

ESCADARIAS DE TERRAÇOS MARINHOS EM PORTUGAL CENTRO-OCIDENTAL – RELEVÂNCIA COMO INDICADORES DE SOERGUIMENTO CRUSTAL

STAIRCASES OF WAVE-CUT PLATFORMS IN WESTERN CENTRAL PORTUGAL – RELEVANCE AS INDICATORS OF CRUSTAL UPLIFT

Cunha, Pedro P., *MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Dep. de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Portugal; pcunha@dct.uc.pt*

Martins, António A., *Centro de Geofísica, Dep. Geociências, Universidade de Évora, Portugal, aam@uevora.pt*

Cabral, João, *Instituto Dom Luiz, Departamento de Geologia, Universidade de Lisboa, Portugal, jcabral@fc.ul.pt*

Gouveia, M.P., *MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Dep. de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Portugal; mariamporto@gmail.com*

Buylaert, J.-P., *Nordic Laboratory for Luminescence Dating, Aarhus University, Risø DTU, Denmark; Centre for Nuclear Technologies, Technical University of Denmark; jabu@dtu.dk*

Murray, A.S., *Nordic Laboratory for Luminescence Dating, Aarhus University, Risø DTU, Denmark; anmu@dtu.dk*

RESUMO

Este estudo aborda as escadarias de terraço em Portugal centro-ocidental (Cabo Mondego ao Cabo Espichel). Em posição topográfica inferior à da unidade marinha culminante, que regista o episódio de aggradação sedimentar que antecedeu a etapa de incisão fluvial quaternária, identificam-se vários níveis de terraços marinhos. Foi usada a seguinte metodologia: a) elaboração de mapas geomorfológicos, combinando a análise de pormenorizados Modelos Digitais de Terreno e fotografias aéreas, com reconhecimentos de campo calibrados com GPS; b) estudo estratigráfico e sedimentológico dos depósitos sedimentares associados com as plataformas marinhas; c) datação por luminescência. Nas diversas escadarias de terraços costeiros já reconhecidas o número de plataformas marinhas e as respectivas altitudes são diferentes, indicando soerguimento tectónico diferencial. O método de datação por luminescência opticamente estimulada em grãos sedimentares de quartzo sedimentar já forneceu estimativas de idade até ca. 150 ka (limite de saturação) e o método post-IR IRSL em grãos de feldspato-K até ca. 700 ka, para os terraços marinhos em estudo. Usando a plataforma marinha culminante como referência geomorfológica e uma idade de ca. 3,6 Ma, estimaram-se taxas de soerguimento crustal na zona litoral em estudo variando espacialmente de 0,071 m/ka a 0,019 m/ka para este intervalo. O processo de datação por luminescência em curso conduzirá à obtenção de estimativas das taxas de soerguimento crustal com base nos terraços marinhos, o que permitirá determinar se está a correr um aceleração do soerguimento crustal.

ABSTRACT

This study addresses the coastal terrace staircases of western central Portugal (Cape Mondego to Cape Espichel). Below the culminant marine unit that records the last episode of aggradation before the ongoing stage of incision, several terrace levels are

identified. The following methodology was used: a) production of geomorphological maps, combining analysis of detailed MDT's and aerial photos, with field surveys calibrated with GPS; b) stratigraphic and sedimentological study of the sedimentary deposits associated with the marine platforms; c) luminescence dating. On each terrace staircase, the number of platforms and their elevations are different, indicating differential uplift. Quartz OSL provided age estimates up ca. 150 kyr and post-IR IRSL on K-feldspar up to ca. 700 kyr for the marine terraces under study. Using the culminant platform as reference and assuming that it is ca. 3.6 Ma old, uplift rates were estimated as ranging spatially from 0.071 m/ky to 0.019 m/ky. The ongoing luminescence dating will provide uplift rates estimated for the lower and middle marine terraces, clarifying if an acceleration of the crustal uplift is going on.

Palavras-chave: Terraço marinho/costeiro, plataforma de abrasão marinha, alto nível do mar, soerguimento, Portugal central

Keywords: Marine/coastal terrace, wave-cut platform, high sea-level, uplift, central Portugal

1. INTRODUÇÃO

1.1 Estudos prévios

Desde a década de 40, os terraços costeiros/marinhos terraços têm sido estudados devido ao seu conteúdo arqueológico, mas também pelo seu significado geomorfológico, tectónico, paleogeográfico e climático. Para os terraços marinhos de Portugal continental Teixeira (1979) propôs um enquadramento cronostratigráfico baseado na altitude das plataformas marinhas e sua correlação com os terraços marinhos do Mediterrâneo, apesar de localizados em diferentes contextos geodinâmicos. O modelo era puramente eustático e não tinha em conta a influência da tectónica local ou regional na génese das escadarias de terraços.

Estudos seguintes exploraram a relação entre os depósitos costeiros quaternários e a tectónica (ex. Pereira, 1990; Araújo, 1991). Contudo, geralmente incidiram em áreas restritas e a metodologia usada não permite que possam ser generalizados os seus dados por forma a suportar um quadro estratigráfico para a zona costeira oeste portuguesa (vide Cabral, 2012 para discussão). Com a excepção de alguns estudos recentes focalizados em sectores pouco extensos (ex. Ramos *et al.*, 2012; Figueiredo *et al.*, 2013; Carvalhido *et al.*, 2014), a zona costeira atlântica portuguesa não tem sido estudada com suficiente pormenor próximo da desembocadura dos principais rios (Tejo, Mondego e Douro) em termos de: 1) cartografia geomorfológica pormenorizada dos terraços; 2) análise das fácies sedimentares dos terraços, necessária para a interpretação dos paleoambientes deposicionais e paleoclimas; 3) datação absoluta, de modo a fornecer um quadro temporal. Na área de estudo, taxas de soerguimento de 4,2 a 0.4 mm/a propostas por Benedetti *et al.* (2009) com base em terraços marinhos ("raised beaches") da Estremadura, considerados do Plistocénico final, são improváveis num contexto de margem continental passiva, mesmo se for considerado poder estar em transição para activa.

1.2 Uso das plataformas de abrasão marinha como indicadores de soerguimento crustal

Desde o Pliocénico, os períodos de alto nível do mar produziram escadarias de terraços marinhos nos troços costeiros em soerguimento crustal. Com base na pormenorizada identificação destas superfícies erosivas podem-se estimar taxas de soerguimento para Portugal continental mas também identificar as falhas activas responsáveis por soerguimento diferencial dos vários compartimentos tectónicos. Para que se possam quantificar taxas de soerguimento usando as superfícies de abrasão marinha como referências geomórficas, a sua altitude e idade absoluta precisa ser conhecida e integrada com a altura do nível do mar ao tempo da sua formação, usando a equação: $U = (Z - Z_0 - SL) / t$, em que U = taxa de soerguimento; Z = altitude do terraço marinho (elevação do ângulo de costa acima do actual nível do mar); Z_0 = elevação a que se formou a referência datada, relativamente ao coevo nível do mar (profundidades são valores negativos); SL = nível do mar ao tempo da formação do terraço marinho; e t = idade absoluta do nível marinho usado.

Neste trabalho apresentam-se alguns resultados do estudo em curso sobre as escadarias de terraços costeiros em Portugal central, nomeadamente os junto à foz do Rio Mondego - Cabo Mondego, junto à foz do Rio Tejo (praia do Abano – Cascais, imediações do Cabo) e Cabo Espichel (Figura 1).

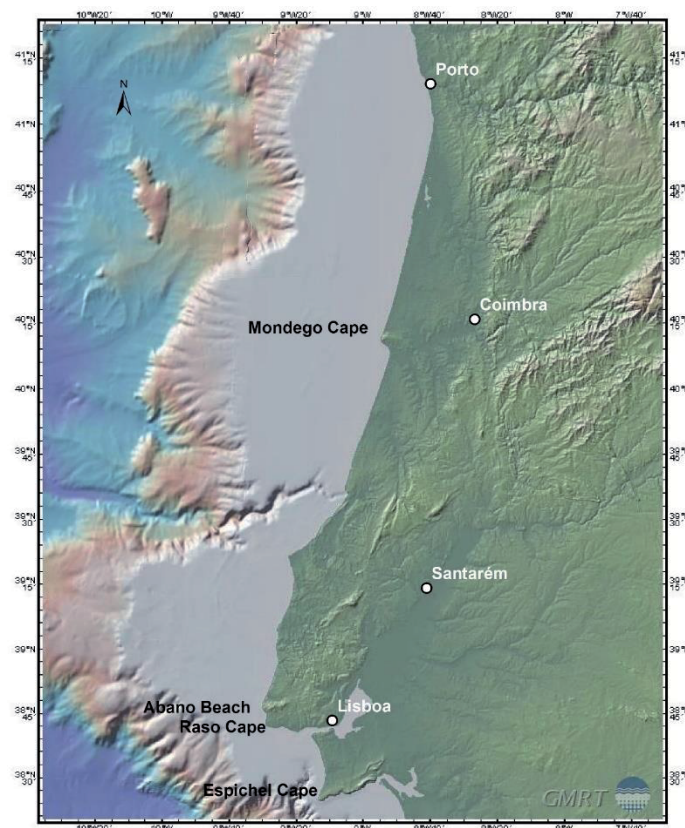


Figura 1 – Localização das áreas costeiras estudadas em Portugal centro-occidental nomeadamente Cabo Mondego, praia do Abano – Cascais (imediações do Cabo Raso) e Cabo Espichel. O MDT foi obtido de Ryan, 2009.

2. MÉTODOS

A investigação em curso usa a seguinte metodologia: a) elaboração de mapas geomorfológicos, combinando a análise de pormenorizados MDT e fotografias aéreas, com reconhecimentos de campo calibrados com GPS; b) estudo estratigráfico e sedimentológico dos depósitos sedimentares associados com as plataformas marinhas; c) datação absoluta por luminescência. O trabalho de campo compreende o levantamento geomorfológico e geológico de cada sítio; observações em afloramentos e sanjas; pormenorizadas descrições estratigráficas e sedimentológicas; amostragem para análise textural e composicional e datação absoluta. Os trabalhos laboratoriais compreendem: análises granulométricas e composicionais dos sedimentos; identificação de palinóforos; datação absoluta usando os métodos de luminescência opticamente estimulada em quartzo (Quartz-OSL) e post-IR IRSL (em feldspato-K) (Buylaert *et al.*, 2012).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Geomorfologia

Cabo Mondego

Na área costeira que abrange a foz do Rio Mondego ao Cabo Mondego, o relevo é dominado por uma vasta superfície de abrasão marinha a uma altitude variando de 75 m (a sul) a 257 m (a norte) e unidade arenosa associada com ~10 m de espessura, cuja base tem uma idade de ca. 3,6 Ma (Pliocénico; ex. Ramos & Cunha, 2004). O Rio Mondego fez incisão na unidade pliocénica e a sua evolução está registada por escadarias de terraços. Os terraços estão melhor preservados na margem direita (norte), no compartimento soerguido Cabo Mondego – Serra da Boa Viagem. Aqui, uma sequência de cinco terraços, sedimentares ou em patamar (respectivamente, T1 a +126-123 m, T2 a +99-88 m, T3 a +59-58 m, T4 a +27-22 m e T5 a +8-6 m) está preservada abaixo da plataforma marinha culminante e coeva unidade sedimentar, a uma altitude de 160 m. Por datação por luminescência obtiveram-se as seguintes idades nos depósitos de terraço: >390 ka do intermédio de T4; >170 ka do topo de T4; ~120 ka da base de T5; ~110 ka do T5 (Ramos *et al.*, 2012). No Cabo Mondego, localizado no sector mais soerguido da serra da Boa Viagem, identificam-se várias plataformas de abrasão marinha e depósitos costeiros associados: P a 250 m; T1 a 100 m (Soares *et al.*, 2007); T2 a 20 m; T3 a 10 m.

Cabo Raso (praia do Abano - Cascais)

Nesta área, a identificação de plataformas marinhas é difícil devido aos degraus topográficos entre estas serem pequenos, à cobertura por areias eólicas e ao facto de algumas superfícies serem estruturais (a estratificação dos calcários tem baixo pendor). Depois do estudo de Duarte *et al.* (2014), novos reconhecimentos de campo permitiram-nos propor as seguintes plataformas marinhas (Figura 2), reconhecíveis abaixo de uma plataforma marinha culminante regional, com 100 a 70 m de altitude e, provavelmente, com idade de ca. 3,6 Ma: T1, pequenos retalhos a ~40 m; T2, plataforma a ~28 m (limite exterior, "outer edge") a ~35 m (limite interior, "inner edge"), coberta com blocos/calhaus rolados de calcário e areias grosseiras siliciclásticas, e cobertura coluvionar com paleosolo vermelho; T3, plataforma a ~18 m (limite exterior) a ~24 m (limite interior), coberta com seixos siliciclásticos rolados e areias grosseiras; T4, pequena plataforma a ~9 to 10 m (limite interior), coberto com seixos rolados e areias grosseiras siliciclásticas; T5 – uma mal preservada bancada a

ca. 4 m. Por vezes, é difícil de distinguir o degrau entre o T3 e o T4. No sítio de Oitavos, identificou-se na cobertura eólica: a) aos 32 m, uma unidade basal de areias médias ricas de quartzo e moscovite, com espessura > 1 m e laminação horizontal, datadas por Quartz-OSL em 97 ka (não publicado); b) uma unidade intermédia, com 1 m de espessura, compreendendo areias grosseiras moderadamente consolidadas, exibindo laminação horizontal e um paleosolo contendo conchas de *Helix* e matéria orgânica que forneceram datações de 35-30 ka BP (C^{14} ; Monge Soares *et al.*, 2006); c) uma unidade superior, com ca. 10 m de espessura, consistindo de areias grosseiras cimentadas e exibindo grandes e muito inclinados feixes dunares, datadas de 15 a 12 ka (C^{14} e quartz-OSL; Prudêncio *et al.*, 2007).

Cabo Espichel

No Cabo Espichel, abaixo da plataforma marinha culminante e residuais depósitos sedimentares associados (P; aos 220 a 140 m, com base provavelmente com uma idade de ca. 3,6 Ma), identificaram-se um total de nove terraços marinhos (Figura 3 e Quadro 1): no troço sul a escadaria é evidente; no troço ocidental (o promontório), existem areias e cascalhos de praia cimentados, a vários níveis; no troço norte identificam-se plataformas extensas, mas sem depósitos e por vezes com uma cobertura de areias eólicas.

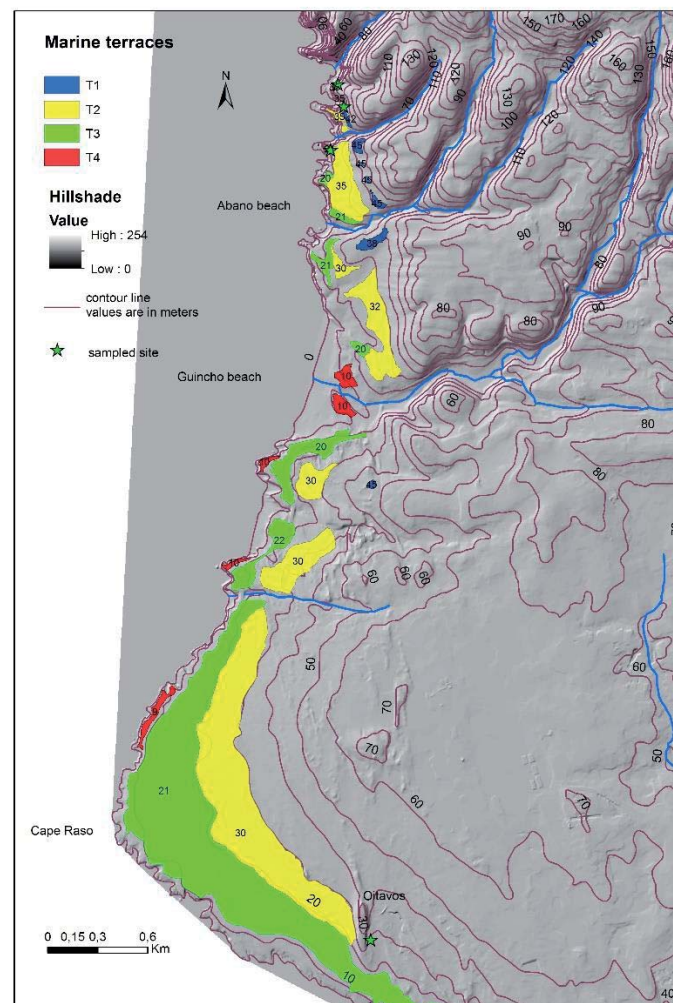


Figura 2 - Mapa com os terraços marinhos ("Marine terraces") reconhecidos no troço praia do Abano – Cascais (imediações do Cabo Raso). Os números indicam as altitudes (m) das superfícies cartografadas.

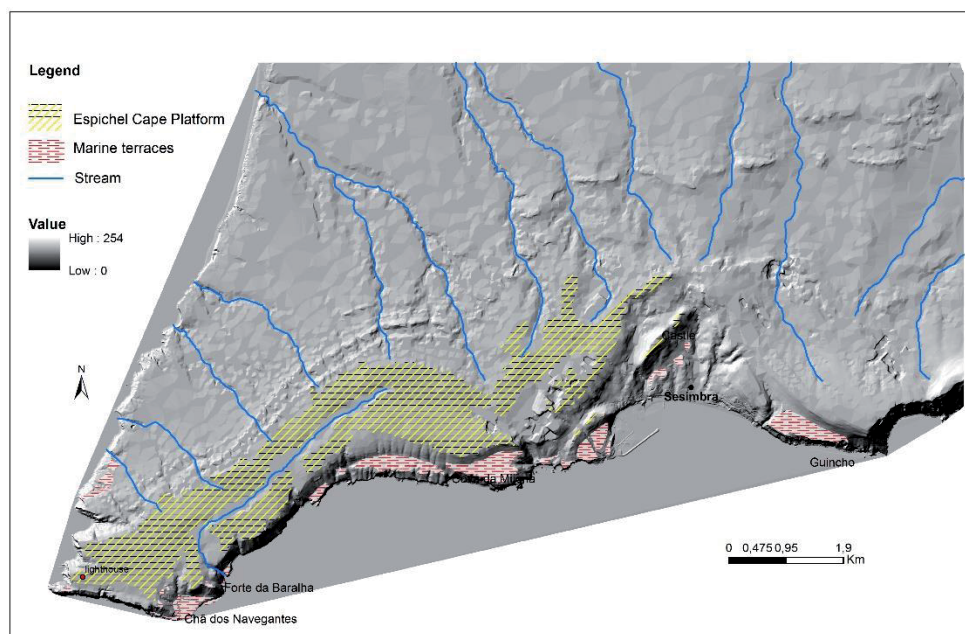


Figura 3 - Mapa com os terraços marinhos ("Marine terraces") e plataforma marinha culminante ("Espichel Cape Platform"), na área do Cabo Espichel.

Quadro 1 – Correlação dos terraços marinhos identificados na área do Cabo Espichel, consistindo de plataformas de abrasão por vezes cobertas com depósitos de praia. Para cada plataforma, os valores de altitude apresentados correspondem aos limites interiores e exteriores ("inner and outer edges").

Cabo Espichel - norte	Cabo Espichel - oeste	Cabo Espichel - sul
P - Plataforma culminante a 150m	P - Plataforma culminante a 140m	P - Plataforma culminante a 150m
T1 - Plataforma a 138m	T1 - Plataforma a 127m	T1 - Plataforma a 130m
T2 - Plataforma a 110-100m	T2 - Plataforma e areias de praia a 114m	Não reconhecido
T3 - Plataforma a 90-75m	T3 - Plataforma e areias de praia a 85-78m	Não reconhecido
T4 - Plataforma a 70-60m	T4 - Plataforma e areias de praia a 73-67m	Não reconhecido
T5 - Plataforma a 50m	T5 - Plataforma e areias de praia a 61 - 53m	T5 - Plataforma a 60m
Não reconhecido	T6 - Plataforma e areias de praia a 45m	T6 - Plataforma a 45m
Não reconhecido	T7 - Plataforma e areias de praia a 38m	T7 - Plataforma a 35m
Não reconhecido	T8 - Plataforma e areias de praia a 28-24m	T8 - Plataforma a 25m
Não reconhecido	T9 - Plataforma a 8m	T9 - Plataforma e areias de praia a 8m

3.2 Estratigrafia e sedimentologia

Os terraços costeiros são geralmente dominados por depósitos de praia (blocos rolados a areias grosseiras), mas por vezes podem conter fácies lagunares (lutitos cinzentos laminados), eólicos (areias médias a muito finas, com paleosolos) e fácies colúviais (heterométricos, com clastos angulosos de proveniência local). Quando integrados com idades absolutas, este tipo de dados é útil nas reconstituições paleogeográficas e paleoclimáticas.

3.3 Geocronologia

O limite superior da datação por radiocarbono é de ca. 40 ka, permitindo datar areias eólicas do Plistocénico final mas não depósitos de terraços marinhos. Os depósitos costeiros têm doses de radioactividade baixas, aumentando o limite superior da datação por luminescência: nos terraços marinhos em estudo, o quartzo-OSL permite datar até ca. 150 ka e a post-IR IRSL em feldspato-K até ca. 700 ka (não publicado). Com base nas datações por "Electron Spin Resonance" (ESR) nos terraços do Baixo Tejo (Rosina *et al.*, 2014), este método pode datar depósitos de terraço com idades entre 400 ka a 1,1 Ma. A datação por núclídeos cosmogénicos (CRN; usando os isótopos ^{10}Be e ^{26}Al) permite datar depósitos com idades entre 400 ka a 2 Ma. Assim, a CRN e a ESR serão usados para datar a unidade marinha culminante e os terraços mais antigos (Plistocénico Inferior a Médio).

3.4 Estimativa das taxas de soerguimento

Usando a plataforma culminante como referência e assumindo que tem 3,6 Ma de idade, podem-se estimar as seguintes taxas de soerguimento: 1) Cabo Mondego – 0,071 m/ka (257/3600); 2) foz do Rio Mondego – 0,044 a 0,021m/ka (160 a 75/3600); 3) Cabo Raso – 0,019 m/ka (70/3600); 4) Cabo Espichel – 0,061 to 0,039 m/ka (220 a 140/3600). As datações por luminescência em curso permitirão estimar as taxas de soerguimento com base nos terraços marinhos médios e inferiores.

4. CONCLUSÕES

Em cada escadaria estudada, o número de plataformas marinhas e suas altitudes são diferentes, indicando soerguimento diferencial e que existem deformações tectónicas activas. Usando a plataforma culminante como referência e assumindo 3,6 Ma de idade, estimaram-se taxas de soerguimento de longo-termo variando de 0,071 m/ka a 0,019 m/ka. A quartz-OSL forneceu estimativas de idade até ca. 150 ka e a post-IR IRSL em feldspato-K até ca. 700 ka. A datação por luminescência e por ESR das escadarias de terraços permitirá determinar se está a correr um aceleração do soerguimento crustal na Margem Ocidental Ibérica.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi suportado financeiramente pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, através dos projectos PTDC/GEO-GEO/2860/2012, UID/MAR/04292/2013 – MARE, UID/GEO/50019/2013 – Instituto Dom. Luís e UID/GEO/04683/2013 – ICT.

REFERÊNCIAS

- Araújo M A (1991). *Evolução geomorfológica da Plataforma Litoral da região do Porto*. PhD Th., 534 pp.
- Benedetti M; Haws J; Funk C; Daniels J; Hesp P; Bicho N; Minckley T; Ellwood B; Forman S (2009). Late Pleistocene raised beaches of coastal Estremadura, central Portugal. *Quaternary Science Reviews*, 28, 3428-3447.
- Buylaert J.-P.; Jain M; Murray A S; Thomsen K J; Thiel C; Sohbaty R (2012). A robust feldspar luminescence dating method for Middle and Late Pleistocene sediments. *Boreas*, 41, 435-451.
- Cabral J (2012). Neotectonics of mainland Portugal: state of the art and future perspectives. *Journal of Iberian Geology*, 38, 71-84.
- Carvalhido R P; Pereira D I; Cunha P P; Buylaert J-P; Murray A S (2014). Characterization and dating of coastal deposits of NW Portugal (Minho-Neiva area): a record of climate, eustasy and crustal uplift during the Quaternary. *Quaternary International*, 328-329, 94-106.
- Duarte D; Volochay K; Magalhães R; Amaro S; Cabral J (2014). Caracterização de terraços marinhos entre Cascais e o Cabo da Roca, com recurso a elementos cartográficos e de detecção remota. Implicações Neotectónicas. *Geonovas*, 27, 39-46.
- Figueiredo P M; Cabral J; Rockwell T K (2013). Recognition of Pleistocene marine terraces in the Southwest of Portugal (Iberian Peninsula): Evidences of regional Quaternary uplift. *Annales of Geophysics*, 56 (6), Sp. Issue Earthquake Geology, S0672.
- Monge Soares A M; Moniz C; Cabral J (2006). A duna consolidada de Oitavos (a Oeste de Cascais – região de Lisboa) – a sua datação pelo método do radiocarbono. *Com. Geológicas*, 93, 105-118.
- Pereira A R (1990). *A Plataforma Litoral do Alentejo e Algarve Ocidental. Estudo de Geomorfologia*. PhD Thesis, Univ. Lisboa, 450 pp.
- Prudêncio M; Marques R; Rebelo L; Cook G; Cardoso G; Naysmith P; Freeman S; Franco D; Brito P; Dias M (2007). Radiocarbon and blue Optically Stimulated Luminescence chronologies of the Oitavos consolidated dune (western Portugal). *Radiocarbon*, 49 (2), 1145-1151.
- Ramos A; Cunha P P; Cunha L; Gomes A; Lopes F C; Buylaert J-P; Murray A S (2012). The River Mondego terraces at the Figueira da Foz coastal area (western central Portugal): geomorphological and sedimentological characterization of a terrace staircase affected by differential uplift and glacio-eustasy. *Geomorphology*, 165-166, 107-123.
- Ramos A; Cunha P P (2004). Facies associations and palaeogeography of the Zanclean-Piacenzian marine incursion in the Mondego Cape – Nazaré area (onshore of central Portugal). 23rd IAS Meeting of Sedimentology, Univ. Coimbra, Abstracts book, p. 227.
- Rosina P; Voinchet P; Bahain J; Cristovão J; Falguères C (2014). Dating the onset of Lower Tagus River terrace formation using electron spin resonance. *Journal of Quaternary Science*, 29 (2), 153-162.
- Ryan, W. (2009). *Global Multi-Resolution Topography (GMRT) synthesis. Integrated Earth Data Applications*. doi: 10.1594/IEDA/100001
- Soares A F; Callapez P M; Marques J F (2007). The Farol Deposit – a Pleistocene beach deposit from Cape Mondego (Figueira da Foz, west central Portugal). *Ciências da Terra*, 16, 163-173.
- Teixeira C (1979). Plio-Pleistocénico de Portugal, *Comunicações Serviços Geológicos Portugal*, 65, 35-46.



VII CONGRESSO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA

GEOMORFOLOGIA 2015



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEOMORFÓLOGOS
VOLUME IX

LISBOA
2015



**VII CONGRESSO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA**

GEOMORFOLOGIA 2015

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEOMORFÓLOGOS

LISBOA, 2015

Título: VII Congresso Nacional de Geomorfologia. Geomorfologia 2015

Editor: Associação Portuguesa de Geomorfólogos

Comissão editorial: José Luís Zêzere, Jorge Trindade, Raffaello Bergonse, Ricardo A. C. Garcia, Sérgio Cruz de Oliveira, Susana Pereira,

Comissão científica: Adélia Nunes, Albano Figueiredo, Ana Ramos Pereira, António Alberto, António Campar de Almeida, António Martins, Assunção Araújo, Carlos Bateira, Catarina Ramos, Diamantino Pereira, Eusébio Reis, Fernando Costa, Francisco Gutierrez, Gonçalo Vieira, Hélder Chaminé, Helena Granja, Isabel Paiva, João Forte, Jorge Trindade, José Gomes, José Luís Zêzere, José Teixeira, Laura Soares, Leonardo Santos, Luca Dimuccio, Lúcio Cunha, Manuela Abreu, Marc Oliva, Maria José Roxo, Mário Neves, Óscar Ferreira, Paulo Pereira, Pedro Proença e Cunha, Raffaello Bergonse, Ricardo Carvalhido, Ricardo A. C. Garcia, Rui Marques, Sérgio Cruz de Oliveira, Susana Pereira, Virgínia Henriques, Virgínia Teles

Capa (conceção): Sérgio Cruz de Oliveira,

Logotipo (conceção): Raffaello Bergonse

Fotografia da capa: Sérgio Cruz de Oliveira

ISBN: 978-989-96462-6-1

Lisboa, outubro 2015

Associação Portuguesa de Geomorfólogos
Departamento de Geografia
Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra
Colégio de S. Jerónimo
3004-530 Coimbra
Email: apgeom.dir@apgeom.pt