramento da eficiência energética. São estudados dissipadores de passagens paralelas sujeitos a estrangulamentos de queda de pressão, potência de bombeamento e taxa de transferência de calor. Utiliza-se o método da intersecção das assíptotas (teoria constructal) juntamente com simulações numéricas, e apresentam-se expressões do diâmetro hidráulico óptimo. Um design ideal emerge no caso de transferência de calor fixa, o qual se aproxima da minimização conjunta de queda de pressão e potência de bombeamento. Relativamente às bombas de calor, estabelece-se uma relação entre coeficiente-de-performance e potencial de exergia ar-solo, e mostra-se que a redução de consumo energético comparado com sistemas ar-ar depende da raiz quadrada desse potencial. O potencial de exergia em Évora é avaliado, e identificam-se várias condições de funcionamento usando análise exergética: máxima/nula saída líquida de exergia e compromisso óptimo entre utilização de exergia ambiental e potência fornecida.

## Resumos das teses de mestrado do CGE que se concluíram em 2012

**Caracterização estrutural da Zona de Cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes**

Noel Alexandre Fontes Moreira - CGE, Universidade de Évora; Centro de Ciência Viva de Estremoz

**Orientação:** Rui Dias - CGE, DGEO, Universidade de Évora**Co-orientação:** José Manuel Romão - Laboratório Nacional de Energia e Geologia**Financiamento:** Bolsa SFRH/BGCT/33921/2009 e SFRH / BD / 80580 / 2011 e Prémio Programa de Estímulo à Investigação 2011 (FCG)

A Cadeia Varisca é parte de uma cadeia de montanhas antiga com cerca de 1000 km de largura por 8000 km de comprimento, e que se estende desde o Cáucaso (Ásia Central) aos Apalaches e às montanhas Ouachita (EUA). Este orógeno [oros = montanha; genus = geração] formou-se entre os 480-250 Milhões de anos, sendo o resultado de um processo de colisão complexo entre três grandes placas – Gondwana a Sul e Laurência e Báltica a Norte – e uma série de blocos continentais menores que bordejavam o bordo setentrional da Gondwana, dando origem ao supercontinente Pangeia.

A Península Ibérica surge como local privilegiado para o estudo desta cadeia orogénica, uma vez que nele afloram de forma muito contínua, materiais de idade compreendida entre o Neoproterozóico e o Paleozóico superior, naquilo que vulgarmente se designa de Maciço Ibérico. Estas rochas testemunham a evolução deste orógeno, e consequentemente da formação da Pangeia. Contudo, a história mais antiga da região de Abrantes remonta a continentes e oceanos anteriores à Pangeia. Durante o Neoproterozóico superior (entre os 800-550 Ma), a região compreendida entre Abrantes e Córdoba (Espanha) seria uma antiga fronteira de placas do tipo destrutiva. Se tivéssemos a capacidade de voltar atrás no tempo, nesta região, no Neoproterozóico superior, encontrar-se-ia uma zona de subducção com intenso vulcanismo e uma intensa sismicidade, com a convergência entre duas Placas Tectónicas, dando origem a uma cadeia de montanhas anterior à Cadeia Varisca, a denominada Cadeia Cadomiana. No Paleozóico inferior (~540 Ma), a Cadeia Cadomiana entretanto erodida começa a ser alvo de um episódio

distensivo, iniciando um processo de fragmentação. As rochas presentes na região de Abrantes mostram que, durante o Paleozóico inferior, se dá a formação de uma bacia onde se irão depositar calcários, entre outras rochas, numa extensa plataforma, que se prolonga desde a região de Abrantes até ao Baixo Alentejo (região de Alentejo-Serpa). Este processo de fragmentação culmina com a abertura do Oceano Rheic (em homenagem à deusa grega Rhea).

Porém, os oceanos não são “imortais”, e durante o Paleozóico superior (~400 Ma) o Oceano Rheic começa a fechar (isto é, subductar), sendo que as rochas anteriormente formadas vão ser deformadas. Na região de Abrantes, a deformação exibida pelas rochas, é controlada pela presença de duas zonas de cisalhamento (faixas onde se concentra a deformação; a sua expressão à superfície é dada pela presença de falhas) de grandes dimensões: a Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo e a Zona de Cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba. A Zona de Cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba resulta da reactivação da estrutura que dá origem à Cadeia Cadomiana, mas agora como uma zona de cisalhamento em regime intracontinental. Daqui resultam uma série de estruturas geológicas como dobras e foliações, que mostram a influência de uma estrutura a Oeste. Esta estrutura é a Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo. Esta zona de cisalhamento apresenta também um regime de deformação intracontinental, contudo actuando até mais tarde, parecendo estar ativa pelo menos até ao Carbónico terminal (~300 Ma).

## Resumos das teses de mestrado do CGE que se concluíram em 2012

*Deteção Remota da Coluna de Ozono Recorrendo a Irradiâncias Espectrais Medidas à Superfície*

Marta Melgão - CGE, DFIS, UE

**Orientação:** Maria João Costa - CGE, DFIS, Universidade de Évora**Co-orientação:** Ana Maria Silva - CGE, Universidade de Évora

O trabalho desenvolvido nesta tese de mestrado tem como objectivo principal a determinação da quantidade de ozono em Évora, no período de 2005 a 2008. Os dados utilizados no cálculo do valor de ozono foram obtidos através de um radiómetro espectral, instalado no Observatório de Física da Atmosfera da Universidade de Évora. O referido instrumento mede a irradiância espectral ( $W/m^2$ ). Na metodologia utilizada, através dos valores de irradiância obtinhamos o valor de ozono, em unidades Dobson (UD), por dia. Sendo que o valor médio para a zona de Évora se situa entre as 200 e as 300 UD. A quantidade de ozono é também medida diariamente por instrumentos a bordo de satélite. Assim, era interessante compreender se os valores de ozono obtidos estavam de acordo com

as medidas efectuadas pelo instrumento a bordo de satélite. Neste estudo, utilizámos as medições efectuadas pelo instrumento OMI a bordo do satélite AURA.

A comparação de ambos os valores (ozono obtido através das irradiâncias espectrais e ozono medido pelo OMI) foi realizada diariamente, para o período completo (2005 a 2008), por ano e também por estação do ano. A comparação realizada evidenciou uma concordância de ambos os valores de ozono, quer anual, quer sazonalmente. Verificou-se ainda, que os valores medidos pelo OMI são em geral superiores aos valores de ozono calculados através das irradiâncias espectrais, contudo revelam uma correlação significativa entre ambas as séries de dados ( $R=0.8$ ).

## Resumos das teses de mestrado do CGE que se concluíram em 2012

*Modelo de velocidade da Bacia do Vale do Tejo: uma abordagem baseada no estudo do ruído sísmico ambiental*

Ricardo Torres - CGE, Universidade de Évora

**Orientação:** José Borges - CGE, DFIS, Universidade de Évora**Co-orientação:** Mourad Bezzeghoud, CGE, DFIS, Universidade de Évora**Financiamento:** Projectos SISMOD/LISMOT- PTDC/CTE-GIN/82704/2006 e NEFITAG - PTDC/CTE-GIX/102245/2008

Ao longo da sua história a região do Vale Inferior do Tejo (VIT) sofreu o efeito de vários terremotos, tendo alguns destes origem em rupturas ocorridas em grandes estruturas localizadas a sudoeste da costa Portuguesa. Entre estes destaca-se claramente o sismo de Lisboa de 1 de Novembro de 1755 (M=8.5-8.7). Esta região foi ainda afectada por outros terremotos de moderada magnitude produzidos por fontes locais, como os de 1344 (M6.0), 1531 (M7.1) e 1909 (M6.0).

Com o objectivo de promover uma melhor avaliação do risco sísmico na região do VIT, propusemos a introdução de métodos deterministas de previsão de movimentos do solo produzidos por terremotos moderados a fortes. Este processo consiste no estabelecimento de um modelo estrutural 3D baseado em toda a informação geofísica e geotécnica disponível para a área (sísmica, gravimétrica, magnética, sondagens profundas e afloramentos geológicos) a partir do qual, através de métodos numéricos baseados em diferenças finitas, se realiza a simulação de movimentos sísmicos.

Este modelo apresenta, no entanto, algumas zonas de resolução insuficiente devido à limitada cobertura da sísmica de reflexão e às imprecisões inerentes ao método dos potenciais. De forma a

melhorar o modelo desenvolveu-se uma metodologia baseada na razão espectral entre das componentes horizontal/vertical do ruído sísmico (método H/V). As curvas obtidas a partir deste método permitem identificar picos de ressonância/amplificação, os quais deverão estar relacionados com a estrutura que se pretende determinar. Aplicámos esse método ao longo de três perfis com azimute perpendicular ao eixo da bacia. As curvas H/V obtidas revelam a existência de dois picos de amplificação de baixa frequência centrados em 0.2 e 1 Hz, os quais deveriam estar relacionados com a espessura de sedimentos aluviais (1 Hz) e do Cenozóico (0.2 Hz). Após inversão das curvas H/V obtivemos um mais detalhado modelo de velocidades da região o qual se ajusta bem aos dados de sondagens e reflexão sísmica. Foi ainda estabelecida uma relação empírica entre os picos de frequência fundamental das curvas H/V e a espessura total de sedimentos (Cenozóico), relação essa que poderá no futuro ser estendida a toda a bacia sedimentar do vale do Tejo, permitindo assim caracterizar com maior detalhe a sua estrutura. Estes resultados permitem concluir que a profundidade da base do Cenozóico, obtida a partir dos dados de ruído sísmico, é inferior à que é obtida a partir dos perfis magnéticos.

## Resumos das teses de mestrado do CGE que se concluíram em 2012

*Caracterização da poluição (aerossóis) à superfície na região Alentejo*

Ernestina Brázio Correia - Universidade de Évora

**Orientação:** Ana Maria Silva - CGE, Universidade de Évora

O estudo efectuado tinha como objectivo analisar a poluição observada à superfície na região Sul de Portugal, no respeitante aos aerossóis, mais especificamente, as designadas PM10. Para a realização do presente estudo foram escolhidas: a estação de Terena e de Monte Velho, ambas localizadas no Alentejo e a estação de Quebedo, na cidade de Setúbal, que fazem parte integrante da rede regulamentar da Qualidade do Ar, da Agência Portuguesa do Ambiente e a estação de Évora que pertence ao Centro de Geofísica da Universidade de Évora. No propósito de atingir o objectivo acima mencionado, foram tratados os dados da concentração mássica de PM10 nas quatro estações relativos a cinco anos (2005-2009) com excepção dos dados de Évora, que respeitam apenas a quatro anos, (2006-2009). Foi efectuada uma análise estatística dos dados horários da concentração mássica de PM10 das quatro estações para conhecer a variabilidade espacial, variabilidade anual, sazonal e diária. Procedeu-se também à análise de excedências relativamente ao Valor Limite Diário, VLD, de  $50 \mu g m^{-3}$  (que não devia ser

excedido mais do que 35 dias por ano civil, desde 2005 a 2010) e ao Valor Limite Anual (VLA) de  $40 \mu g m^{-3}$  até 2010.

Foram ainda identificadas situações de episódios de poluição e efectuada a caracterização do tipo de aerossóis aí presentes em função da análise de variáveis meteorológicas (principalmente velocidade e direcção do vento) e das rectro-trajectórias de 72 h, calculadas para cada uma das estações, às altitudes de 1500 m, 3000 m e à superfície. O estudo permitiu concluir que a concentração mássica de PM10 no Alentejo, é relativamente baixa, comparativamente a outras regiões. Refira-se que a média interanual nas estações de Évora, Terena e Monte Velho foram respectivamente,  $22,6 \mu g m^{-3}$ ,  $24,3 \mu g m^{-3}$ , e  $26,4 \mu g m^{-3}$  enquanto Quebedo, localizada fora do Alentejo, registou o valor  $33,2 \mu g m^{-3}$ . Por diversas vezes no ano, verifica-se a existência de episódios de poluição e nos quais se encontram presentes aerossóis produzidos por fontes locais e aerossóis transportados a longas distâncias e cuja origem é natural e/ou antropogénica.

## Resumos das teses de mestrado do CGE que se concluíram em 2012

**Cartografia, estratigrafia e paleontologia da passagem Triásico-Jurássico na região de Manatuto. Importância para a génese e acumulação de hidrocarbonetos**

**Aquiles Tomas Freitas** - *Timor Leste*

**Orientação:** Pedro Miguel Nogueira - *DGEO, Universidade de Évora*

**Co-orientação:** Alexandre Araújo - *CGE, DGEO, Universidade de Évora*

Este trabalho decorreu na região de Manatuto, Timor-Leste. Fez-se o levantamento das unidades geológicas e analisou-se os resultados à luz da cartografia de recursos minerais, sobretudo da génese dos hidrocarbonetos. Cartografamos seis unidades litoestratigráficas: Unidade dos Calcários, é a formação geológica mais antiga na área do trabalho correspondendo a calcários, dolomitos, níveis carbonatados com sílex, entre outros, encontramos fósseis de Halobia e Monotis. Unidade de Wailuli Inferior é uma alternância entre argilitos e arenitos onde dominam os arenitos. Unidade Wailuli Médio é alternância os argilitos com arenitos, onde

dominam os argilitos. Unidade Wailuli Superior é alternância entre argilitos, arenitos e conglomerados, no topo, pode-se encontrar gesso e pseudomorfs de sal. As três unidades de UWI, UWM, IWS correspondem à Formação Wailuli. Unidade dos Conglomerados (Formação Suai) e a Unidade dos aluviões (UA) são as mais recentes, do quaternário, constituídas por conglomerados polimíticos.

As rochas do Triásico Superior até ao Triásico Inferior em Timor são arenitos e argilitos sendo potenciais rochas geradoras.

## Resumos das teses de mestrado do CGE que se concluíram em 2012

**Cartografia e estrutura do contacto entre a Formação de Aileu e a Formação de Lolotoi. Implicações geodinâmicas e para os recursos minerais**

**Henrique Gusmão Mendonça Pereira** - *Timor Leste*

**Orientação:** Pedro Miguel Nogueira - *DGEO, Universidade de Évora*

**Co-orientação:** Alexandre Araújo - *CGE, DGEO, Universidade de Évora*

Neste trabalho apresentam-se a cartografia realizada numa área com cerca de 30 km<sup>2</sup>, a SW de Manatuto. As duas principais formações que afloram são a Formação Lolotoi e a Formação de Wailuli, ocorrendo ainda calcários atribuídos à Formação de Maubisse e áreas com depósitos de cobertura recentes (aluviões e terraços).

Apesar de não ter sido possível observar directamente, os contactos entre estas várias unidades, em termos geométricos a Formação de Wailuli representa o autóctone da região e sobre esta instalou-se, por carreamento, a Formação de Lolotoi. Os calcários da Formação de

Maubisse parecem corresponder a clipes de um outro manto de carreamento diferente, sobre as formações anteriores.

A Formação de Lolotoi é a mais deformada e é a única que apresenta uma fase de deformação marcada pela presença de xistosidade. Apesar da dispersão de atitudes parece apontar para que esta xistosidade esteja dobrada por uma fase posterior. Os depósitos quaternários, em particular a Formação de Ainara, indicam um importante uplift da região no período recente.

## Resumos das teses de mestrado do CGE que se concluíram em 2012

**Cartografia e estrutura do contacto entre a Formação de Aileu e a Formação de Wailuli. Implicações geodinâmicas e para os recursos minerais.**

**Nene Soares Valente Cristovão** - *Timor Leste*

**Orientação:** Pedro Miguel Nogueira - *DGEO, Universidade de Évora*

**Co-orientação:** Luís Lopes - *CGE, DGEO, Universidade de Évora*

O presente trabalho consiste na aplicação e conclusão de metodologias para a caracterização estrutura de uma área na Lado Norte marcada pela intersecção de zonas de falhas. Esta área situa-se no centro norte do distrito de Manatuto. Os trabalhos se concentraram no intervalo aflorante das rochas da Formação Wailuli, Formação de Aitutu, Aluviões Recentes, Formação de Aileu e a formação de Maubisse. O trabalho em questão foi baseado no conceito de cartografia. Para tanto foram utilizando métodos

indirectos como a análise e interpretação de imagens de satélite, modelo digital de elevação e fotografias aéreas e finalizou-se com métodos directos de levantamentos de detalhe em escala de afloramento. Os resultados obtidos permitiram verificar que a região estudada apresenta-se principalmente condicionada por estruturas com sentido NW e SE, e subordinadamente estruturas NW e SE. Caracterização do arcabouço estrutural e também estratigráfico, foram seleccionadas áreas ribeira e áreas montanha.

## Resumos das teses de mestrado do CGE que se concluíram em 2012

**Cartografia e estrutura dos calcários ornamentais da região de Beheda. Implicações para a exploração**

**Helio da Costa Cristovão** - *Timor Leste*

**Orientação:** Pedro Miguel Nogueira - *DGEO, Universidade de Évora*

**Co-orientação:** Luís Lopes - *CGE, DGEO, Universidade de Évora*

Com este trabalho procurou-se aprofundar a cartografia e a estrutura da área estudada. Considerou-se fundamental neste estudo o aprofundamento da informação geológica acerca das rochas com valor económico na região de Beheda, nomeadamente dos calcários e mármore aflorantes.

Os resultados obtidos permitem melhorar o detalhe da cartografia existente, marcando os afloramentos e os limite das rochas e unidades geológicas encontradas: calcários; mármore, peridotitos,

epidotitos, argilitos e arenitos, conglomerados, etc.

De marcante importância foram a descoberta de lavas em almofada próximo da zona de contacto entre rochas sedimentares com as rochas ígneas da Formação Aileu. A cartografia detalhada permitiu também ter uma melhor percepção da estrutura e do potencial para exploração económica quer dos mármore da região de Behau, quer dos calcários aflorantes na região de Beheda.

## GeoPalavra - Parte I

### Por que os sismos são difíceis de prever?

**Mourad Bezzeghoud**

*Departamento de Física e Centro de Geofísica de Évora, ECT, Universidade de Évora*

Um sismo de magnitude 6.3 (USGS) abalou a cidade italiana de L'Aquila no dia 6 de Abril de 2009 e causou 309 mortos, 1000 feridos, 40.000 desalojados danificou ou destruiu por completo 10.000 edifícios na área de L'Aquila. Foi sentido em toda Itália central. O sismo foi gerado por uma falha normal numa estrutura com orientação NW-SE nos Apeninos centrais. Esta região é geologicamente complexa, envolvendo 1) a subducção da micro-placa Adria, por baixo dos Apeninos de leste para oeste, e 2) a colisão continental entre as placas Eurásia e África construindo a cadeia de montanhas alpinas mais a norte e a abertura da bacia de Tirreno a oeste. A evolução deste sistema é responsável pelos diferentes estilos tectónicos e é responsável por actividade numa ampla região circundante a Itália e ao Mediterrâneo central.

Recentemente, um tribunal italiano condenou os sete membros da Comissão de Grandes Riscos (Commissione Grandi Rischi, CGR) a seis anos de prisão por não terem previsto o sismo L'Aquila, que provocou a morte a 309 pessoas. A referida comissão era composta por seis cientistas (sismólogos, geólogos e engenheiros sísmicos) e um ex-funcionário do governo. Foram acusados de ter comunicado uma informação "inexata, incompleta e contraditória" sobre a crise sísmica que antecedeu o sismo principal de L'Aquila.

A acusação utilizou, como prova, o comunicado tranquilizador emitido antes do sismo principal de magnitude 6.3 e a defesa argumentou que não havia forma de prever o sismo destruidor que abalou e destruiu a cidade de L'Aquila. Este julgamento inédito abriu o debate sobre a previsão dos sismos e mais de cinco mil cientistas assinaram uma carta aberta ao Presidente italiano, manifestando o seu apoio aos sete profissionais.

A condenação foi notícia de todos os jornais e medias em todo o mundo. Algumas das principais associações científicas, como a União Europeia de Geociências (EGU) e a Associação Sismológica Americana (SSA) publicaram comunicados:

EGU: <http://www.egu.eu/inside-egu/divisions-and-present-officers/division-seismology/scientists-alarmed-by-verdict-of-italian-court.html>

SSA: <http://www.seismosoc.org/news/index.php#i20121011183>

Mais de 200.000 terremotos são registados e localizados à escala mundial cada ano. A monitorização sísmica à escala global, regional e local fornece informação que permite compreender a ocorrência dos sismos e, portanto, permite cartografar as regiões de alto e baixo risco sísmico. Mas, num universo de 200.000 sismos, um tribunal italiano encontrou 7 responsáveis pelos danos causados pelo sismo que ocorreu em 6 de Abril de 2009 em L'Aquila. Quem são os responsáveis pelos danos associados aos restantes 199.999 sismos que ocorreram em 2009? E nos anos anteriores e posteriores a 2009?

A génese dos sismos é um processo muito complexo que ocorre na crosta terrestre. A magnitude e a data do acontecimento de um sismo depende de vários fatores, como a dimensão da falha e o nível de tensão acumulado ao longo destas descontinuidades geológicas. Os cientistas não têm forma de calcular a energia necessária para romper uma falha. Quando se atinge a tensão de ruptura até mesmo um sismo de magnitude fraca pode despertar e provocar elevada destruição. A previsão de sismos pode ser dividida em 3 categorias, a previsão a curto, a médio e a longo prazos.

1) A previsão de sismos a curto (horas a semanas) e 2) longo (anos a dezenas de anos) prazos é uma linha de investigação muito importante em Sismologia. Muitos progressos foram feitos nos últimos 50 anos no sentido de compreender melhor os processos de ruptura sísmica. Embora a previsão a curto prazo não seja possível, existem metodologias bastantes afinadas para a previsão a longo prazo como foi, por exemplo, no caso do recente sismo do Chile (M=8.8), esperado desde os anos oitenta.

3) A previsão a médio prazo (1 mês a 10 anos) envolve técnicas promissoras que envolvem análises estatísticas da sismicidade e observação da aceleração e momento sísmico. Uma outra técnica consiste em calcular a quantidade de tensão transferida para falhas

vizinhas por um grande sismo como foi, por exemplo, para o sismo de Sumatra de 28 de Março de 2005 (M=8.7) com base no estudo do sismo de 24 de Dezembro de 2004 (M=9.2) ou ainda para o recente sismo do Haiti (M=7.0) com base na análise de sismos históricos.

As técnicas utilizadas (monitorização sísmica, monitorização da deformação da crosta, monitorização das emanações de radão, comportamento animal, perturbações ionosféricas, registos sismo-electromagnéticos, etc.) para a previsão a curto prazo nem sempre tiveram resultados satisfatórios. A Comissão Internacional de Previsão de sismos para a Protecção Civil (International Commission on Earthquake Forecasting for Civil Protection) analisou uma série de precursores e concluiu que nenhum deles oferece um diagnóstico confiável de um sismo iminente.

Não podemos impedir a ocorrência de um sismo, mas podemos preveni-lo, tomando as devidas precauções para minimizar as suas consequências, quer no plano económico, quer no plano humano. A redução do número de vítimas durante um sismo passa por adaptar as estruturas dos edifícios e de outros tipos de obras às solicitações dinâmicas. É esse o objectivo da construção anti-sísmica. A prevenção sísmica baseia-se em três pontos: o conhecimento do risco regional, através do estudo da sismicidade histórica e instrumental; a adaptação das estruturas aos movimentos fortes prováveis e a preparação das populações e dos serviços de socorro.

A Sismologia fez grandes progressos nos últimos 50 anos e os próximos anos irão trazer novos conhecimentos em termos de previsão de sismos e em sistemas de alerta precoce.

Por outro lado, por depender de um grande número de parâmetros não é fácil de prever o comportamento sísmico dos edifícios. Os parâmetros mais importantes são: 1) a tipologia de construção (madeira, pedra, tijolo, betão armado, etc.), 2) o período de construção e 3) o local de implementação (condições do local/efeitos do sítio). Por exemplo, em Portugal têm sido desenvolvidos vários estudos conducentes a uma melhor estimativa da perigosidade sísmica. Vários estudos desenvolvidos na área da Grande Lisboa foram promovidos pelos Serviços de Bombeiros e Protecção Civil e que envolveram uma equipa multidisciplinar constituída por investigadores (geofísicos, sismólogos, geólogos, engenheiros civis, geógrafos) oriundos de várias instituições portuguesas. Segundo estudos efectuados pelo IST e o LNEC os edifícios mais frágeis são os construídos antes de 1960 por não apresentarem resistência sísmica suficiente e pelo seu estado de degradação. Grande parte deste edificado está em mau estado de conservação. Há ainda na área da Grande Lisboa muitos pontos vulneráveis na rede de infra-estruturas. Os conhecimentos técnicos actuais permitem que se construam bons edifícios ao nível da resistência sísmica, infelizmente os mecanismos de controlo e fiscalização raramente se verificam.

O sismo de 1755, denominado sismo de Lisboa, foi um dos mais destrutivos de que há memória; ocorreu, na margem Sudoeste Ibérica, no 1º dia do mês de Novembro de 1755 (M=9), pelas 9h 30min e foi sentido em toda a Europa e Norte de África. Como a taxa de deformação estimada para esta zona é de cerca de 5.5 mm por ano, podemos concluir que um sismo de magnitude semelhante ao de 1755 deverá ter um período de retorno de 500 a 2000 anos. O elevado período de retorno deste sismo não deverá constituir motivo de tranquilidade, dado que é sempre possível que ocorra nesta mesma margem, mas mais próximo de terra, um sismo de magnitude inferior ao de 1755 (magnitude 7 a 8) mas com igual poder destrutivo atingindo zonas densamente habitadas como a cidade de Lisboa ou o litoral algarvio. O problema é quanto maior for o intervalo, maior será a magnitude do sismo, e por consequência, do tsunami. Felizmente, nos últimos 40 anos e nesta mesma zona do atlântico ocorreram 3 sismos de magnitude igual ou superior a 6.0, incluído o de 28

de Novembro de 1969 com magnitude 8.0 sem provocar danos. Esperamos que haja nesta zona muitos mais sismos desta natureza com a mesma grandeza de magnitude.

## GeoPalavra - Parte II

### The L'Aquila trial: the effects of the verdict

**Aldo Zollo**

*Department of Physics, University of Naples Federico II, Naples, Italy*

*Member of the current Commissione Grandi Rischi (sector for seismic risk)*

The painful and absurd case of the trial against the scientists of the Commissione Grandi Rischi (CGR) for the unexpected (or badly assessed) effects of the 2009 L'Aquila earthquake is the last episode of a dramatic sequence of errors in the communication and management of the seismic crisis, whose responsibility is partly attributable to the experts, but it involved, perhaps for the most relevant part, who should have made decisions according to the experts' advices.

Without getting the hearth of the conviction and how fair was the punishment (six years in jail and millions of euros as fine) it is clear that there was a defect in the risk communication from both the Commissione Grandi Rischi and Italian Civil Protection to which the Commission offers a consultancy service. At the same time, we can't ignore the conditions in which the Commission operated and the lack of well defined rules for the risk analysis and assessment and the advices' transmission on the crisis among the different level of decision-making and advisory bodies and, finally, the communication to the public.

This defect, partially rectified in the new CGR, was mainly caused by the procedures, time schedule, ways of functioning and composition of the CGR, which "a posteriori" can be said it not suitable to face emergency situations.

About that, the mixture of experts/scientists and decision-makers (members of the Civil Protections, representatives of local authorities), all of them members of the same Commission, was the weak point of the CGR of the L'Aquila earthquake, and that mixture of roles caused confusion and gaps in the seismic risk communication during the crisis.

My personal opinion is that the role and the responsibility of the scientists, members of the CGR, and the decision-makers (the chain Department of Civil Protections, mayors, officers in charge of police force) have to be taken distinct and well-defined in law, which has not happened yet.

The decisions on actions to be undertaken during a seismic emergency are mainly made according to the information and scientific advices, but not only. Indeed, it's necessary to consider the social-economic impacts of those actions on the community at risk and the acceptable risk that the same community should have preventively defined. In the L'Aquila affair the mayors and the officers in charge of police force, who were the final decision-makers about the safety of citizens, were surprisingly excluded from any responsibility.

The scientists, who are the lower link in the chain of the responsibility, by expressing their opinion, can't be bound by the effects that this decision will have on the community (or even on

themselves) and bear the responsibilities arising from the action (or inaction) of other people using their advice. In the last few days there was the opposite example of the evacuation from a few villages in Garfagnana (Tuscany Region, Central Italy) ordered by the mayors of the area, who evaluated and decided that conditions were for an extreme action, like the evacuation of people from their houses. This happened as triggered by the INGV notification to the Department of Civil Protection about the follow-up of an aftershock sequence triggered by the occurrence of a moderate magnitude (M 4.8) earthquake. In this case, the decision was made without consulting the CGR preventively or according to its circumstantiated scientific advice.

The current CGR of the Seismic Risk Section is formed by 14 experts of the seismology, geology and seismic engineering sectors and convene upon specific request from the Chief of the Department of Civil Protection, to provide a scientific advice on specific issues related to the earthquake risk or ongoing unrest seismic phenomena. The meetings, which are a whole day long on average (at times they can last more days), are divided into two parts. The first part is an open session of technical-scientific information about the phenomenology to be analyzed. External and internal experts to the CGR, belonging to the national scientific community and to INGV, and officers of the Civil Protection take part into this session. Instead, the second meeting session aimed at the members of the CGR only, who discuss about the scientific data, methods and results and finally formulate a written report with scientific evaluations. This document can contain recommendations, if expressly asked by DPC, based on data and results presented in the previous session. The full report and its summary are sent to the Chief of Department of Civil Protection, who decides on its basis which actions to undertake, including the dissemination of information to large public through a press release. I'm a member of the current Commissione Grandi Rischi (sector for seismic risk) and the matter of the responsibility for decisions and communication of the risk have been on the agenda of the Commission's meetings after the L'Aquila verdict.

Many members of the CGR resigned just because in the present State law there isn't a clear regulation of the role and responsibility (civil and penal) of the experts members of these commissions. Although the rules of operation of the present Commission ensure better transparency and separation of tasks between scientists and decision-makers, the risk to be criminally negligent for the consequences of a scientific opinion on a seismic crisis is still concrete and even on the agenda.

### Direção e Coordenação Editorial

Ana Maria Silva

**Correio electrónico:** gboletim@uevora.pt

**Depósito legal:** 238091/06 **ISSN:** 1646-3676,

Janeiro, 2013

### Painel Editorial

Alexandre Araújo, António Heitor Reis, Ana Maria Silva, Maria Rosa Duque, Joaquim Luís Lopes, Mourad Bezzeghoud e Manuela Morais