

Aviso de Abertura do Concurso para Atribuição de Bolsas de Investigação para Doutoramento

O Instituto Dom Luiz da Universidade de Lisboa (IDL) abre concurso para atribuição de seis bolsas (6) de investigação, adiante designadas por Bolsas de Investigação para Doutoramento, nas de área de Geologia e Ciências Geofísicas e da Geoinformação, e Sistemas sustentáveis de energia, ao abrigo do Regulamento de Bolsas de Investigação da FCT (RBI) e do Estatuto do Bolseiro de Investigação (EBI).

As bolsas serão financiadas pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) ao abrigo do Protocolo de Colaboração para Financiamento do Plano Plurianual de Bolsas de Investigação para Estudantes de Doutoramento, celebrado entre a FCT e a Unidade de I&D UIDP/50019/2020 - Instituto Dom Luiz

1. APRESENTAÇÃO DE CANDIDATURA

O concurso está aberto entre as 00h00 (hora de Lisboa) do dia 19 de junho até às 23h59 do dia 15 de julho de 2023 (hora de Lisboa)

As candidaturas e os documentos de suporte à candidatura previstos no presente Aviso de Abertura de Concurso devem ser submetidos, obrigatoriamente, por enviado/submetido para cleee@ciencias.ulisboa.pt. Cada candidato poderá submeter apenas uma candidatura, sob pena de cancelamento de todas as candidaturas submetidas.

A prestação de falsas declarações ou a realização de atos de plágio por parte dos candidatos é motivo para cancelamento da candidatura sem prejuízo da adoção de outras medidas de natureza sancionatória.

2. TIPO E DURAÇÃO DAS BOLSAS

As bolsas de investigação para doutoramento destinam-se a financiar a realização, pelo bolseiro, de atividades de investigação conducentes à obtenção do grau académico de doutor em universidades portuguesas.

As atividades de investigação conducentes à obtenção do grau académico de doutor decorrerão na UIDP/50019/2020 - Instituto Dom Luiz, a qual será a instituição de acolhimento dos bolseiros, sem prejuízo dos trabalhos poderem ser realizados em colaboração entre mais do que uma instituição.

As atividades de investigação conducentes à obtenção do grau académico de doutor dos bolseiros selecionados devem estar enquadradas no plano de atividades e estratégia da UIDP/50019/2020 - Instituto Dom Luiz, e devem ser desenvolvidas no âmbito dos seguintes Programas de Doutoramento:

- Doutoramento em Ciências Geofísicas e da Geoinformação, da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Doutoramento em Geologia, da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Doutoramento em Sistemas sustentáveis de energia, da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

O plano de trabalhos poderá decorrer integralmente ou de forma parcial numa instituição nacional (bolsa

no país ou bolsa mista, respetivamente).

A duração das bolsas é, em regra, anual, renovável até ao máximo de quatro anos (48 meses), não podendo ser concedida bolsa por um período inferior a 3 meses consecutivos.

No caso de bolsa mista, o período do plano de trabalhos que decorra numa instituição estrangeira não pode ser superior a 24 meses.

3. DESTINATÁRIOS DAS BOLSAS

As Bolsas de Investigação para Doutoramento destinam-se a candidatos inscritos ou a candidatas que satisfaçam as condições necessárias para se inscreverem num dos Programas de Doutoramento constantes no ponto 2 do presente Aviso e que pretendam desenvolver atividades de investigação conducentes à obtenção do grau académico de doutor na UIDP/50019/2020 - Instituto Dom Luiz, ou em instituições de acolhimento a ela associadas.

4. ADMISSIBILIDADE

4.1 Requisitos de Admissibilidade do Candidato

Podem candidatar-se ao presente concurso:

- Cidadãos nacionais ou cidadãos de outros Estados membros da União Europeia;
- Cidadãos de Estados terceiros;
- Apátridas;
- Cidadãos beneficiários do estatuto de refugiado político.

Para concorrer a Bolsa de Investigação para Doutoramento é necessário:

- Ser licenciado ou mestre nas áreas Geologia, Ciências Geofísicas, Engenharia Geoespacial, Energia e Ambiente ou em áreas consideradas afins.
- Residir de forma permanente e habitual em Portugal à data de início do período do plano de trabalhos no estrangeiro, caso o plano de trabalhos proposto para a bolsa inclua um período em instituições estrangeiras (bolsas mistas), requisito aplicável tanto a cidadãos nacionais como a cidadãos estrangeiros.
- Não ter beneficiado de uma bolsa de doutoramento ou de doutoramento em empresas diretamente financiada pela FCT, independentemente da sua duração.
- Não ser detentor do grau de Doutor

4.2 Requisitos de Admissibilidade da Candidatura

É indispensável, sob pena de não admissão ao Concurso, anexar à candidatura os seguintes documentos:

- Elementos do bilhete de identidade/cartão de cidadão/passaporte;
- *Curriculum vitae* do candidato;
- Certificados de habilitação dos graus académicos detidos, especificando obrigatoriamente a

classificação final e, se possível, as classificações obtidas em todas as disciplinas realizadas, ou, em alternativa, declaração de honra do candidato em como concluiu o grau de licenciado ou mestre até ao final do prazo de candidatura;

- Registo de reconhecimento dos graus académicos atribuídos por instituições de ensino superior estrangeiras e registo da conversão da respetiva classificação final para a escala de classificação portuguesa, ou, em alternativa, declaração de honra do candidato em como obteve o reconhecimento do grau estrangeiro equivalente ao de licenciado ou mestre com efeitos ao final do prazo de candidatura;
- Carta de motivação;
- 2 Cartas de Recomendação
- Redigir a candidatura e todos os documentos a ela associados, incluindo as cartas de motivação e recomendação, em língua portuguesa ou em língua inglesa.

Relativamente aos requisitos de admissibilidade acima mencionados faz-se notar o seguinte:

- No caso de graus académicos atribuídos por instituições de ensino superior estrangeiras, e por forma a garantir a aplicação do princípio da igualdade de tratamento a candidatos que detêm graus académicos estrangeiros e nacionais, é obrigatório o reconhecimento desses graus e a conversão da respetiva classificação final para a escala de classificação portuguesa.

O reconhecimento de graus académicos e diplomas estrangeiros bem como a conversão da classificação final para a escala de classificação portuguesa pode ser requerido em qualquer instituição de ensino superior pública, ou na Direção-Geral do Ensino Superior (DGES, apenas para o caso do reconhecimento automático). Relativamente a esta matéria, sugere-se a consulta do portal da DGES através do seguinte endereço: <http://www.dges.gov.pt>.

- Só serão admitidos candidatos que tenham concluído o ciclo de estudos conducente ao grau de licenciado ou mestre até ao final do prazo de candidatura. Caso ainda não disponham da certidão de conclusão de curso, será aceite declaração de honra dos candidatos em como concluíram as habilitações necessárias para efeitos do concurso até ao final do prazo de candidatura. A concessão da bolsa está condicionada à apresentação, em fase de contratualização, dos comprovativos da titularidade das habilitações académicas.

5. PLANOS DE TRABALHO E ORIENTAÇÃO CIENTÍFICA DAS BOLSAS

Cada candidato deve selecionar dois ou mais planos de trabalho, de entre os postos a concurso (anexo I), com indicação da sua ordem de preferência. Cada plano inclui uma lista de supervisores, uma descrição dos objetivos do trabalho e de potenciais requisitos. No caso de serem selecionados candidatos com interesses no mesmo projeto, será dada preferência ao candidato melhor classificado na avaliação, sendo oferecido ao candidato preterido o projeto alternativo. No caso do candidato preterido não quiser aceitar o projeto alternativo, será convidado a desistir e substituído pelo elemento seguinte na lista ordenada.

6. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E BONIFICAÇÕES

6.1 Critérios de Avaliação

A avaliação tem em conta o mérito do candidato no seu percurso académico, a sua capacidade de desenvolver trabalho inovador na área a que se candidata e de interagir positivamente com a investigação desenvolvida no IDL num contexto internacional.

As candidaturas consideradas admissíveis serão pontuadas numa escala de 0 a 5 em cada um dos seguintes critérios de avaliação:

- Critério A – Percurso Académico, com o peso de 40%:
- Subcritério A1 – Neste Subcritério avalia-se os graus académico concluídos aplicando-se a tabela 1 de acordo com o Regulamento da FCT de 2023 (com peso de 60%):

Tabela 1 – Tabela de referência para a definição da pontuação do subcritério A1 – Percurso Académico

<u>Licenciatura + Mestrado</u> (pré- ou pós-Bolonha) ou <u>Mestrado Integrado (300-360 créditos)</u>		<u>Licenciatura (180 créditos)</u> (pré- ou pós-Bolonha)		<u>Mestrado (90-120 créditos)</u> (pré- ou pós-Bolonha)	
Classificação	Pontuação A1	Classificação	Pontuação A1	Classificação	Pontuação A1
≥ 18	5,0	≥ 17	3,5	≥ 17	3,0
17	4,5	16	3,0	16	2,5
16	4,0	15	2,5	15	2,0
15	3,5	14	2,0	14	1,5
14	3,0	<14	1,5	< 14	1,0
<14	2,5				

- Subcritério A2 - Este subcritério corresponderá à média das Classificações obtidas em todas as disciplinas realizadas do último ano, referente ao grau mais relevante¹ obtido pelo candidato (com peso 40%).

- Critério B – Experiência de investigação relevante para o projeto de Doutoramento, com peso de 30%
- Critério C – Motivação e qualidades de trabalho e interação avaliadas em entrevista com peso de 30%.

Para efeitos da decisão sobre a concessão de bolsas, os candidatos serão ordenados de acordo com a média ponderada da classificação obtida em cada um dos critérios, traduzida pela seguinte fórmula:

$$\text{Classificação Fin} = (0.4 \times A) + (0.3 \times B) + (0.3 \times C)$$

Para efeitos de desempate, a ordenação dos candidatos será efetuada com base nas classificações atribuídas a cada um dos critérios de avaliação pela seguinte ordem de precedência: critério A, critério C, critério B.

Aviso importante para candidatos com diplomas emitidos por instituições de ensino superior estrangeiras:

¹ O júri reserva-se no direito de decidir qual o grau mais relevante que o candidato detém. A relevância não está relacionada com a classificação obtida nem com o grau em si, mas sim com a área estratégia das bolsas disponíveis no presente concurso.

- Os candidatos com diplomas emitidos por instituições de ensino superior estrangeiras podem candidatar-se e serão avaliados com os mesmos critérios que os candidatos com diplomas emitidos por instituições portuguesas, desde que apresentem, em candidatura, prova do reconhecimento dos graus académicos e da conversão da classificação final para a escala de classificação portuguesa nos termos da legislação aplicável.
- Os candidatos com diplomas estrangeiros reconhecidos que não apresentem prova da conversão da classificação final para a escala de classificação portuguesa serão avaliados com a classificação mínima de 1,5 pontos caso apresente apenas licenciatura; 1 ponto caso apresente apenas o mestrado; 2,5 caso apresente ambos os graus ou mestrado integrado, no subcritério A1 (de acordo com a tabela 1).
- Em qualquer caso, os contratos de bolsa com candidatos com diplomas emitidos por instituições estrangeiras só serão celebrados mediante a apresentação da prova de reconhecimento dos graus académicos e conversão da classificação final, conforme acima indicado.

Não são elegíveis para concessão de bolsa os candidatos cuja candidatura seja avaliada com uma classificação final inferior a (12) pontos.

6.2 Bonificação

NA

7. AVALIAÇÃO

O painel de avaliação dos candidatos é constituído pelos seguintes elementos:

- Pedro Miranda, Professor Catedrático, FCUL (coordenador do painel), efetivo
- Ana Azeredo, Professora Catedrática FCUL, efetivo
- Emanuel Dutra, Investigador Principal, IPMA, efetivo
- Maria Ana Baptista, Professora Coordenadora, ISEL, efetivo
- Rui Taborda, Professor Associado com Agregação, FCUL, efetivo
- Maria Cristina Cabral, Professora Auxiliar FCUL suplente
- João Catalão, Professor Associado com Agregação, FCUL, suplente

O painel de avaliação apreciará as candidaturas de acordo com os critérios de avaliação constantes do presente Aviso de Abertura de Concurso, ponderando os elementos de apreciação.

Todos os membros de painel, incluindo o coordenador, estabelecem o compromisso de respeitar um conjunto de responsabilidades essenciais ao processo de avaliação, tais como os deveres da imparcialidade, da declaração de quaisquer potenciais situações de conflito de interesses e da confidencialidade. Em todos os momentos do processo de avaliação, a confidencialidade é totalmente protegida e assegurada de modo a garantir a independência de todos os pareceres produzidos.

Para cada candidatura será produzida, pelo painel, uma ficha de avaliação final onde de forma clara, coerente e consistente sejam apresentados os argumentos que conduziram às classificações atribuídas a cada um dos critérios de avaliação.

Das reuniões do painel de avaliação será produzida ata da responsabilidade de todos os seus membros.

A ata e os seus anexos devem incluir, obrigatoriamente, a seguinte informação:

- Nome e afiliação de todos os membros do painel de avaliação;
- Identificação de todas as candidaturas excluídas e respetiva fundamentação;
- Metodologia adotada pelo painel para casos considerados particulares;
- Fichas de Avaliação Final de cada candidato;
- Lista provisória de classificação e seriação dos candidatos, por ordem decrescente da classificação final, de todas as candidaturas avaliadas pelo painel;
- Declarações de CDI de todos os membros do painel;
- Eventuais delegações de voto e competências por motivo de ausência justificada.

8. DIVULGAÇÃO DE RESULTADOS

Os resultados da avaliação são comunicados via e-mail para o endereço de correio eletrónico utilizado pelo candidato para remessa da candidatura/indicado na candidatura.

9. PRAZOS E PROCEDIMENTOS DE AUDIÊNCIA PRÉVIA, RECLAMAÇÃO E RECURSO

Após comunicação da lista provisória dos resultados da avaliação, os candidatos dispõem de um período de 10 dias úteis para, querendo, se pronunciarem em sede de audiência prévia de interessados, nos termos dos artigos 121º e seguintes do Código do Procedimento Administrativo.

A decisão final será proferida após a análise das pronúncias apresentadas em sede de audiência prévia de interessados. Da decisão final pode ser interposta reclamação no prazo de 15 dias úteis, ou, em alternativa, interposto recurso no prazo de 30 dias úteis, ambos contados a partir da respetiva notificação. Os candidatos que optarem por submeter reclamação devem dirigir a sua pronúncia ao membro do Conselho Diretivo da FCT com competência delegada. Os candidatos que optarem por apresentar recurso devem dirigir o mesmo ao Conselho Diretivo da FCT.

10. REQUISITOS DE CONCESSÃO DE BOLSA

Os contratos de bolsa de investigação são celebrados diretamente com a FCT.

Os seguintes documentos terão de ser obrigatoriamente remetidos, aquando da eventual concessão da bolsa, para efeitos da sua contratualização:

- a) Cópia do(s) documento(s) de identificação civil, fiscal e, quando aplicável, de segurança social²;
- b) Cópia dos certificados de habilitações dos graus académicos detidos;
- c) Apresentação do registo de reconhecimento dos graus académicos estrangeiros e conversão das respetivas classificações finais para a escala de classificação portuguesa, caso aplicável;
- d) Plano de trabalhos;
- e) Documento comprovativo de matrícula e inscrição num dos Programas de Doutoramento identificados no presente Aviso;
- f) Declaração do(s) orientador(es) assumindo a responsabilidade pela supervisão do plano de trabalhos, nos termos do artigo 5.º-A do Estatuto do Bolseiro de Investigação (minuta da declaração a disponibilizar pela FCT);
- g) Documento comprovativo de aceitação do candidato por parte da instituição onde decorrerão as atividades de investigação, garantindo as condições necessárias ao seu bom desenvolvimento, bem como o cumprimento dos deveres previstos no artigo 13.º do Estatuto do Bolseiro de Investigação (minuta da declaração a disponibilizar pela FCT);
- h) Documento atualizado comprovativo do cumprimento do regime de dedicação exclusiva (minuta da declaração a disponibilizar pela FCT);

A concessão da bolsa encontra-se ainda dependente:

- do cumprimento dos requisitos previstos no presente Aviso de Abertura;
- do resultado da avaliação;
- da inexistência de incumprimento injustificado dos deveres do bolseiro no âmbito de anterior contrato de bolsa financiada, direta ou indiretamente, pela FCT;
- da disponibilidade orçamental da FCT.

A falta de entrega de algum dos documentos necessários para completar o processo de contratualização da bolsa, no prazo de 6 meses a partir da data de comunicação da decisão de concessão condicional da bolsa, implica a caducidade da referida concessão e o encerramento do processo.

² A disponibilização destes documentos pode ser substituída, por opção do candidato, pela apresentação presencial na entidade financiadora, a qual guardará os elementos constantes dos mesmos que sejam pertinentes para a validade e execução do contrato, incluindo os números de identificação civil, fiscal e de segurança social, bem como a validade dos respetivos documentos.

11. FINANCIAMENTO

O pagamento das bolsas terá início após a devolução, pelos candidatos, do contrato de bolsa devidamente assinado, o que deverá ocorrer no prazo máximo de 15 dias úteis contados a partir da data do seu recebimento. As bolsas atribuídas no âmbito do presente concurso serão financiadas pela FCT com verbas do Orçamento de Estado e, quando elegíveis, com verbas do Fundo Social Europeu, através do Programa Demografia, Qualificações e Inclusão (PDQI), de acordo com as disposições regulamentares fixadas para o efeito.

12. COMPONENTES DA BOLSA

Aos bolseiros é atribuído um subsídio mensal de manutenção nos termos da tabela constante do Anexo I do RBI.

A bolsa pode ainda incluir outras componentes, nos termos que constam do artigo 18º do RBI e pelos valores previstos no seu Anexo II.

Todos os bolseiros beneficiam de um seguro de acidentes pessoais relativamente às atividades de investigação, suportado pela FCT.

Todos os bolseiros que não se encontrem abrangidos por qualquer regime de proteção social podem assegurar o exercício do direito à segurança social mediante adesão ao regime do seguro social voluntário, nos termos do Código dos Regimes Contributivos do Sistema Previdencial de Segurança Social, assegurando a FCT os encargos resultantes das contribuições nos termos e com os limites previstos no artigo 10º do EBI.

13. PAGAMENTOS DAS COMPONENTES DA BOLSA

Os pagamentos devidos ao bolseiro são efetuados através de transferência bancária para a conta por este identificada. O pagamento do subsídio mensal de manutenção é efetuado no primeiro dia útil de cada mês.

Os pagamentos das componentes de inscrições, matrículas ou propinas são efetuados pela FCT diretamente à instituição nacional onde o bolseiro esteja inscrito ou matriculado no doutoramento.

14. TERMOS E CONDIÇÕES DE RENOVAÇÃO DA BOLSA

A renovação da bolsa depende sempre de pedido apresentado pelo bolseiro, nos 60 dias úteis anteriores à data de início da renovação, acompanhado dos seguintes documentos:

- pareceres emitidos pelo/s orientador/es e pela/s entidade/s de acolhimento sobre o acompanhamento dos trabalhos do bolseiro e a avaliação das suas atividades;
- documento atualizado comprovativo do cumprimento do regime de dedicação exclusiva;
- documento comprovativo de renovação da inscrição no ciclo de estudos conducente ao grau de doutor.

15. INFORMAÇÃO E PUBLICIDADE DO FINANCIAMENTO CONCEDIDO

Em todas as atividades de I&D direta ou indiretamente financiadas pela bolsa, nomeadamente, em todas as comunicações, publicações e criações científicas, bem como teses, realizadas com os apoios previstos na bolsa, deve ser expressa a menção de apoio financeiro da FCT e do Fundo Social Europeu, através, nomeadamente, do Programa Demografia, Qualificações e Inclusão (PDQI). Para este efeito devem ser inscritos nos documentos referentes a estas ações as insígnias da FCT, do MCTES, do FSE e da UE, conforme as normas gráficas do programa comunitário de apoio.

A divulgação de resultados da investigação financiada ao abrigo do RBI deve obedecer às normas de acesso aberto de dados, publicações e outros resultados da investigação em vigor na FCT.

Em todas as bolsas, e em particular no caso de ações apoiadas por financiamento comunitário, designadamente do FSE, poderão ser realizadas ações de acompanhamento e controlo por parte de organismos nacionais e comunitários conforme legislação aplicável nesta matéria, existindo por parte dos bolseiros apoiados a obrigatoriedade de colaboração e de prestação da informação solicitada, a qual abrange a realização de inquéritos e estudos de avaliação nesta área, ainda que a bolsa já tenha cessado.

16. POLÍTICA DE NÃO DISCRIMINAÇÃO E DE IGUALDADE DE ACESSO

A FCT promove uma política de não discriminação e de igualdade de acesso, pelo que nenhum candidato pode ser privilegiado, beneficiado, prejudicado ou privado de qualquer direito ou isento de qualquer dever em razão, nomeadamente, de ascendência, idade, sexo, orientação sexual, estado civil, situação familiar, situação económica, instrução, origem ou condição social, património genético, capacidade de trabalho reduzida, deficiência, doença crónica, nacionalidade, origem étnica ou raça, território de origem, língua, religião, convicções políticas ou ideológicas e filiação sindical.

17. LEGISLAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO APLICÁVEL

O Concurso rege-se pelo presente Aviso de Abertura, pelo Regulamento de Bolsas de Investigação da FCT, aprovado pelo Regulamento nº 950/2019, publicado na II Série do DR de 16 de dezembro de 2019, pelo Estatuto do Bolseiro de Investigação aprovado pela Lei n.º 40/2004, de 18 de agosto, na redação em vigor, e pela demais legislação nacional e comunitária aplicável.

Anexo I - PLANOS DE TRABALHO E ORIENTAÇÃO CIENTÍFICA DAS BOLSAS



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 discontinuidades 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 prevaletentes 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 macrostrutrais 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 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 / 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., Escartin, 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 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/exarcebar 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



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

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), $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$) 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

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. Aintities 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

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>



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

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 $\sim 1.000 \times 2.000$ 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 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.

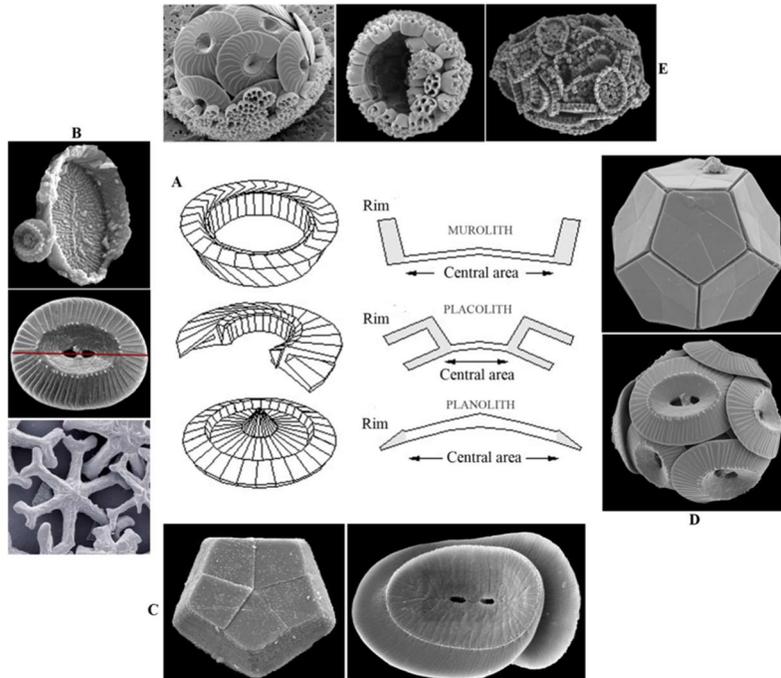
Com estas limitações em mente e procurando desenvolver um método para estudos de produtividade primária no Cenozóico, Prista et al. (2020) utilizaram a morfometria do coccolitóforo *Coccolithus pelagicus* s.l. para extrair a variabilidade da produtividade primária costeira. Esta espécie foi escolhida 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., 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>



**INSTITUTO
DOM LUIZ**



**Ciências
ULisboa**

Faculdade
de Ciências
da Universidade
de Lisboa

FCT 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 - 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 dolomites 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.

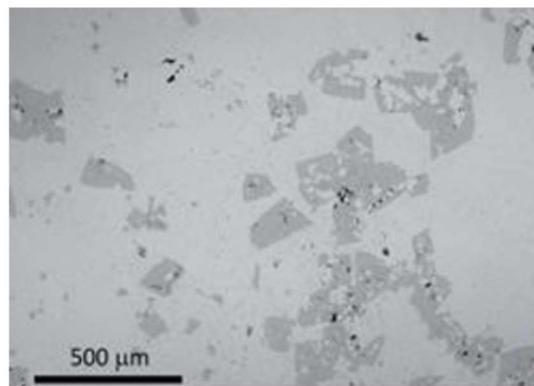
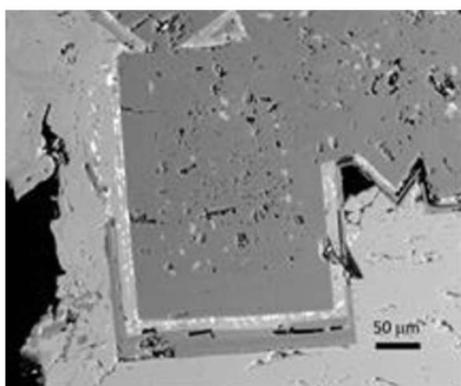


Figura 1. Esquerda: Imagem de electrões retrodifundidos (BSE) de cristais de dolomite (cinzento-escuro) com o bordo recrystalizado e o núcleo poroso com relíquias de calcite. Calcite tardia encontra-se a substituir a dolomite ao longo dos planos de clivagem, deixando um rasto de óxidos(hiróxidos) de 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., Müller, 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 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, Beaudoing, 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>



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), $\delta^{13}C_{VPDB}$ e $\delta^{15}N_{AIR}$) 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

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>



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

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 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 FFMT será usado para o processamento de dados. O FFTM 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

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



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 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-Câmbricos, anfíbolitos 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 titanian, vanadian maghemite 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 Nakhil, Oman. *Lithos*, 376, 105758.



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.