



INSTITUTO
DOM LUIZ



Ciências
ULisboa

Faculdade
de Ciências
da Universidade
de Lisboa

FCT Fundação
para a Ciência
e a Tecnologia

IDL 2023 - XXX

PhD in Geophysics and Geoinformation Sciences

Title: Modelling the Mediterranean Outflow processes across scales.

Supervision

Álvaro Peliz (Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal)

Ricardo Sanchez Leal (Instituto Español de Oceanografía, IEO, Cadiz, Spain)

Part of the proposed work will be done at IEO, Cadiz, Spain

Summary

The Mediterranean Outflow (MO) exits the Strait of Gibraltar after an intense interaction with the above Atlantic Inflow forced by strong tides on the narrow Strait. These interactions cause the inflow-outflow interface to oscillate and produce internal wave activity and mixing. After that, the MO plunges into the Atlantic as a gravity current that entrains ambient flow. This entrainment occurs on a relatively small area, yet it produces a remarkable effect on the upper ocean circulations noticeable several hundreds of kilometres westward through the generation of a beta-plume to which the Azores Current is part of (e.g. Peliz et al, 2007). Along its route downslope, the MO splits into several veins and undergoes a strong interaction with the bottom by even reshaping it (Sanchez-Leal et al 2017). The final fate of the MO as it interacts with canyons and capes on the southwest tip of Iberian Peninsula is to produce a vigorous eddy field (Meddies) at intermediate depths (e.g. Barbosa Aguiar et al 2013).

For all this complexity and relevance, the MO has long been considered one the most challenging spots for ocean circulation modelling, a paradigm for upscaling (influence of small processes on large scales). It is also the best known example of a gravity plume in the ocean interior, as well as the paradigm of intermediate water vortices. The Mediterranean Outflow is also a teste bed for the simulation and parameterisations of outflows in climate models (Legg, 2009). In particular, it has been demonstrated that the overflows are highly sensitive to the choice of vertical coordinates, vertical resolutions and vertical turbulent parameterisations. While terrain-following coordinates seem to preform better for margin processes, the isopycnal coordinates improve the representation of overflows.

In this study, we shall address the sensitivity of MO to the vertical coordinate, vertical resolution and vertical mixing parameterisations. We shall conduct simulations using two Ocean Models: the Regional Ocean Modelling System (ROMS) and the Modular Ocean Model MOM6.

ROMS has been extensively used for the simulations of the Gulf of Cadiz circulation at IDL, with a successful representations of many aspects of the MO (Peliz 2007, Peliz et al 2013, Aguiar et al 2013, Aguiar et al 2016). However, ROMS is build on terrain-following coordinates that allow only moderate resolution near the bottom. On the other end, MOM6 uses the recently developed vertical Lagrangian remapping algorithm (a variant of the Arbitrary Lagrangian Eulerian, Griffies et al 2020). It enables the use of any vertical coordinate, including geopotential, isopycnal, terrain-following, or hybrid/user-defined. MOM6 allows for a sensitivity study on the vertical coordinate and vertical resolutions. This way a complementary and comparable ensemble of model simulations will be conducted.

The ultimate objective is to advance the simulation skills of the MO through a modelling study on sufficiently large domains so as to cover all of the MO phases, and at sub-mesoscale grid resolutions (around one kilometre) to representa as close as possible the diversity of small scale processes. The model simulations should be able advance



our knowledge on MO formation processes, its interaction with the bottom and splitting, the eddy generation and its connection with the upper ocean currents.

The model simulations will be compared with a large data set of observations collected over the last decade by the Instituto Español de Oceanografía (e.g., Sanchez-Leal, 2020) that include extensive hydrographic observations, complemented with ocean current time series and high resolution records of flow parameters near the bottom collected on a series of landers.

References:

Aguiar, AC Barbosa, et al. "Mediterranean outflow transports and entrainment estimates from observations and high-resolution modelling." *Progress in Oceanography* 131 (2015): 33-45.

Aguiar, Ana Cláudia Barbosa, Álvaro Peliz, and Xavier Carton. "A census of Meddies in a long-term high-resolution simulation." *Progress in Oceanography* 116 (2013): 80-94.

Griffies, Stephen M., Alistair Adcroft, and Robert Hallberg, October 2020: A Primer on the Vertical Lagrangian-Remap Method in Ocean Models Based on Finite Volume Generalized Vertical Coordinates. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12(10), DOI:10.1029/2019MS001954.

Legg, Sonya, et al. "Improving oceanic overflow representation in climate models: the gravity current entrainment climate process team." *Bulletin of the American Meteorological Society* 90.5 (2009): 657-670.

Peliz, Alvaro, et al. "Surface circulation in the Gulf of Cadiz: Model and mean flow structure." *Journal of Geophysical Research: Oceans* 112.C11 (2007).

Peliz, Alvaro, et al. "The Gulf of Cadiz–Alboran Sea sub-basin: Model setup, exchange and seasonal variability." *Ocean Modelling* 61 (2013): 49-67.

Sánchez-Leal, Ricardo F., et al. "The Mediterranean Overflow in the Gulf of Cadiz: A rugged journey." *Science Advances* 3.11 (2017): eaao0609.

Sánchez-Leal, R. F., et al. "On the seasonality of waters below the seasonal thermocline in the Gulf of Cádiz." *Continental Shelf Research* 204 (2020): 104190.



IDL 2023 - XXX

PhD in Geophysics and Geoinformation Sciences

Title: Modelação do escoamento Mediterrânico a diferentes escalas.

Orientação

Álvaro Peliz (Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal)

Ricardo Sanchez Leal (Instituto Español de Oceanografía, IEO, Cadiz, Spain)

Part of the proposed work will be done at IEO, Cadiz, Spain

Sumário

A subcorrente (escoamento colado ao fundo oceânico) Mediterrânica (SM) sai do Estreito de Gibraltar após uma intensa interação com a corrente Atlântica superficial devida a marés intensas no estreito. Essas interações fazem com que a interface entre os dois escoamentos oscile e produza ondas internas e mistura. Depois disso, a SM mergulha no Atlântico como uma corrente de gravidade que entranha a água envolvente. Este arrastamento ocorre numa área relativamente pequena, mas produz um efeito notável nas circulações oceânicas superiores perceptíveis a várias centenas de quilómetros para oeste através da geração de uma pluma beta da qual a Corrente dos Açores é parte (e.g., Peliz et al, 2007). Ao longo do seu percurso sobre o declive, a SM divide-se em vários veios e sofre uma forte interação com o fundo, remodelando-o mesmo (Sanchez-Leal et al 2017). O destino final da SM ao interagir com os canhões e cabos na ponta sudoeste da Península Ibérica é produzir um vigoroso campo de vórtices (Meddies) em profundidades intermédias (e.g., Barbosa Aguiar et al 2013).

Por toda esta complexidade e relevância, a SM tem sido considerada um dos pontos mais desafiadores para a modelação da circulação oceânica, um paradigma para upscaling (influência de pequenos processos em grandes escalas). É também o exemplo mais conhecido de pluma de gravidade no interior do oceano, bem como paradigma de vórtices intermédios. O fluxo Mediterrânico é também um banco de ensaio para a simulação e parametrização de fluxos em modelos climáticos (Legg, 2009). Em particular, foi demonstrado que as subcorrentes são altamente sensíveis à escolha de coordenadas verticais, resoluções verticais e parametrizações turbulentas verticais. Enquanto que as coordenadas de seguimento do terreno parecem funcionar melhor para os processos nas margens oceânicas, as coordenadas em níveis isopícnicos melhoram a representação das subcorrentes de densidade.

Neste estudo, abordaremos a sensibilidade da SM às parametrizações de coordenada vertical, resolução vertical e mistura vertical. Faremos simulações utilizando dois Modelos Oceânicos: o Regional Ocean Modeling System (ROMS) e o Modular Ocean Model MOM6.

O ROMS tem sido extensivamente utilizado para as simulações da circulação do Golfo de Cádiz no IDL, com representações bem-sucedidas de muitos aspectos da SM (Peliz 2007, Peliz et al 2013, Aguiar et al 2013, Aguiar et al 2016). No entanto, o ROMS é construído em coordenadas de seguimento do terreno que permitem apenas uma resolução moderada perto do fundo. Por outro lado, o MOM6 usa o algoritmo de remapeamento Lagrangeano vertical recentemente desenvolvido (uma variante do Arbitrary Lagrangian Eulerian, Griffies et al 2020). Ele permite o uso de qualquer coordenada vertical, incluindo geopotencial, isopícnica, seguimento de terreno ou híbrida/definida pelo utilizador. O MOM6 permite um estudo de sensibilidade nas coordenadas verticais e resoluções verticais. Desta forma, um conjunto complementar e comparável de simulações de modelos será obtido.

O objetivo final é avançar a capacidade de simulação da SM por meio de um estudo de modelação em domínios suficientemente grandes para cobrir todas as fases da SM e em resoluções de submesoescala (cerca de um



quilómetro) para representar o mais próximo possível a diversidade de processos de pequena escala. As simulações do modelo devem ser capazes de avançar nosso conhecimento sobre os processos de formação da SM, da sua interação com o fundo, a divisão, a geração de vórtices e sua conexão com as correntes oceânicas superiores.

As simulações do modelo serão comparadas com um grande conjunto de dados de observações obtidas ao longo da última década pelo Instituto Español de Oceanografia (por exemplo, Sanchez-Leal, 2020) que incluem extensas observações hidrográficas, complementadas com séries temporais de correntes oceânicas e registros de alta resolução de parâmetros de correntes do fundo observada a partir de uma série de Landers.

References:

Aguiar, AC Barbosa, et al. "Mediterranean outflow transports and entrainment estimates from observations and high-resolution modelling." *Progress in Oceanography* 131 (2015): 33-45.

Aguiar, Ana Cláudia Barbosa, Álvaro Peliz, and Xavier Carton. "A census of Meddies in a long-term high-resolution simulation." *Progress in Oceanography* 116 (2013): 80-94.

Griffies, Stephen M., Alistair Adcroft, and Robert Hallberg, October 2020: A Primer on the Vertical Lagrangian-Remap Method in Ocean Models Based on Finite Volume Generalized Vertical Coordinates. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12(10), DOI:10.1029/2019MS001954.

Legg, Sonya, et al. "Improving oceanic overflow representation in climate models: the gravity current entrainment climate process team." *Bulletin of the American Meteorological Society* 90.5 (2009): 657-670.

Peliz, Alvaro, et al. "Surface circulation in the Gulf of Cadiz: Model and mean flow structure." *Journal of Geophysical Research: Oceans* 112.C11 (2007).

Peliz, Alvaro, et al. "The Gulf of Cadiz–Alboran Sea sub-basin: Model setup, exchange and seasonal variability." *Ocean Modelling* 61 (2013): 49-67.

Sánchez-Leal, Ricardo F., et al. "The Mediterranean Overflow in the Gulf of Cadiz: A rugged journey." *Science Advances* 3.11 (2017): eaao0609.

Sánchez-Leal, R. F., et al. "On the seasonality of waters below the seasonal thermocline in the Gulf of Cádiz." *Continental Shelf Research* 204 (2020): 104190.



IDL 2023 - XXX

PhD in Igneous Petrology and Geochemistry

Contamination history and magma diversification of a synorogenic layered intrusion: implications for ore forming systems

Supervision

Ana Jesus (Instituto Dom Luiz), Mathieu Benoit (Géosciences Environment Toulouse- CNRS)

Summary

The relevance of synorogenic mafic/ultramafic magmatism in the genesis of oxide and particularly sulfide magmatic ore deposits has been rising with a large number of discoveries worldwide (e.g. (Mao et al., 2008; Piña, 2019). The Beja Layered Gabbroic Sequence (LGS) intruded the southern border of the Ossa Morena Zone (Portugal) during the Variscan Orogeny at ca 350 Ma. LGS dimension (~262 km²) and nature makes it an exceptional study-case within its category or the Variscan orogen. Research in the western compartment of LGS has placed significant constraints to its petrogenesis and Fe-Ti-V oxide and Ni-Cu-Co-PGE sulfide ore-forming systems (Jesus et al., 2020; Jesus et al., 2014; Jesus et al., 2003). The magmatic evolution and ore-forming potential of most of this vast intrusion (ca. 70%) remains however, elusive as well as its relationship with coeval mesocratic magmatism formed during the HT-LP event (Jesus et al., 2007). SEMACRET is a Horizon Europe project (www.semaret.eu) that is applying the “Mineral Systems Approach” (McCuaig et al., 2010) to 5 reference sites including LGS, to improve genetic models and exploration methods in orthomagmatic deposits. Applying this knowledge-driven exploration to orthomagmatic systems is render difficult by overlapping geochemical signals from different processes during magma and ore formation and requires detailed petrological knowledge. This PhD project will therefore deliver large-scale geochemical mapping of LGS Eastern compartment with three main aims:

- i) The mineralogy and degree of differentiation of gabbroic facies will determine the fertility of the magmas for sulfide mineralization and delimit evolved ferrogabbro domains favourable for oxide mineralization.
- ii) The spatial and temporal distribution of crustal contamination, combined with other methods (e.g. geophysics, overabundance of cumulates, anomalously low blocking temperatures in HT minerals) will enable identifying domains with higher potential to have segregated early sulfide melts. The age and geochemistry of local country-rocks (Cambrian marbles, Proterozoic amphibolites) will provide precise constraints to modelling crustal contamination.
- iii) Although LGS sulfide occurrences and olivine chemistry suggest that the main magmatic stage was unfavourable for magmatic sulfides (Barnes et al., 2023; Jesus et al., 2020), one intriguing, higher-grade sulfide generation may be related with a late rejuvenation of the magmatic system. Indeed, previous studies suggested that lower crustal underplating of LGS mafic magmas generated Deep Crustal Hot Zones by reworking of lower to mid crustal rocks, leading to magma diversification and multiple generations of evolved rocks (Jesus et al., 2016). This hypothesis will be further tested by constraining the spatial and temporal distribution of the various pulses of late mesocratic suites.

The integration in HEU Project SEMACRET enables formative interactions with a multidisciplinary, international research team. Crucially, it will provide hands-on-training in state-of-the-art analysis with TIMS and ICP-MS including all chemical procedures in a clean lab environment. The student will spend circa 3 months per year at GET with co-



supervisor, expert isotope geochemist and igneous petrologist Dr Mathieu Benoit that will further support data modelling and interpretation (Benoit et al., 1996; Python et al., 2020). This training represents a competitive advantage for building up highly differentiated skills that can improve the student's employability in reference geochemical labs and a crucial knowledge transfer to Portugal.

Main Tasks

The student is expected to accompany on-going field work and sampling which will be mostly undertaken by other members of SEMACRET team. Geophysical campaigns (airborne EM, ground IP) scheduled for 2023 will be processed by other consortium partners but scientific exchange is highly encouraged as geophysical data will enable unravelling the architecture of the intrusion and place first-order constraints geochemical / petrological models.

Sample preparation (thin sections, whole rock geochemistry and mineral separation for U/Pb geochronology), petrography (transmitted and reflected light) and mineral chemistry analysis (Electron Probe Micro Analysers; JEOL JXA-8200 and EDS spectrometer) will be carried at GeoFCUL/IDL.

Whole rock analysis of major elements will be done with the PHILIPS PW-1480 X-Ray Fluorescence at GeoFCUL/IDL and trace elements with the Thermo Scientific ICap ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) at GET. Geochronological Dating of U/Pb will mostly focus on country rocks and mesocratic facies (lab under consultation) whereas Nd-Sr isotopic analysis of all rock spectrum will be performed with Thermo Scientific TRITON + TIMS (Thermal Ionisation Mass Spectrometry) at GET.

References

- Barnes, S.J., Yao, Z.-S., Mao, Y.-J., Jesus, A.P., Yang, S., Taranovic, V., and Maier, W.D. (2023) Nickel in olivine as an exploration indicator for magmatic Ni-Cu sulfide deposits: A data review and re-evaluation. *American Mineralogist*, 108(1), 1-17.
- Benoit, M., Polvé, M., and Ceuleneer, G. (1996) Trace element and isotopic characterization of mafic cumulates in a fossil mantle diapir (Oman ophiolite). *Chemical Geology*, 134(1-3), 199-214.
- Jesus, A., Munhá, J., Mateus, A., Tassinari, C., and Nutman, A.P. (2007) The Beja layered gabbroic sequence (Ossa-Morena Zone, Southern Portugal): geochronology and geodynamic implications. *Geodinamica Acta*, 20(3), 139-157.
- Jesus, A.P., Mateus, A., Benoit, M., Tassinari, C.C.G., and dos Santos, T.B. (2020) The timing of sulfide segregation in a Variscan syn-orogenic gabbroic layered intrusion (Beja, Portugal): implications for Ni-Cu-PGE exploration in orogenic settings? *Ore Geology Reviews*, 103767.
- Jesus, A.P., Mateus, A., Munhá, J.M., and Tassinari, C. (2014) Internal architecture and Fe-Ti-V oxide ore genesis in a Variscan synorogenic layered mafic intrusion, the Beja Layered Gabbroic Sequence (Portugal). *Lithos*, 190, 111-136.
- Jesus, A.P., Mateus, A., Munhá, J.M., Tassinari, C.C., dos Santos, T.M.B., and Benoit, M. (2016) Evidence for underplating in the genesis of the Variscan synorogenic Beja Layered Gabbroic Sequence (Portugal) and related mesocratic rocks. *Tectonophysics*, 683, 148-171.
- Jesus, A.P., Mateus, A., Waerenborgh, J.C., Figueiras, J., Alves, L.C., and Oliveira, V. (2003) Hypogene titanite, vanadate magnetite in reworked oxide cumulates in the Beja Layered Gabbro Complex, Odivelas, Southeastern Portugal. *The Canadian Mineralogist*, 41(5), 1105-1124.
- Mao, J.W., Pirajno, F., Zhang, Z.H., Chai, F.M., Wu, H., Chen, S.P., Cheng, L.S., Yang, J.M., and Zhang, C.Q. (2008) A review of the Cu-Ni sulphide deposits in the Chinese Tianshan and Altay orogens (Xinjiang Autonomous Region, NW China): principal characteristics and ore-forming processes. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32(2), 184-203.
- McCuaig, T.C., Beresford, S., and Hronsky, J. (2010) Translating the mineral systems approach into an effective exploration targeting system. *Ore Geology Reviews*, 38(3), 128-138.
- Piña, R. (2019) The Aguablanca Ni-Cu-(PGE) Sulfide Deposit. *The Ni-Cu-(PGE) Aguablanca Ore Deposit (SW Spain)*, p. 31-57. Springer.
- Python, M., Rospabé, M., Ceuleneer, G., Benoit, M., Duranton, E., and Breton, J.-P. (2020) The distinctive peridotite of Taww, Northern flank of Jabal Nakhl, Oman. *Lithos*, 376, 105758.

IDL 2023 - XXX

PhD em petrologia ígnea/geoquímica

Contaminação crustal e diversificação magmática numa intrusão ígnea bandada sin-orogénica: implicações para sistemas mineralizantes**Supervisão**

Ana Jesus (Instituto Dom Luiz), Mathieu Benoit (Géosciences Environment Toulouse- CNRS)

Sumário

A relevância do magmatismo máfico/ultramáfico sinorogénico na génese de depósitos magmáticos de óxidos e particularmente sulfuretos, tem aumentado com um elevado número de descobertas em todo o mundo (e.g. (Mao et al., 2008; Piña, 2019). A Sequência Bandada Gabroica de Beja (Beja Layered Gabbroic Sequence- LGS) intruiu o bordo sul da Zona de Ossa Morena (Portugal) durante a orogenia Varisca ca. 350 Ma. Pela sua dimensão (~262 km²) e natureza, o LGS é um caso de estudo excepcional na sua categoria bem como no orógeno Varisco. Investigação no compartimento oeste do LGS permitiu estabelecer constrangimentos significativos na sua evolução metalogenética bem como os sistemas mineralizantes de óxidos de Fe-Ti-V e sulfuretos de Ni-Cu-Co-PGE associados (Jesus et al., 2020; Jesus et al., 2014; Jesus et al., 2003). No entanto, a evolução magmática e potencial metalogenético da maioria desta vasta intrusão (ca. 70%) permanece por apurar, assim como as relações com o magmatismo mesocrático contemporâneo formado durante o evento HT-LP (Jesus et al., 2007). O SEMACRET é um projecto Horizon Europe (www.semacret.eu) que está a aplicar a teoria dos sistemas minerais (“Mineral Systems Approach” (McCuaig et al., 2010) a 5 casos de estudo incluindo o LGS para melhorar os modelos genéticos e de prospeção e pesquisa para depósitos ortomagmáticos. A aplicação deste método de exploração a sistemas ortomagmáticos é dificultado pela sobreposição de sinais geoquímicos provenientes de processos diferentes durante a formação de magma e mineralização associada, requerendo um conhecimento petrológico detalhado. Este projecto de PhD irá produzir mapeamento geoquímico em larga escala do compartimento Este do LGS com três objectivos principais:

- i) A mineralogia e grau de diferenciação das fácies gabroicas irá determinar a fertilidade dos magmas para a mineralização de sulfuretos e delimitação de domínios evoluídos (ferrogabros) favoráveis à mineralização de óxidos.
- ii) A distribuição espacial e temporal da contaminação crustal, combinado com outros métodos (ex: geofísica, abundância de cumulados, temperaturas de bloqueio de minerais HT anormalmente baixas) irá permitir a identificação de domínios com maior potencial para a segregação de precoce de líquidos sulfuretados. A idade e geoquímica das rochas encaixantes (mármore Pré-Câmbrios, anfibolitos Proterozoicos) irá constranger os modelos de contaminação crustal.
- iii) Apesar das ocorrências de sulfuretos no LGS e a geoquímica das olivinas sugerir que o estágio magmático principal foi desfavorável para a formação de sulfuretos (Barnes et al., 2023; Jesus et al., 2020), uma ocorrência de sulfuretos de maior teor poderá estar relacionada com o rejuvenescimento tardio do sistema. Foi sugerido que processos de *underplating* na crosta inferior geraram *Deep Crustal Hot Zones* através da hibridização com rochas da crosta média a inferior, conduzindo a diversificação magmática e múltiplas gerações de rochas evoluídas (Jesus et al., 2016). Esta hipótese será testada através do estudo da distribuição espacial e temporal dos vários pulsos de magmatismo mesocrático.

A integração no Projeto HEU SEMACRET permitirá interações com uma equipa de investigação multidisciplinar internacional. Permitirá ainda a formação especializada em análises de última geração com TIMS e ICP-MS, incluindo todos os procedimentos em ambiente “clean lab”. O aluno passará cerca de 3 meses por ano no GET com o co-supervisor, especialista em geoquímica isotópica e petrólogo ígneo, Dr. Mathieu Benoit, que acompanhará a

modelação e interpretação de dados (Benoit et al., 1996; Python et al., 2020). Esta aquisição de competências altamente diferenciadas representa uma vantagem competitiva e de empregabilidade para o aluno em laboratórios geoquímicos de referência, e uma transferência de conhecimento importante para Portugal.

Tarefas principais

Espera-se que o aluno acompanhe o trabalho de campo e amostragem em curso que será maioritariamente realizada por outros membros da equipa SEMACRET. As campanhas geofísicas (EM aerotransportada, IP terrestre) programadas para 2023 serão processadas por outros parceiros do consórcio, promovendo-se o intercâmbio científico uma vez que os dados geofísicos permitirão desvendar a arquitetura da intrusão e constranger modelos geoquímicos / petrológicos.

A preparação de amostras (laminas delgadas, geoquímica de rocha total e separação mineral para geocronologia U/Pb), petrografia (luz transmitida e refletida) e análise química mineral (Microsonda Eletrónica; JEOL JXA-8200 e espectrómetro EDS) serão realizadas no GeoFCUL/ IDL.

A análise de geoquímica de rocha total de elementos maiores será feita com o a fluorescência RX (PHILIPS PW-1480) no GeoFCUL/IDL e os elementos traço com o Thermo Scientific ICap ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) no GET. A datação Geocronológica com U/Pb incidirá principalmente em rochas encaixantes e fácies mesocráticas (laboratório sob consulta), enquanto a análise isotópica Nd-Sr de todo o espectro de rochas gabroicas será realizado com o Thermo Scientific TRITON + TIMS (Thermal Ionisation Mass Spectrometry) at GET.

References

- Barnes, S.J., Yao, Z.-S., Mao, Y.-J., Jesus, A.P., Yang, S., Taranovic, V., and Maier, W.D. (2023) Nickel in olivine as an exploration indicator for magmatic Ni-Cu sulfide deposits: A data review and re-evaluation. *American Mineralogist*, 108(1), 1-17.
- Benoit, M., Polvé, M., and Ceuleneer, G. (1996) Trace element and isotopic characterization of mafic cumulates in a fossil mantle diapir (Oman ophiolite). *Chemical Geology*, 134(1-3), 199-214.
- Jesus, A., Munhá, J., Mateus, A., Tassinari, C., and Nutman, A.P. (2007) The Beja layered gabbroic sequence (Ossa-Morena Zone, Southern Portugal): geochronology and geodynamic implications. *Geodinamica Acta*, 20(3), 139-157.
- Jesus, A.P., Mateus, A., Benoit, M., Tassinari, C.C.G., and dos Santos, T.B. (2020) The timing of sulfide segregation in a Variscan syn-orogenic gabbroic layered intrusion (Beja, Portugal): implications for Ni-Cu-PGE exploration in orogenic settings? *Ore Geology Reviews*, 103767.
- Jesus, A.P., Mateus, A., Munhá, J.M., and Tassinari, C. (2014) Internal architecture and Fe-Ti-V oxide ore genesis in a Variscan synorogenic layered mafic intrusion, the Beja Layered Gabbroic Sequence (Portugal). *Lithos*, 190, 111-136.
- Jesus, A.P., Mateus, A., Munhá, J.M., Tassinari, C.C., dos Santos, T.M.B., and Benoit, M. (2016) Evidence for underplating in the genesis of the Variscan synorogenic Beja Layered Gabbroic Sequence (Portugal) and related mesocratic rocks. *Tectonophysics*, 683, 148-171.
- Jesus, A.P., Mateus, A., Waerenborgh, J.C., Figueiras, J., Alves, L.C., and Oliveira, V. (2003) Hypogene titanite, vanadinite and magnetite in reworked oxide cumulates in the Beja Layered Gabbro Complex, Odivelas, Southeastern Portugal. *The Canadian Mineralogist*, 41(5), 1105-1124.
- Mao, J.W., Pirajno, F., Zhang, Z.H., Chai, F.M., Wu, H., Chen, S.P., Cheng, L.S., Yang, J.M., and Zhang, C.Q. (2008) A review of the Cu-Ni sulphide deposits in the Chinese Tianshan and Altay orogens (Xinjiang Autonomous Region, NW China): principal characteristics and ore-forming processes. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32(2), 184-203.
- McCuaig, T.C., Beresford, S., and Hronsky, J. (2010) Translating the mineral systems approach into an effective exploration targeting system. *Ore Geology Reviews*, 38(3), 128-138.
- Piña, R. (2019) The Aguablanca Ni-Cu-(PGE) Sulfide Deposit. *The Ni-Cu-(PGE) Aguablanca Ore Deposit (SW Spain)*, p. 31-57. Springer.
- Python, M., Rospabé, M., Ceuleneer, G., Benoit, M., Duranton, E., and Breton, J.-P. (2020) The distinctive peridotite of Taww, Northern flank of Jabal Nakhl, Oman. *Lithos*, 376, 105758.



IDL 2023 - XXX

PhD in Geophysics and Geoinformation Sciences

Rainy season variability over Southwest Africa and its associated drivers

Supervision

Daniela Lima (IDL-FCUL), Alexandre Ramos (Karlsruhe Institute of Technology), Andreas Fink (Karlsruhe Institute of Technology)

Part of the proposed work will be done at Karlsruhe Institute of Technology.

Summary

Most of sub-Saharan countries are profoundly dependent on agriculture, as it serves as a major economic and food-source for populations that usually suffer from diseases and malnutrition [1,2]. Thus, the role played by the rainy season across these parts of Africa is extremely important for such rain-fed agriculture [3,4]. Southwest African countries are salient examples regarding this problem, as climate-change scenarios project widespread warming and reduced total surface freshwater availability in southwest Africa [5,6,7]. The region is characterized by arid to semi-arid climates [8], with most of the rainfalls occurring from October to March [9]. Rainfall gradients are large, varying from very little annual rainfalls near the coast, to copious precipitations over the continental plateaus [9]. Thus, delayed onset, early withdrawal or multi-day breaks in the rainy season can result in agricultural losses with severe socioeconomic consequences [2,3], as these regions suffer from limited economic and governmental capability to deal with climate-change-related events [5,10,11,12]. Over southern Africa, during the rainy season, regional-scale features such as Limpopo or Zambezi low-level jets (LLJs) are responsible for advecting thousands of tons of water vapor from Indian Ocean towards the interior plateaus of southern Africa [13]. At the synoptic-scale, the Angola Low (AL) and the Mozambique Channel Trough (MCT) represents a part of a band of tropical low-pressure systems converting the advected humidity in rainfall over central-western Southern Africa [14]. Both AL, MCT and the LLJs are responsible for precipitation variability over the region. This effect is captured in models, depending on their resolutions [13,14]. Thus, it is of greatest importance to understand the role played by such features over SW Africa, on the inter and intra-seasonal timescale. It is of our interest to identify inter and intra-seasonal rainfall patterns during these periods by inspecting the existence of rainy season delays or interruptions within the season. [15] developed methodologies to identify the beginning and the end of the rainy seasons over East Africa, where inter and intra-seasonality is largely influenced by regional features, such as LLJs, local low-tropospheric easterly winds or large-scale features, such as the Madden-Julien Oscillation [16,17,18].

The most important point of this PhD proposal is to investigate, in detail, the evolution (from the past to the future) of the rainy season inter and intra-seasonal variability across SW African region, as well as its main drivers. Thus, this proposal consists of 3 main objectives:

1) Understand inter and intra-seasonality of rainy-season rainfalls over south-west Africa. This topic aims to analyse inter and intra-seasonality changes in precipitation during the rainy season over south-west Africa, in countries like Angola, Namibia and Botswana. We intend to document and improve the understanding of delayed onsets, early withdrawals and breaks, by using global reanalysis products (e.g.: ERA5, MERRA2, JRA55...) and ground-based data (e.g.: from local weather stations or satellite products) for recent decades;

2) Quantify possible drivers of rainfall variability. Here, we propose to associate inter and intra-seasonal rainy season variability with (a) large-scale features, such as tropical-extratropical interactions, El-Niño Southern Oscillation (ENSO), Subtropical Indian Ocean Dipole (SIOD), tropical waves like Madden–Julian oscillation and equatorial Rossby waves; (b) synoptic features (e.g.: tropical lows – AL, MCT...) and (c) regional-scale systems and fluxes occurring over the region (e.g.: low-level jets, mesoscale convection...), by modelling it using global reanalysis and models, as well as ground-based data. Idealised simulations are expected to be performed to link rainfall variability with such possible drivers;

3) Comprehend the way global warming is affecting rainfall variability across the region. This last objective targets inter and intra-seasonal rainy season variability modelling, according to future climate projections using brand-new CMIP6-forced WRF simulations for CORDEX Africa’s domain. With this analysis, we expect to understand if rainfall patterns and behaviours, between seasons and throughout each season, are changing.

References

- [1] Sarr, B., 2012. Present and future climate change in the semi-arid region of West Africa: A crucial input for practical adaptation in agriculture. *Atmospheric Science Letters*: 13, 2, 108–112. <https://doi.org/10.1002/asl.368>
- [2] Wheeler, T., & von Braun, J., 2013. Climate Change Impacts on Global Food Security. *Science*: 341, 6145, 508–513. <https://doi.org/10.1126/science.1239402>
- [3] Mortimore MJ, Adams WM, 2001. Farmer adaptation, change and ‘crisis’ in the Sahel. *Glob Environ Change*: 11, 49–57. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(00\)00044-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(00)00044-3)
- [4] Thomas, D.S.G., Twyman, C., Osbahr, H. et al., 2007. Adaptation to climate change and variability: farmer responses to intra-seasonal precipitation trends in South Africa. *Climatic Change*: 83, 301–322. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9205-4>
- [5] Carvalho, S.C.P., Santos, F.D. and Pulquério, M., 2017. Climate change scenarios for Angola: an analysis of precipitation and temperature projections using four RCMs. *Int. J. Climatol.*: 37, 3398–3412. <https://doi.org/10.1002/joc.4925>
- [6] IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.
- [7] Müller, C., Waha, K., Bondeau, A. and Heinke, J., 2014. Hotspots of climate change impacts in sub-Saharan Africa and implications for adaptation and development. *Glob Change Biol*: 20, 2505–2517. <https://doi.org/10.1111/gcb.12586>
- [8] Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*: 11, 5, 1633–1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- [9] Huntley, B. J., Russo, V., Lages, F., & Ferrand, N., 2019. Biodiversity of Angola (Springer, Vol. 1). Springer Nature Switzerland AG.
- [10] Branca, G., Lipper, L., McCarthy, N., & Jolejole, M. C., 2013. Food security, climate change, and sustainable land management. A review. In *Agronomy for Sustainable Development*: 33, 4, 635–650. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0133-1>
- [11] Lourenco, M., Woodborne, S. & Fitchett, J.M, 2023. Drought history and vegetation response in the Angolan Highlands. *Theor Appl Climatol* 151, 115–131. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04281-4>
- [12] Sultan, B., & Gaetani, M., 2016. Agriculture in West Africa in the twenty-first century: Climate change and impacts scenarios, and potential for adaptation. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 7, Issue AUG2016). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01262>
- [13] Munday, C., Washington, R., & Hart, N., 2021. African low-level jets and their importance for water vapor transport and rainfall. *Geophysical Research Letter*: 48, e2020GL090999. <https://doi.org/10.1029/2020GL090999>
- [14] Munday, C., and Washington, R., 2017. Circulation controls on southern African precipitation in coupled models: The role of the Angola Low, *J. Geophys. Res. Atmos*: 122, 861– 877. doi:10.1002/2016JD025736.
- [15] Seregina, LS, Fink, AH, van der Linden, R, Elagib, NA, Pinto, JG, 2019. A new and flexible rainy season definition: Validation for the Greater Horn of Africa and application to rainfall trends. *Int J Climatol*: 39, 989– 1012. <https://doi.org/10.1002/joc.5856>
- [16] King, J. A., Engelstaedter, S., Washington, R., & Munday, C., 2021. Variability of the Turkana low-level jet in reanalysis and models: Implications for rainfall. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126, 10. <https://doi.org/10.1029/2020jd034154>
- [17] Ochieng, P.O., Nyandega, I., Wambua, B. et al., 2023. Linkages between Madden–Julian oscillation and drought events over Kenya. *Meteorol Atmos Phys*: 135, 9. <https://doi.org/10.1007/s00703-022-00948-9>
- [18] Pohl B, Camberlin P, 2006. Influence of the Madden-Julian oscillation on East African rainfall. I: intraseasonal variability and regional dependency. *Q J R Meteorol Soc*: 132, 621, 2521–2539. <https://doi.org/10.1256/qj.05.104>



IDL 2023 - XXX

PhD em Ciências Geofísicas e da Geoinformação

Variabilidade da estação das chuvas no sudoeste Africano e os seus factores associados

Supervisão

Daniela Lima (IDL-FCUL), Alexandre Ramos (Karlsruhe Institute of Technology), Andreas Fink (Karlsruhe Institute of Technology)

Parte do trabalho proposto será realizado no Instituto de Tecnologia de Karlsruhe.

Sumário

A maioria dos países subsaarianos são profundamente dependentes da agricultura, pois esta serve como uma importante fonte económica e alimentar para as populações, que geralmente sofrem de doenças e desnutrição [1,2]. Deste modo, o papel desempenhado pela estação chuvosa nestas regiões de África é extremamente importante para a agricultura de sequeiro [3,4]. Os países do sudoeste africano são exemplos salientes em relação a esse problema, pois os cenários de alteração climática projetam um aquecimento generalizado e uma redução da disponibilidade total de água doce na superfície no sudoeste de África [5,6,7]. A região é caracterizada por um clima árido a semiárido [8], com a maioria da precipitação a ocorrer entre outubro e março [9]. Os gradientes de precipitação são grandes, variando de muito pouca precipitação anual perto da costa, a grandes quantidades sobre os planaltos continentais [9]. Assim, o início tardio, a retirada precoce ou interrupções de vários dias na estação chuvosa podem resultar em perdas agrícolas com graves consequências socioeconómicas [2,3], pois estas regiões sofrem de capacidade económica e governamental limitada para lidar com eventos relacionados às alterações climáticas [5,10,11,12]. Sobre a África Austral, durante a estação chuvosa, fenómenos regionais como os jatos de baixo-nível (LLJs) do Limpopo ou do Zambeze são responsáveis pela advecção de milhares de toneladas de vapor de água do Oceano Índico para os planaltos interiores da África Austral [13]. À escala sinóptica, a Baixa de Angola (AL) e o Sistema Ciclónico do Canal de Moçambique (MCT) representam uma parte de uma banda de sistemas tropicais de baixa pressão convertendo a humidade advectada em chuvas no centro-oeste da África Austral [14]. Tanto a AL e o MCT, quanto os LLJs, são responsáveis pela variabilidade da precipitação na região. Este efeito é captado nos modelos, dependendo das suas resoluções [13,14]. Assim, é da maior importância compreender o papel desempenhado por tais fenómenos no SW de África, à escala temporal inter- e intra-sazonal. É do nosso interesse identificar padrões de precipitação inter- e intra-sazonais durante estes períodos, analisando a existência de atrasos ou interrupções da estação chuvosa. [15] desenvolveram metodologias para identificar o início e o fim das estações chuvosas na África Oriental, onde a inter- e intra-sazonalidade é amplamente influenciada por características regionais, como os LLJs, ventos de leste locais na baixa troposfera ou estruturas de larga-escala, como a Oscilação Madden-Julien [16,17,18].

O principal objectivo desta proposta de doutoramento é investigar, em detalhe, a evolução (do passado para o futuro) da variabilidade inter- e intra-sazonal da estação chuvosa ao longo da região SW Africana, bem como os seus principais impulsionadores. Deste modo, esta proposta divide-se em 3 pontos fulcrais:

1) Compreender a inter- e intra-sazonalidade das chuvas da estação chuvosa no sudoeste da África. Este tópico visa analisar as mudanças inter- e intra-sazonais na precipitação durante a estação chuvosa no sudoeste da África, em países como Angola, Namíbia e Botswana. Pretendemos documentar e melhorar a compreensão de inícios tardios, retiradas antecipadas e quebras, usando produtos de reanálise global (por exemplo: ERA5, MERRA2, JRA55...) e dados terrestres (por exemplo: de estações meteorológicas locais ou produtos de satélite) para recentes décadas;

2) Quantificar os possíveis impulsionadores da variabilidade das chuvas. Aqui, propomos associar a variabilidade da estação chuvosa inter- e intra-sazonal com (a) características de larga escala, como interações tropicais-extratropicais, El-Niño Southern Oscillation (ENSO), Dipolo Subtropical do Oceano Índico (SIOD), ondas tropicais como a oscilação Madden-Julian e ondas equatoriais de Rossby; (b) estruturas sinópticas (e.g.: baixas tropicais - AL, MCT...) e (c) sistemas de escala regional e fluxos que ocorrem na região (e.g.: jatos de baixo nível, convecção de mesoescala...), modelando-os usando reanálises e modelos globais, bem como dados baseados no solo. Espera-se que as simulações idealizadas sejam realizadas para vincular a variabilidade da precipitação com esses possíveis condutores;

3) Compreender como o aquecimento global está a afetar a variabilidade das chuvas na região. Este último ponto visa modelar a variabilidade da estação chuvosa inter- e intra-sazonal, de acordo com as projeções climáticas futuras usando as novas simulações WRF forçadas pelo CMIP6 para o domínio da CORDEX África. Com esta análise, esperamos perceber se os padrões e comportamentos das chuvas, entre estações e ao longo de cada estação, estão a mudar.

Referências

- [1] Sarr, B., 2012. Present and future climate change in the semi-arid region of West Africa: A crucial input for practical adaptation in agriculture. *Atmospheric Science Letters*: 13, 2, 108–112. <https://doi.org/10.1002/asl.368>
- [2] Wheeler, T., & von Braun, J., 2013. Climate Change Impacts on Global Food Security. *Science*: 341, 6145, 508–513. <https://doi.org/10.1126/science.1239402>
- [3] Mortimore MJ, Adams WM, 2001. Farmer adaptation, change and ‘crisis’ in the Sahel. *Glob Environ Change*: 11, 49–57. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(00\)00044-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(00)00044-3)
- [4] Thomas, D.S.G., Twyman, C., Osbahr, H. et al., 2007. Adaptation to climate change and variability: farmer responses to intra-seasonal precipitation trends in South Africa. *Climatic Change*: 83, 301–322. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9205-4>
- [5] Carvalho, S.C.P., Santos, F.D. and Pulquério, M., 2017. Climate change scenarios for Angola: an analysis of precipitation and temperature projections using four RCMs. *Int. J. Climatol.*: 37, 3398–3412. <https://doi.org/10.1002/joc.4925>
- [6] IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.
- [7] Müller, C., Waha, K., Bondeau, A. and Heinke, J., 2014. Hotspots of climate change impacts in sub-Saharan Africa and implications for adaptation and development. *Glob Change Biol*: 20, 2505–2517. <https://doi.org/10.1111/gcb.12586>
- [8] Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*: 11, 5, 1633–1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- [9] Huntley, B. J., Russo, V., Lages, F., & Ferrand, N., 2019. *Biodiversity of Angola* (Springer, Vol. 1). Springer Nature Switzerland AG.
- [10] Branca, G., Lipper, L., McCarthy, N., & Jolejole, M. C., 2013. Food security, climate change, and sustainable land management. A review. In *Agronomy for Sustainable Development*: 33, 4, 635–650. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0133-1>
- [11] Lourenco, M., Woodborne, S. & Fitchett, J.M., 2023. Drought history and vegetation response in the Angolan Highlands. *Theor Appl Climatol* 151, 115–131. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04281-4>
- [12] Sultan, B., & Gaetani, M., 2016. Agriculture in West Africa in the twenty-first century: Climate change and impacts scenarios, and potential for adaptation. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 7, Issue AUG2016). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01262>
- [13] Munday, C., Washington, R., & Hart, N., 2021. African low-level jets and their importance for water vapor transport and rainfall. *Geophysical Research Letter*: 48, e2020GL090999. <https://doi.org/10.1029/2020GL090999>
- [14] Munday, C., and Washington, R., 2017. Circulation controls on southern African precipitation in coupled models: The role of the Angola Low. *J. Geophys. Res. Atmos*: 122, 861– 877. doi:10.1002/2016JD025736.
- [15] Seregina, LS, Fink, AH, van der Linden, R, Elagib, NA, Pinto, JG, 2019. A new and flexible rainy season definition: Validation for the Greater Horn of Africa and application to rainfall trends. *Int J Climatol*: 39, 989– 1012. <https://doi.org/10.1002/joc.5856>
- [16] King, J. A., Engelstaedter, S., Washington, R., & Munday, C., 2021. Variability of the Turkana low-level jet in reanalysis and models: Implications for rainfall. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126, 10. <https://doi.org/10.1029/2020jd034154>
- [17] Ochieng, P.O., Nyandega, I., Wambua, B. et al., 2023. Linkages between Madden-Julian oscillation and drought events over Kenya. *Meteorol Atmos Phys*: 135, 9. <https://doi.org/10.1007/s00703-022-00948-9>
- [18] Pohl B, Camberlin P, 2006. Influence of the Madden-Julian oscillation on East African rainfall. I: intraseasonal variability and regional dependency. *Q J R Meteorol Soc*: 132, 621, 2521–2539. <https://doi.org/10.1256/qj.05.104>

IDL 2023 - XXX

PhD in Geology (Geodynamics)

3D numerical geodynamic modelling of continental collision

Supervision

Filipe M. Rosas (IDL, FCUL, University of Lisbon), Nicolas Riel (Institute of Geosciences, Johannes Gutenberg-University, Mainz, Germany) and Jaime Almeida (IDL, Universidade da Beira Interior – UBI)

Summary

Despite a number of classical contributions (e.g., [Tapponier et al., 1982](#)) and some recent modelling approaches (e.g., [Toussaint et al., 2004](#); [Copley and McKenzie, 2007](#); [Burov et al., 2008](#); [Faccenda and Gerya, 2009](#); [Li and Gerya, 2009](#); [Li et al., 2010, 2011, 2013](#); [Duretz et al., 2012](#); [Gray and Pysklywec, 2012](#); [Schellart et al., 2019](#); [Sizova et al., 2012](#)), the fundamental processes of orogenic continental collision are still not fully understood. Namely, a 3D comprehensive understanding of the driving forces at the scale of the whole mantle is still lacking.

As such, in the present PhD proposal the candidate will engage on conceiving and carrying out state-of-the-art 3D numerical geodynamic models of continental collision. The modelling strategy will focus on unravelling the main geodynamic conditions that govern continental collision, sustained continental subduction and mountain building, both in general, as well as taking the Himalayan case as a benchmark comparative example. Comparison with Andean type orogens, and implications for the understating of continental Caledonian and Variscan orogenic systems, will also be further explored.

All models will be carried out using the state-of-the-art LaMEM code ([Kaus et al., 2016](#), <https://bitbucket.org/bkaus/lamem>), which allows for unmatched computational efficiency in modelling 3D geodynamic settings (e.g., [Almeida et al, 2022a,b](#); [Riel et al., 2023](#)) while taking into account complex visco-elasto-plastic rheologies, the effects of phase change and the development of topography. Three main breakthrough approaches will thus be attempted concerning the geodynamic numerical modelling of orogenic continental collision:

- A long term 3D numerical modelling approach, enabling a full understanding of the main governing geodynamic constraints, mainly the full scope of the feed-back effect imposed by whole (upper and lower) mantle flow on the main driving forces during both oceanic and continental subduction evolutionary stages.
- Including the lower mantle in all simulations, allowing for realistic phase changes at the 660 km upper-lower mantle boundary, and for the consideration of its geodynamic implications in continental collision and mountain building.
- The use of sophisticated, thermal and strain-rate dependent, rheologies in all models, including the role of phase changes. As a mixed international grant proposal, this will allow the candidate to benefit from training with the top world class team of geodynamic modellers at Mainz Johannes Gutenberg-University, under the co-supervision of Dr. Nicolas Riel and with access to both the IDL cluster and the top-notch Mainz cluster to run the models.

References

Almeida, J.; Riel, N., Rosas, F. M.; Duarte, J.; Kaus, B. 2022a. Self-replicating subduction zone initiation by polarity reversal. *Communications Earth & Environment*, 3(55). <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00380-2>.



- J. Almeida; N. Riel; F. M. Rosas; J. C. Duarte; W. P. Schellart (2022b). Polarity-reversal subduction zone initiation triggered by buoyant plateau obstruction. *Earth and Planetary Science Letters*. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.117195>
- Burov E, Yamato P. 2008. Continental plate collision, P-T-t-z conditions and unstable vs. stable plate dynamics: Insights from thermomechanical modelling. *Lithos*, 103: 178–204.
- Copley A, McKenzie D. Models of crustal flow in the India-Asia collision zone. *Geophysical Journal International*. 2007 May 1;169(2):683-98, doi: 10.1111/j.1365-246X.2007.03343.x
- Duretz T, Gerya T V, Kaus B, et al. 2012. Thermomechanical modeling of slab eduction. *J Geophys Res*, 117: B08411
- Li Z H, Gerya T V. 2009. Polyphase formation and exhumation of high- to ultrahigh-pressure rocks in continental subduction zone: Numerical modeling and application to the Sulu UHP terrane in eastern China. *Geophys Res*, 114: B09406.
- Li Z H, Gerya T V, Burg J P. 2010. Influence of tectonic overpressure on P-T paths of HP-UHP rocks in continental collision zones: Thermomechanical modeling. *J Metamorph Geo*, 28: 227–247.
- Faccenda M, Minelli, G, Gerya T. V. 2009. Coupled and decoupled regimes of continental collision: Numerical modelling. *EPSL*. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.12.021>
- Gray R, Pysklywec R N. 2012. Geodynamic models of mature continental collision: Evolution of an orogen from lithospheric subduction to continental retreat/delamination. *JGR – Solid Earth* <https://doi.org/10.1029/2011JB008692>
- Kaus, B. J. P. et al. Forward and inverse modelling of lithospheric deformation on geological timescales. *NIC Ser.* 48, 978–3 (2016).
- Li Z H, Xu Z Q, Gerya T V. 2011. Flat versus steep subduction: Contrasting modes for the formation and exhumation of high- to ultrahigh-pressure rocks in continental collision zones. *Earth Planet Sci Lett*, 301: 65–77.
- Li Z H, Xu Z Q, Gerya T V, et al. 2013. Collision of continental corner from 3-D numerical modeling. *Earth Planet Sci Lett*, 380: 98 - 111.
- Riel, N.; Duarte, J.C.; Almeida, J.; Kaus, B.J.P.; Rosas, F.; Rojas-Agramonte, Y. and Popov, A. (2023). Subduction initiation triggered the Caribbean large igneous province. *Nature Communications*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36419-x>
- Toussaint G, Burov E, Avouac J P. 2004. Tectonic evolution of a continental collision zone: A thermomechanical numerical model. *Tectonics*, 23: TC6003.
- Schellart, W.P., Chen, Z., Strak, V., Duarte, J.C., Rosas, F.M. 2019. Pacific subduction control on Asian continental deformation including Tibetan extension and eastward extrusion tectonics. *Nature Communications*. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12337-9>
- Sizova E, Gerya T, Brown M. 2012. Exhumation mechanisms of meltbearing ultrahigh pressure crustal rocks during collision of spontaneously moving plates. *J Metamorph Geo*, 30: 927–955.
- Tapponnier P, Peltzer GL, Le Dain AY, Armijo R, Cobbold P. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine. *Geology*. 1982 Dec 1;10(12):611-6, doi: 10.1130/0091-7613(1982)10%3C611:PETIAN%3E2.0.CO;2

IDL 2023 - XXX

Doutoramento em Geologia (Geodinâmica)

Modelação numérica geodinâmica (3D) de colisão continental

Orientação

Filipe M. Rosas (IDL, FCUL, Universidade de Lisboa), Nicolas Riel (Instituto de Geociências, Johannes Gutenberg-University, Mainz, Alemanha) e Jaime Almeida (IDL, Universidade da Beira Interior - UBI)

Resumo

Apesar de uma série de contribuições clássicas (por exemplo, [Tapponier et al., 1982](#)) e algumas abordagens de modelação recentes (por exemplo, [Toussaint et al., 2004](#); [Copley e McKenzie, 2007](#); [Burov et al., 2008](#); [Faccenda e Gerya, 2009](#); [Li e Gerya, 2009](#); [Li et al, 2010, 2011, 2013](#); [Duretz et al., 2012](#); [Gray e Pysklywec, 2012](#); [Schellart et al., 2019](#); [Sizova et al., 2012](#)), os processos fundamentais da colisão continental orogénica ainda não são totalmente compreendidos. Nomeadamente, continua a faltar uma compreensão abrangente (a 3D) das forças que tornam este processo viável à escala de todo o manto.

Na presente proposta de doutoramento o candidato empenhar-se-á na concepção e realização de modelos geodinâmicos numéricos de colisão continental (modelos numéricos de última geração a 3D). A estratégia de modelação centrar-se-á em desvendar as principais condições geodinâmicas que governam a colisão continental, que sustentam a ocorrência de subducção continental e a formação de cadeias de montanha, quer em geral, quer no caso dos Himalaias que serão tomados como exemplo comparativo de referência. A comparação com orógenos do tipo Andino e as implicações para a compreensão dos sistemas orogénicos continentais Caledónico e Varisco serão igualmente exploradas.

Todos os modelos serão realizados utilizando o código LaMEM de última geração ([Kaus et al., 2016](#), <https://bitbucket.org/bkaus/lamem>), que permite uma eficiência computacional incomparável na modelação de objectos tectónicos-geodinâmicos a 3D (por exemplo, [Almeida et al, 2022a,b](#); [Riel et al., 2023](#);), possibilitando a incorporação de reologias visco-elasto-plásticas complexas, efeitos da mudança de fase e o desenvolvimento de topografia. Assim, serão tentadas três abordagens inovadoras principais relativamente à modelação numérica geodinâmica da colisão continental orogénica:

- Uma modelação numérica 3D de longo prazo, que permita uma compreensão completa dos principais estrangimentos geodinâmicos em causa, facultando uma compreensão abrangente do retro-efeito geodinâmico decorrente dos fluxos mantélicos na sua totalidade (i.e., considerando manto superior e inferior), bem como das principais forças motrizes durante as fases evolutivas de subducção oceânica e continental.
- A inclusão de manto inferior em todos os modelos, permitindo uma simulação realista das mudanças de fase na fronteira dos 660 km de profundidade, entre o manto superior e o inferior, e a consideração das suas implicações geodinâmicas na colisão continental e na formação de cadeias de montanha.
- A utilização de reologias sofisticadas, dependentes da temperatura e do “strain rate” em todos os modelos, incluindo a consideração do papel das mudanças de fase. Sendo esta uma proposta de bolsa internacional mista, permitirá ao candidato beneficiar de formação avançada de qualidade excepcional com a equipa de modeladores geodinâmicos da Universidade Johannes Gutenberg de Mainz, sob a co-supervisão do Dr.

Nicolas Riel e com acesso tanto ao cluster IDL como ao cluster da Universidade de Mainz para execução dos modelos numéricos.

Referências bibliográficas

- Almeida, J.; Riel, N., Rosas, F. M.; Duarte, J.; Kaus, B. 2022a. Self-replicating subduction zone initiation by polarity reversal. *Communications Earth & Environment*, 3(55). <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00380-2>.
- J. Almeida; N. Riel; F. M. Rosas; J. C. Duarte; W. P. Schellart (2022b). Polarity-reversal subduction zone initiation triggered by buoyant plateau obstruction. *Earth and Planetary Science Letters*. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.117195>
- Burov E, Yamato P. 2008. Continental plate collision, P-T-t-z conditions and unstable vs. stable plate dynamics: Insights from thermomechanical modelling. *Lithos*, 103: 178–204.
- Copley A, McKenzie D. Models of crustal flow in the India-Asia collision zone. *Geophysical Journal International*. 2007 May 1;169(2):683–98, doi: 10.1111/j.1365-246X.2007.03343.x
- Duretz T, Gerya T V, Kaus B, et al. 2012. Thermomechanical modeling of slab eduction. *J Geophys Res*, 117: B08411
- Li Z H, Gerya T V. 2009. Polyphase formation and exhumation of high- to ultrahigh-pressure rocks in continental subduction zone: Numerical modeling and application to the Sulu UHP terrane in eastern China. *Geophys Res*, 114: B09406.
- Li Z H, Gerya T V, Burg J P. 2010. Influence of tectonic overpressure on P-T paths of HP-UHP rocks in continental collision zones: Thermomechanical modeling. *J Metamorph Geo*, 28: 227–247.
- Faccenda M, Minelli, G, Gerya T. V. 2009. Coupled and decoupled regimes of continental collision: Numerical modelling. *EPSL*. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.12.021>
- Gray R, Pysklywec R N. 2012. Geodynamic models of mature continental collision: Evolution of an orogen from lithospheric subduction to continental retreat/delamination. *JGR – Solid Earth* <https://doi.org/10.1029/2011JB008692>
- Kaus, B. J. P. et al. Forward and inverse modelling of lithospheric deformation on geological timescales. *NIC Ser.* 48, 978–3 (2016).
- Li Z H, Xu Z Q, Gerya T V. 2011. Flat versus steep subduction: Contrasting modes for the formation and exhumation of high- to ultrahigh-pressure rocks in continental collision zones. *Earth Planet Sci Lett*, 301: 65–77.
- Li Z H, Xu Z Q, Gerya T V, et al. 2013. Collision of continental corner from 3-D numerical modeling. *Earth Planet Sci Lett*, 380: 98 – 111.
- Riel, N.; Duarte, J.C.; Almeida, J.; Kaus, B.J.P.; Rosas, F.; Rojas-Agramonte, Y. and Popov, A. (2023). Subduction initiation triggered the Caribbean large igneous province. *Nature Communications*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36419-x>
- Toussaint G, Burov E, Avouac J P. 2004. Tectonic evolution of a continental collision zone: A thermomechanical numerical model. *Tectonics*, 23: TC6003.
- Schellart, W.P., Chen, Z., Strak, V., Duarte, J.C., Rosas, F.M. 2019. Pacific subduction control on Asian continental deformation including Tibetan extension and eastward extrusion tectonics. *Nature Communications*. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12337-9>
- Sizova E, Gerya T, Brown M. 2012. Exhumation mechanisms of meltbearing ultrahigh pressure crustal rocks during collision of spontaneously moving plates. *J Metamorph Geo*, 30: 927–955.
- Tapponnier P, Peltzer GL, Le Dain AY, Armijo R, Cobbold P. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine. *Geology*. 1982 Dec 1;10(12):611–6, doi: 10.1130/0091-7613(1982)10%3C611:PETIAN%3E2.0.CO;2



INSTITUTO
DOM LUIZ



Ciências
ULisboa

Faculdade
de Ciências
da Universidade
de Lisboa



Fundação
para a Ciência
e a Tecnologia

IDL 2023 - XXX

PhD in Geophysics and Geoinformation Sciences

Lithospheric characterisation of the Iberian Pyrite Belt in Portuguese terrain through Magnetotelluric data.

Supervision

Advisor: Dr. Francisco José Martínez Moreno (Complutense University of Madrid)

Co-Advisor: Dr. Luís Manuel Henriques Marques Matias (IDL-FCUL)

Dr. Lourdes González Castillo (University of Granada-UGR, Spain)

Summary

The Iberian Pyrite Belt (IPB), located in the southern Portuguese zone of the Iberian Massif, is one of the best exposed sections of the Variscan orogenic belt in western Europe. The IPB forms an arc-shaped belt ~250 km long and ~60 km wide, consisting of several series of tectonically controlled asymmetric basins that reflect the progression of heterogeneous continental thinning, triggered by left-lateral transpressional convergence with the Iberian Terrane. The IPB Volcanic Sedimentary Complex (VSC) hosts one of the largest concentrations of massive sulphide deposits on a global scale including world known massive deposits such as Rio Tinto (Spain) and Neves-Corvo (Portugal). There are several hypotheses about the origin of massive sulphides in the IPB, but many aspects remain poorly understood, especially those related to deep lithospheric structure and the real extension of the IPB. Interest in the search for minerals deposits has led to many geophysical surveys being carried out in the area over the years. However, most of them are limited to the first hundred metres in local areas or have low spatial resolution, therefore not allowing a complete and global image of the IBP extension. The complete characterisation of the IPB is essential to decipher the geometry at depth of many tectonic structures that control the spatial distribution of many massive sulphide ore systems.

Objectives

The PhD thesis focuses on 3D resistivity/conductivity modelling of the IPB using the Magnetotelluric method (MT) from the first hundred meters to a depth of 50 km (Simpson and Bahr, 2005). The MT method measures simultaneously the natural magnetic and electric fields in orthogonal directions through the time variations of the magnetic field. The oscillating magnetic fields induce oscillating electric fields in the conducting earth, and both can be measured at the earth's surface in a wide frequency range. After the processing and inversion of the data, the resistivity distribution at depth is obtained. The massive sulphide ores have a high resistivity contrast compared to the host rocks, allowing us to identify and characterize them. The 3D model will be supported by other geophysical methods to constrain the forward modelling such as gravity and seismic data. The software FFMT will be used for the data processing. FFMT was developed at the University of Frankfurt Main (Castro et al., 2020) and it is established at the University of Granada, under the supervision of González-Castillo.

The model is based on processing previous and acquisition of new MT data. Data acquisition will be carried out with the equipment from the Instituto Dom Luiz (IDL-FCUL, ADU-07) and data processing will be performed at the University of Granada and Complutense University of Madrid. This PhD project involves research stays at both Universities. Model description and analysis will be based on the MT model and previous geological theories.

This PhD is supported by the FCT project PyBe-Iberian Pyrite Belt lithospheric characterization with Magnetotelluric (EXPL/CTA-GEF/0183/2021).



INSTITUTO
DOM LUIZ



Ciências
ULisboa

Faculdade
de Ciências
da Universidade
de Lisboa

FCT Fundação
para a Ciência
e a Tecnologia

References

Simpson, F., & Bahr, K. (2005). Practical magnetotellurics. Cambridge University Press.

Castro, C. D., Hering, P., & Junge, A. (2020, December). FFMT: A MATLAB-based Toolbox for Magnetotellurics (MT). In AGU Fall Meeting Abstracts (Vol. 2020, pp. IN037-09).



IDL 2023 - XXX

PhD em Geofísica e Ciências da Geoinformação

Caracterização da Litosfera da Faixa Piritosa Ibérica no terreno Português através de dados de Magnetotelúrica.

Supervisão

Orientador: Dr. Francisco José Martínez Moreno (Complutense University of Madrid)

Co-Orientador: Dr. Luís Manuel Henriques Marques Matias (IDL-FCUL)

Dr. Lourdes González Castillo (University of Granada-UGR, Spain)

Sumário

A Faixa Piritosa Ibérica (FPI), localizada na Zona Sul Portuguesa do Maciço Ibérico, é uma das seções mais bem expostas da faixa orogénica Varisca na Europa Ocidental. A IPB forma uma cintura em forma de arco com ~250 km de comprimento e ~60 km de largura, composta por várias séries de bacias assimétricas controladas tectonicamente que refletem a progressão do afinamento continental heterogêneo, desencadeado pela convergência transpressional lateral-esquerda com o Terreno Ibérico. O Complexo Sedimentar Vulcânico (VSC) da FPI alberga uma das maiores concentrações de depósitos maciços de sulfuretos à escala global, incluindo depósitos maciços mundialmente conhecidos como Rio Tinto (Espanha) e Neves-Corvo (Portugal). Existem várias hipóteses sobre a origem dos maciços de sulfuretos na FPI, contudo, muitos aspectos permanecem pouco compreendidos, principalmente relacionados com estrutura litosférica profunda e a real extensão da FPI. O interesse na busca de depósitos minerais, levou a que muitos levantamentos geofísicos fossem realizados na área ao longo dos anos. No entanto, a maioria destes estudos estão limitados às primeiras centenas metros em áreas locais ou tem baixa resolução espacial, não permitindo uma imagem completa e global da extensão da FPI. A caracterização completa da FPI é essencial para decifrar a geometria em profundidade de muitas estruturas tectónicas que controlam a distribuição espacial de muitos sistemas maciços de sulfuretos.

Objectivos

A Tese de PhD foca-se na elaboração de um modelo 3D de resistividades/conductividades da Faixa Piritosa Ibérica através do método de Magnetotellúrica (MT), a partir das primeiras centenas de metros até uma profundidade de 50 km (Simpson and Bahr, 2005). O método MT mede simultaneamente os campos naturais eléctrico e magnético em direcções ortogonais através de variações no tempo do campo magnético. A oscilação do campo magnético induz oscilações no campo eléctrico em zonas condutoras, e podem ambos ser medidos á superfície da terra numa ampla faixa de frequências. Após o processamento e inversão dos dados, obtém-se a distribuição das resistividades em profundidade. Os maciços de sulfuretos apresentam um alto contraste de resistividades comparados com a rocha envolvente, permitindo identificá-los e caracterizá-los. O modelo 3D será suportado por outros dados geofísicos para constrangimento do modelo directo, como dados gravimétricos e dados sísmicos. O software FMTM será usado para o processamento de dados. O FMTM foi desenvolvido na Universidade de Frankfurt Main (Castro et al., 2020) e está em utilização na Universidade de Granada, sobre a supervisão de González-Castillo.

O modelo é baseado no processamento de dados anteriores e aquisição de novos dados MT. A aquisição de dados será realizada com o equipamento do Instituto Dom Luiz (IDL-FCUL, ADU-07) e o tratamento de dados será realizado na Universidade de Granada e na Universidade Complutense de Madrid. Este projeto PhD envolve estadias de pesquisa em ambas as universidades. A descrição e análise do modelo serão baseadas no modelo MT e teorias geológicas anteriores.



**INSTITUTO
DOM LUIZ**



**Ciências
ULisboa**

Faculdade
de Ciências
da Universidade
de Lisboa

FCT Fundação
para a Ciência
e a Tecnologia

Este PhD é apoiado pelo projeto FCT, PyBe – Faixa Piritosa Ibérica, Caracterização Litosférica com dados de Magnetotelúrica (EXPL/CTA-GEF/0183/2021)

Referências

Simpson, F., & Bahr, K. (2005). Practical magnetotellurics. Cambridge University Press.

Castro, C. D., Hering, P., & Junge, A. (2020, December). FFMT: A MATLAB-based Toolbox for Magnetotellurics (MT). In AGU Fall Meeting Abstracts (Vol. 2020, pp. IN037-09).



IDL 2023 - XXX

PhD in Geophysics and Geoinformation Sciences

Title

Crustal structure of the Azores-Madeira-Canary Islands region from ambient noise ellipticity data and autocorrelation analysis

Supervision

Graça Silveira (IDL-FCUL/ISEL, PT, <https://www.isel.pt/docentes/maria-da-graca-medeiros-silveira>), Ana Ferreira (UCL, UK, <https://www.ucl.ac.uk/earth-sciences/people/academic/prof-ana-ferreira>)

Part of the proposed work will be done at the University College London (UCL) with the co-supervisor Ana Ferreira. A short-term visit to Dr Martin Schimmel, a senior researcher at CSIC - Geociencias Barcelona (Geo3Bcn), is also planned.

Objective

This project aims to build new 3D images of the isotropic seismic crustal structure of the Azores-Madeira-Canary-Islands region from the joint analysis of ellipticity data and autocorrelations using ambient seismic noise. The project is part of the European Research Council project **UPFLOW** - **UP**ward mantle **FLOW** from novel seismic observations, led by Prof. Ana Ferreira.

Summary

The Azores, Madeira and the Canary Islands are volcanic archipelagos located in the Eastern Central Atlantic (ECA), rooted in a lithosphere ranging in age from newly created at the Mid Atlantic Ridge to 180 Ma at the north-west African Atlantic margin. The most recent improvements in seismic imaging and computational power allowed us to progress in understanding the geodynamic mechanisms that sustain the observed vulcanism at a broad scale in this region (see Civiero et al., 2023 for a review). Highly resolved 3D models of the seismic structure need a seismic network roughly evenly distributed, which, considering the irregular distribution of the ECA archipelagos, requires the coupling of land stations with ocean-bottom-seismometers (OBSs). Thus, a detailed picture of the geodynamic processes from the crust to the Mantle Transition Zone (MTZ) beneath the Azores-Madeira-Canary region remains to be done.

The ongoing project UPFLOW has successfully acquired high-quality broadband seismic data in a dense array, from July 2021 to September 2022, with unprecedented geographical coverage in this region. This dataset, combined with data from the existing land stations, offers a unique opportunity to map the crust and the underlying uppermost mantle.

In this project, the PhD student will build new 3D images of the isotropic seismic crustal structure of the Azores-Madeira-Canary region from the joint analysis of ambient noise ellipticity data (Berbellini et al., 2019) and autocorrelation functions (Romero and Schimmel, 2018). The new model will be integrated with results from previous studies for the three archipelagos, namely Azores, Madeira, and Canaries (e.g. Dias et al., 2007, 2020; Ferreira et al., 2020; Martinez-Arevalo et al., 2013; Matos et al., 2015; Schlaphorst et al., 2021; Silveira et al., 2006, 2010).



The PhD student will collaborate actively with the UPFLOW team (<https://upflow-eu.github.io>). Collaboration with Dr Martin Schimmel (CSIC - Geociencias Barcelona Geo3BcnI) is also planned. He will also benefit from the acquired knowledge along previous and current projects in the same area as SIGHT – Seismic and Geochemical constraints on the Madeira Hotspot system led by Graça Silveira, and GEMMA – Improving Geodynamic Models in Macaronesia by reconciling geodetic, geophysical, and geological data where both supervisors participate as team members.

Work plan

This PhD project will have a run time of 4 years. The project is divided into the following steps. 1) Literature review and learning of required tools and methods. 2) Collecting and organising the necessary data from UPFLOW, IPMA and temporary networks. 3) Carrying out single station autocorrelations computation to obtain the shallow subsurface reflection response to map the crust-mantle boundary and other inner crustal discontinuities. 4) Retrieving the Rayleigh wave ellipticity from the ambient vibrations of the Earth. 5) Joint inversion of the autocorrelation functions and ellipticity data to obtain shear-wave velocity models beneath each station for the entire region. 6) Combining results and integrating them into existing studies from the surrounding archipelagos, namely Azores, Madeira and Canary Islands.

References

- Berbellini, A., Schimmel, M., Ferreira, A. M., & Morelli, A. (2019). Constraining S-wave velocity using Rayleigh wave ellipticity from polarization analysis of seismic noise. *Geophysical Journal International*, 216(3), 1817-1830. DOI: <https://doi.org/10.1093/gji/ggy512>.
- Civiero, C., Carvalho, J., & Silveira, G. (2023). Mantle structure beneath the Macaronesian volcanic islands (Cape Verde, Canary Islands, Madeira and Azores): A review and future directions. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1126274. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1126274>
- Dias, N. A., Matias, L., Lourenço, N., Madeira, J., Carrilho, F., & Gaspar, J. L. (2007). Crustal seismic velocity structure near Faial and Pico Islands (AZORES), from local earthquake tomography. *Tectonophysics*, 445(3-4), 301-317. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.09.001>
- Dias, N. A., Téllez, J., & Matias, L. (2020). Insight on the Crustal Stress State in Faial and Pico Islands (Azores), from Analysis of Aftershocks of the 1998 Earthquake. *Pure and Applied Geophysics*, 177, 5169-5187. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02558-1>
- Ferreira, A. M., Marignier, A., Attanayake, J., Frietsch, M., & Berbellini, A. (2020). Crustal structure of the Azores Archipelago from Rayleigh wave ellipticity data. *Geophysical Journal International*, 221(2), 1232-1247. DOI: <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa076>
- Martinez-Arevalo, C., de Lis Mancilla, F., Helffrich, G., & Garcia, A. (2013). Seismic evidence of a regional sublithospheric low velocity layer beneath the Canary Islands. *Tectonophysics*, 608, 586-599. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.08.021>
- Matos, C., Silveira, G., Matias, L., Caldeira, R., Ribeiro, M. L., Dias, N. A., ... & dos Santos, T. B. (2015). Upper crustal structure of Madeira Island revealed from ambient noise tomography. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 298, 136-145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.03.017>
- Romero, P., & Schimmel, M. (2018). Mapping the Basement of the Ebro Basin in Spain With Seismic Ambient Noise Autocorrelations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123(6), 5052-5067. <https://doi.org/10.1029/2018JB015498>
- Schlaphorst, D., Silveira, G., Mata, J., Krüger, F., Dahm, T., & Ferreira, A. M. (2023). Heterogeneous seismic anisotropy beneath Madeira and Canary archipelagos revealed by local and teleseismic shear wave splitting. *Geophysical Journal International*, 233(1), 510-528. DOI: <https://doi.org/10.1093/gji/ggac472>
- Silveira, G., Stutzmann, E., Davaille, A., Montagner, J. P., Mendes-Victor, L., & Sebai, A. (2006). Azores hotspot signature in the upper mantle. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 156(1-2), 23-34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2006.03.022>
- Silveira, G., Vinnik, L., Stutzmann, E., Farra, V., Kiselev, S., & Morais, I. (2010). Stratification of the Earth beneath the Azores from P and S receiver functions. *Earth and Planetary Science Letters*, 299(1-2), 91-103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.08.021>



IDL 2023 - XXX

Doutoramento em Ciências Geofísicas e da Geoinformação

Título

Estrutura da crosta sob a região Açores-Madeira-Canárias a partir de dados de elipticidade e das funções de autocorrelação do ruído sísmico ambiente

Orientação

Graça Silveira (IDL-FCUL/ISEL, PT, <https://www.isel.pt/docentes/maria-da-graca-medeiros-silveira>), Ana Ferreira (UCL, UK, <https://www.ucl.ac.uk/earth-sciences/people/academic/prof-ana-ferreira>)

Parte do trabalho proposto será realizado na University College London (UCL) com a co-orientadora Ana Ferreira. Está igualmente prevista uma visita de curta duração ao Dr. Martin Schimmel, investigador sénior do CSIC - Geociências Barcelona (Geo3Bcn).

Objetivo

Este projeto tem como objetivo obter novas imagens 3D da estrutura sísmica isotrópica da crosta sob a região que engloba as ilhas dos Açores, Madeira e Canárias a partir da análise conjunta de dados de elipticidade e das funções de autocorrelação calculados a partir do ruído sísmico ambiente. O trabalho é parte integrante do projeto UPFLOW - UPward mantle FLOW financiado pelo European Research Council. O projeto é liderado pela Prof. Ana Ferreira e baseia-se na utilização de novas observações sísmicas.

Summary

Os Açores, a Madeira e as Canárias são arquipélagos vulcânicos, localizados na parte Leste do Atlântico Central (ECA), e enraizados numa litosfera cujas idades variam desde os 0 Ma, na Crista Média Atlântica, até 180 Ma, na margem noroeste da costa africana. O avanço recentemente alcançado nas técnicas de obtenção de imagens sísmicas e no poder computacional têm permitido compreender melhor os mecanismos geodinâmicos de larga escala que sustentam o vulcanismo observado nesta região (ver Civiero et al., 2023 para uma revisão). Mas, a construção de modelos 3D de alta resolução da estrutura sísmica necessitam de uma rede sísmica distribuída numa grelha aproximadamente uniforme, o que, considerando a distribuição irregular das ilhas na ECA, requer o acoplamento de estações terrestres com estações instaladas no fundo do mar (OBSs). Assim, está ainda por obter uma imagem detalhada dos processos geodinâmicos desde a crosta até à Zona de Transição do Manto (ZMT) sob região Açores-Madeira-Canárias. O projeto UPFLOW, em curso, adquiriu com sucesso, entre julho de 2021 e setembro de 2022 numa rede densa, dados sísmicos de banda larga de alta qualidade, possibilitando uma cobertura geográfica sem precedentes desta região. Este conjunto de dados, combinado com dados existentes nas estações terrestres a operar nas ilhas, oferece uma oportunidade única para mapear a crosta e o manto superior subjacente.

Neste projeto, o candidato irá construir novas imagens 3D da estrutura sísmica da crosta sob a região Açores-Madeira-Canárias a partir da análise conjunta de dados de elipticidade de ruído ambiente (Berbellini et al., 2019) e das funções de autocorrelação (Romero e Schimmel, 2018). O novo modelo será integrado com resultados de estudos anteriores para os três arquipélagos, nomeadamente Açores, Madeira e Canárias (por exemplo, Dias et al., 2007, 2020; Ferreira et al., 2020; Martinez-Arevalo et al., 2013; Matos et al., 2015, Schlaphorst et al., 2021, Silveira et al., 2006, 2010).

O doutorando irá colaborar ativamente com a equipa do projeto UPFLOW (<https://upflow-eu.github.io>). Está ainda prevista a colaboração com o Dr. Martin Schimmel (CSIC - Geociencias Barcelona Geo3Bcnl). O doutorando beneficiará dos conhecimentos adquiridos ao longo de projetos anteriores e em curso na mesma área como é o caso dos projetos SIGHT – Restrições sísmicas e geoquímicas no sistema Madeira Hotspot liderado por Graça Silveira, e GEMMA – Melhorando modelos geodinâmicos na Macaronésia, reconciliando geodésicos, geofísicos e geológicos dados onde ambos os orientadores participam como membros da equipa.

Plano de Trabalhos

Este projeto de doutoramento terá uma duração de 4 anos e está dividido nas seguintes etapas. 1) Revisão da literatura e aprendizagem dos métodos e ferramentas de cálculo necessários. 2) Recolha e organização dos dados adquiridos pelo UPFLOW, IPMA e redes temporárias. 3) Cálculo das funções de autocorrelações para obter, as principais descontinuidades sob cada estação sísmica, nomeadamente a interface crosta-manto e outras descontinuidades internas na crosta. 4) Caracterizar a elipticidade da onda Rayleigh a partir das vibrações ambientais da Terra. 5) Inversão conjunta das funções de autocorrelação e dos dados de elipticidade para obter modelos de velocidade das ondas S sob cada estação, para toda a região. 6) análise integrada dos resultados utilizando estudos existentes na região, em particular nos Açores, Madeira e Canárias.

References

- Berbellini, A., Schimmel, M., Ferreira, A. M., & Morelli, A. (2019). Constraining S-wave velocity using Rayleigh wave ellipticity from polarization analysis of seismic noise. *Geophysical Journal International*, 216(3), 1817-1830. DOI: <https://doi.org/10.1093/gji/ggy512>.
- Civiero, C., Carvalho, J., & Silveira, G. (2023). Mantle structure beneath the Macaronesian volcanic islands (Cape Verde, Canaries, Madeira and Azores): A review and future directions. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1126274. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1126274>
- Dias, N. A., Matias, L., Lourenço, N., Madeira, J., Carrilho, F., & Gaspar, J. L. (2007). Crustal seismic velocity structure near Faial and Pico Islands (AZORES), from local earthquake tomography. *Tectonophysics*, 445(3-4), 301-317. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.09.001>
- Dias, N. A., Téllez, J., & Matias, L. (2020). Insight on the Crustal Stress State in Faial and Pico Islands (Azores), from Analysis of Aftershocks of the 1998 Earthquake. *Pure and Applied Geophysics*, 177, 5169-5187. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02558-1>
- Ferreira, A. M., Marignier, A., Attanayake, J., Frietsch, M., & Berbellini, A. (2020). Crustal structure of the Azores Archipelago from Rayleigh wave ellipticity data. *Geophysical Journal International*, 221(2), 1232-1247. DOI: <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa076>
- Martinez-Arevalo, C., de Lis Mancilla, F., Helffrich, G., & Garcia, A. (2013). Seismic evidence of a regional sublithospheric low velocity layer beneath the Canary Islands. *Tectonophysics*, 608, 586-599. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.08.021>
- Matos, C., Silveira, G., Matias, L., Caldeira, R., Ribeiro, M. L., Dias, N. A., ... & dos Santos, T. B. (2015). Upper crustal structure of Madeira Island revealed from ambient noise tomography. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 298, 136-145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.03.017>
- Romero, P., & Schimmel, M. (2018). Mapping the Basement of the Ebro Basin in Spain With Seismic Ambient Noise Autocorrelations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123(6), 5052-5067. <https://doi.org/10.1029/2018JB015498>



- Schlaphorst, D., Silveira, G., Mata, J., Krüger, F., Dahm, T., & Ferreira, A. M. (2023). Heterogeneous seismic anisotropy beneath Madeira and Canary archipelagos revealed by local and teleseismic shear wave splitting. *Geophysical Journal International*, 233(1), 510-528. DOI: <https://doi.org/10.1093/gji/ggac472>
- Silveira, G., Stutzmann, E., Davaille, A., Montagner, J. P., Mendes-Victor, L., & Sebai, A. (2006). Azores hotspot signature in the upper mantle. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 156(1-2), 23-34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2006.03.022>
- Silveira, G., Vinnik, L., Stutzmann, E., Farra, V., Kiselev, S., & Morais, I. (2010). Stratification of the Earth beneath the Azores from P and S receiver functions. *Earth and Planetary Science Letters*, 299(1-2), 91-103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.08.021>



IDL 2023 - XXX

PhD in Geology

Role of crustal extension in the breakup and assembly of supercontinents: The northern Gondwana margin and Pangea geodynamics revisited in the Ossa Morena Zone (Portugal)

Supervision

Ícaro Dias da Silva (IDL-FCUL), Aitor Cambeses (Universidad de Granada - IBERSIMS), João Casal Duarte (IDL-FCUL)

Part of the proposed work will be done at University of Granada (UGr), in the IBERSIMS and UGr laboratories.

Summary

Orogeny is a fundamental step in the Supercontinent Cycle, the backbone of modern plate tectonics [1]. While modern orogens can be directly observed, their internal structure is generally not readily accessible. Old eroded orogens are, therefore, windows that allow studying lithospheric processes that are unreachable in their active counterparts. Among the different types of orogens, collisional orogens often involve a combination of different lithospheric mechanisms that can lead simultaneously to uplift and crustal thickening, as well as to subsidence and crustal thinning [2, 3].

The Variscan orogen is a Devonian-Carboniferous collisional orogen that extends from Eastern Europe to Morocco [4]. It was formed by the collision of two mega-continentes, Gondwana and Laurussia, to form Pangea, the last supercontinent on Earth [1]. At the core of Pangea, the Iberian Massif [5, 6] is a unique natural laboratory to study deep-to-surface geodynamic processes, providing fundamental constraints on how collisional orogens evolved over the Earth's history [7]. Notwithstanding, a comprehensive understanding of the evolution of the Variscan orogen is still lacking. Currently, several models are under debate, differing in (i) the timing of ocean closure [5, 8]; (ii) the polarity of the subduction and position of the magmatic arc [4, 5, 8], and (iii) the closing of one or multiple oceanic basins [8, 9]. Defining orogenic processes from shallow to deep crustal levels can provide better constraints that will help validating different conceptual models. These models can be tested using geodynamic analogue and numerical models, which in turn can then be applied to gain insights into the geometry and dynamics of collisional orogens worldwide. Localized within the Iberian Massif, the Ossa Morena Zone is a key tectonic unit to investigate these fundamental questions [5, 6, 8, 9, 10, 11].

This project aims at contributing to the knowledge of the evolution of collisional orogens, by studying a key-section of the Ossa Morena Zone. To achieve this goal, well-tested and state-of-the-art methodologies will be used, which include geological mapping, geochemistry, geochronology, stratigraphy, igneous and metamorphic petrology, microtectonics, analogue and numerical modeling. Given the accessibility to shallow to deep crustal orogenic levels, the segment of the Iberian Massif corresponding to the transition of the Évora Massif to the Elvas-Alter do Chão sector of the Ossa Morena Zone is a unique location to address the following questions:

- What type of orogen was the Variscan Belt? Are there any comparable ancient or modern orogens?
- When did the Devonian continental subduction and obduction of allochthonous nappes, including ophiolites, end? Why was it followed by an orogenic-scale High Temperature-Low Pressure tectono-metamorphic overprint in the early Carboniferous?

- What do the Devonian-Carboniferous synorogenic marine basins tell us about the palaeogeography and the geodynamics of the lithosphere at that stage?

To answer these questions the following tasks are proposed:

- Develop original geological maps and cross sections, defining and characterising the tectono-metamorphic units for each orogenic stage. This consists of field-based research work, under the supervision of Ícaro Dias da Silva;
- Discriminate magmatic ages and geodynamic settings to fingerprint sedimentary provenances and depositional ages, through petrology, geochemistry, and geochronology of pre- and synorogenic igneous and metasedimentary units. This will consist of laboratory work at FCUL and UGr, supervised by Aitor Cambeses.
- Conceive, develop, and test conceptual models of the Variscan Orogen with analogical and 4D numerical models, integrating the new dataset and available literature. This will be done in collaboration with the IDL geodynamic modelling group, supervised by João Casal Duarte.

The research works will be partially funded by IDL and by ongoing research projects where the supervisors are participant. Erasmus + exchange scholarships will be aimed to fund the scientific stays at UGr.

References

1. Murphy, J.B., Nance, R.D. 2013. Speculations on the mechanisms for the formation and breakup of supercontinents. *Geoscience Frontiers*, 4, 185-194, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2012.07.005>.
2. Dewey, J.F. 1988. Extensional collapse of orogens. *Tectonics*, 7, 1123-1139, <https://doi.org/10.1029/TC007i006p01123>.
3. Gloaguen, R., Ratschbacher, L. 2011. Growth and collapse of the Tibetan Plateau: introduction. *Geological Society, London, Special Publications*, 353, 1-8, <https://doi.org/doi:10.1144/SP353.1>.
4. Ribeiro, A., Munhá, J., Dias, R., Mateus, A., Pereira, E., Ribeiro, M.L., Fonseca, P., Araújo, A., Oliveira, J.T., Romão, J., Chaminé, H.I., Coke, C. and Pedro, J. 2007. Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides. *Tectonics*, 26, 1-24, <https://doi.org/10.1029/2006TC002058>.
5. Martínez Catalán, J.R., Schulmann, K. and Ghienne, J.-F. 2021. The Mid-Variscan Allochthon: Keys from correlation, partial retrodeformation and plate-tectonic reconstruction to unlock the geometry of a non-cylindrical belt. *Earth-Science Reviews*, 220, 103700, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103700>.
6. Kusky, T., Wang, J., Wang, L., Huang, B., Ning, W., Fu, D., Peng, H., Deng, H., Polat, A., Zhong, Y. and Shi, G. 2020. Mélanges through time: Life cycle of the world's largest Archean mélange compared with Mesozoic and Paleozoic subduction-accretion-collision mélanges. *Earth-Science Reviews*, 209, 103303, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103303>.
7. Azor, A., Lodeiro, F.G. and Simancas, J.F. 1994. Tectonic evolution of the boundary between the Central Iberian and Ossa-Morena zones (Variscan belt, southwest Spain). *Tectonics*, 13, 45-61, <https://doi.org/10.1029/93TC02724>.
8. Pereira, M.F., Gutiérrez-Alonso, G., Murphy, J.B., Drost, K., Gama, C. and Silva, J.B. 2017. Birth and demise of the Rheic Ocean magmatic arc(s): Combined U–Pb and Hf isotope analyses in detrital zircon from SW Iberia siliciclastic strata. *Lithos*, 278, 383-399, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.02.009>.
9. Díez Fernández, R., Arenas, R., Pereira, M.F., Martínez, S.S., Albert, R., Parra, L.M.M., Pascual, F.J.R. and Matas, J. 2016. Tectonic evolution of Variscan Iberia: Gondwana–Laurussia collision revisited. *Earth-Science Reviews*, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.002>.
10. Cambeses, A., Montero, P., Molina, J.F., Hyppolito, T. and Bea, F. 2019. Constraints of mantle and crustal sources and interaction during orogenesis: A zircon SHRIMP U–Th–Pb and O isotope study of the "calc-alkaline" Brovales pluton, Ossa-Morena Zone, Iberian Variscan Belt. *Lithos*, 324-325, 661-683, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.11.037>.
11. Dias da Silva, Í., Pereira, M.F., Silva, J.B., Gama, C. 2018. Time-space distribution of silicic plutonism in a gneiss dome of the Iberian Variscan Belt: The Évora Massif (Ossa-Morena Zone, Portugal). *Tectonophysics*, 747-748, 298-317, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.10.015>.



IDL 2023 - XXX

Doutoramento em Geologia

Papel da extensão da crosta na fragmentação e formação de supercontinentes: A margem norte de Gondwana e a geodinâmica de Pangeia revisitada na Zona de Ossa Morena (Portugal)

Orientadores

Ícaro Dias da Silva (IDL-FCUL), Aitor Cambeses (Universidad de Granada - IBERSIMS), João Casal Duarte (IDL-FCUL)

Part of the proposed work will be done at University of Granada (UGr), in the IBERSIMS and UGr laboratories.

Sumário

A orogénese é um processo fundamental no Ciclo dos Supercontinentes, a espinha dorsal da tectónica de placas moderna [1]. Apesar de se poder observar e estudar diretamente orógenos modernos, sua estrutura interna não é facilmente acessível. Deste modo, os orógenos erodidos antigos são janelas que permitem estudar processos litosféricos que são inalcançáveis nos seus equivalentes ativos. De entre os diferentes tipos de orógeno, os colisionais envolvem frequentemente uma combinação de diferentes mecanismos litosféricos que produzem simultaneamente a elevação e o espessamento crustal, bem como a subsidência e o adelgaçamento crustal [2,3]. O orógeno varisco é um orógeno colisional devono-carbónico que se estende desde a Europa Oriental até Marrocos [4]. Foi formado pela colisão de dois mega-continentes, Gondwana e Laurussia, para formar Pangeia, o último supercontinente da Terra [1]. Localizado no núcleo de Pangeia, o Maciço Ibérico [5, 6] é um laboratório natural único para estudar processos geodinâmicos profundos a superficiais, fornecendo dados fundamentais sobre como os orógenos colisionais evoluíram ao longo da história da Terra [7]. No entanto, falta ainda uma compreensão holística da evolução do orógeno varisco. Atualmente, vários modelos estão em discussão, diferindo em: (i) o momento do fecho dos oceanos paleozoicos [5, 8]; (ii) a polaridade da subducção e posição do arco magmático [4, 5, 8] e (iii) o fecho de uma ou múltiplas bacias oceânicas [8, 9]. A definição de processos orogénicos de níveis superficiais aos mais profundos da crosta pode fornecer constrangimentos que ajudarão a validar diferentes modelos. Estes podem ser testados usando modelos geodinâmicos analógicos e numéricos, que por sua vez podem ser aplicados para obter informações sobre a geometria e a dinâmica de orógenos colisionais à escala mundial. Localizada dentro do Maciço Ibérico, a Zona de Ossa Morena (ZOM) é uma unidade tectónica-chave para investigar estas questões fundamentais [5, 6, 8, 9, 10, 11]. Este projeto visa contribuir para o conhecimento da evolução dos orógenos colisionais, através do estudo de uma secção-chave da ZOM. Para atingir esse objetivo, será utilizada uma combinação de metodologias bem testadas e de última geração, que incluem mapeamento geológico, geoquímica, geocronologia, estratigrafia, petrologia ígnea e metamórfica, microtectónica e modelação analógica e numérica. Dada a acessibilidade a níveis orogénicos crustais superficiais a profundos, o segmento do Maciço Ibérico correspondente à transição do Maciço de Évora para o setor Elvas-Alter do Chão da ZOM é um local único para responder às seguintes questões:

- Que tipo de orógeno era o Cadeia Varisca? Existem orógenos antigos ou modernos comparáveis? Quando terminou a subducção continental devónica e a obdução de nappes alóctones, incluindo ofiólitos? Por que razão este fenómeno foi seguido por uma sobreposição tectono-metamórfica de Alta Temperatura-Baixa Pressão de escala

orogénica no início do Carbonífero? O que é que as bacias marinhas sinorogénicas devono-carbonicas nos dizem sobre a paleogeografia e a geodinâmica da litosfera nesse período?

Para responder a essas questões científicas são propostas as seguintes tarefas:

- Elaboração de mapas geológicos e seções transversais originais, definindo e caracterizando as unidades tectono-metamórficas para cada momento orogénico. Os trabalhos de investigação serão baseados no campo, sob a supervisão de Ícaro Dias da Silva;
- Discriminar idades magmáticas e ambientes geodinâmicos para determinar proveniências sedimentares e idades de máxima deposição, através de petrologia, geoquímica e geocronologia de unidades ígneas e metassedimentares pré e sinorogénicas. Este consistirá em trabalhos laboratoriais na FCUL e na UGr, supervisionados por Aitor Cambeses;
- Conceber, desenvolver e testar modelos conceituais do Orógeno Variscan através de modelação analógica e numérica 4D, integrando o novo conjunto de dados e a literatura disponível. Este trabalho será realizado em colaboração com o grupo de modelação geodinâmica do IDL, supervisionado por João Casal Duarte.

Os trabalhos de pesquisa serão parcialmente financiados pelo IDL e por projetos de pesquisa em andamento dos quais os orientadores são participantes. As estadias científicas na UGr poderão ser financiadas ao abrigo do programa Erasmus +.

Referencias

1. Murphy, J.B., Nance, R.D. 2013. Speculations on the mechanisms for the formation and breakup of supercontinents. *Geoscience Frontiers*, 4, 185-194, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2012.07.005>.
2. Dewey, J.F. 1988. Extensional collapse of orogens. *Tectonics*, 7, 1123-1139, <https://doi.org/10.1029/TC007i006p01123>.
3. Gloaguen, R., Ratschbacher, L. 2011. Growth and collapse of the Tibetan Plateau: introduction. *Geological Society, London, Special Publications*, 353, 1-8, <https://doi.org/doi:10.1144/SP353.1>.
4. Ribeiro, A., Munhá, J., Dias, R., Mateus, A., Pereira, E., Ribeiro, M.L., Fonseca, P., Araújo, A., Oliveira, J.T., Romão, J., Chaminé, H.I., Coke, C. and Pedro, J. 2007. Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides. *Tectonics*, 26, 1-24, <https://doi.org/10.1029/2006TC002058>.
5. Martínez Catalán, J.R., Schulmann, K. and Ghienne, J.-F. 2021. The Mid-Variscan Allochthon: Keys from correlation, partial retrodeformation and plate-tectonic reconstruction to unlock the geometry of a non-cylindrical belt. *Earth-Science Reviews*, 220, 103700, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103700>.
6. Kusky, T., Wang, J., Wang, L., Huang, B., Ning, W., Fu, D., Peng, H., Deng, H., Polat, A., Zhong, Y. and Shi, G. 2020. Mélanges through time: Life cycle of the world's largest Archean mélange compared with Mesozoic and Paleozoic subduction-accretion-collision mélanges. *Earth-Science Reviews*, 209, 103303, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103303>.
7. Azor, A., Lodeiro, F.G. and Simancas, J.F. 1994. Tectonic evolution of the boundary between the Central Iberian and Ossa-Morena zones (Variscan belt, southwest Spain). *Tectonics*, 13, 45-61, <https://doi.org/10.1029/93TC02724>.
8. Pereira, M.F., Gutiérrez-Alonso, G., Murphy, J.B., Drost, K., Gama, C. and Silva, J.B. 2017. Birth and demise of the Rheic Ocean magmatic arc(s): Combined U–Pb and Hf isotope analyses in detrital zircon from SW Iberia siliciclastic strata. *Lithos*, 278, 383-399, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.02.009>.
9. Díez Fernández, R., Arenas, R., Pereira, M.F., Martínez, S.S., Albert, R., Parra, L.M.M., Pascual, F.J.R. and Matas, J. 2016. Tectonic evolution of Variscan Iberia: Gondwana–Laurussia collision revisited. *Earth-Science Reviews*, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.002>.
10. Cambeses, A., Montero, P., Molina, J.F., Hyppolito, T. and Bea, F. 2019. Constraints of mantle and crustal sources and interaction during orogenesis: A zircon SHRIMP U–Th–Pb and O isotope study of the "calc-alkaline" Brovales pluton, Ossa-Morena Zone, Iberian Variscan Belt. *Lithos*, 324-325, 661-683, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.11.037>.
11. Dias da Silva, Í., Pereira, M.F., Silva, J.B., Gama, C. 2018. Time-space distribution of silicic plutonism in a gneiss dome of the Iberian Variscan Belt: The Évora Massif (Ossa-Morena Zone, Portugal). *Tectonophysics*, 747-748, 298-317, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.10.015>.



IDL 2023 - XXX

PhD in Geophysics and Geoinformation Sciences

Advancing Satellite-based Surface Temperature Estimates combining Optical and Infrared Observations

Supervision

Isabel Trigo (IPMA), Glynn Hulley (NASA Jet Propulsion Laboratory), Carlos da Camara (IDL)

Part of the proposed work will be done at the NASA Jet Propulsion Laboratory (Pasadena, CA, USA).

Summary

Land Surface Temperature (LST) is an important climatological variable, determining surface emitted radiation. Furthermore, LST has been demonstrated to provide key information on land surface processes as it is intrinsically linked to the partition of available energy into surface sensible and latent heat fluxes. Remote sensing observations in the thermal infrared (IR) have been extensively used to derive LST over large areas and on a regular basis. Nevertheless, despite the long experience in exploring such observations, which are being provided by multiple instruments and platforms, there is still a long list of unresolved issues that pose strong limitations to the use LST datasets, e.g., in climate studies. One such example is related to LST retrievals in the presence of high dust concentrations in the atmosphere, when uncertainties in radiative transfer models are high. Indeed, large aerosol loads significantly impact atmospheric transmissivity in the IR, which, to our knowledge, leads to large errors in all currently available LST operational products. This PhD project targets a deeper understanding of radiative transfer modelling within the thermal infrared domain, aiming to improve the inversion of top-atmosphere observations to derive reliable LST values under moderate-to-high dust aerosol concentrations. For this purpose, this PhD project will address the following objectives:

1. Understanding the full impact of aerosols on LST and emissivity retrievals, taking into account radiative transfer models, satellite and in situ observations. Previous work addressing this issue have considered radiative transfer (RT) simulations over a limited set of atmospheric conditions, while mostly disregarding uncertainties in RT models (Jiménez-Muñoz & Sobrino, 2006). Here we will make use of a multi-model approach (MODTRAN, RTTOV using different aerosol schemes), together with in situ observations collected, e.g., in ARM sites and KIT-LSA SAF stations, together with atmospheric profiles from reanalysis (ERA5 and CAMS) to perform a comprehensive assessment of the impact of dust aerosols on current LST operational products, and to quantify the uncertainties of various schemes/models.
2. Development of an appropriate database for the calibration and verification of LST algorithms, including information on aerosol profiles and simulations of top-of-atmosphere (TOA) observations in thermal window bands. High quality reference data are a pre-requisite to develop either semi-empirical, or purely data-driven LST algorithms. These datasets usually rely on RT simulations to ensure that a sufficiently wide range of atmospheric and surface conditions, as well as observation geometries are represented (Ermida & Trigo, 2022). The student will develop a comprehensive database, considering profiles (including, temperature, humidity, ozone, and dust aerosol, and surface temperatures and emissivities) representing realistic, but wide range of conditions. TOA observations will then be simulated for each profile using state-of-the-art RT models and configurations. The derived ensemble of simulations, together with the preliminary assessment made in 1., will allow the estimation of uncertainty in TOA observations associated with each profile.

3. Improve the atmospheric correction in LST algorithms to appropriately consider aerosol effects. This objective primarily will focus the improvement of operational products provided by the EUMETSAT Satellite Applications Facility on Land Surface Analysis (LSA-SAF) and the NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL). LSA-SAF LST products are based on the Generalized Split-window algorithm (Trigo et al., 2021), that uses the dual-channel information of the IR atmospheric window and prescribed emissivity values to estimate LST. The NASA JPL LST products are based on the Temperature-Emissivity Separation (TES) algorithm combined with a Water Vapor Scaling (WVS) atmospheric correction method (Hulley et al., 2014), that uses multi-channel information to perform simultaneous retrievals of emissivity and LST. The student will explore methodologies to correct the effect of dust aerosols for each of these products using the reference database of RT simulations developed as part of objective 2 (see previous point), including an assessment of the accuracy of the WVS method to correct for the effects of dust aerosols.
4. Maximize satellite observations in the optical and infrared domain to derive accurate LST datasets. The accuracy of LST retrievals under high dust aerosol loads is highly dependent on the correct identification of the aerosol concentration. Although a few aerosol products are available for some platforms, remotely sensed dust aerosol concentrations are not widely available, and they generally have high uncertainties (Descheemaeker et al., 2019). The student will explore methodologies to estimate dust aerosol concentrations, combining visible and IR channels. The work will focus on the new capabilities of the most recent sensors, such as the Flexible Combined Imager aboard the Meteosat Third Generation satellite (MTG), and the Ocean and Land Colour Instrument (OLCI) and the Sea and Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR) onboard Sentinel-3.

This PhD will be mostly conducted at the Instituto Portugues do Mar e da Atmosfera (IPMA), which is the leading entity for the EUMETSAT LSA-SAF, under the supervision of Dr Isabel Trigo and Dr Carlos da Camara. Part of LST algorithm development (improving TES) will be conducted at the NASA JPL under the supervision of Dr Glynn Hulley.

We will also count with the collaboration of other teams working on radiative transfer modelling, in particularly, the group led by Dr Jerome Vidot (Météo-France), which work on the development of RTTOV within the framework of the NWP SAF.

References

- Descheemaeker, M., Plu, M., Marécal, V., Claeyman, M., Olivier, F., Aoun, Y., Blanc, P., Wald, L., Guth, J., Sič, B., Vidot, J., Piacentini, A., and Josse, B., 2019. Monitoring aerosols over Europe: an assessment of the potential benefit of assimilating the VIS04 measurements from the future MTG/FCI geostationary imager, *Atmos. Meas. Tech.*, 12, 1251–1275, <https://doi.org/10.5194/amt-12-1251-2019>.
- Ermida, S.L., Trigo, I.F., 2022. A Comprehensive Clear-Sky Database for the Development of Land Surface Temperature Algorithms. *Remote Sens.* 14, 2329. <https://doi.org/10.3390/rs14102329>
- Hulley, G., S. Veraverbeke, S. Hook, 2014. Thermal-based techniques for land cover change detection using a new dynamic MODIS multispectral emissivity product (MOD21), *Remote Sensing of Environment*, 140, 755–765, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.10.014>.
- Jiménez-Muñoz, J. C., and J. A. Sobrino, 2006. Error sources on the land surface temperature retrieved from thermal infrared single channel remote sensing data, *Int. J. Remote Sens.*, vol. 27, no. 5. doi: 10.1080/01431160500075907.
- Trigo, I.F., S. L. Ermida, J. P. A. Martins, C. M. Gouveia, F.-M. Götsche, S. C. Freitas, 2021: Validation and Consistency Assessment of Land Surface Temperature from Geostationary and Polar Orbit Platforms: SEVIRI/MSG and AVHRR/Metop, *ISPRS J Photogram Remote Sens.*, 175, 282–297, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.03.013>



INSTITUTO
DOM LUIZ



Ciências
ULisboa

Faculdade
de Ciências
da Universidade
de Lisboa



Fundação
para a Ciência
e a Tecnologia

IDL 2023 - XXX

PhD in Geophysics and Geoinformation Sciences

Advancing Satellite-based Surface Temperature Estimates combining Optical and Infrared Observations

Temperatura da Superfície a partir de Observações de Satélite no Visível e Infravermelho

Orientação

Isabel Trigo (IPMA), Glynn Hulley (NASA Jet Propulsion Laboratory), Carlos da Camara (IDL)

Parte do trabalho será realizado no *NASA Jet Propulsion Laboratory (Pasadena, CA, USA)*.

Resumo

A Temperatura da Superfície Terrestre (LST) é uma variável climática essencial que determina a radiação emitida pela superfície. Ao resultar do balanço de energia à superfície, a LST está intimamente ligada aos processos na interface entre a superfície e a atmosfera, nomeadamente à partição da energia disponível em fluxos de calor latente e sensível. Apesar da longa experiência na utilização de observações de deteção remota no infravermelho térmico (IR) para o cálculo de LST, há ainda uma longa lista de questões por resolver, que limitam seriamente o uso de dados de LST, e.g., em estudos climáticos. Uma dessas questões está relacionada com a estimativa de LST na presença de elevadas concentrações de poeiras na atmosfera, que estão associadas a grandes incertezas nos modelos de transferência radiativa. De fato, aerossóis desse tipo, quando presentes em quantidades elevadas, afetam significativamente a transmissividade atmosférica no IR, o que leva a grandes erros em todos os produtos operacionais de LST atualmente disponíveis. Com este projeto de doutoramento pretendemos aprofundar o efeito de aerossóis na transferência radiativa no domínio do IR térmico, por forma a melhorar a inversão das observações de satélite no cálculo de valores mais fiáveis de LST na presença de concentrações moderadas-a-altas de poeiras. Para este efeito, este projeto de doutoramento abordará os seguintes objetivos:

1. Compreender o impacto dos aerossóis na estimativa de LST e emissividade, tendo em conta modelos de transferência radiativa, observações de satélite e *in situ*. Os trabalhos realizados até agora sobre este assunto têm considerado simulações de transferência radiativa (RT) para um conjunto bastante limitado de condições atmosféricas, descartando incertezas nos modelos de RT (Jiménez-Muñoz & Sobrino, 2006). Propomos a utilização de vários modelos (MODTRAN, RTTOV usando diferentes esquemas de aerossóis), juntamente com observações *in situ* (e.g., redes ARM e estações KIT-LSA SAF) e perfis atmosféricos de reanálise (ERA5 e CAMS), para realizar uma ampla avaliação do impacto de poeiras em produtos operacionais de LST e para quantificar as incertezas dos vários esquemas/modelos.
2. Desenvolvimento de uma base de dados que seja apropriada para calibração e verificação de algoritmos de LST, incluindo perfis de aerossóis e simulações de observações no topo da atmosfera (TOA) em bandas do infravermelho térmico. A existência de uma base de dados de alta qualidade, que sirva de referência, é um dos pré-requisitos mais importantes para o desenvolvimento de algoritmos de LST, quer sejam (semi-)físicos ou puramente empíricos. Essas bases de dados são geralmente baseadas em simulações RT, para garantir a representação de uma gama suficientemente ampla de condições atmosféricas e de superfície, bem como

- de geometrias de observação (Ermida & Trigo, 2022). O(a) aluno(a) irá desenvolver uma base de dados, com perfis (temperatura, humidade, ozono e aerossóis, bem como temperatura e emissividade de superfície) que representem uma ampla gama de condições. As observações TOA serão então simuladas para cada perfil, usando modelos de RT de última geração, com diferentes configurações. Esse conjunto de simulações derivado, bem como a avaliação preliminar feita no ponto 1., permitirá estimar a incerteza nas temperaturas de brilho TOA associadas a cada perfil.
3. Melhorar a correção atmosférica nos algoritmos de LST, de forma a ter adequadamente em conta o impacto de aerossóis. Este objetivo centrar-se-á essencialmente em melhorar os produtos operacionais LSA SAF (EUMETSAT *Satellite Applications Facility on Land Surface Analysis*) e da NASA (NASA *Jet Propulsion Laboratory*, JPL). Os produtos LST da LSA SAF são baseados no algoritmo *Generalized Split-window* (Trigo et al., 2021), que usa as informações de canais janela atmosférica no IR e de valores de emissividade pré-definidos. Os produtos NASA JPL LST, por outro lado, são baseados no algoritmo *Temperature-Emissivity Separation* (TES), combinado com um método de correção atmosférica designado por *Water Vapor Scaling* (WVS) (Hulley et al., 2014), que usa informações multicanal para realizar recuperações simultâneas de emissividade e LST. O aluno explorará metodologias para corrigir o efeito dos aerossóis para cada um destes produtos, utilizando a base de dados de referência de simulações RT desenvolvida no âmbito do objetivo 2 (ver ponto anterior), incluindo uma avaliação da precisão do método WVS para corrigir os efeitos de poeiras.
 4. Maximizar a utilização de observações de satélite no domínio do visível e infravermelho para obter estimativas precisas de LST. A qualidade da LST sob cargas de aerossóis elevadas será altamente influenciada pela correta estimativa da concentração desses mesmo aerossóis. Apesar da existência de alguns produtos de aerossóis, as estimativas sobre as superfícies terrestres são mais raras e estão frequentemente associadas a incertezas elevadas (Descheemaeker et al., 2019). O(A) aluno(a) irá explorar metodologias para estimar as concentrações de poeiras, combinando canais no visível e infravermelho, que sejam apropriadas para o problema de estimativa da LST. O trabalho irá incidir sobre as novas capacidades dos sensores mais recentes, como o *Flexible Combined Imager* (FC) a bordo do satélite *Meteosat Third Generation* (MTG), e o *Ocean and Land Color Instrument* (OLCI) e o *Sea and Land Surface Temperature Radiometer* (SLSTR) a bordo do satélite Sentinel-3.

Este doutoramento será realizado maioritariamente no Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), entidade líder da EUMETSAT LSA-SAF, sob a orientação da Dra. Isabel Trigo e do Dr. Carlos da Câmara. Parte do desenvolvimento de novos algoritmos de LST (melhoria do TES) será realizada na NASA/JPL, sob a supervisão do Dr. Glynn Hulley.

Iremos também contar com a colaboração do grupo liderado pelo Dr. Jerome Vidot (Météo-France), que trabalha no desenvolvimento do modelo RTTOV, no âmbito da NWP SAF.

Referências

- Descheemaeker, M., Plu, M., Marécal, V., Claeysman, M., Olivier, F., Aoun, Y., Blanc, P., Wald, L., Guth, J., Sič, B., Vidot, J., Piacentini, A., and Josse, B., 2019. Monitoring aerosols over Europe: an assessment of the potential benefit of assimilating the VIS04 measurements from the future MTG/FCI geostationary imager, *Atmos. Meas. Tech.*, 12, 1251–1275, <https://doi.org/10.5194/amt-12-1251-2019>.
- Ermida, S.L., Trigo, I.F., 2022. A Comprehensive Clear-Sky Database for the Development of Land Surface Temperature Algorithms. *Remote Sens.* 14, 2329. <https://doi.org/10.3390/rs14102329>
- Hulley, G., S. Veraverbeke, S. Hook, 2014. Thermal-based techniques for land cover change detection using a new dynamic MODIS multispectral emissivity product (MOD21), *Remote Sensing of Environment*, 140, 755–765, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.10.014>.
- Jiménez-Muñoz, J. C., and J. A. Sobrino, 2006. Error sources on the land surface temperature retrieved from thermal infrared single channel remote sensing data, *Int. J. Remote Sens.*, vol. 27, no. 5. doi: 10.1080/01431160500075907.
- Trigo, I.F., S. L. Ermida, J. P. A. Martins, C. M. Gouveia, F.-M. Götsche, S. C. Freitas, 2021: Validation and Consistency Assessment of Land Surface Temperature from Geostationary and Polar Orbit Platforms: SEVIRI/MSG and AVHRR/Metop, *ISPRS J Photogram Remote Sens.*, 175, 282–297, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.03.013>



INSTITUTO
DOM LUIZ



Ciências
ULisboa

Faculdade
de Ciências
da Universidade
de Lisboa

FCT Fundação
para a Ciência
e a Tecnologia

IDL 2023 - XXX

PhD in Geology

Title

Paleoenvironmental reconstruction of the Morocco Atlantic coast since the late Pleistocene

Supervision

Maria da Conceição Freitas (IDL, FCUL)

Supervisor 2 (Affiliation)

Part of the proposed work will be done at ... (if applicable).

In the context of climate change, the consequences of sea-level rise are of undeniable importance and is still needed to bring together analyses at a greater range of timescales, from seconds to millennia or even longer (Shennan et al., 2015). Paleoenvironmental reconstructions are essential to understand how the environment has changed and to disentangle global and local factors forcing its evolution, to characterize coastal responses to forcing factors over centennial to millennial time scales. Such knowledge is essential for planning appropriate adaptation options to minimize the impacts of sea-level change, and in particular sea level rise (García-Artola, 2018) at the land-ocean interface. Among the different depositional environments, transitional systems as estuaries and lagoons are privileged locals to study the sea level changes as they meet continental and marine influences. The study of their sedimentary record can be a useful tool to understand their response, particularly since the last deglaciation.

The Morocco Atlantic coast is more than 2000 km long and little is known about its evolution during the Holocene and the relation with the sea-level variations.

The present proposal aims to build a paleoenvironmental regional model for the estuaries located in the Atlantic Morocco coast north of Oualidia, based on the detailed and multidisciplinary study of the lagoonal/estuarine sedimentary infill obtained in several cores. The results acquired will be compared with the ones already published for the European Atlantic coast.

The study of the cores will include sedimentological (grain size, calcium carbonate and organic matter contents) analysis and geochemical (elemental, isotopic) proxies and the use of the possible techniques to acquire high resolution data. This multi-proxy approach will contribute to the knowledge of the sediment sources (by identifying the sediment mineralogical composition) and depositional and post depositional conditions. When adequate, analyses of elemental and isotopic C and N (Total organic carbon (% Corg), total nitrogen (%N), $\delta^{13}\text{CVPDB}$ and $\delta^{15}\text{NAIR}$) will be performed to derive the source of organic matter and help to establish the marine and terrestrial influence.

References

- García-Artola, A., Stephan, P., Cearreta, A., Kopp, R.E., Khan, N.S., Horton, B.P. (2018) - Holocene sea-level database from the Atlantic coast of Europe. *Quaternary Science Reviews* 196, pp 177–192.
- Shennan, I., Long, A. J. & Horton, B. P. (2015). *Handbook of Sea-Level Research*, First Edition. John Wiley & Sons, Ltd. Published 2015 by John Wiley & Sons, Ltd.



INSTITUTO
DOM LUIZ



Ciências
ULisboa

Faculdade
de Ciências
da Universidade
de Lisboa

FCT Fundação
para a Ciência
e a Tecnologia

IDL 2023 - XXX

Doutoramento em Geologia

Título

Reconstrução paleoambiental do litoral atlântico de Marrocos desde o Pleistocénico tardio

Supervisão

Maria da Conceição Freitas (IDL, FCUL)

Supervisor 2 (Affiliation)

Part of the proposed work will be done at ... (if applicable).

No contexto das alterações climáticas, as consequências da subida do nível do mar são de inegável importância e continua a ser necessário efetuar análises a várias escalas temporais, desde segundos a milénios ou mesmo a intervalos temporais maiores (Shennan et al., 2015). As reconstruções paleoambientais são essenciais para compreender a forma como o ambiente se alterou e para separar os fatores globais e locais que forçam a sua evolução, para caracterizar as respostas costeiras aos fatores forçadores em escalas temporais centenárias a milenares. Este conhecimento é essencial para planear opções de adaptação adequadas para minimizar os impactos das alterações do nível do mar e, em particular, da sua subida (García-Artola, 2018) na interface terra-oceano. Entre os diferentes ambientes deposicionais, os sistemas de transição como estuários e lagunas são locais privilegiados para estudar as alterações do nível do mar na medida que se refletem influências continentais e marinhas. O estudo do seu registo sedimentar pode ser uma ferramenta útil para compreender a sua resposta, particularmente desde a última deglaciação.

A presente proposta tem como objetivo construir um modelo regional paleoambiental para os estuários localizados na costa atlântica de Marrocos a norte de Oualidia, com base no estudo detalhado e multidisciplinar do enchimento sedimentar lagunar/estuarino obtido em várias sondagens. Os resultados obtidos serão comparados com os já publicados para a costa atlântica europeia.

O estudo das sondagens incluirá análises sedimentológicas (granulometria, teor de carbonato de cálcio e teor de matéria orgânica) e proxies geoquímicos (elementares, isotópicos) e a utilização das técnicas possíveis para obter dados de alta resolução. Esta abordagem multi-proxy contribuirá para o conhecimento das fontes de sedimentos (através da identificação da respetiva composição mineralógica) e das condições de deposição e pós-deposição. Quando adequado, serão efetuadas análises elementares e isotópicas de C e N (carbono orgânico total (% Corg), azoto total (%N), $\delta^{13}\text{CVPDB}$ e $\delta^{15}\text{NAIR}$) para determinar a origem da matéria orgânica e ajudar a estabelecer a influência marinha e terrestre.

Referências:

- García-Artola, A., Stephan, P., Cearreta, A., Kopp, R.E., Khan, N.S., Horton, B.P. (2018) - Holocene sea-level database from the Atlantic coast of Europe. *Quaternary Science Reviews* 196, pp 177–192.
- Shennan, I., Long, A. J. & Horton, B. P. (2015). *Handbook of Sea-Level Research*, First Edition. John Wiley & Sons, Ltd. Published 2015 by John Wiley & Sons, Ltd.



IDL 2023 - XXX

PhD in Geophysics and Geoinformation Sciences

Drought monitoring applications of GRACE satellite data

Supervision

Maria C. Neves (UALg, IDL), Maria do Rosário Carvalho (FCUL, IDL)

Part of the proposed work may be done at a partner institution.

Motivation and Summary

The effects of climate change have become increasingly evident in recent years, leading to acute deficits in precipitation and water availability in many parts of the world. Droughts have become more frequent and severe, posing a significant challenge to water resource management. Understanding the linkages between climate variability, particularly droughts, and all water storage components is critical for effective water resource management.

Groundwater plays a vital role in the hydrological cycle but is often overlooked because it is invisible. The depletion of aquifers due to overexploitation and improper management can have severe consequences, including water shortage, land subsidence, reduced water quality, and ecosystem degradation (Wu et al., 2020). To manage groundwater resources effectively, it is essential to have accurate and timely information on the groundwater levels and soil humidity. The scenarios of climate change with projected reduction or change in precipitation patterns, and environmental temperature rise, increase the risks associated with groundwater exploitation. These risks are greater in coastal aquifers, where the intrusion of seawater and salinization of aquifer water is a major concern in all European countries with extensive coastlines, such as Portugal and Spain.

In recent years, satellite-based remote sensing has emerged as a valuable tool for monitoring groundwater resources at regional and global scales. The Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) and its follow-on mission, GRACE Follow-On (GRACE-FO), are two satellite missions that provide total water storage (TWS) anomalies, which are a good indicator of large-scale groundwater quantitative status. By measuring changes in the gravity field, these satellites can detect changes in TWS, which include changes in groundwater, surface water, soil moisture, and snow and ice.

GRACE satellite data has been used to show evidence of groundwater depletion in aquifers all over the world (Rodel et al., 2018) and NASA currently generates weak groundwater and soil moisture drought indicators based on GRACE as part of the United States drought monitoring program (Thomas et al., 2021). In Europe, the Copernicus Global Drought Observatory also uses GRACE total water storage (TWS) anomalies as a proxy for groundwater drought. The use of GRACE satellite data for water resource management, particularly for groundwater systems in the Iberia Peninsula, looks promising (Neves et al., 2020), but its suitability to monitor drought requires further research including its downscaling (Vishwakarma et al., 2021). **The primary goal of this thesis is to employ GRACE data to monitor groundwater drought in the Iberian region.** Related research questions this study will address are how the GRACE-based groundwater drought compares with other drought indicators and how will climate change affect groundwater storage in distressed aquifers in the coming years. This might involve selecting the appropriate aquifers



to study, collecting, and analyzing historical data on groundwater storage and climate variables, and running simulations using climate model projections.

References

- Neves, MC, Nunes, LM, Monteiro, JP (2020). Evaluation of GRACE data for water resource management in Iberia: a case study of groundwater storage monitoring in the Algarve region. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 32: 107734. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100734>.
- Rodell, M, Famiglietti, JS, Wiese, DN, Reager, JT, Beaulieu, HK, Landerer, FW, Lo, MH (2018). Emerging trends in global freshwater availability. *Nature* 557: 651–659. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0123-1>.
- Thomas, BF, Famiglietti, JS, Landerer, FW, Wiese, DN, Molotch, NP, Argus, DF (2017). GRACE groundwater drought index: Evaluation of California central Valley groundwater drought. *Remote Sens. Environ.* 198: 384–392. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.026>
- Vishwakarma, BD; Zhang, J, Sneeuw, N (2021). Downscaling GRACE Total Water Storage Change using Partial Least Squares Regression. *Sci Data* 8, 95. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00862-6>.
- Wu, WY., Lo, MH., Wada, Y. et al. (2020). Divergent effects of climate change on future groundwater availability in key mid-latitude aquifers. *Nat Commun* 11, 3710. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17581-y>



IDL 2023 - XXX

PhD in Geophysics and Geoinformation Sciences

Aplicações do satélite GRACE para monitorização de seca

Supervision

Maria C. Neves (UALg, IDL), Maria do Rosário Carvalho (FCUL, IDL)

Parte do trabalho proposto pode ser realizado em instituição parceira.

Motivação e Sumário

Os efeitos das alterações climáticas tornaram-se cada vez mais evidentes nos últimos anos, tendo como consequência graves carências de água em muitas partes do mundo. As secas tornaram-se cada vez mais frequentes e agudas, constituindo um enorme desafio para a gestão dos recursos hídricos. É fundamental compreender as ligações entre a variabilidade climática, a ocorrência de secas e os seus efeitos sobre as várias componentes do armazenamento de água para uma gestão eficaz dos recursos hídricos

Embora as águas subterrâneas desempenhem um papel vital no ciclo hidrológico, elas são muitas vezes ignoradas por serem invisíveis. A exaustão de aquíferos devido à sobre-exploração pode ter consequências como escassez de água, subsidência do solo, redução da qualidade da água e degradação dos ecossistemas (Wu et al., 2020). As alterações nos padrões de precipitação e o aumento da temperatura ambiental projetados pelos modelos climáticos, aumentam os riscos associados à exploração das águas subterrâneas. Esses riscos são maiores em aquíferos costeiros, onde a intrusão de água do mar e a salinização da água do aquífero são uma grande preocupação em todos os países europeus com extensas linhas costeiras, como Portugal e Espanha.

Nos últimos anos, a deteção remota baseada em satélites surgiu como uma ferramenta valiosa para monitorizar os recursos hídricos subterrâneos às escalas regional e global. O Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) e a missão subsequente, GRACE Follow-On (GRACE-FO), fornecem dados de anomalias de armazenamento total de água (TWS). Estes satélites conseguem detetar variações de TWS através de variações da aceleração da gravidade, e permitem inferir não só variações nas massas de águas subterrâneas, mas também nas massas de águas superficiais, humidade do solo, neve e gelo.

Os dados do satélite GRACE têm sido utilizados para mostrar evidências do depauperamento das águas subterrâneas em aquíferos de todo o mundo (Rodel et al., 2018) e a NASA gera atualmente indicadores de seca de águas subterrâneas com base em dados do GRACE (Thomas et al., 2021). Na Europa, o Observatório Global de Secas do programa Copernicus também usa anomalias do GRACE como um proxy para a seca de águas subterrâneas. O uso de dados do satélite GRACE para a gestão de recursos hídricos, especialmente de aquíferos, na Península Ibérica, parece promissor (Neves et al., 2020), mas a sua adequação para monitorizar a seca requer mais investigação, incluindo em particular o downscaling dos dados (Vishwakarma et al., 2021). **O objetivo principal desta tese é usar dados do GRACE para monitorizar a seca de águas subterrâneas na região da Península ibérica.** Outros aspetos que este estudo poderá abordar incluem estabelecer uma relação entre a seca de águas subterrâneas baseada no GRACE e outros indicadores de seca e investigar como as alterações climáticas poderão afetar o armazenamento em aquíferos já em dificuldades nos próximos anos. Para tal será necessário proceder à seleção dos aquíferos mais



apropriados, adquirir e analisar dados históricos sobre o armazenamento de águas subterrâneas e sobre as variáveis climáticas relevantes e ainda a realização de simulações usando projeções de modelos climáticos.

Referências

- Neves, MC, Nunes, LM, Monteiro, JP (2020). Evaluation of GRACE data for water resource management in Iberia: a case study of groundwater storage monitoring in the Algarve region. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 32: 107734. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100734>.
- Rodell, M, Famiglietti, JS, Wiese, DN, Reager, JT, Beaulieu, HK, Landerer, FW, Lo, MH (2018). Emerging trends in global freshwater availability. *Nature* 557: 651–659. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0123-1>.
- Thomas, BF, Famiglietti, JS, Landerer, FW, Wiese, DN, Molotch, NP, Argus, DF (2017). GRACE groundwater drought index: Evaluation of California central Valley groundwater drought. *Remote Sens. Environ* 198: 384–392. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.026>
- Vishwakarma, BD; Zhang, J, Sneeuw, N (2021). Downscaling GRACE Total Water Storage Change using Partial Least Squares Regression. *Sci Data* 8, 95. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00862-6>.
- Wu, WY., Lo, MH., Wada, Y. et al. (2020). Divergent effects of climate change on future groundwater availability in key mid-latitude aquifers. *Nat Commun* 11, 3710. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17581-y>



IDL 2023 - 01

PhD in Geology

Revisiting the dolomite problem: geochemical and mineralogical controls of dolomitization processes in sedimentary and metasomatic environments

Supervision

Mário A. Gonçalves (FCUL/IDL), José Mirão (UÉvora/HERCULES Lab)

HERCULES Lab will provide complementary access to experimental facilities.

Introduction

The formation of primary dolomite instead of the dolomitization of calcium carbonates is still a major conundrum for understanding Earth processes, especially regarding the global sedimentary Mg budget as revealed by the lack of significant sedimentary dolomites in the geological record in the last 30-40 million years. This gave rise to the well-known “dolomite problem”, but to this day experiments have systematically failed to precipitate dolomite at ambient conditions, unless some very specific conditions are met which seldom exist in nature.^[1,2] The unsuccessful attempts to crystallise dolomite is often attributed to kinetic factors, while for calcites, there is a limited incorporation of Mg in their structure, depending on Mg activity.^[1] However, there is also ample geological evidence that dolomites result from late replacement mechanisms whose details are debatable, including the now much accepted coupled dissolution precipitation mechanism with porosity generation.^[3,4,5] As a matter of fact, the molar volume of the reaction that substitutes calcite by dolomite is negative. Thus, dolomites are important in characterising the porosity in carbonate reservoirs, with implications for the evolution of sedimentary basins including their suitability as hosts for hydrothermal ore deposits generated by basin-scale hydrodynamics and fluid flow, as well as for petroleum reservoirs.

Objectives

The project aims at unravelling the mechanisms of dolomite formation in different settings by choosing two distinct environments with known dolomitization processes: the Lusitanian Basin (LB), a thick (circa 5 km) Mesozoic sedimentary sequence developed after the first stages of the opening of the Atlantic, and Paleozoic dolomitized marbles associated with metavolcanic rocks in the Ossa Morena Zone (OMZ).

Description

It has been demonstrated that dolomitic rocks in the LB have a rather complex history with frequent dedolomitization reactions, posing other challenges like the fate of Mg^[6,7] (Figure 1). For this purpose, selected dolomitization fronts will be sampled according to their suspected origin as being either diagenetic (stratigraphically controlled), associated to faults (discordant to primary sedimentary structures), or metasomatic (as some cases of the Paleozoic dolomites). Each of these environments will be studied in detail, addressing their mineralogy and microscopically characterising the mineral structures and interfaces. This is combined with a careful and detailed characterisation of the chemical signatures, especially in trace elements, and stable isotopes. This approach is expected to pinpoint differences between the leading processes and elucidate the dolomite formation mechanisms in each environment. The project will use state-of-the-art techniques including electron microscopy (Env-SEM with EDS and Electron Microprobe),

Cathodoluminescence microscopy, μ -x-ray diffraction, LA-ICP-MS, μ -FTIR, and Mass Spectrometry. Most of the supporting equipment is available in the partner institutions, but additional techniques to be used will be secured through current ongoing collaborations on foreign institutions (WWU, Münster, Germany), including the submission of proposals to synchrotron time (SLS, Switzerland) to deepen the studied problem.

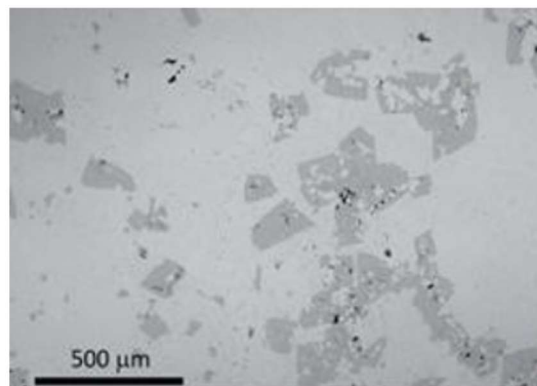
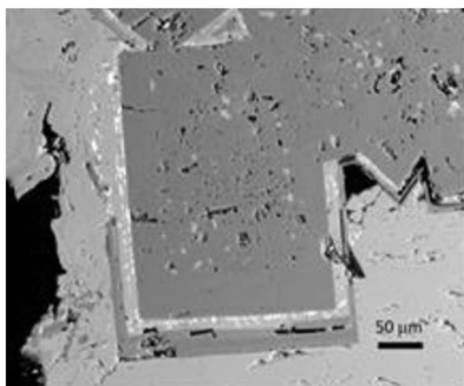


Figure 1. Left: Backscattered electron (BSE) image of dolomite crystals (dark grey) with a recrystallized rim and a porous core with calcite relicts. Late calcite partially replacing dolomite along cleavage plans, leaving a trail of iron (hydr)oxides **Right:** BSE image of partially replaced dolomite crystals (dark grey) by calcite (dedolomitization). Image from [7].

Requisites

Degree in Earth Sciences (Geology/Geophysics) or Chemistry; good background in Mineralogy/Structural Chemistry.

References

- [1] Arvidson, R. S. and Mackenzie; F. T. (1999). *Am J. Sci.*, 299: 257-288.
- [2] Warren, J. (2000). *Earth Sci. Rev.*, 52: 1-81.
- [3] Sibley, D.F., Nordeng, S.H. and Borkowski, M. L. (1994). *J. Sedim. Res.*, 64: 630-637.
- [4] Jonas, L., Muller, T., Dohmen, R., Baumgartner, L. and Putlitz, B. (2015). *Geology*, 43: 779-782.
- [5] Putnis, A. (2009). *Rev. Mineral. Geochem.*, 70: 87-124.
- [6] Vuckovic, M. et al. (2017), *Proc. Goldschmidt 2017*, Paris.
- [7] Gonçalves, M.A. et al. (2019), *E3S Web of Conferences*, 98: 01017. doi:10.1051/e3sconf/20199801017.



IDL 2023 - 01

PhD in Geology

Revisitar o problema da dolomite: controlos geoquímicos e mineralógicos do processo de dolomitização em ambientes sedimentares e metassomáticos

Supervisão

Mário A. Gonçalves (FCUL/IDL), José Mirão (UÉvora/HERCULES Lab)

Laboratório HERCULES Providencia o acesso a infraestrutura e equipamento complementar.

Introdução

A formação de dolomite primária por oposição à dolomitização de carbonatos de cálcio constitui ainda um enigma na compreensão de processos geológicos, nomeadamente os que determinam o balanço geoquímico do Mg nos ciclos dos elementos, assinalada pela ausência relativa de rochas dolomíticas no registo sedimentar dos últimos 30-40 Ma se comparado com os períodos anteriores. Esta evidência veio a determinar o que se conhece como o “*problema da dolomite*”, mas até aos dias de hoje, as experiências que tentaram levar a cabo a precipitação de dolomite em condições de pressão e temperatura ambiente falharam sistematicamente, a menos que se determinem condições específicas que raramente são encontradas na natureza.^[1,2] As tentativas falhadas para cristalizar a dolomite são frequentemente atribuídas a factores cinéticos, ainda que para as calcites haja uma incorporação limitada de Mg na sua estrutura, dependente da actividade do Mg em solução aquosa.^[1] Contudo, existem amplas evidências de que a formação de dolomitos resulta de mecanismos de substituição tardios cujos detalhes são ainda objecto de contenda, incluindo os mecanismos acoplados de dissolução-precipitação com geração de porosidade, hoje bastante aceites.^[3,4,5] Efectivamente, o volume molar da reacção de substituição de calcite por dolomite é negativo. Por esta razão as dolomites são importantes para a caracterização da porosidade em reservatórios carbonatados, com implicações para a evolução sedimentar das bacias, incluindo o seu potencial para rochas hospedeiras de depósitos minerais gerados pela hidrodinâmica dos fluidos que circulam à escala das bacias, assim como para reservatórios de hidrocarbonetos.

Objectivos

O projecto proposto pretende estudar e analisar os mecanismos de formação da dolomite em diferentes contextos geológicos, escolhendo para o efeito dois ambientes diferentes em que se verifica a ocorrência de processos de dolomitização: a Bacia Lusitaniana (BL), uma sequência sedimentar espessa (cerca de 5 km) de idade Mesozóica, que se desenvolveu a partir dos primeiros estadios de abertura do oceano Atlântico, e os mármore dolomitizados Paleozóicos associados a rochas meta-vulcânicas na Zona de Ossa Morena (ZOM).

Descrição

Tem sido verificado que as rochas dolomíticas na BL apresentam uma história evolutiva algo complexa com episódios frequentes de desdolomitização, colocando uma série de desafios, tal como em saber o destino do Mg no sistema^[6,7] (Figura 1). Tendo esta condicionante em mente, serão seleccionadas e amostradas frentes de dolomitização de acordo com a sua origem provável, nomeadamente diagenética

(controlada estratigraficamente), associada a zonas de falha (discordante às estruturas sedimentares primárias) e metassomática (como no caso dos dolomitos Paleozóicos). Cada um destes ambientes será estudado em detalhe, através da sua caracterização mineralógica ao microscópio, nomeadamente através da análise das relações texturais entre minerais e as suas interfaces. Esta análise é combinada com uma caracterização das assinaturas químicas, especialmente em elementos traço e isótopos estáveis. Esta abordagem poderá delinear as diferenças entre os processos de dolomitização preponderantes e tentar esclarecer os mecanismos de formação da dolomite em dada ambiente. Este projecto utilizará equipamento analítico de ponta incluindo de microscopia electrónica (Env-SEM com EDS e Microsonda Electrónica), Microscopia de Cátodo-luminescência, micro-difracção de raios-X, LA-ICP-MS, micro-FTIR e Espectrometria de Massa. A maior parte do equipamento de apoio ao projecto encontra-se disponível na instituição parceira, mas técnicas e equipamentos adicionais serão acedidos através de colaborações activas com instituições estrangeiras (WWU, Münster, Alemanha), incluindo a possível submissão de uma proposta a tempo de sincrotrão (SLS, Suíça) para aprofundar o problema caso se mostre apropriado.

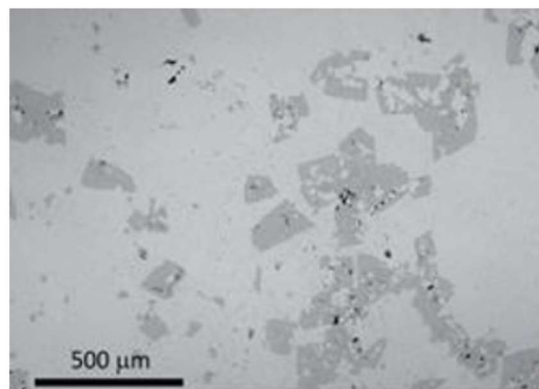
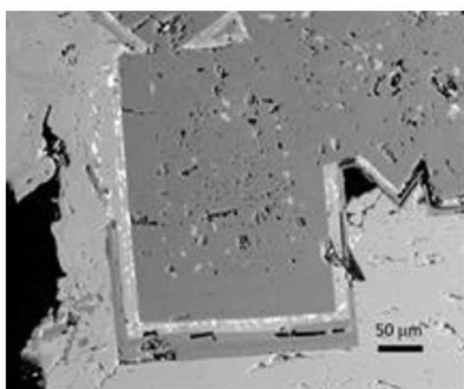


Figura 1. Esquerda: Imagem de electrões retrodifundidos (BSE) de cristais de dolomite (cinzento-escuro) com o bordo recrystalizado e o núcleo poroso com relíquias de calcite. Calcite tardia encontra-se a substituir a dolomite ao longo dos planos de clivagem, deixando um rasto de óxidos(hiróxidos) de ferro. **Direita:** Imagem BSE de cristais de dolomite (cinzento-escuro) parcialmente substituídos por calcite (desdolomitização). Imagem retirada de [7].

Requisitos

Grau em Ciências da Terra (Geologia/Geofísica) ou Química; conhecimentos sólidos de Mineralogia/Química Estrutural.

Referências

- [1] Arvidson, R. S. and Mackenzie, F. T. (1999). *Am J. Sci.*, 299: 257-288.
- [2] Warren, J. (2000). *Earth Sci. Rev.*, 52: 1-81.
- [3] Sibley, D.F., Nordeng, S.H. and Borkowski, M. L. (1994). *J. Sedim. Res.*, 64: 630-637.
- [4] Jonas, L., Muller, T., Dohmen, R., Baumgartner, L. and Putlitz, B. (2015). *Geology*, 43: 779-782.
- [5] Putnis, A. (2009). *Rev. Mineral. Geochem.*, 70: 87-124.
- [6] Vuckovic, M. et al. (2017), *Proc. Goldschmidt 2017*, Paris.
- [7] Gonçalves, M.A. et al. (2019), *E3S Web of Conferences*, 98: 01017. doi:10.1051/e3sconf/20199801017.



IDL 2023 - XXX

PhD in Marine Sciences

Title West Iberia Marine Primary Productivity in a Global Warming Scenario - WestPhyto-Glows

Supervision

Mário Cachão (IDL & FCUL), Gonçalo Prista (IDL)

Summary

Upwelling regions play an important role on productive fisheries and carbon sequestrations for sufficiently long periods to act as carbon sink (Hutchings et al., 1995). The effects of future climate change on upwelling systems are of high ecological, social, and economic importance, but predicting the response of marine ecosystems to it is difficult due to the complexity of these ecosystems (Mote & Mantua, 2002). One of the best tools we have is looking into the past and study the ecosystems response to climate events, as stated by McCarroll (2015), “study the past, if you would divine the future”.

There are different methodologies to study marine primary productivity in the geological record. Different proxies have different advantages and limitations. They depend on favorable preservation conditions, are subjected to sediment and oceanographic dynamics, have different residence time (see Paytan, 2009). In addition, these proxies may reveal other limitations, like demonstrated by Steiner et al. (2017) for Barium, which can leave undetected periods of increased productivity, or the decomposition of most of the organic matter during early stages of diagenesis, with only <0.5% of the original gross production reaching the sediment (Burdige, 2007).

Microfossil assemblages has long been used to access primary productivity in paleoceanography, both foraminifera (see Paytan, 2009) and coccolithophores (see Baumann et al., 1999). However, the biology knowledge of fossil species is limited and as stated by Paytan (2009), it is not clear to what extent the plankton assemblage reflects primary production, export production, or food availability.

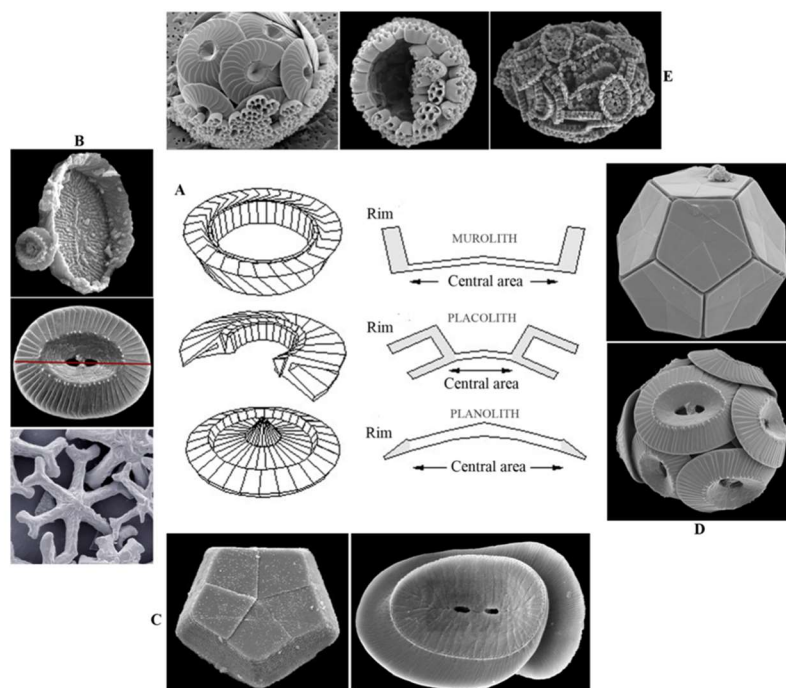
With these limitations in mind and looking into developing a method for primary productivity studies in the Cenozoic, Prista et al. (2020) used morphometry of coccolithophore *Coccolithus pelagicus* s.l. to extract the variability in coastal primary productivity. This species was chosen for 3 main reasons: 1) it first appeared in the early Paleocene; 2) it still exists today, and we have a good biological knowledge of it; 3) it thrives in upwelling regions.

Sheward et al. (2014, 2017) and Daniels et al. (2014) showed how *C. p. braarudii* changes sizes as response to nutrient availability, which created the opportunity to use morphometry to extract primary productivity information.

Prista et al. (2020) methodology opens the door to increase our knowledge on past upwelling systems and, more importantly, for studies of upwelling variability under climate change and climatic events of the Cenozoic. This tool, Integrated Multivariate Morphon Analysis (IMMA), can be used to study different sets of crucial Cenozoic intervals and events to understand the possible impact of current future projections on marine primary productivity of upwelling regions.

Although current knowledge gives robustness to IMMA methodology, it is important to determine the morphometric relation between *C. p. braarudii* and the upwelling index, which would allow for the development of a new primary productivity index that can be used in the current upwelling systems and the geological record. To achieve this goal, it is necessary to collect samples in the west coast of Portugal and perform morphometry of *C. p. braarudii* coccoliths, which would be compared to the upwelling index. This PhD project will consist on 4 samples collection per year on board fishing vessels, preparation of smear slides for morphometry of *C. p. braarudii*, and finally developing an upwelling index based on morphometry of *C. p. braarudii*.

This study is expected to largely contribute to studies on the effects of climate change on upwelling systems, which has major ecological and social importance for the near future.



References

- Baumann, K.-H., Čeppek, M., & Kinkel, H. (1999). Coccolithophores as Indicators of Ocean Water Masses, Surface-Water Temperature, and Paleoproductivity – Examples from the South Atlantic. *Use of Proxies in Paleoceanography*, 117–144. https://doi.org/10.1007/978-3-642-58646-0_4
- Burdige, D. J. (2007). Preservation of organic matter in marine sediments: Controls, mechanisms, and an imbalance in sediment organic carbon budgets? *Chemical Reviews*, 107(2), 467–485. <https://doi.org/10.1021/cr050347q>
- Daniels, C. J., Sheward, R. M., & Poulton, A. J. (2014). Biogeochemical implications of comparative growth rates of *Emiliana huxleyi* and *Coccolithus* species. *Biogeosciences*, 11(23), 6915–6925. <https://doi.org/10.5194/bg-11-6915-2014>
- Hutchings et al. 1995 The chemical and biological consequences of coastal upwelling. In: Summerhayes, C.P. et al. (eds) *Upwelling in the Ocean: Modern Processes and Ancient Records*. John Wiley & Sons, New York
- Mccarroll, D. (2015). “Study the past, if you would divine the future”: A retrospective on measuring and understanding Quaternary climate change. *Journal of Quaternary Science*, 30(2), 154–187. <https://doi.org/10.1002/jqs.2775>
- Mote, P. W., & Mantua, N. J. (2002). Coastal upwelling in a warmer future. *Geophysical Research Letters*, 29(23), 53-1-53-54. <https://doi.org/10.1029/2002gl016086>
- Paytan, A. (2009). Ocean Paleoproductivity. In: Gornitz, V. (eds) *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4411-3_158
- Prista, G., Narciso, Á., & Cachão, M. (2020). *Coccolithus pelagicus* subsp. *braarudii* morphological plasticity as a response to variations in the upwelling regime of the west coast of Iberia. *Micropaleontology*, 66(6), 549–571. <https://doi.org/10.47894/mpal.66.6.06>
- Sheward, R. M., Poulton, A. J., Gibbs, S. J., Daniels, C. J., & Bown, P. R. (2017). Physiology regulates the relationship between coccosphere geometry and growth phase in coccolithophores. *Biogeosciences*, 14(6), 1493–1509. <https://doi.org/10.5194/bg-14-1493-2017>
- Steiner, Z., Lazar, B., Torfstein, A., & Erez, J. (2017). Testing the utility of geochemical proxies for paleoproductivity in oxic sedimentary marine settings of the Gulf of Aqaba, Red Sea. *Chemical Geology*, 473(March), 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.10.012>



IDL 2023 - XXX

PhD in Marine Sciences

Title West Iberia Marine Primary Productivity in a Global Warming Scenario - WestPhyto-Glows

Supervision

Mário Cachão (Affiliation), Gonçalo Prista (IDL)

Summary

As regiões de afloramento costeiro desempenham um papel importante na produtividade da pesca e na fixação de carbono durante períodos suficientemente longos para atuarem como sequestradores de carbono (Hutchings et al., 1995). Os efeitos das futuras alterações climáticas nos sistemas de afloramento são de grande importância ecológica, social e económica, mas é difícil prever a resposta dos ecossistemas marinhos devido à complexidade dos mesmos (Mote & Mantua, 2002). Uma das melhores ferramentas de que dispomos é olhar para o passado e estudar a resposta dos ecossistemas aos fenómenos climáticos, como afirma McCarroll (2015), "estuda o passado, se queres prever o futuro".

Existem diferentes metodologias para estudar a produtividade primária marinha no registo geológico. Diferentes *proxies* têm diferentes vantagens e limitações. Estes dependem de condições de preservação favoráveis, estão sujeitos à dinâmica sedimentar e oceanográfica, têm diferentes tempos de residência (ver Paytan, 2009). Além disso, esses *proxies* podem revelar outras limitações, como demonstrado por Steiner et al. (2017) para o Bário, que pode deixar períodos de aumento de produtividade não detetados, ou a decomposição da maior parte da matéria orgânica durante os estágios iniciais da diagénese, com apenas <0,5% da produção bruta original chegando ao sedimento (Burdige, 2007).

As associações de microfósseis têm sido utilizadas há muito tempo para aceder à produtividade primária em paleoceanografia, tanto os foraminíferos (ver Paytan, 2009) como os coccolitóforos (ver Baumann et al., 1999). No entanto, o conhecimento da biologia das espécies fósseis é limitado e, como afirma Paytan (2009), não é claro até que ponto as associações planctónicas refletem a produção primária, a exportação de produção ou a disponibilidade de alimentos.

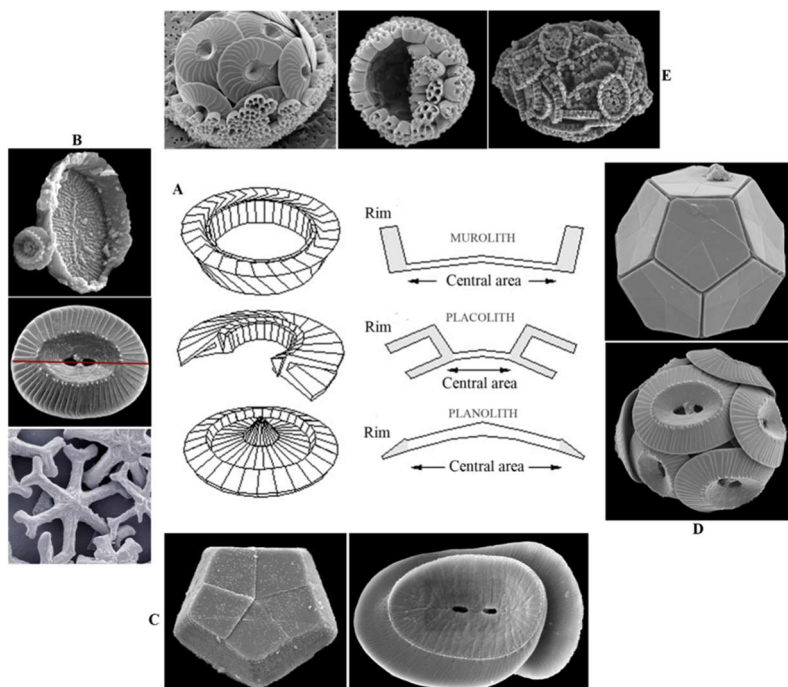
Com estas limitações em mente e procurando desenvolver um método para estudos de produtividade primária no Cenozóico, Prista et al. (2020) utilizaram a morfometria do coccolitóforo *Coccolithus pelagicus* s.l. para extrair a variabilidade da produtividade primária costeira. Esta espécie foi escolhida por 3 razões principais: 1) apareceu pela primeira vez no início do Paleoceno; 2) ainda existe hoje, e temos um bom conhecimento biológico sobre ela; 3) prospera em regiões de afloramento costeiro.

Sheward et al. (2014, 2017) e Daniels et al. (2014) mostraram como *C. p. braarudii* muda de tamanho em resposta à disponibilidade de nutrientes, o que criou a oportunidade de usar a morfometria para extrair informações sobre a produtividade primária.

A metodologia de Prista et al. (2020) abre a porta para aumentar o nosso conhecimento sobre sistemas de afloramento passados e, mais importante, para estudos de variabilidade de afloramento sob alterações climáticas e eventos climáticos do Cenozóico. Esta ferramenta, Integrated Multivariate Morphon Analysis (IMMA), pode ser utilizada para estudar diferentes conjuntos de intervalos e eventos cruciais do Cenozóico, a fim de compreender o possível impacto das atuais projeções futuras na produtividade primária marinha das regiões de afloramento. Embora o conhecimento atual dê robustez à metodologia IMMA, é importante determinar a relação morfométrica entre *C. p. braarudii* e o índice de afloramento, o que permitiria o desenvolvimento de um novo índice de produtividade primária que possa ser utilizado nos atuais sistemas de afloramento e no registo geológico. Para atingir este objetivo, é necessário recolher amostras na costa oeste de Portugal e realizar a morfometria dos cocólitos de *C. p. braarudii*, que serão comparados com o índice de afloramento.

Este projeto de doutoramento consistirá na recolha de 4 amostras por ano a bordo de embarcações de pesca, na preparação de lâminas de esfregaço para morfometria de *C. p. braarudii*, e finalmente no desenvolvimento de um índice de afloramento com base na morfometria de *C. p. braarudii*.

Espera-se que este estudo contribua largamente para os estudos sobre os efeitos das alterações climáticas nos sistemas de afloramento, o que tem uma grande importância ecológica e social para o futuro próximo.



References

- Baumann, K.-H., Čepeck, M., & Kinkel, H. (1999). Coccolithophores as Indicators of Ocean Water Masses, Surface-Water Temperature, and Paleoproductivity — Examples from the South Atlantic. *Use of Proxies in Paleoceanography*, 117–144. https://doi.org/10.1007/978-3-642-58646-0_4
- Burdige, D. J. (2007). Preservation of organic matter in marine sediments: Controls, mechanisms, and an imbalance in sediment organic carbon budgets? *Chemical Reviews*, 107(2), 467–485. <https://doi.org/10.1021/cr050347q>
- Daniels, C. J., Sheward, R. M., & Poulton, A. J. (2014). Biogeochemical implications of comparative growth rates of *Emiliana huxleyi* and *Coccolithus* species. *Biogeosciences*, 11(23), 6915–6925. <https://doi.org/10.5194/bg-11-6915-2014>
- Hutchings et al. 1995 The chemical and biological consequences of coastal upwelling. In: Summerhayes, C.P. et al. (eds) *Upwelling in the Ocean: Modern Processes and Ancient Records*. John Wiley & Sons, New York
- Mccarroll, D. (2015). “Study the past, if you would divine the future”: A retrospective on measuring and understanding Quaternary climate change. *Journal of Quaternary Science*, 30(2), 154–187. <https://doi.org/10.1002/jqs.2775>
- Mote, P. W., & Mantua, N. J. (2002). Coastal upwelling in a warmer future. *Geophysical Research Letters*, 29(23), 53-1-53–54. <https://doi.org/10.1029/2002gl016086>
- Paytan, A. (2009). Ocean Paleoproductivity. In: Gornitz, V. (eds) *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4411-3_158
- Prista, G., Narciso, Á., & Cachão, M. (2020). *Coccolithus pelagicus* subsp. *braarudii* morphological plasticity as a response to variations in the upwelling regime of the west coast of Iberia. *Micropaleontology*, 66(6), 549–571. <https://doi.org/10.47894/mpal.66.6.06>



**INSTITUTO
DOM LUIZ**



**Ciências
ULisboa**

Faculdade
de Ciências
da Universidade
de Lisboa



Fundação
para a Ciência
e a Tecnologia

- Sheward, R. M., Poulton, A. J., Gibbs, S. J., Daniels, C. J., & Bown, P. R. (2017). Physiology regulates the relationship between coccosphere geometry and growth phase in coccolithophores. *Biogeosciences*, 14(6), 1493–1509. <https://doi.org/10.5194/bg-14-1493-2017>
- Steiner, Z., Lazar, B., Torfstein, A., & Erez, J. (2017). Testing the utility of geochemical proxies for paleoproductivity in oxic sedimentary marine settings of the Gulf of Aqaba, Red Sea. *Chemical Geology*, 473(March), 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.10.012>



IDL 2023 - XXX

PhD in Geophysics and Geoinformation Sciences

3D crustal and mantle structure of the East mid-Atlantic region using active seismic data recorded by the UPFLOW OBS array

Supervision

Marta Neres (IPMA, IDL), Susana Custódio (FCUL, IDL) and Ana Ferreira (UCL)

Part of the work plan will be carried out at the University College London

Summary

The classical description of the structure of the oceanic crust is the layered Penrose model proposed in 1972. This model is supported by observations of fast-spreading ridges, in which the melt supply generates a regular, fully igneous crust. However, in slow-spreading ridges the melt supply is weaker and tectonic extension may play a major role, originating exhumation of deep crustal and upper mantle sections and promoting mantle serpentinization.

In this project, the PhD candidate will work with recent (2022) data from passive and active seismic surveys conducted on the region between the Tore-Madeira Rise and the Canaries. This region of the East Atlantic Ocean is still not well understood with respect to the original seafloor spreading and oceanic accretion processes. In addition, it was later affected by significant magmatic activity, as testified by a large number of volcanic islands and seamounts, and the causes for this magmatic activity are still unknown.

The aim of the project is to build a 3D seismic velocity model of the crust and upper mantle structure of the East mid-Atlantic region around Madeira and the Canary islands. The Pn tomography method (e.g., Buehler and Shearer, 2010) will be used along with regional seismic tomography to map 3-D crustal and upper mantle variations in seismic wave speed and in anisotropy. The resulting model will be compared and integrated with results from active seismic profiles. This approach will cover the resolution gap that exists between active experiments (in which only the crustal structure can be studied with high vertical resolution, but limited to the surveyed profile) and passive experiments (that are mostly prone to large scale studies of the mantle structure).

The project's results will allow evaluating the roles of the mantle upward flow, tectonics and original crustal structure on the past and present deformation of the oceanic crust. This has potential implications for the understanding of magmatic accretion, mantle exhumation and serpentinization, volcanism and seismic hazard.

The UPFLOW experiment (upflow-eu.github.io/) consisted of a passive seismic survey in which 49 OBSs (ocean-bottom seismometers) were left on the seafloor for more than one year (July 2021 to September 2022) for collecting seismic data in a $\sim 1,000 \times 2,000$ km² area covering the Azores-Madeira-Canaries region. The UPFLOW OBSs recorded a large variety of signals, from earthquakes, Earth's normal modes, whale vocalisations, and many other seismic sources and noise.

The LISA-ATLANTIS active seismic survey was conducted in June and July 2022 on the Madeira-Canaries region and comprised the acquisition of two seismic reflection and refraction lines of 450 km and 220 km length. Fortunately, the seismic shots of the LISA-ATLANTIS active experiment were recorded by the UPFLOW OBSs deployed on the



nearby seafloor, up to several hundreds of km of distance. These recordings comprise seismic waves that were generated at each sea surface source point and travelled through the water column, crust and mantle layers until each OBS. Thus, they contain information that can be used to investigate the crustal and mantle structure of the travelled path. Since the seismic source was moving and the OBSs were deployed on a large array, these data will allow constraining the structure with a large azimuthal coverage. In particular, Pn waves (P waves bottoming in the uppermost mantle) will be used due to their excellent sensitivity to both crustal and upper mantle structure.

References

- Buehler, J. S. and Shearer, P. M., 2010. Pn tomography of the western United States using USArray, J. Geophys. Res., doi: 10.1029/2009JB006874
- Ferreira, A. M. and Miranda, M. and the UPFLOW team: The UPFLOW experiment: peeking from the sea floor to the deep mantle with a ~1,500 km aperture array of 49 ocean bottom seismometers in the mid-Atlantic, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-10019, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-10019>, 2023



IDL 2023 - XXX

Doutoramento em Geofísica e Ciências da Geoinformação

Estrutura 3D da crosta e do manto superior na região do Atlântico Este (Madeira-Canárias) através de dados de sísmica activa registados pelos OBSs da campanha UPFLOW

Orientação

Marta Neres (IPMA, IDL), Susana Custódio (FCUL, IDL) and Ana Ferreira (UCL)

Bolsa Mista: Parte do trabalho proposto será feito na University College London (UCL)

Resumo

A descrição clássica da estrutura da crosta oceânica é o modelo em camadas de Penrose, proposto em 1972. Este modelo observa-se em dorsais de alastramento rápido (fast-spreading ridges), nas quais o fornecimento de magma gera uma crosta regular e totalmente magmática. No entanto, nas dorsais de alastramento lento (slow-spreading ridges), o fornecimento de magma é limitado e a extensão tectónica pode desempenhar um papel importante, originando a exumação de secções profundas da crosta e do manto superior e promovendo a serpentinização do manto.

Neste projecto, o candidato a doutoramento trabalhará com dados recentes (2022) de levantamentos sísmicos passivos e activos realizados na região entre a Crista Madeira-Tore e as Canárias. Esta região do Atlântico Este ainda não é bem compreendida no que diz respeito aos processos de alastramento e acreção oceânica. Além disso, foi posteriormente afectada por uma actividade magmática significativa, testemunhada por um grande número de ilhas vulcânicas e montes submarinos, cujas causas não são totalmente conhecidas.

O objectivo do projecto é construir um modelo de velocidade sísmica 3D da estrutura da crosta e do manto superior da região do Atlântico Este, em torno das Ilhas da Madeira e das Canárias. Será usado o método de tomografia Pn (e.g., Buehler e Shearer, 2010) juntamente com tomografia sísmica regional para mapear as variações da velocidade e da anisotropia das ondas sísmicas na crosta e no manto superior. O modelo resultante será comparado e integrado com os resultados de perfis de sísmica activa. Esta abordagem cobrirá a lacuna que existe entre a resolução dos levantamentos de sísmica activa (em que apenas a estrutura da crosta pode ser estudada, com alta resolução vertical mas limitada ao perfil estudado) e os estudos de sísmica passiva (que são principalmente dedicados à estrutura do manto, em maior escala).

Os resultados do projecto permitirão avaliar o papel do fluxo mantélico ascendente, da tectónica e da estrutura original na deformação passada e presente da crosta oceânica, e terão implicações para a compreensão da acreção magmática, exumação e serpentinização do manto, vulcanismo e risco sísmico.

A experiência UPFLOW (<https://upflow-eu.github.io/>) consistiu num levantamento sísmico passivo em que 49 OBSs (sismómetros de fundo oceânico) foram deixados no fundo do mar durante mais de um ano (julho de 2021 a setembro de 2022) numa área de ~1.000×2.000 km² que abrange a região dos Açores-Madeira-Canárias. Os OBSs UPFLOW registaram uma grande variedade de sinais, desde sismos, modos normais da Terra, vocalizações de baleias



e muitas outras fontes sísmicas e de ruído.

O levantamento sísmico activo LISA-ATLANTIS foi realizado em Junho e Julho de 2022 na região Madeira-Canárias e incluiu a aquisição de duas linhas sísmicas de reflexão e refacção com 450 km e 220 km de comprimento.

Os disparos sísmicos LISA-ATLANTIS foram registados pelos OBS UPFLOW localizados até várias centenas de km de distância. Estes registos são ondas sísmicas que foram geradas em cada ponto de disparo na superfície do mar e que viajaram através da coluna de água, da crosta e das camadas do manto até cada OBS. Assim, contêm informações que podem ser utilizadas para investigar a estrutura da crosta e do manto ao longo do trajecto percorrido. Uma vez que a fonte sísmica se encontrava em movimento e os OBSs estavam dispersos por uma área bastante grande, estes dados permitirão constranger a estrutura com uma grande cobertura azimutal. Em particular, serão utilizadas as ondas Pn (ondas P que atingem o fundo do manto superior) devido à sua excelente sensibilidade à estrutura da crosta e do manto superior.

Referências

Buehler, J. S. and Shearer, P. M., 2010. Pn tomography of the western United States using USArray, J. Geophys. Res., doi: 10.1029/2009JB006874

Ferreira, A. M. and Miranda, M. and the UPFLOW team: The UPFLOW experiment: peeking from the sea floor to the deep mantle with a ~1,500 km aperture array of 49 ocean bottom seismometers in the mid-Atlantic, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-10019, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-10019>, 2023



IDL 2023 - XXX

PhD in Geophysics and Geoinformation Sciences

Probabilistic PV and load forecasting for enhanced energy management in Renewable Energy Communities

Supervision

Miguel Centeno Brito (IDL), Rodrigo Amaro e Silva (Mines Paris, France)

Part of the proposed work will be done at Mines Paris.

Summary

The expected exponential growth of photovoltaics (PV) will demand an ever more efficient integration of an energy source which is characterized by an intrinsic variability at different spatial and temporal scales. In this sense, the legal framework for Renewable Energy Communities (REC) aims to bolster the development of local self-consumption of renewable energy sources and its interaction with prosumer collectives and complementary technologies (e.g. batteries and electric vehicles), all leveraged by local energy management (EM) strategies [1].

Thus, this PhD project aims at building a support framework for the operation of RECs, mainly consisting of PV and batteries for collective self-consumption, relying on EM strategies driven by load and PV forecasts. Traditionally, deterministic forecasts prevail in industrial applications since these are easier to understand and evaluate [2]. However, this PhD project aims to understand how probabilistic forecasts – which provide an awareness of uncertainty, likelihood, and risk – can be integrated and enhance the management of batteries. By modelling the integration of such forecasts in a given energy management strategy, it will be possible to evaluate the techno-economic value of different forecasts [3] and understand if *a priori* statistical performance metrics can be used as proxy indicators.

Both forecast variables have well-known strong dependencies with meteorological conditions (e.g., solar irradiance, air temperature), making it of great importance to properly understand and take advantage of the different information layers present in Earth Observation data [4]. Namely, in-situ measurements, satellite data, and numerical weather prediction models may be explored.

In summary, this work aims to adopt a holistic approach towards RECs, EM, and probabilistic forecasting, for which the literature is abundant as individual research topics, but scarce when combined.

References

- [1] I. F. G. Reis et al., "Business models for energy communities: A review of key issues and trends," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 144, p. 111 013, 2021.
- [2] R. J. Bessa et al., "Towards improved understanding of the applicability of uncertainty forecasts in the electric power industry," *Energies*, vol. 10, no. 9, 2017.
- [3] G.B.M.A. Litjens et al., "Assessment of forecasting methods on performance of photovoltaic-battery Systems," *Applied Energy*, vol. 221, 2018.
- [4] M. Schroedter-Homscheidt, "Earth observation based cloud, aerosol, and irradiance information for applications in solar energy generation," in *Light, Energy and the Environment*, OSA Technical Digest, 2016.

IDL 2023 - XXX

PhD em Ciências Geofísicas e da Geoinformação

Previsão probabilística de consumo elétrico e produção fotovoltaica para uma melhor gestão de energia em Comunidades de Energia Renovável

Orientação

Miguel Centeno Brito (IDL), Rodrigo Amaro e Silva (Mines Paris, France)

Parte do trabalho proposto será desenvolvido em Mines Paris.

Resumo

O crescimento exponencial previsto para a energia fotovoltaica (PV) exigirá uma integração cada vez mais eficiente desta fonte que é caracterizada por uma variabilidade intrínseca a diferentes escalas de tempo e espaço. Nesse sentido, o quadro regulamentar para as Comunidades de Energia Renovável (CER) visa promover o desenvolvimento do autoconsumo local de fontes renováveis e a sua interação com coletivos de prosumidores e tecnologias complementares (p.e., baterias e veículos elétricos), apoiado por estratégias locais de gestão de energia (GE) [1].

Este projeto de doutoramento tem como objetivo definir uma arquitetura conceptual que visa apoiar a operação das CERs - compostas principalmente por PV e baterias para autoconsumo coletivo - com base em estratégias de gestão de energia desenhadas a partir de previsões de consumo e PV. Em aplicações industriais estas previsões tendem a ser determinísticas, visto que estas são mais fáceis de utilizar e avaliar [2]. No entanto, este projeto procura compreender como integrar previsões probabilísticas - que fornecem uma consciência da incerteza, probabilidade e risco - e qual o seu valor acrescentado para a gestão das baterias. A modelação da integração destas previsões numa determinada estratégia de gestão de energia permitirá avaliar o seu valor técnico-económico [3] e entender se métricas de desempenho estatístico podem ser usadas como indicadores a priori.

Tanto o consumo como o PV mostram dependências bem conhecidas com a meteorologia (por exemplo, irradiação solar, temperatura do ar), sendo importante compreender e explorar as diferentes camadas de informação presentes nos dados de Observação da Terra [4]. Nomeadamente, medições in-situ, dados de satélite e modelos de previsão meteorológica numérica podem ser explorados.

Em resumo, este trabalho procura adotar uma abordagem holística que interligue CERs, GE e previsões probabilísticas, para as quais a literatura é abundante enquanto tópicos isolados, mas escassa quando combinados.

Referências

- [1] I. F. G. Reis et al., "Business models for energy communities: A review of key issues and trends," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 144, p. 111 013, 2021.
- [2] R. J. Bessa et al., "Towards improved understanding of the applicability of uncertainty forecasts in the electric power industry," *Energies*, vol. 10, no. 9, 2017.
- [3] G.B.M.A. Litjens et al., "Assessment of forecasting methods on performance of photovoltaic-battery Systems," *Applied Energy*, vol. 221, 2018.
- [4] M. Schroedter-Homscheidt, "Earth observation based cloud, aerosol, and irradiance information for applications in solar energy generation," in *Light, Energy and the Environment*, OSA Technical Digest, 2016.



IDL 2023 - XXX

PhD in Geophysics and Geoinformation Sciences

The role of large-scale patterns in extreme weather events in a changing climate

Supervision

Pedro M. M. Soares (IDL-FCUL), David Barriopedro (Univ. Complutense, Madrid)

Part of the proposed work will be done at Univ. Complutense, Madrid.

Objectives

- To develop a new methodology for the identification of large-scale patterns (atmospheric blockings) at the global scale using machine learning methods. Subsequently, extend the methodology to extreme weather events and associate it with the configuration of large-scale patterns.
- To contribute to the understanding of these links in a changing climate, through paleoclimate modelling covering different past periods, as well as through different climate change scenarios until the end of the present century.

Motivation & Summary

The mid-latitudes climate in the northern hemisphere is regulated by a series of perturbations with a zonal westerly flow. This flow can sometimes be disturbed by intense large-scale atmospheric perturbations, often leading to large quasi-stationary high pressure anticyclonic systems known as atmospheric blockings [1,2]. These atmospheric perturbations are related with complex dynamics often have associated extreme weather events that can sometimes be catastrophic [1-3]. Recently, the impacts of atmospheric blockings have been catalogued, varying geographically depending on the region that is blocked, with important impacts on extreme temperatures [4] and anomalous precipitation patterns due to changes in the trajectories of low-pressure systems (cyclones) [3,5]. However, the analysis of these events and consequent link to extreme episodes through numerical models is difficult to perform, being under-represented in medium-term weather forecasts and in climate models [6,7]. In recent years, an important effort has been made to improve the understanding of the dynamics and other characteristics of blockings, as well as to assess the changes in frequency and amplitude that atmospheric blockings will undergo in a changing climate, and what this implies for the occurrence of extreme events [1].

During the last decade, several groups have been applying machine learning methods with the aim of improving the study of various areas of science. In the context of this work, relevant studies highlight the importance of using these methodologies for the study of extreme atmospheric events in a changing climate [8], and for the substantial improvement of medium-term forecasting systems [9]. Recently, these methods have been reviewed in [10], where several different machine learning approaches are presented to evaluate their performance when tackling on real case scenarios of extreme events such as heavy precipitation, heat waves, droughts, and various cyclonic systems from extra-tropical to tropical. Regarding atmospheric blockings, [11] used a machine learning algorithm to identify these patterns using known blocking indices, showing great potential in this approach.

In this context, the present PhD proposal aims at integrating advanced data science techniques, namely machine learning, to improve the already known methods for identifying atmospheric blockings (globally) and extreme events

(focused on Europe). Subsequently, an in-depth analysis will be performed between the observed relationship between blockings and extreme events with a historical framework (approximately since the beginning of the 20th century), in relation to paleoclimates (relative to the last millennium, the last glacial maximum and the last interglacial Eemian period) and in relation to different climate change scenarios for the 21st century.

Methodology

To use and train the machine learning methods, a reproduction of the most recent atmospheric blocking catalogues will be made, using high spatial resolution sub-daily reanalysis data. The intention is to later use the same data and extend the analysis to a longer period using machine learning methods. Afterwards, the already extensive bibliography of identification of several extreme events will be used to associate them with blocking catalogues. Finally, these relations obtained in the historical period will be compared with other two periods, through a set of simulations of coupled climate models, specifically for the past with the "Paleoclimate Modelling Intercomparison Project phase 4" (PMIP4) and for the future based on the "Coupled Model Intercomparison Project phase 6" (CMIP6).

References

- [1] Woollings, T., Barriopedro, D., Methven, J., Son, S. W., Martius, O., Harvey, B., ... & Seneviratne, S. (2018). Blocking and its response to climate change. *Current climate change reports*, 4, 287-300. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0108-z>
- [2] Trigo, R. M., Trigo, I. F., DaCamara, C. C., & Osborn, T. J. (2004). Climate impact of the European winter blocking episodes from the NCEP/NCAR Reanalyses. *Climate Dynamics*, 23, 17-28. <https://doi.org/10.1007/s00382-004-0410-4>
- [3] Kautz, L. A., Martius, O., Pfahl, S., Pinto, J. G., Ramos, A. M., Sousa, P. M., & Woollings, T. (2022). Atmospheric blocking and weather extremes over the Euro-Atlantic sector—a review. *Weather and Climate Dynamics*, 3(1), 305-336. <https://doi.org/10.5194/wcd-3-305-2022>
- [4] Sousa, P. M., Trigo, R. M., Barriopedro, D., Soares, P. M., & Santos, J. A. (2018). European temperature responses to blocking and ridge regional patterns. *Climate Dynamics*, 50, 457-477. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3620-2>
- [5] Yang, M., Luo, D., Li, C., Yao, Y., Li, X., & Chen, X. (2021). Influence of atmospheric blocking on storm track activity over the North Pacific during boreal winter. *Geophysical Research Letters*, 48(17), e2021GL093863. <https://doi.org/10.1029/2021GL093863>
- [6] Davini, P., & D'Andrea, F. (2016). Northern Hemisphere atmospheric blocking representation in global climate models: twenty years of improvements?. *Journal of Climate*, 29(24), 8823-8840. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0242.1>
- [7] Schiemann, R., Demory, M. E., Shaffrey, L. C., Strachan, J., Vidale, P. L., Mizieliński, M. S., ... & Jung, T. (2017). The resolution sensitivity of Northern Hemisphere blocking in four 25-km atmospheric global circulation models. *Journal of Climate*, 30(1), 337-358. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0100.1>
- [8] Rolnick, D., Donti, P. L., Kaack, L. H., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K., ... & Bengio, Y. (2022). Tackling climate change with machine learning. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 55(2), 1-96. <https://doi.org/10.1145/3485128>
- [9] Cohen, J., Coumou, D., Hwang, J., Mackey, L., Orenstein, P., Tetz, S., & Tziperman, E. (2019). S2S reboot: An argument for greater inclusion of machine learning in subseasonal to seasonal forecasts. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 10(2), e00567. <https://doi.org/10.1002/wcc.567>
- [10] Salcedo-Sanz, S., Pérez-Aracil, J., Ascenso, G., Del Ser, J., Casillas-Pérez, D., Kadow, C., ... & Castelletti, A. (2022). Analysis, characterization, prediction and attribution of extreme atmospheric events with machine learning: a review. *arXiv preprint arXiv:2207.07580*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.07580>
- [11] Thomas, C., Voulgarakis, A., Lim, G., Haigh, J., & Nowack, P. (2021). An unsupervised learning approach to identifying blocking events: the case of European summer. *Weather and Climate Dynamics*, 2(3), 581-608. <https://doi.org/10.5194/wcd-2-581-2021>

IDL 2023 - XXX

Doutoramento em Geofísica e Ciências da Geoinformação

O papel dos padrões de larga escala em eventos climáticos extremos num clima em mudança

Supervisão

Pedro M. M. Soares (IDL-FCUL), David Barriopedro (Univ. Complutense, Madrid)

Parte do trabalho proposto será realizado na Univ. Complutense, Madrid.

Objetivos

- Criar uma metodologia para a identificação de padrões de larga escala (bloqueios atmosféricos) a nível global recorrendo a métodos de aprendizagem automática (*machine learning*). Subsequentemente, estender a metodologia a eventos climáticos extremos e associar à configuração dos padrões de larga escala.
- Contribuir para o conhecimento destas associações num clima em mudança, através da modelação paleoclimática em diferentes períodos e através de distintos cenários de alterações climáticas até ao final do presente século.

Motivação e resumo

O clima das latitudes médias do hemisfério norte é regulado por uma série de perturbações com um fluxo zonal proveniente do Oeste. Este fluxo pode, por vezes, ser perturbado por intensas perturbações atmosféricas de larga escala, conduzindo frequentemente a grandes zonas anticiclónicas quase estacionárias de alta pressão, conhecidas como bloqueios atmosféricos [1,2]. Estas perturbações atmosféricas estão associadas a dinâmicas bastante complexas frequentemente associadas a eventos climatológicos extremos que, por vezes, podem ser catastróficos [1-3]. Recentemente, os impactos dos bloqueios atmosféricos têm sido catalogados, variando geograficamente consoante a região que se encontra bloqueada, com importantes impactos em temperaturas extremas [4] e em padrões de precipitação anómalos, devido a alterações nas trajetórias de sistemas de baixa pressão (ciclones) [3,5]. No entanto, a análise destes eventos e consequente a ligação a episódios extremos através de modelos numéricos é de difícil execução, encontrando-se sub-representados nas previsões meteorológicas de médio prazo e também em modelos climáticos [6,7]. Nos últimos anos, um importante esforço tem vindo a ser realizado para que se possa melhorar a compreensão da dinâmica e demais características dos bloqueios, bem como aferir as alterações de frequência e amplitude que os bloqueios atmosféricos irão sofrer num clima em mudança, e o que isto implica para a ocorrência de eventos extremos [1].

Durante a última década, vários grupos têm vindo a aplicar métodos de aprendizagem automática (*machine learning*) com o objetivo de melhorar o estudo de diversas áreas da ciência. No contexto deste trabalho, relevantes estudos realçam a importância da utilização destas metodologias para o estudo de eventos atmosféricos extremos num clima em mudança [8], e também para a melhoria substancial dos sistemas de previsão a médio prazo [9]. Recentemente, estes métodos foram revistos em [10], onde várias variantes de aprendizagem automática são apresentadas em cenários reais de casos de eventos extremos como precipitação intensa, ondas de calor, secas, e diversos sistemas ciclónicos desde extratropicais a tropicais. No que toca a bloqueios atmosféricos, [11] utilizou um algoritmo de aprendizagem automática para identificar estes padrões recorrendo a índices de bloqueio conhecidos, apresentando um potencial nesta abordagem.

Neste contexto, a presente proposta de doutoramento visa integrar técnicas avançadas de ciência dos dados, nomeadamente aprendizagem automática, para melhorar os já conhecidos métodos de identificação de bloqueios atmosféricos (globalmente) e de eventos extremos (centrados na Europa). Posteriormente, pretende-se realizar uma análise aprofundada entre a relação observada entre os bloqueios e eventos extremos com um enquadramento histórico (aproximadamente desde o início do século XX), em relação a paleoclimas (relativos ao último milénio, ao último máximo glacial e último período interglacial Eemiano) e em relação a diferentes cenários de alterações climáticas para o século XXI.

Metodologia

Para utilizar e treinar os métodos de aprendizagem automática, começar-se-á por uma reprodução dos mais recentes catálogos de bloqueios atmosféricos, com recurso a dados de reanálise sub-diários de alta resolução espacial. Pretende-se posteriormente utilizar os mesmos dados e estender a análise para um período mais extenso com recurso aos métodos de aprendizagem automática. Posteriormente, ir-se-á recorrer à já extensa bibliografia de identificação de diversos eventos extremos para poder associar ao catálogo de bloqueios. Por fim, esta relação no período histórico irá ser comparada com outros dois períodos, através dum conjunto de simulações de modelos climáticos acoplados, em concreto para o passado com o “Paleoclimate Modelling Intercomparison Project phase 4” (PMIP4) e para o futuro com base no “Coupled Model Intercomparison Project phase 6” (CMIP6).

Referências

- [1] Woollings, T., Barriopedro, D., Methven, J., Son, S. W., Martius, O., Harvey, B., ... & Seneviratne, S. (2018). Blocking and its response to climate change. *Current climate change reports*, 4, 287-300. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0108-z>
- [2] Trigo, R. M., Trigo, I. F., DaCamara, C. C., & Osborn, T. J. (2004). Climate impact of the European winter blocking episodes from the NCEP/NCAR Reanalyses. *Climate Dynamics*, 23, 17-28. <https://doi.org/10.1007/s00382-004-0410-4>
- [3] Kautz, L. A., Martius, O., Pfahl, S., Pinto, J. G., Ramos, A. M., Sousa, P. M., & Woollings, T. (2022). Atmospheric blocking and weather extremes over the Euro-Atlantic sector—a review. *Weather and Climate Dynamics*, 3(1), 305-336. <https://doi.org/10.5194/wcd-3-305-2022>
- [4] Sousa, P. M., Trigo, R. M., Barriopedro, D., Soares, P. M., & Santos, J. A. (2018). European temperature responses to blocking and ridge regional patterns. *Climate Dynamics*, 50, 457-477. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3620-2>
- [5] Yang, M., Luo, D., Li, C., Yao, Y., Li, X., & Chen, X. (2021). Influence of atmospheric blocking on storm track activity over the North Pacific during boreal winter. *Geophysical Research Letters*, 48(17), e2021GL093863. <https://doi.org/10.1029/2021GL093863>
- [6] Davini, P., & D’Andrea, F. (2016). Northern Hemisphere atmospheric blocking representation in global climate models: twenty years of improvements?. *Journal of Climate*, 29(24), 8823-8840. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0242.1>
- [7] Schiemann, R., Demory, M. E., Shaffrey, L. C., Strachan, J., Vidale, P. L., Mizieliński, M. S., ... & Jung, T. (2017). The resolution sensitivity of Northern Hemisphere blocking in four 25-km atmospheric global circulation models. *Journal of Climate*, 30(1), 337-358. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0100.1>
- [8] Rolnick, D., Donti, P. L., Kaack, L. H., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K., ... & Bengio, Y. (2022). Tackling climate change with machine learning. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 55(2), 1-96. <https://doi.org/10.1145/3485128>
- [9] Cohen, J., Coumou, D., Hwang, J., Mackey, L., Orenstein, P., Totz, S., & Tziperman, E. (2019). S2S reboot: An argument for greater inclusion of machine learning in subseasonal to seasonal forecasts. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 10(2), e00567. <https://doi.org/10.1002/wcc.567>
- [10] Salcedo-Sanz, S., Pérez-Aracil, J., Ascenso, G., Del Ser, J., Casillas-Pérez, D., Kadow, C., ... & Castelletti, A. (2022). Analysis, characterization, prediction and attribution of extreme atmospheric events with machine learning: a review. *arXiv preprint arXiv:2207.07580*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.07580>
- [11] Thomas, C., Voulgarakis, A., Lim, G., Haigh, J., & Nowack, P. (2021). An unsupervised learning approach to identifying blocking events: the case of European summer. *Weather and Climate Dynamics*, 2(3), 581-608. <https://doi.org/10.5194/wcd-2-581-2021>



INSTITUTO
DOM LUIZ



Ciências
ULisboa

Faculdade
de Ciências
da Universidade
de Lisboa



Fundação
para a Ciência
e a Tecnologia

IDL 2023 - XXX

PhD in Geophysics and Geoinformation Sciences

Evolutionary history of the crocodylomorphs from the Neogene of Portugal

Supervision

Pedro Mocho (Instituto Dom Luiz e Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa Portugal), Francisco Ortega (Universidad Nacional de Educación a Distancia UNED, Madrid, Spain)

Summary

The sedimentary deposits from the Cenozoic of Portugal, particularly from the Miocene of the Lower Tagus Basin are rich in vertebrate fossil macro remains. This siliciclastic sequence was deposited in a set of marine-to-continental environments, and, at least, seven sedimentary cycles have been established (Antunes & Pais 1993; three following Cachão & Silva 2000). Around Lisbon, the Miocene sequence reach almost 300 meters and is characterized by numerous fossiliferous assemblages with vertebrate fossils, including fishes, turtles, crocodiles, and mammals. (Bergounioux et al. 1953; Antunes 1961, 1984; Antunes & Ginsburg 1983).

Crocodylomorpha was a diverse group of vertebrates during the Mesozoic, but nowadays, it is represented only approximately by 23 species (depending on authors) of the three lineages of Eusuchia (crocodiloids, alligatoroids, and gavialoids) that make up the Crocodylia crown-group. The members of Crocodylia living today are adapted to subtropical and tropical freshwater and saltwater environments, and are semiaquatic ambush predators and piscivores (e.g. Rio & Mannion 2021). Several crocodylomorph remains have been discovered in Miocene rocks of the Lower Tagus Basin and they were briefly described by Zbyszewski (1949), and Antunes (1961, 1987, 1994). These remains include two nearly complete skulls, several incomplete cranial and tooth remains and an appreciable set of axial and appendicular elements, currently deposited on the Museu Nacional de História Natural e da Ciência (Lisboa, Portugal) and Museu Geológico (Lisboa, Portugal). Antunes (1961) established a new species of the genus *Tomistoma*, *Tomistoma lusitanica*, which is recorded from the Burdigalian to Tortonian. In this study, the presence of another species of *Tomistoma*, *Tomistoma* aff. *calarinatus*, is tentatively considered. Since then, no other study was performed to describe the material in detail and to test its taxonomical validity, and to understand the evolutionary history of Portuguese Neogene crocodiles, particularly the taxon *Tomistoma lusitanica*. The phylogenetic position of the genus *Tomistoma* and their European members within Crocodylia have been debated, as there is a clear disagreement between the morphological phylogenetic proposals (classifying it as a member of the Crocodyloidea) and the molecular phylogenetic proposals (assigning it to the Gavialoidea) (e.g. Brochu 1997; Lee and Yates, 2018; Rio & Mannion 2021). Recently, Rio & Mannion (2021) recovered '*Tomistoma*' *lusitanica* within a Gavialoidea clade of late Oligocene–Miocene western European (*Gavialosuchus eggenburgensis*) and North American (*Thecachampsia*) taxa. This discussion is important for interpreting the evolutionary history of modern crocodiles and increases our knowledge of the extinct forms of the group may contribute to a better understanding of the evolution of Crocodylia.

The following PhD project aims to describe the crocodylomorph fossil record of the Neogene of Portugal, especially focused on the one recovered from the Miocene deposits of the Lower Tagus Basin, to characterize the crocodylomorph diversity in this region during this time. Two main lines of research with associated objectives (O) and hypothesis (H) have been established:

O1: Proposal of a new systematic approach for the crocodylomorph remains recovered in the Neogene of Portugal to assess the diversity of the clade and their stratigraphic and environmental distribution. **H1.** The Miocene crocodylomorphs are represented by more than one taxon: an estuarine and longirostral form related to Gavialoidea (*'Tomistoma' lusitanica*) and a less abundant and more robust form belonging to Crocodyloidea.

O2. Description of the holotype and referred material to *'Tomistoma' lusitanica* and test the validity of the taxon, provide a new diagnosis, and propose a new phylogenetic approach using the more recent datasets of morphological data. **H2.** *'Tomistoma' lusitanica* is a valid crocodilian species fully adapted to an estuarine environment, which is phylogenetically placed within Gavialoidea as an early branching form and closely related to the North American genus *Thecachampsa*.

Methodology: This project incorporates traditional and new methodologies and techniques. The first part of these studies is based on the morphological characterization of new and previously known specimens (e.g. description, identification of the character states, collection of numerical data). If necessary, the amendment of existing diagnoses and the formulation of new ones for new taxa will be proposed. The morphological variation will be described and justified in terms of individual, ontogenetic and sexual variability. Several characters will be encoded and included in phylogenetic analyses (some focused on resolving the relationships within problematic clades). A new data set of morphological characters will be established based on previous studies (e.g. Rio & Mannion 2021) and phylogenetic trees will be generated using Parsimony and Bayesian analyses (Goloboff et al. 2008; Ronquist et al. 2012). Computerized Tomography (CT) scan will be used to study internal structures to analyze the neurobiology of sensory systems of *'Tomistoma' lusitanica*.

References

- Antunes, M.T., 1961. *Tomistoma lusitanica*, crocodilien du Miocène du Portugal. Revista da Faculdade Ciências, 2ª Série, C-Ciências, 9, 5-88.
- Antunes, M.T., 1984. Essai de synthèse sur les Mammifères du Miocène du Portugal. Vol. D'Hommage au géologue G. Zbyszewski, Ed. Recherche sur les Civilisations, Paris: 301-323.
- Antunes, M.T., 1987. Ainiities and taxinomial status of Miocene longirostrine crocodilians from Western Europe with remarks on phylogeny, paleoecology and distribution. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal 73(1-2), 49-58.
- Antunes, M.T., 1994. On Western Europe Miocene Gavials (Crocodylia)/ their Paleogeography, Migrations and Climatic significance. Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro 80, 57-69.
- Antunes, M.T., Ginsburg, L., 1983. Les rhinocérotidés du miocène de lisbonne – systématique, écologie, paleobiogéographie, valeur stratigraphique. Ciências da Terra (UNL) 7, 17-98.
- Antunes, M.T., Pais, J., 1993. The Neogene of Portugal. Ciências da Terra 12, 7-22.
- Bergounioux, L.P.F.M., Zbyszewski, G., Crouzel, L'A.F., 1953. Les Mastodontes Miocènes du Portugal. Mémoires de Services Géologiques du Portugal 1, 1-139.
- Brochu, C.A., 1997 Morphology, fossils, divergence timing, and the phylogenetic relationships of Gavialis. Systematic Biology 46, 479–522. <https://doi.org/10.1093/sysbio/46.3.479>
- Cachão, M., Silva, C.M. da., 2000. The three main marine depositional cycles of the Neogene of Portugal, Ciências da Terra, 14: 303-312.
- Goloboff, P.A., Farris, J.S., Nixon, K.C. 2008., TNT, a free program for phylogenetic analysis Cladistics 24, 1-13. <https://doi.org/10.1111/j.1096-0031.2008.00217.x>
- Lee, M.S.Y., Yates, A.M., 2018. Tip-dating and homoplasy: reconciling the shallow molecular divergences of modern gharials with their long fossil record. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 285: 20181071. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2018.1071>.
- Rio, J.P., Mannion, P.D., 2021. Phylogenetic analysis of a new morphological dataset elucidates the evolutionary history of Crocodylia and resolves the long-standing gharial problem. PeerJ 9, e12094. <https://doi.org/10.7717/peerj.12094>.
- Ronquist, F., Teslenko, M., van der Mark, P., Ayres, D.L., Darling, A., Höhna, S., Larget, B., Liu, L., Suchard, M.A., Huelsenbeck, J.P., 2012. MrBayes 3.2: Efficient Bayesian Phylogenetic Inference and Model Choice Across a Large Model Space. Systematic Biology 61, 539-542. <https://doi.org/10.1093/sysbio/sys029>
- Zbyszewski, G., 1949. Les vertébrés du Burdigalien supérieur de Lisbonne. Services géologiques du Portugal, Lisbonne, 77 pp.

IDL 2023 - XXX**Doutoramento em Geologia**

História evolutiva dos crocodilomorfos do Neogénico de Portugal

Orientação

Pedro Mocho (Instituto Dom Luiz e Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa Portugal), Francisco Ortega (Universidad Nacional de Educación a Distancia UNED, Madrid, Spain)

Sumário

Os depósitos sedimentares do Cenozóico de Portugal, em particular, do Miocénico da Bacia do Baixo Tejo são ricos em fósseis de vertebrados. Esta sequência de rochas siliciclásticas foi depositada em ambientes marinhos a continentais durante, pelo menos, sete ciclos sedimentares (Antunes & Pais 1993; três segundo Cachão & Silva 2000). Na região de Lisboa, o Miocénico atinge quase 300 metros de espessura e caracteriza-se pela existência de várias associações fossilíferas com restos de vertebrados, incluindo peixes, tartarugas, crocodilos e mamíferos (Bergounioux et al. 1953; Antunes 1961, 1984; Antunes & Ginsburg 1983).

Crocodylomorpha foi um grupo diverso durante o Mesozóico, estando representado atualmente por apenas 23 espécies (dependendo dos autores) de três linhagens de Eusuchia (Crocodyloidea, Alligatoroidea e Gavialoidea) que constituem o grupo coroa Crocodylia. Os membros atuais de Crocodylia correspondem a predadores por emboscada ou a piscívoros adaptados a ambientes subtropicais a tropicais de água doce e salgada (e.g. Rio & Mannion 2021). Vários restos de crocodilomorfos foram descobertos nas rochas do Miocénico da Bacia do Baixo Tejo, tendo sido brevemente descritos por Zbyszewski (1949) e Antunes (1961, 1987, 1994). Estes restos incluem dois crânios quase completos, e vários elementos craniais fragmentários, numerosos dentes, e um conjunto significativo de elementos axiais e apendiculares, atualmente depositados no Museu Nacional de História Natural e da Ciência (Lisboa, Portugal) e Museu Geológico (Lisboa, Portugal). Antunes (1961) definiu uma nova espécie do género *Tomistoma*, *Tomistoma lusitanica* (Burdigaliano-Tortoniano). Neste estudo, a presença de uma segunda espécie de *Tomistoma*, *Tomistoma* aff. *calarinatus*, foi tentativamente considerada. Desde então, nenhum outro estudo foi realizado com o objetivo de descrever este material em detalhe, testar a validade taxonómica dos taxa representados, e compreender a histórica evolutiva dos crocodilos do Neogénico português, em particular de *Tomistoma lusitanica*. A posição filogenética do género *Tomistoma* e dos seus membros europeus dentro de Crocodylia é debatida, existindo um desacordo entre as propostas filogenéticas morfológicas e moleculares que o classificam como membro de Crocodyloidea ou Gavialoidea, respetivamente (e.g. Brochu 1997; Lee & Yates, 2018; Rio & Mannion 2021). Recentemente, Rio & Mannion (2021) recuperam '*Tomistoma*' *lusitanica* como membro de Gavialoidea, num grupo de taxa do Oligocénico superior-Miocénico da Europa ocidental (*Gavialosuchus eggenburgensis*) e América do Norte (*Thecachampsa*). Esta discussão é importante para poder interpretar a história evolutiva dos crocodilos modernos e obter nova informação sobre formas extintas deste grupo que poderão contribuir para melhor compreender a evolução de Crocodylia.

Este projeto de doutoramento pretende descrever o registo fóssil de crocodilomorfos proveniente do Neogénico de Portugal, em especial, os restos provenientes dos depósitos miocénicos da Bacia do Baixo Tejo, e caracterizar a diversidade do grupo nesta região durante este período. Duas linhas de investigação com objetivos (O) e hipóteses (H) associadas serão estabelecidas:

O1: Estudo filogenético dos restos de crocodilomorfos descobertos no Neogénico de Portugal e análise da diversidade do clado e a sua distribuição estratigráfica e paleoambiental. **H1.** Os crocodilomorfos do Miocénico de Portugal estão representados por pelo menos duas espécies: uma forma estuarina de rostro alongado e relacionada com Gavialoidea (*'Tomistoma' lusitanica*) e uma forma robusta e menos abundante relacionada com Crocodyloidea.

O2. Descrição do holótipo e material referido a *'Tomistoma' lusitanica* de forma a testar a sua validade, e propor uma nova diagnose e uma proposta filogenética atualizada através do uso das bases de dados morfológicos mais recentes.

H2. *'Tomistoma' lusitanica* é uma espécie de Crocodylia válida e completamente adaptada a ambientes estuarinos, que está relacionado com o grupo Gavialoidea, e corresponde a uma forma basal aparentada ao género *Thecachamps* da América do Norte.

Metodologia: Este projeto incorpora metodologias e técnicas tradicionais e modernas. A primeira parte deste estudo incluirá a caracterização morfológica de exemplares clássicos e inéditos (e.g. descrição, identificação de estados de carácter, obtenção de dados numéricos). Se necessário, as diagnoses dos taxa em estudo serão emendadas, e novas serão estabelecidas para possíveis novos taxa. A variação morfológica será descrita e justificada em termos de variabilidade individual, ontogenética e sexual. Caracteres morfológicos serão codificados e incluídos nas análises filogenéticas (alguns destes caracteres centrados em compreender a relações de clados problemáticos). Novas matrizes de dados morfológicos serão estabelecidas com base em estudos anteriores (e.g. Rio & Mannion 2021) e árvore filogenéticas serão geradas usando a máxima parcimónia e análises Bayesianas (Goloboff et al. 2008; Ronquist et al. 2012). Tomografia computadorizada (CTscan) serão usadas para estudar a estruturas internas de forma a analisar neurobiologia dos sistemas sensoriais de *'Tomistoma' lusitanica*.

Referências

- Antunes, M.T., 1961. *Tomistoma lusitanica*, crocodilien du Miocène du Portugal. Revista da Faculdade Ciências, 2ªSérie, C-Ciências, 9, 5-88.
- Antunes, M.T., 1984. Essai de synthèse sur les Mammifères du Miocène du Portugal. Vol. D'Homage au géologue G. Zbyszewski, Ed. Recherche sur les Civilisations, Paris: 301-323.
- Antunes, M.T., 1987. Ainities and taxinomial status of Miocene longirostrine crocodilians from Western Europe with remarks on phylogeny, paleoecology and distribution. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal 73(1-2), 49-58.
- Antunes, M.T., 1994. On Western Europe Miocene Gavials (Crocodylia)/ their Paleogeography, Migrations and Climatic signiicance. Comunicações do. Instituto Geológico e Mineiro 80, 57-69.
- Antunes, M.T., Ginsburg, L., 1983. Les rhinocerotidés du miocène de lisbonne – systématique, écologie, paleobiogéographie, valeur stratigraphique. Ciências da Terra (UNL) 7, 17-98.
- Antunes, M.T., Pais, J., 1993. The Neogene of Portugal. Ciências da Terra 12, 7-22.
- Bergounioux, L.P.F.M., Zbyszewski, G., Crouzel, L'A.F., 1953. Les Mastodontes Miocènes du Portugal. Mémoires de Services Géologiques du Portugal 1, 1-139.
- Brochu, C.A., 1997 Morphology, fossils, divergence timing, and the phylogenetic relationships of Gavialis. Systematic Biology 46, 479–522. <https://doi.org/10.1093/sysbio/46.3.479>
- Cachão, M., Silva, C.M. da., 2000. The three main marine depositional cycles of the Neogene of Portugal, Ciências da Terra, 14: 303-312.
- Goloboff, P.A., Farris, J.S., Nixon, K.C. 2008., TNT, a free program for phylogenetic analysisCladistics 24, 1-13. <https://doi.org/10.1111/j.1096-0031.2008.00217.x>
- Lee, M.S.Y., Yates, A.M., 2018. Tip-dating and homoplasy: reconciling the shallow molecular divergences of modern gharials with their long fossil record. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 285: 20181071. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2018.1071>.
- Rio, J.P., Mannion, P.D., 2021. Phylogenetic analysis of a new morphological dataset elucidates the evolutionary history of Crocodylia and resolves the long-standing gharial problem. PeerJ 9, e12094. <https://doi.org/10.7717/peerj.12094>.
- Ronquist, F., Teslenko, M., van der Mark, P., Ayres, D.L., Darling, A., Höhna, S., Larget, B., Liu, L., Suchard, M.A., Huelsenbeck, J.P., 2012. MrBayes 3.2: Efficient Bayesian Phylogenetic Inference and Model Choice Across a Large Model Space. Systematic Biology 61, 539-542. <https://doi.org/10.1093/sysbio/sys029>
- Zbyszewski, G., 1949. Les vertébrés du Burdigalien supérieur de Lisbonne. Services géologiques du Portugal, Lisbonne, 77 pp.



IDL 2023 - XXX

PhD in Geophysics and Geoinformation Sciences

Holocene Portuguese continental shelf paleoenvironmental evolution: characterization of the global and regional controlling factors

Supervision

Pedro Silva (FCUL/ISEL/IDL), Teresa Drago (IPMA/IDL), Cristina Roque (EMEPC/IDL)

Part of the proposed work will be done at IPMA Tavira field station

Summary

Continental shelves sedimentary record preserves a detailed and unique archive of environmental changes involving complex interaction among climate, oceanographic regime, sea level and sediment input from continental sources (Gao & Collins 2014; Lobo & Ridente, 2014). Changes in rainfall and hydrology, storm energy and frequency, global climate changes may leave their signature in shelf sedimentary record and morphology. Continental shelf sediments usually present a high deposition rate and proximity to sedimentary sources and thus are very sensitive to even minor environmental changes. They, therefore, can be used to distinguish between regional and global effects, and possibly to assist in differentiating between human-induced and natural environmental changes (Asioli *et al.* 2001).

The major environmental traits of the last deglaciation of Portuguese continental shelf based on studies integrated sedimentary, morphological and radiocarbon data were only published in the eighties (Dias, 1985). Since then, studies focusing on specific aspects on sedimentology and geochemical data (Araújo *et al.*, 2015; Mil-Homens *et al.*, 2017) or micropaleontology (Mendes *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2012; Rosa *et al.*, 2011) allowed to increase and detail specific aspects of the environmental changes' knowledge regarding the last 20ky. However, there is a lack of an integrative work, to highlight the patterns of the Holocene sedimentation, emphasising the sedimentary expression of climatic processes and forcings derived from the relation between the last deglaciation and the regional components.

Objectives

This proposal aims to build a paleoenvironmental model for the Portuguese continental shelf based on the detailed and multidisciplinary study of sediment cores from two different areas: the northern continental shelf, offshore Douro and the southern west part of Algarve continental shelf. In this model, identification of the global and regional forcing factors contributing to continental shelf paleoenvironmental evolution during the Holocene will be included. More specifically, this PhD proposal intends to i) identify and characterize sedimentary units associated with different environmental settings; (ii) compare the defined sedimentary units at different locations; (iii) identify the global and regional forcing factors responsible for the sedimentary record; (iv) establish the sedimentary sources.

Methodology

The methodology includes the study of six cores of the northern and southern continental shelf, collected at depths between 80 and 120m, to perform a whole set of multidisciplinary analyses, that includes the use of several new IPMA equipment, such as X-Ray and Computed Tomography (CT), Multi Sensor Corer Logger (MSCL), X-Ray Fluorescence Core Scanner (XRF) and Micro-Raman confocal microscope which allow to analyse the results in further detail and make a comparison to previous work. This data analysis will be completed with a high resolution of grain size, calcium



carbonate and organic matter contents. The implemented multi-proxy approach will contribute to furthering the current understanding of the sediment sources (by identifying the sediment mineralogical composition) and depositional and post depositional conditions. When adequate, analyses of elemental and isotopic C and N (Total organic carbon (%Corg), total nitrogen (%N), $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) will be performed to derive the source of organic matter and to help establish the marine and terrestrial influence. Environmental magnetic analyses along cores will be conducted at the laboratory of Paleomagnetism of IDL, in order to understand physical properties of the main magnetic carriers (type of magnetic phases, granulometric state and their concentration), which are sensitive to physical processes responsible for sedimentation such as climate changes, transport/deposition and pollution (Evans and Heller, 2003; Liu et al, 2012; Silva et al, 2020).

With this project the student will gain valuable skills in various areas of the Earth Sciences and will benefit from a very considerable data series (obtained during Envi-Changes (FCT project) and ASTARTE FP7- European project) beyond the instrumental facilities of IDL (Lisbon) and IPMA (Lisbon and Tavira).

References

- Araújo M.F., Monge Soares A.M., Dias J. (2015) - Geoquímica do Registo Sedimentar na Plataforma Portuguesa – Variações Espaciais e Temporais; In book: Formação e Ocupação de Litorais nas Margens do Atlântico - Brasil / Portugal Publisher: Corbã Editora Editors: Silvia Dias Pereira, Joana Gaspar Freitas, Sergio Bergamaschi, Maria Antonieta C. Rodrigues
- Asioli, A., Trincardi, F., Lowe, J.J., Ariztegui, D., Langone, L. and Oldfield, F. 2001: Sub-millennial climatic oscillations in the Central Adriatic during the last deglaciation: paleoceanographic implications. *Quaternary Science Reviews* 20, 33–53.
- Dias, J.M.A, 1985. Registos da migração da linha de costa nos últimos 18,000 anos na plataforma continental portuguesa setentrional. *Actas da I Reun. Quat. Ibérica (Lisboa)*, pp. 281-295
- Evans, M.E., Heller, F., 2003. *Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics*. Academic Press, San Diego (299 pp.).
- Gao S & Collins M.B. 2014 - Holocene sedimentary systems on continental shelves, *Marine Geology* 352, pp 268–294
- Liu, Q., Roberts, A.P., Larrasoña, J.C., Banerjee, S.K., Guyodo, Y., Tauxe, L., Oldfield, F., 2012. *Environmental magnetism: principles and applications*. *Rev. Geophys.* 50, RG4002. <https://doi.org/10.1029/2012RG000393>
- Lobo F.J. & Ridente D. 2014 - Stratigraphic architecture and spatio-temporal variability of high-frequency (Milankovitch) depositional cycles on modern continental margins: An overview. *Marine Geology*, 352, pp 215-247
- Martins V., Figueira R., França E., Ferreira P, Martins P, Santos J, Dias J.A, Laut L., Monge Soares A.M., Silva E. & Rocha F. (2012) - Sedimentary processes on the NW Iberian Continental Shelf since the Little Ice Age. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 102–103, pp 48-59
- Mendes I., Lobo F.J., Till J.J. Hanebuth, López-Quirós A., Schönfeld J, Lebreiro S., Reguera M.I., Antón L. & Ferreira O. (2020) - Temporal variability of flooding events of Guadiana River (Iberian Peninsula) during the middle to late Holocene: Imprints in the shallow-marine sediment record *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 556, 109900
- Mil-Homens M., Vale C., Brito P., Naughton F., Drago T., Raimundo J., Anes B., Schmidt S. & Caetano M. (2017) - Insights of Pb isotopic signature into the historical evolution and sources of Pb contamination in a sediment core of the southwestern Iberian Atlantic shelf *Science of The Total Environment*, vol.586, pp.473-484
- Rosa F., Dias J.A., Mendes I & Ferreira Ó. (2011) Mid to late Holocene constraints for continental shelf mud deposition in association with river input: the Guadiana Mud Patch (SW Iberia), *Geo-Marine Letters* vol 31, pp.109–121.
- Silva, P., Roque, C., Drago, T., Alonso, B., Henry, B., Ercilla, G., Lopes, A., López-González, N., Casas, D., Naughton, F., Vázquez, J., 2020. Multidisciplinary characterization of Quaternary mass movement deposits in the Portimão Bank (Gulf of Cadiz, SW Iberia). *Marine Geology* 420, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2019.106086>



IDL 2023 - XXX

Doutoramento em Ciências Geofísicas e de Geoinformação

Evolução paleoambiental da plataforma continental portuguesa no Holocénico: caracterização dos fatores globais e regionais

Orientação

Pedro Silva (FCUL/ISEL/IDL), Teresa Drago (IPMA/IDL), Cristina Roque (EMEPC/IDL)

Parte do trabalho proposto será efetuado na Estação do IPMA de Tavira

Resumo

O registo sedimentar das plataformas continentais apresenta um arquivo detalhado e único de alterações ambientais resultantes de uma interação complexa entre o clima, o regime oceanográfico, o nível do mar e a contribuição de sedimentos de fontes continentais (Gao & Collins 2014; Lobo & Ridente, 2014). As alterações na precipitação e na hidrologia, a energia e a frequência das tempestades e as alterações climáticas globais podem deixar a sua assinatura no registo sedimentar e na morfologia da plataforma. Os sedimentos da plataforma continental apresentam geralmente uma elevada taxa de sedimentação e proximidade com as fontes sedimentares, sendo por isso muito sensíveis a registar mesmo pequenas alterações ambientais. Podem, por conseguinte, ser utilizados para distinguir entre efeitos regionais e globais e, possivelmente, para ajudar a diferenciar entre alterações ambientais naturais e induzidas pelo homem (Asioli *et al.* 2001).

As principais mudanças ambientais da última deglaciação da plataforma continental portuguesa, baseados em estudos integrados com dados sedimentológicos, morfológicos e de radiocarbono, só foram publicados na década de oitenta (Dias, 1985). Desde então, estudos focados em aspetos específicos com base em dados sedimentológicos e geoquímicos (Araújo *et al.*, 2015; Mil-Homens *et al.*, 2017) ou micropaleontológicos (Mendes *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2012; Rosa *et al.*, 2011) permitiram aumentar e detalhar o conhecimento das alterações ambientais dos últimos 20 mil anos. No entanto, falta um trabalho integrador, que evidencie os padrões de sedimentação do Holocénico, enfatizando a expressão sedimentar dos processos climáticos e outros fatores forçadores à escala regional.

Objectivos

Esta proposta tem como objetivo a elaboração de um modelo paleoambiental da plataforma continental portuguesa baseado no estudo detalhado e multidisciplinar de sondagens sedimentares de duas áreas distintas: a plataforma continental norte, ao largo do Douro e a parte sudoeste da plataforma continental do Algarve. Neste modelo, será incluída a identificação dos fatores forçadores globais e regionais que contribuíram para a evolução paleoambiental da plataforma continental durante o Holocénico.

Mais especificamente, esta proposta de doutoramento pretende: i) identificar e caracterizar unidades sedimentares associadas a diferentes contextos ambientais; (ii) comparar as unidades sedimentares definidas em diferentes locais; (iii) identificar os fatores forçadores globais e regionais responsáveis pelo registo sedimentar; (iv) estabelecer as fontes sedimentares.



Metodologia

A metodologia inclui o estudo multidisciplinar de seis sondagens da plataforma continental norte e sul, recolhidos a profundidades entre 80 m e 120 m, através da utilização de novos equipamentos do IPMA, tais como Raios X e Tomografia Computorizada (CT), Multi Sensor Corer Logger (MSCL), Fluorescência de Raios X (XRF) e microscópio confocal Micro-Raman que permitem analisar os resultados em maior detalhe e fazer uma comparação com trabalhos anteriores. Esta análise de dados será completada com um estudo de alta resolução de granulometria e teores em carbonato de cálcio e matéria orgânica. A abordagem multidisciplinar contribuirá para aprofundar a compreensão actual das fontes de sedimentos (com a identificação da sua composição mineralógica) e das condições de deposição e pós-deposição. Quando adequado, serão efectuadas análises elementares e isotópicas de C e N (carbono orgânico total (% Corg), azoto total (%N), $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) para determinar a origem da matéria orgânica e ajudar a estabelecer a influência marinha e terrestre. Análises magnéticas ambientais ao longo das sondagens serão realizadas no laboratório de Paleomagnetismo do IDL, a fim de compreender as propriedades físicas dos principais portadores magnéticos (tipo de fases magnéticas, estado granulométrico e sua concentração), que são sensíveis aos processos físicos responsáveis pela sedimentação, como mudanças climáticas, transporte/deposição e poluição (Evans & Heller (2003), Liu *et al.* (2012), Silva *et al.* (2020)).

Com este projecto, o estudante ganhará competências valiosas em várias áreas das Ciências da Terra e beneficiará de uma série de dados muito considerável (obtida durante o Envi-Changes (projecto FCT) e ASTARTE FP7 (projecto europeu)) e a utilização das instalações e equipamentos do IDL (Lisboa) e do IPMA (Lisboa e Tavira).

Referências

- Araújo M.F., Monge Soares A.M. & Dias J. (2015) - Geoquímica do Registo Sedimentar na Plataforma Portuguesa – Variações Espaciais e Temporais; In book: *Formação e Ocupação de Litorais nas Margens do Atlântico* - Brasil / Portugal Publisher: Corbã Editora Editors: Silvia Dias Pereira, Joana Gaspar Freitas, Sergio Bergamaschi, Maria Antonieta C. Rodrigues.
- Asioli, A., Trincardi, F., Lowe, J.J., Ariztegui, D., Langone, L. & Oldfield, F. (2001) - Sub-millennial climatic oscillations in the Central Adriatic during the last deglaciation: paleoceanographic implications. *Quaternary Science Reviews*, 20, pp.33-53.
- Dias, J.M.A (1985) - Registos da migração da linha de costa nos últimos 18,000 anos na plataforma continental portuguesa setentrional. *Actas da I Reun. Quat. Ibérica* (Lisboa), pp. 281-295.
- Evans, M.E. & Heller, F. (2003) - *Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics*. Academic Press, San Diego, 299 p.
- Gao S & Collins M.B. (2014) - Holocene sedimentary systems on continental shelves, *Marine Geology*, 352, pp 268–294.
- Liu, Q., Roberts, A.P., Larrasoaña, J.C., Banerjee, S.K., Guyodo, Y., Tauxe, L. & Oldfield, F. (2012) - Environmental magnetism: principles and applications. *Rev. Geophys.* 50, RG4002. <https://doi.org/10.1029/2012RG000393>.
- Lobo F.J. & Ridente D. (2014) - Stratigraphic architecture and spatio-temporal variability of high-frequency (Milankovitch) depositional cycles on modern continental margins: An overview. *Marine Geology*, 352, pp 215-247.
- Martins V., Figueira R., França E., Ferreira P, Martins P, Santos J, Dias J.A, Laut L., Monge Soares A.M., Silva E. & Rocha F. (2012) - Sedimentary processes on the NW Iberian Continental Shelf since the Little Ice Age. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 102–103, pp 48-59.
- Mendes I., Lobo F.J., Till J.J. Hanebuth, López-Quirós A., Schönfeld J, Lebreiro S., Reguera M.I., Antón L. & Ferreira O. (2020) - Temporal variability of flooding events of Guadiana River (Iberian Peninsula) during the middle to late Holocene: Imprints in the shallow-marine sediment record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 556, 109900.
- Mil-Homens M., Vale C., Brito P., Naughton F., Drago T., Raimundo J., Anes B., Schmidt S. & Caetano M. (2017) - Insights of Pb isotopic signature into the historical evolution and sources of Pb contamination in a sediment core of the southwestern Iberian Atlantic shelf. *Science of The Total Environment*, vol.586, pp.473-484.
- Rosa F., Dias J.A., Mendes I & Ferreira Ó. (2011) Mid to late Holocene constraints for continental shelf mud deposition in association with river input: the Guadiana Mud Patch (SW Iberia), *Geo-Marine Letters* vol 31, pp.109–121.
- Silva, P., Roque, C., Drago, T., Alonso, B., Henry, B., Ercilla, G., Lopes, A., López-González, N., Casas, D., Naughton, F. & Vázquez, J. (2020) - Multidisciplinary characterization of Quaternary mass movement deposits in the Portimão Bank (Gulf of Cadiz, SW Iberia). *Marine Geology* 420, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2019.106086>.



IDL 2023 - XXX

PhD in Geophysics and Geoinformation Sciences

Land Use Changes and Atmosphere Feedbacks in an Evolving Climate

Supervision

Rita M Cardoso¹, Elena García Bustamante², Carlos C. DaCamara¹

¹IDL - Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal

²CIEMAT - Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (ciemat.es), Madrid, Spain

Location: The proposed work will be performed at IDL and at CIEMAT, Spain

Summary

Demands for regional-to-local climate information have increased in recent years [1]. However, local-to-regional scales are currently beyond the capabilities of earth system models (ESMs) [2], and these limitations are greatly amplified in areas of difficult geomorphology, where regional-to-local thermal and mechanical circulations are forced by surface heterogeneities [3,4,5,6,7]. As in the ESM community, the establishment of ensembles of regional climate simulations at continental scale has been pursued to reduce/assess uncertainty in regional climate simulations [8]. Still, there remains a lack of clear understanding of changes in regional phenomena and drivers of variability (IPCC AR5, [9]). Through soil moisture and vegetation exchanges, land-atmosphere coupling contributes significantly to the evolution of extreme events [10,11,12,13]. At regional scales, land cover may enhance surface heterogeneity, which can lead to the development of mesoscale circulations that may intensify/suppress convection and feedback to large-scale circulations [14]. For several variables, land use/land cover changes (LUC) have an impact of similar magnitude but of the opposite sign to that of increased greenhouse gases and warmer oceans [12]. Yet, the heterogeneity of land use representation in current land surface schemes (LSM) leads to contradicting results even under idealised experiments [15,16]. The large inconsistencies in the LUC impacts highlight the need for common LUC across a large ensemble of models [17]. Additionally, most of the current LSMs lack any representation of regional groundwater relevant to soil drainage, moisture, and vegetation changes [18]. It is thus, imperative to further investigate land atmospheric feedbacks, especially within the framework of risk assessment and future warming scenarios. Yet, significant methodological inconsistencies remain in the analysis of surface-atmosphere coupling [19,20]. The project entails the analysis of regional climate simulations using evolving land use maps and different representations of groundwater to assess the impact of LUC and water table in past, present, and future climates. This effort will be linked to the Flagship Pilot Study LUCAS (Land Use & Climate Across Scales). The project will focus on land-atmosphere coupling associated with extreme events (floods, heatwaves, droughts, wildfires) and the influence of LUC on their enhancement/mitigation. The analysis will focus on the partitioning of available energy in latent and sensible heat fluxes, moisture fluxes and the influence of soil desiccation/planetary boundary layer (PBL) growth feedback on the severity of the extreme events. The project will seek to answer the following questions:

Q1 To what extent RCMs incorporating more sophisticated parameterization schemes and new components improve the description of the water cycle? How is this related to land-atmosphere coupling in different regions?

Q2 How large is the contribution of LUC and/or soil thermo-hydrodynamics signal in relation to the effect of other changes in the present climate?

Q3 How strongly do LUC and soil thermo-hydrodynamics contribute to detected potential future climate trends?

Q4 What is the potential of LUC to mitigate/enhance extreme events?



IDL 2023 - XXX

PhD in Geophysics and Geoinformation Sciences

Impacto de Alterações do Uso do Solo nos Processos de Interação Solo-Atmosfera num Clima em Mudança

Supervisão

Rita M Cardoso¹, Elena García Bustamante², Carlos C. DaCamara¹

¹IDL - Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal

²CIEMAT - Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (ciemat.es), Madrid, Spain

Local: O trabalho será desenvolvido no IDL no CIEMAT (Espanha)

Sumário

As necessidades de informação climática regional e local aumentaram nos últimos anos [1]. No entanto, as escalas locais e regionais estão atualmente além das capacidades dos modelos de sistemas terrestres (ESMs) [2], e essas limitações são muito amplificadas em áreas de difícil geomorfologia, onde as circulações térmicas e mecânicas regionais e locais são forçadas pelas heterogeneidades de superfície [3,4,5,6,7]. Tal como na comunidade ESM, o estabelecimento de conjuntos de simulações climáticas regionais coordenadas tem sido utilizado para reduzir/avaliar a incerteza nas simulações climáticas regionais [8]. Ainda assim, subsiste alguma incompreensão sobre as alterações dos fenómenos regionais e dos fatores da sua variabilidade (IPCC AR5, [9]). O acoplamento superfície-atmosfera, através da humidade do solo e da vegetação, contribui significativamente para a evolução de eventos extremos [10,11,12,13]. À escala regional, a cobertura do solo pode aumentar a heterogeneidade da superfície, o que pode levar ao desenvolvimento de circulações de mesoescala que podem intensificar/suprimir a convecção e retroalimentar as circulações de grande escala [14]. Para diversas variáveis, as mudanças no uso/cobertura da terra (LUC) têm um impacto de magnitude semelhante, mas de sinal oposto ao aumento de gases de efeito estufa e oceanos mais quentes [12]. No entanto, a heterogeneidade da representação do uso do solo nos atuais esquemas de superfície (LSM) leva a resultados contraditórios, mesmo em experiências idealizadas [15,16]. As grandes inconsistências dos impactos LUC destacam a necessidade de uma LUC comum em um grande conjunto de modelos [17]. Além disso, a maioria dos LSMs atuais carece de qualquer representação das águas subterrâneas regionais relevantes para a drenagem do solo, humidade e mudanças na vegetação [18]. É, portanto, imperativo investigar mais profundamente os processos de realimentação atmosfera/superfície, especialmente no âmbito da avaliação de risco e cenários de aquecimento futuro. No entanto, inconsistências metodológicas significativas permanecem na análise do acoplamento superfície-atmosfera [19,20]. O projeto envolve a análise de simulações climáticas regionais usando mapas de uso do solo em evolução e diferentes representações de águas subterrâneas para avaliar o impacto das LUC e do lençol freático em climas passados, presentes e futuros. Este esforço será vinculado ao Estudo Piloto Principal LUCAS (Land Use & Climate Across Scales). O projeto focar-se-á no acoplamento terra-atmosfera associado a eventos extremos (cheias, ondas de calor, secas, incêndios florestais) e a influência das LUC na sua potencialização/mitigação. A análise concentrar-se-á na partição da energia disponível em fluxos de calor latente e sensível, fluxos de humidade e a influência da dessecação

do solo/altura da camada limite planetária (PBL) na severidade dos eventos extremos. O projeto procurará responder às seguintes questões:

Q1 Até que ponto RCMs incorporando esquemas de parametrização mais sofisticados e novas componentes melhoram a descrição do ciclo da água? Como é que isso está relacionado ao acoplamento terra-atmosfera em diferentes regiões?

Q2 Qual é o tamanho da contribuição das LUC e/ou do sinal termo-hidrodinâmico do solo em relação ao efeito de outras mudanças no clima atual?

Q3 Quão fortemente o LUC e a termo-hidrodinâmica do solo contribuem para detetar potenciais tendências climáticas futuras?

Q4 Qual é o potencial do LUC para mitigar/exacerbar eventos extremos?

References

- [1] Stocker et al (2015) Workshop Report of the IPCC: Workshop on Regional Climate Projections and their Use in Impacts and Risk Analysis Studies, IPCC Working Group I
- [2] Meehl et al (2007) Global Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to AR4 of the IPCC.
- [3] Cardoso et al (2013) WRF high resolution simulation of Iberian mean and extreme precipitation climate. DOI: 10.1002/joc.3616
- [4] Soares, Cardoso et al (2012) WRF High Resolution Dynamical Downscaling of ERA-Interim for Portugal DOI: 10.1007/s00382-012-1315-2
- [5] Soares, Cardoso et al (2014) Climatology of Iberia Coastal Low-Level Wind Jet: WRF High Resolution Results. <http://dx.doi.org/10.3402/tellusa.v66.22377>
- [6] Martins, Cardoso et al (2016) The diurnal cycle of coastal cloudiness over west Iberia using Meteosat/SEVIRI and a WRF regional climate model simulation DOI:10.1002/joc.4457.
- [7] Rios-Entenza et al (2014) Precipitation recycling in the Iberian Peninsula: spatial patterns and temporal variability DOI:10.1002/2013JD02
- [8] Jacob et al (2020) Regional climate downscaling over Europe: perspectives from the EURO-CORDEX community Reg. Environ. Chang.
- [9] WCRP (2015) IPCC AR5: Lessons learnt for climate change research and WCRP (No. 5). WRP
- [10] Cardoso et al (2018) Mean and extreme temperatures in a warming climate: EURO CORDEX and WRF regional climate high-resolution projections for Portugal DOI: 10.1007/s00382-018-4124-4
- [11] Fischer et al (2007) Contribution of land-atmosphere coupling to recent European summer heat waves DOI:10.1029/2006GL029068
- [12] Seneviratne et al (2006) Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. Nature 443 <https://doi.org/10.1038/nature05095>
- [13] Knist et al (2017) Validation of soil moisture and surface fluxes in EURO-CORDEX simulations as part of land-atmosphere coupling analysis DOI:10.1002/2016JD025476
- [14] Wang et al (2016) DOI:10.1007/s00382-015-2812-x
- [15] Davin et al (2019) Biogeophysical impacts of forestation in Europe: First results from the LUCAS Regional Climate Model intercomparison DOI 10.5194/esd-2019-4
- [16] Breil et al. (2020). The opposing effects of re/afforestation on the diurnal temperature cycle at the surface and in the lowest atmospheric model level in the European summer 10.1175/JCLI-D-19-0624.1
- [17] Pitman et al (2009) Uncertainties in climate responses to past land cover change: First results from the LUCID intercomparison study DOI: dx.doi.org/10.1029/2009GL039076
- [18] de Noblet-Ducoudre et al (2012) Determining robust impacts of land-use induced land-cover changes on surface climate over North America and Eurasia; Results from the first set of LUCID experiments DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00338.1
- [19] Sippel et al (2017) Refining multi-model projections of temperature extremes by evaluation against land-atmosphere coupling diagnostics DOI 10.5194/esd-8-387-2017



**INSTITUTO
DOM LUIZ**



**Ciências
ULisboa**

Faculdade
de Ciências
da Universidade
de Lisboa

FCT Fundação
para a Ciência
e a Tecnologia

[20] Careto, Cardoso et al (2018) Land-Atmosphere Coupling in Africa-CORDEX: hindcast regional climate simulations
<https://doi.org/10.1029/2018JD028378>



IDL 2023 - XXX

PhD in Geology/Internal Geodynamics

The geodynamics of the Azores Triple Junction

Supervision

Stéphanie Dumont (IDL/FCUL), Ricardo Ramalho (Cardiff University), Rui Quartau (IDL/IH)

Part of the proposed work will be done at Cardiff and UCL (UK)

Summary

The Azores Triple Junction is a highly complex tectonic structure that marks the boundary between the North-American, the Eurasian and the Nubian tectonic plates, and which attracted the attention of geodynamicists for decades. Thought to be the result of the interaction between a mantle plume with the Mid-Atlantic Ridge (MAR), the evolution and mechanisms behind the dynamics of this transient boundary are far from being understood, with several key questions remaining controversial. One of the most prominent questions refers to the complex tectonic-magmatic interactions and their role in creating some of the most striking morphotectonic structures of the area, namely the alternation of deep basins and high volcanic edifices along the ultra-slow spreading ridge of the Terceira Rift. Other key questions to be answered concern the activation/deactivation/re-activation of local rift systems and possible rift jumps, as well as the link between the Terceira Rift, the MAR, and the Gloria Fault, in the context of the overall transtensional forces acting in the region, and the possible influence of an impinging mantle plume.

The proposed project aims to revisit and address several of these questions and investigate the evolution of the Azores Triple Junction in its wider geodynamic context, and with an emphasis on the Terceira Rift. The project will employ a combination of seafloor morpho-tectonic mapping, analysis of fault population, and numerical and/or analogue modelling. Crucially the project will compile and make use of recently amassed high-resolution marine geophysical datasets from several sources, to produce a detailed and up to date structural map of the region. Analyses of tectonic structures will be performed and could be combined with seismic data recently analysed as part of the project UPFLOW (in collaboration with A. Ferreira, UCL, PI of this project) to formulate a better image of the strain distribution and stress field in the area. Finally, the project will then explore the mechanisms behind the origins, evolution, and geodynamic implications of the Azores Triple Junction through a combination of analogue and/or numerical modelling, potentially addressing key problems such as oblique rifting, rift localization and jumps, and plume-rift interactions. It is expected that the project will result in a new, modern perspective on the Azores Triple Junction, with implications in terms of global geodynamics and hazards within the context of the NE Atlantic.

References

Beier, C., Haase, K.M., Abouchami, W., 2015. Geochemical and geochronological constraints on the evolution of the Azores Plateau. *Geological Society of America Special Papers* 511.



- Dumont, S., Klinger, Y., Socquet, A., Escartín, J., Grandin, R., Jacques, E., Medynski, S., & Doubre, C. (2019). Rifting Processes at a Continent-Ocean Transition Rift Revealed by Fault Analysis: Example of Dabbahu-Manda-Hararo Rift (Ethiopia). *Tectonics*, 38(1), 190-214.
- Frietsch, M., Ferreira, A.M.G., Vales, D. and Carrilho, F., 2018. On the robustness of seismic moment tensor inversions for mid-ocean earthquakes: the Azores archipelago. *Geophysical Journal International*, 215(1), pp.564-584.
- Gente, P., Dymont, J., Maia, M., Goslin, J., 2003. Interaction between the Mid-Atlantic Ridge and the Azores hot spot during the last 85 Myr: Emplacement and rifting of the hot spot-derived plateaus. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 4, 8514.
- Lourenço, N., Miranda, J.M., Luís, J.F., Ribeiro, A., Mendes Victor, L.A., Madeira, J., Needham, H.D., 1998. Morpho-tectonic analysis of the Azores Volcanic Plateau from a new bathymetric compilation of the area. *Mar. Geophys. Res.* 20, 141-156.
- Madeira, J., Brum da Silveira, A., Hipólito, A., Carmo, R., 2015. Active tectonics in the central and eastern Azores islands along the Eurasia–Nubia boundary: a review, in: Gaspar, J.L., Guest, J.E., Duncan, A.M., Barriga, F.J.A.S., Chester, D.K. (Eds.), *Geological Society, London, Memoirs*, 44, pp. 15-32.
- Marques, F.O., Catalão, J.C., DeMets, C., Costa, A.C.G., Hildenbrand, A., 2013. GPS and tectonic evidence for a diffuse plate boundary at the Azores Triple Junction. *Earth Planet. Sci. Lett.* 381, 177-187.
- Miranda, J.M., Luís, J., Lourenço, N., 2018. The Tectonic Evolution of the Azores based on magnetic data, in: Kueppers, U., Beier, C. (Eds.), *Volcanoes of the Azores*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 89-100.



IDL 2023 - XXX

Doutoramento em Geologia / Geodinâmica Interna

A geodinâmica da Junção Tripla dos Açores

Supervision

Stéphanie Dumont (IDL/FCUL), Ricardo Ramalho (Cardiff University), Rui Quartau (IDL/IH)

Parte do trabalho será realizado em Cardiff e na UCL (UK)

Sumário

A Junção Tripla dos Açores é uma estrutura tectónica complexa que marca a fronteira entre as placas tectónicas Norte-Americana, Euroasiática e Núbia, e que há décadas tem atraído a atenção de investigadores em geodinâmica. Interpretada como o resultado da interação entre uma pluma mantélica e a Crista Médio Atlântica (MAR), a evolução e mecanismos por trás da dinâmica desta fronteira difusa de placas estão ainda longe de serem compreendidos, restando várias questões controversas por responder. Uma das questões mais proeminentes diz respeito às interações magmático-tectónicas complexas e o seu papel na criação de algumas das estruturas morfo-tectónicas principais na zona, nomeadamente a alternância entre bacias profundas e altos edifícios vulcânicos ao longo do rift de alastramento lento da Terceira. Outras questões a serem respondidas dizem respeito à ativação/desativação/reactivação de sistemas de rift locais, a ocorrência de “rift jumps”, assim como a ligação entre o Rift da Terceira, a MAR, e a Falha da Glória, no contexto das forças de transtensão que atuam na região, assim como a possível influência de uma pluma mantélica.

O projeto proposto destina-se a visitar e analisar várias destas questões e investigar a evolução da Junção Tripla dos Açores no seu contexto geodinâmico geral, com um foco especial no rift de Terceira. O projeto irá usar uma combinação de cartografia morfo-tectónica dos fundos marinhos, análise das populações de falhas, assim como modelação análoga e/ou numérica. Crucialmente, o projeto irá compilar e explorar um conjunto de dados de geofísica marinha de alta resolução adquiridos nos últimos anos por várias fontes, para produzir um mapa estrutural atualizado da região. As estruturas tectónicas serão analisadas e serão correlacionadas com dados sísmicos coletados durante a campanha de sismómetros de fundo marinho realizada no âmbito do projeto UPFLOW (em colaboração com A. Ferreira, UCL, IP deste projeto), para formular uma melhor imagem da distribuição do *strain* e do campo de stress na região. Finalmente o projeto irá explorar os mecanismos atrás da origem, evolução e implicações geodinâmicas da Junção Tripla dos Açores, através de uma combinação entre modelação análoga e/ou numérica, potencialmente resolvendo problemas chave tais como rifting oblíquo, localização de rifting e “rift jumps”, assim como a interação crista-pluma. Espera-se que o projeto irá resultar numa perspectiva moderna e atualizada da Junção Tripla dos Açores, com implicações na geodinâmica global, assim como perigosidade no contexto do Nordeste do Atlântico.



Referencias

- Beier, C., Haase, K.M., Abouchami, W., 2015. Geochemical and geochronological constraints on the evolution of the Azores Plateau. *Geological Society of America Special Papers* 511.
- Dumont, S., Klinger, Y., Socquet, A., Escartín, J., Grandin, R., Jacques, E., Medynski, S., & Doubre, C. (2019). Rifting Processes at a Continent-Ocean Transition Rift Revealed by Fault Analysis: Example of Dabbahu-Manda-Hararo Rift (Ethiopia). *Tectonics*, 38(1), 190-214.
- Frietsch, M., Ferreira, A.M.G., Vales, D. and Carrilho, F., 2018. On the robustness of seismic moment tensor inversions for mid-ocean earthquakes: the Azores archipelago. *Geophysical Journal International*, 215(1), pp.564-584.
- Gente, P., Dymant, J., Maia, M., Goslin, J., 2003. Interaction between the Mid-Atlantic Ridge and the Azores hot spot during the last 85 Myr: Emplacement and rifting of the hot spot-derived plateaus. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 4, 8514.
- Lourenço, N., Miranda, J.M., Luís, J.F., Ribeiro, A., Mendes Victor, L.A., Madeira, J., Needham, H.D., 1998. Morpho-tectonic analysis of the Azores Volcanic Plateau from a new bathymetric compilation of the area. *Mar. Geophys. Res.* 20, 141-156.
- Madeira, J., Brum da Silveira, A., Hipólito, A., Carmo, R., 2015. Active tectonics in the central and eastern Azores islands along the Eurasia–Nubia boundary: a review, in: Gaspar, J.L., Guest, J.E., Duncan, A.M., Barriga, F.J.A.S., Chester, D.K. (Eds.), *Geological Society, London, Memoirs*, 44, pp. 15-32.
- Marques, F.O., Catalão, J.C., DeMets, C., Costa, A.C.G., Hildenbrand, A., 2013. GPS and tectonic evidence for a diffuse plate boundary at the Azores Triple Junction. *Earth Planet. Sci. Lett.* 381, 177-187.
- Miranda, J.M., Luís, J., Lourenço, N., 2018. The Tectonic Evolution of the Azores based on magnetic data, in: Kueppers, U., Beier, C. (Eds.), *Volcanoes of the Azores*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 89-100.



IDL 2023 - XXX

PhD in Geology – Geochemistry

Petrological evolution of the exhumed lower crust – mantle boundary in Northern Morocco: a geochemical and thermochronological approach

Supervision

Telmo Bento dos Santos (IDL), Jean-Michel Lafon (UFPA)

Part of the work will also be performed at Toulouse (France) and Belém (Brazil)

Abstract

The exhumation of lower crustal rocks along major shear zones is common [e.g.: 1], yet a highly debated subject. Less common is the exhumation of upper mantle rocks along such structural discontinuities. However, this is the case of the Southern Rif Shear Zone (SRSZ), an important shear zone that separates two major geodynamic domains in Northern Morocco: a) The Rif, to the North, mostly composed of Miocenic sedimentary units; and b) the Western Meseta, to the South, mostly composed of Paleozoic metasedimentary units, correlated with the Iberian Variscan Belt [2]. Associated to the SRSZ, and exhumed by its activity, is a large high-grade metamorphic belt composed of abundant granulite and amphibolite facies rocks and an exotic sequence of igneous mafic and ultramafic rocks, representative of the upper mantle [3].

Several lines of evidence suggest that this shear zone is coeval and correlated to the tectonic events that formed the Betic Cordillera in Spain [2]. Although the SRSZ's activity exposed those rocks making them very accessible for study and they are well preserved, comparative petrological, geochemical and isotopic studies on this lower crust – mantle boundary segment are still to be performed, inhibiting the full characterization of this important testament of the infra-crustal conditions of the pre-Alpine geodynamics and the description of the activity and exhumation along the SRSZ. This project will, therefore, be developed in two main axes and objectives: 1) the characterization of the petrological and geochemical evolution of the exposed lower crust – mantle boundary igneous and metamorphic rocks; and 2) the definition of the P-T-t evolution of the studied rocks within the exhumation process and the overall geodynamics of the Variscan and Alpine events.

Workplan

In order to achieve Main Objective 1, it will be required to:

- a) Perform field work and sampling in the region of Moulay Yacoub (Northern Morocco) with detailed geological mapping and structural and stratigraphic analysis of significant sections;
- b) Obtain information on the petrographic, petrological, lithogeochemical and isotopic nature of the rocks associated to the SRSZ;



- c) Perform geochemical analysis and modelling of the physical-chemical conditions during the formation and evolution by fractional crystallization of the different igneous rocks and metamorphic evolution of all other lithotypes [as in 4];
- d) Integrate the obtained data in order to understand the petrological evolution and interaction between deep lithospheric reservoirs.

In order to achieve Main Objective 2, it will be required to use the data obtained in the previous tasks and to:

- e) Perform comprehensive micro- and macrostructural analyses, allowing the depiction and characterization of the deformation events that affected the region and their relationships to the activity of the SRSZ;
- f) Qualitatively and quantitatively characterize the relationship between deformation and metamorphism (mineral assemblages, chemistry and geothermobarometry) during the main stages of the Variscan and Alpine events;
- g) Obtain geochronological data of the rocks associated to the SRSZ using robust isotopic systems (U-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr and Ar-Ar) and thermochronological integration in order to determine the duration of the tectonometamorphic events and the exhumation rates related to the SRSZ's activity [as in 1; 5];
- h) Build petrological and geochemical models for the exhumation activity of the SRSZ, to constrain the Alpine geodynamic evolution of Northern Morocco and to compare it to the Iberian analogue of the Betic Cordillera.

Additionally, this PhD will lead to an increased knowledge regarding: a) the structure, geometry, functioning and evolution of shear zones; b) the interaction of different geochemical reservoirs (e.g.: heat and mass transfer along the lower crust/mantle boundary) during orogenic events; and c) the understanding of heat and fluid transfer along shear zones, which is paramount to accurately depict the water flow pattern in the region's thermal spas.

References

- [1] Bento dos Santos, T., Munhá, J.M.U., Tassinari, C.C.G., Fonseca, P.E., Dias Neto, C.M., 2010. Thermochronology of central Ribeira Fold Belt, SE Brazil: Petrological and geochronological evidence for high-temperature maintenance during Western Gondwana amalgamation. *Precambrian Research*, 180, 3-4, 285-298.
- [2] Michard, A., Frizon de Lamotte, D., Saddiqi, O., Chalouan, A., 2008. An Outline of the Geology of Morocco. In: Michard, A., Saddiqi, O., Chalouan, A., Frizon de Lamotte, D. (Eds.) *Continental Evolution: The Geology of Morocco*. Lecture Notes in Earth Sciences, 116, Springer-Verlag, 1-32.
- [3] Chalouan, A., Michard, A., El Kadiri, Kh., Negro, F., Frizon de Lamotte, D., Soto, J.I., Saddiqi, O., 2008. The Rif Belt. In: Michard, A., Saddiqi, O., Chalouan, A., Frizon de Lamotte, D. (Eds.) *Continental Evolution: The Geology of Morocco*. Lecture Notes in Earth Sciences, 116, Springer-Verlag, 203-302.
- [4] Garrido, C.J., Gueydan, F., Booth-Rea, G., Précigout, J., Hidas, K., Padron-Navarta, J.A., Marchesi, C., 2011. Garnet lherzolite and garnet-spinel mylonite in the Ronda peridotite: vestiges of Oligocene backarc mantle lithospheric extension in the western Mediterranean. *Geology*, 39, 927-930.
- [5] Ferreira, J.A., Bento dos Santos, T., Pereira, I., Mata, J., 2019. Tectonically assisted exhumation and cooling of Variscan granites in an anatectic complex of the Central Iberian Zone, Portugal: constraints from LA-ICP-MS zircon and apatite U-Pb ages. *International Journal of Earth Sciences*, 108, 2153-2175.



IDL 2023 - XXX

Doutoramento em Geologia – Geoquímica

Evolução petrológica do limite crosta inferior – manto exumado no Norte de Marrocos: uma análise geoquímica e termocronológica

Orientação

Telmo Bento dos Santos (IDL) e Jean-Michel Lafon (UFPA)

Parte do trabalho será realizado no GET-OMP, Toulouse (França) e na UFPA, Belém (Brasil)

Resumo

A exumação de rochas da crosta inferior ao longo de zonas de cisalhamento é comum [e.g.: 1], no entanto, um assunto muito debatido. Menos comum é a exumação de rochas do manto superior ao longo destas descontinuidades estruturais. No entanto, é este o caso da Zona de Cisalhamento do Sul do Rif (ZCSR), uma zona de cisalhamento de primeira ordem que separa dois importantes domínios geodinâmicos no norte de Marrocos: a) o Rif, a norte, composto essencialmente por unidades sedimentares miocénicas; e b) a Meseta Ocidental, a sul, composta essencialmente por unidades metassedimentares paleozoicas, correlacionáveis com a Cadeia Varisca Ibérica [2]. Associada à ZCSR, e exumada pela sua atividade, ocorre uma larga faixa metamórfica de alto grau composto por abundantes rochas na fácies granulítica e anfibolítica e uma sequência exótica de rochas máficas e ultramáficas, representativas do manto superior [3].

Várias linhas de evidência sugerem que esta zona de cisalhamento é coeva e correlacionável com os eventos tectónicos que formaram a Cordilheira Bética em Espanha [2]. Embora a ZCSR exponha estas rochas, tornando-as acessíveis para o estudo e estejam bem preservadas, estudos comparativos de petrologia, geoquímica e isotópicos neste segmento do limite crosta inferior – manto estão ainda por realizar, impedindo a completa caracterização deste importante testemunho das condições infracrustais da geodinâmica pré-Alpina e a descrição da atividade e exumação ao longo da ZCSR. Este projeto irá, portanto, ser desenvolvido ao longo de 2 eixos e objetivos principais: 1) a caracterização da evolução petrológica e geoquímica das rochas ígneas e metamórficas expostas neste segmento; e 2) a definição da evolução P-T-t das rochas estudadas no contexto do processo de exumação e da evolução geodinâmica global dos eventos variscos e alpinos.

Plano de Trabalhos

De modo a atingir o Objetivo Principal 1, será necessário:

- a) Realizar trabalho de campo e amostragem na região de Moulay Yacoub (norte de Marrocos) com cartografia geológica detalhada e análise estratigráfica e estrutural em diferentes sectores da área de estudo;
- b) Obter informação da natureza petrográfica, petrológica, litogeoquímica e isotópica das rochas associadas à ZCSR;



c) Realizar análises geoquímicas e modelação das condições físico-químicas prevalentes durante a formação e evolução por cristalização fracionada dos diferentes tipos de rochas ígneas e a evolução metamórfica de todos os litótipos [como em 4];

d) Integrar os dados obtidos de modo a compreender a evolução petrológicas e interação entre reservatórios litosféricos profundos.

De modo a atingir o Objetivo Principal 2, será necessário utilizar os dados obtidos nas tarefas anteriores e ainda:

e) realizar análises micro- e macrostruturais exaustivas, permitindo a definição e caracterização dos eventos de deformação que afetaram a região e suas relações com a atividade da ZCSR;

f) caracterizar do ponto de vista qualitativo e quantitativo as relações entre deformação e metamorfismo (paragéneses minerais, quimismo e geotermobarometria) durante os estágios dos eventos variscos e alpinos;

g) obter dados geocronológicos para as rochas associadas à ZCSR usando sistemas isotópicos robustos (U-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr e Ar-Ar) e sua integração termocronológica para determinar a duração dos eventos tectonometamórficos e as taxas de exumação relacionadas com a atividade da ZCSR [como em 1; 5];

h) construir modelos petrológicos e geoquímicos para a atividade da ZCSR, constranger a evolução alpina no norte de Marrocos e compará-la com o análogo ibérico da Cordilheira Bética.

Adicionalmente, este doutoramento levará a um maior conhecimento global relativo: a) à estrutura, geometria, funcionamento e evolução das zonas de cisalhamento; b) à interação entre diferentes reservatórios geoquímicos (e.g.: transferência de calor e massa no limite crosta/manto) durante os eventos orogénicos; e c) ao conhecimento da circulação de fluidos e calor ao longo de zonas de cisalhamento, crucial para compreender com detalhe o fluxo de águas subterrâneas desta importante região termal.

Referências

- [1] Bento dos Santos, T., Munhá, J.M.U., Tassinari, C.C.G., Fonseca, P.E., Dias Neto, C.M., 2010. Thermochronology of central Ribeira Fold Belt, SE Brazil: Petrological and geochronological evidence for high-temperature maintenance during Western Gondwana amalgamation. *Precambrian Research*, 180, 3-4, 285-298.
- [2] Michard, A., Frizon de Lamotte, D., Saddiqi, O., Chalouan, A., 2008. An Outline of the Geology of Morocco. In: Michard, A., Saddiqi, O., Chalouan, A., Frizon de Lamotte, D. (Eds.) *Continental Evolution: The Geology of Morocco. Lecture Notes in Earth Sciences*, 116, Springer-Verlag, 1-32.
- [3] Chalouan, A., Michard, A., El Kadiri, Kh., Negro, F., Frizon de Lamotte, D., Soto, J.I., Saddiqi, O., 2008. The Rif Belt. In: Michard, A., Saddiqi, O., Chalouan, A., Frizon de Lamotte, D. (Eds.) *Continental Evolution: The Geology of Morocco. Lecture Notes in Earth Sciences*, 116, Springer-Verlag, 203-302.
- [4] Garrido, C.J., Gueydan, F., Booth-Rea, G., Précigout, J., Hidas, K., Padron-Navarta, J.A., Marchesi, C., 2011. Garnet Iherzolite and garnet-spinel mylonite in the Ronda peridotite: vestiges of Oligocene backarc mantle lithospheric extension in the western Mediterranean. *Geology*, 39, 927-930.
- [5] Ferreira, J.A., Bento dos Santos, T., Pereira, I., Mata, J., 2019. Tectonically assisted exhumation and cooling of Variscan granites in an anatectic complex of the Central Iberian Zone, Portugal: constraints from LA-ICP-MS zircon and apatite U-Pb ages. *International Journal of Earth Sciences*, 108, 2153-2175.