

# Quantificação da incisão do rio Tejo no sector entre Gavião e Chamusca, usando os terraços fluviais como referências geomorfológicas

António A. Martins<sup>1</sup>, Pedro P. Cunha<sup>2</sup>, João Matos<sup>3</sup> & Nuno Guiomar<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>Centro de Geofísica, Dep. Geociências da Univ. Évora, Portugal;

<sup>2</sup>IMAR – CIC; Dep. de Ciências da Terra da Univ. Coimbra

<sup>3</sup>Bolseiro BIC, Dep. Geociências da Univ. Évora

<sup>4</sup>Departamento de Paisagem, Ambiente e Ordenamento da Univ. de Évora

<sup>5</sup>ICAM – Instituto de Ciências Agrárias Mediterrânicas da Univ. de Évora

**Resumo:** Os quatro terraços mais baixos do rio Tejo foram usados como referências para estimar as taxas de incisão nos troços entre Gavião e Chamusca (~60 km). Usando as idades mínimas das superfícies dos quatro terraços datados por luminescência estimulada por luz infravermelha (IRSL) de feldspato potássico (T3, T4, T5 e T6), foram estimadas taxas de incisão que se revelaram aproximadamente constantes para cada sector: 1) ~0,29 m/ka no troço III (Gavião ao Arripiado); 2) ~0,36 m/ka no lado oriental e ~0,13 m/ka no lado ocidental do troço IV, em conformidade com o contexto geomorfológico. O valor obtido para a incisão durante os últimos 290 ka foi usado para estimar as idades dos dois terraços superiores (T1 e T2) e da superfície culminante do enchimento sedimentar, fora do limiar máximo de datação por luminescência. A incisão fluvial parece ter sido controlada principalmente pelo levantamento tectónico regional, mas a actividade de algumas falhas é responsável por taxas de incisão diferentes (levantamento diferencial) nos vários compartimentos cruzados pelo rio Tejo.

**Abstract:** The four lower terraces of the Tejo river, dated by infrared stimulated luminescence were used as references to estimate the incision rates in the reaches between Gavião and Chamusca (~60 km). Using the minimal ages of the T3, T4, T5 and T6 terrace surfaces, the incision rates were found similar for each sector: 1) ~0.29 m/ka in the reach III (Gavião to Arripiado); 2) ~0.36 m/ka and ~0.13 m/ka in the eastern and western sides of reach IV (Arripiado to Chamusca), respectively. The obtained long term incision rate for the last 290 ka was used to estimate the probable ages of the two upper terraces (T1 and T2) and of the culminant surface of the sedimentary basin, that are beyond the upper range of the infrared stimulated luminescence (IRSL) dating method. Fluvial incision appears to have been mainly controlled by the regional uplift but some active faults are responsible for different incision rates in the affected sectors.

**Palavras-chave:** Terraços Fluviais, Tectónica, Taxa de Incisão, Levantamento Tectónico, Rio Tejo, Portugal.

**Keywords:** Fluvial Terrace, Tectonics, Incision Rate, Uplift, Tejo River, Portugal.

## 1. Introdução

As escadarias de terraços fluviais constituem fontes de informação sobre as condições sedimentares e hidrodinâmicas de antigas drenagens e da sua evolução, assim como importantes referências geomorfológicas para determinar as taxas de incisão dos rios (Pederson *et al.*, 2006). Estas taxas podem ser usadas, em determinadas condições, como equivalentes das taxas de levantamento tectónico (Maddy *et al.*, 2000). Para determinar uma taxa de incisão fluvial é necessário conhecer a idade da superfície de agração final de um terraço e a diferença de cotas (altura) entre a superfície do terraço e a planície aluvial actual. A superfície de um terraço representa o momento imediatamente anterior à fase de escavamento e formação do novo patamar, embutido no anterior. Contudo, para se obter a taxa de incisão o melhor seria utilizar a idade do patamar rochoso (strath terrace) subjacente aos depósitos de um terraço, em vez de usar a do topo do enchimento sedimentar deste. Isto porque a superfície subjacente aos depósitos representa um perfil regularizado (situação de equilíbrio dinâmico, em que a taxa de incisão é aproximadamente igual à taxa de levantamento tectónico), enquanto a superfície do topo do enchimento sedimentar materializa a culminação de um ciclo de escavação/sedimentação/nova escavação de escala temporal mais curta, sobreposto à taxa de incisão de longo prazo, derivada do levantamento tectónico regional

(Bull, 1990; Pederson *et al.*, 2006).

Para uma dada escadaria de terraços, a taxa de incisão de longo termo obtêm-se através do declive da recta de regressão obtida em gráfico projectando a idade da superfície dos diferentes terraços (sedimentares ou patamares rochosos) em função das respectivas alturas acima do leito actual. As maiores dificuldades na datação dos terraços surgem, nuns casos porque os terraços são demasiado antigos estando fora do alcance das técnicas utilizadas, noutras porque as características dos seus sedimentos limitam consideravelmente o alcance das metodologias disponíveis (ex. taxa de radiação ambiental elevada no caso da luminescência). Os terraços do rio Tejo, e muito provavelmente os da maioria dos rios portugueses, apresentam as dificuldades atrás referidas (Martins & Cunha, 2006a e b).

Neste trabalho apresentam-se as taxas de incisão do rio Tejo obtidas para o troço III, do Gavião ao Arripiado, e no sector montante do troço IV, do Arripiado à Chamusca (Fig. 1), tendo-se utilizado a idade da superfície do enchimento sedimentar de cada terraço, devido à dificuldade de datação da superfície subjacente aos depósitos. As taxas de incisão, se calculadas para intervalos de tempo curtos, poderão sobreestimar as taxas de incisão de longo prazo determinadas pelo soerguimento regional. Nos dois sectores estudados, calcularam-se as taxas de incisão relativas aos últimos ~290 ka.

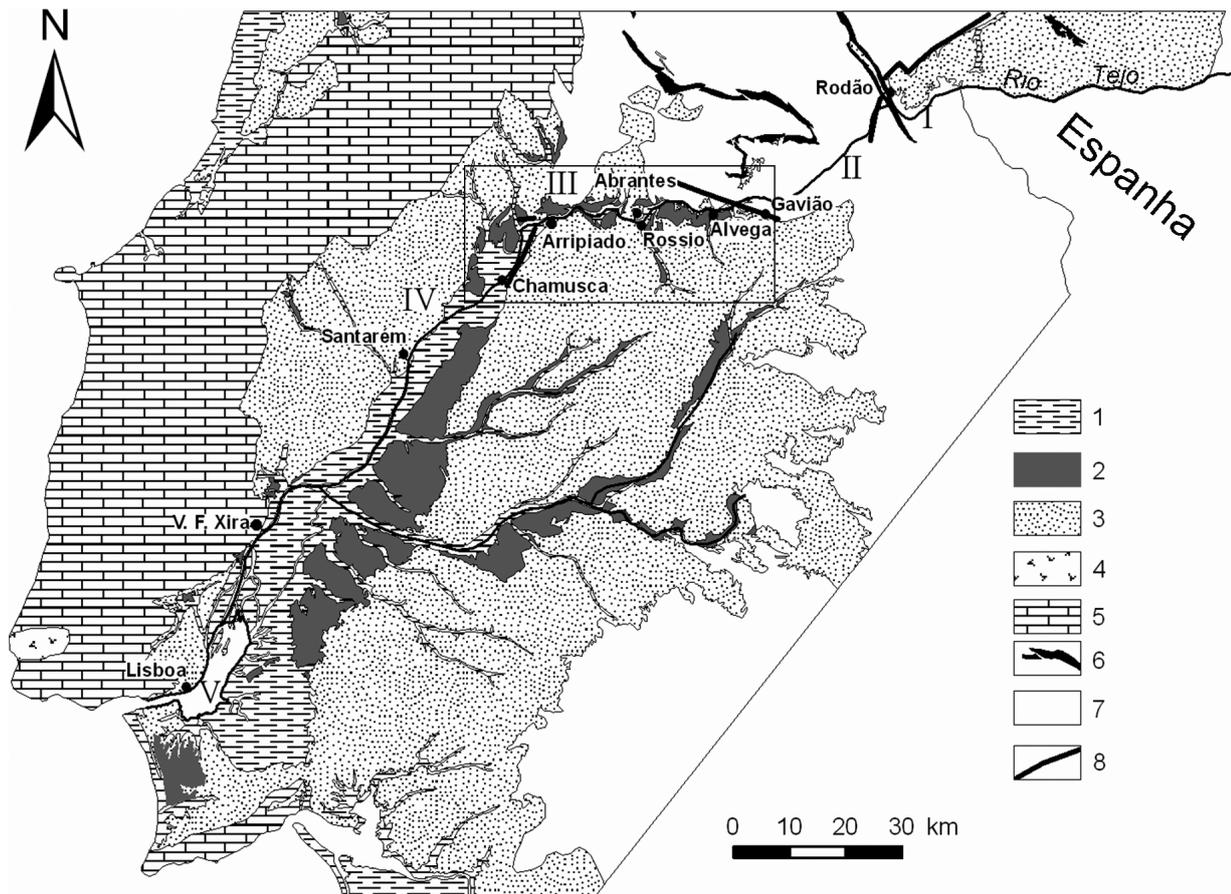


Figura 1 – Mapa geológico simplificado da Bacia do Baixo Tejo, adaptado da Carta Geológica de Portugal na escala 1/500000, de 1992. 1 – aluviões (Holocénico) e terraços arenosos (Plistocénico); 2 – terraços cascalhentos (Plistocénico); 3 – Paleogénico a Pliocénico; 4 – Maciço ígneo de Sintra; 5 – Mesozóico; 6 – quartzitos (Ordovícico); 7 – substrato (Paleozóico); 8 – falhas que delimitam os diferentes troços. Estão representados os principais troços do rio Tejo em Portugal: I – da fronteira a Ródão; II – de Ródão ao Gavião; III – do Gavião ao Arripiado; IV – do Arripiado a Vila Franca de Xira; V – de Vila Franca de Xira ao litoral Atlântico.

## 2. Enquadramento geológico e geomorfológico

A área de estudo localiza-se no sector intermédio da Bacia do Baixo Tejo (BBT) (Fig.1). A região apresenta rochas detríticas brandas do Cenozóico e um soco metamórfico e magmático, do Paleozóico e Pré-Câmbrico, mais resistente à erosão.

O relevo é dominado por um planalto com altitude de 190-

200 m na área da Chamusca e de Abrantes, que corresponde à superfície culminante do enchimento sedimentar da BBT. Abaixo desta superfície desenvolve-se uma escadaria de terraços fluviais, cujo número varia localmente.

Em trabalhos anteriores (e.g. Martins, 1999; Cunha *et al.*, 2005, 2008a; Martins *et al.*, 2009), foi documentado o desenvolvimento espacial e temporal dos terraços do rio Tejo ao longo dos troços I, III e IV, sendo estes delimitados por

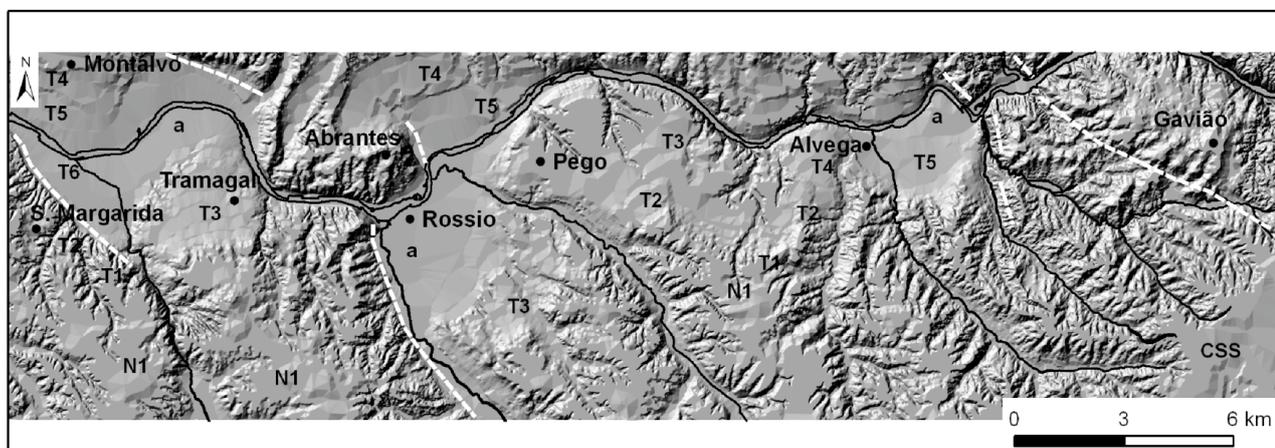


Figura 2 – Modelo digital de terreno (MDT) do troço III do Tejo. Observam-se as depressões tectónicas de Alvega, Rossio e do Tramagal. Linhas a tracejado correspondem a acidentes no limite das depressões. CSS – superfície culminante da bacia sedimentar (250m); N1 – superfície de erosão correspondente ao primeiro embutimento (150 – 160 m); T1 a T6 – terraços; a – aluviões.

	Arripiado-Chamusca (troço IV)				Abrantes (troço III)	
	Margem oeste do vale		Margem este do vale		Altura acima do leito (m)	Taxa de incisão (m/ka)
	Altura acima do leito (m)	Taxa de incisão (m/ka)	Altura acima do leito (m)	Taxa de incisão (m/ka)		
T3 (~290ka)	43	0,14	77	0,26	66	0,22
T4 (~140 ka)	27	0,19	59	0,42	46	0,32
T5 (~73 ka)	10	0,13	29	0,39	22	0,3
T6 (~32 ka)	3	0,09	12	0,37	11	0,34
Planície aluvial	1		2		6	
<b>Taxa média</b>		<b>0,13</b>		<b>0,36</b>		<b>0,29</b>

Quadro 1 – Taxas de incisão do rio Tejo calculadas com base na idade mínima de cada nível de terraço, em diferentes escadarias da área de estudo.

falhas importantes (Fig. 1). No que respeita ao troço III, o limite com o troço II é feito pelo sistema de falhas WNW-ESE de Gavião e com o troço IV no cruzamento da falha de Vila Nova da Barquinha (W-E) com a falha do Arripiado-Chamusca (NNE-SSW). Os estudos geomorfológicos mais recentes, suportados por datações absolutas, indicam a existência, no Baixo Tejo, de seis níveis de terraço (Martins *et al.*, 2008a, b, 2009) (Fig. 2). No troço III, como resultado de um processo de epigenia, o rio Tejo apresenta um traçado transversal em relação às estruturas do substrato, tendo escavado um vale estreito nas rochas do soco e desenvolvido um vale mais largo nas rochas brandas do Terciário, com extensos terraços. Neste troço a escadaria de terraços só está completa nas depressões tectónicas de Alvega, Rossio e Tramagal, situadas a montante de compartimentos do soco cortados em estreito vale pelo Tejo.

No troço IV os terraços apresentam maior desenvolvimento, tanto no sentido longitudinal como no sentido transversal, e o vale do Tejo encontra-se, provavelmente, controlado por um sistema de falhas NNE-SSW. Na parte montante deste troço, do Arripiado à Chamusca, os terraços apresentam menor largura, menor espessura e maior escalonamento do lado oriental do vale. O desenvolvimento assimétrico dos terraços sugere a instalação do Tejo num vale em ângulo de falha com abatimento relativo do compartimento ocidental. Esta interpretação é confirmada através da correlação dos terraços datados (Martins *et al.*, 2008a, 2009).

### 3. Taxa de incisão e discussão sobre os principais controlos

O Nos troços I, III e IV foram obtidas datações IRSL em feldspato potássico (Cunha *et al.*, 2008a, b; Martins *et al.*, 2008a, b, 2009) nos quatro terraços mais baixos do Tejo que indicam as seguintes idades mínimas para as superfícies dos terraços: T3 ~290ka, T4 ~139ka, T5 ~76ka e T6 ~31ka. Embora para algumas amostras do T6 existam idades obtidas por luminescência em quartzo idênticas às obtidas em feldspato, para amostras do T5, T4 e T3 não existem na literatura datações independentes a comprovar que o método usado para a correcção do “anomalous fading” do feldspato potássico é adequado. Além disso, atendendo a que o erro associado às idades dos terraços mais antigos (T3 e T4) pode chegar aos 10%, os valores anteriormente indicados estão sujeitos a futuras rectificações.

No quadro I indicam-se as taxas calculadas dividindo a altura da superfície dos terraços relativamente ao leito actual<sup>1</sup> pelas idades mínimas de cada nível de terraço. Os resultados evidenciam que no mesmo compartimento tectónico, as taxas de incisão, obtidas para os sucessivos terraços, são aproximadamente constantes nos últimos 290 ka. No troço IV existem movimentos tectónicos diferenciais relacionados, provavelmente, com o sistema de falhas do vale inferior do Tejo (NNE-SSW), responsáveis por taxas de incisão mais altas no compartimento oriental (Arripiado-Chamusca).

No que respeita às taxas de levantamento tectónico regional, a área de estudo apresenta movimentos verticais durante o Pliocénico Superior e Quaternário que não são muito diferentes dos estimados para a faixa litoral (0,1 a 0,2 mm/ano; Cabral, 1993, 1995), tendo como referência a unidade culminante pliocénica. Na margem ocidental do troço IV do Tejo, a taxa de incisão média (0,13 m/ka) é idêntica à taxa de levantamento tectónico calculada para a região litoral, enquanto na margem oriental do mesmo troço a taxa de incisão (0,36 m/ka) ultrapassa consideravelmente aqueles valores. Entendemos que as diferenças na taxa de incisão no troço IV se devem a soerguimento diferencial gerado pela actividade do sistema de falhas NNE-SSW. No troço III do Tejo, a taxa de incisão média (0,29 m/ka) é ligeiramente superior à taxa de levantamento tectónico da região do litoral.

Com base no pressuposto de uma taxa de incisão constante, procurou-se por extrapolação estimar as idades dos dois terraços superiores (T1 e T2) e da superfície culminante da bacia sedimentar (Fig. 3 e 4), que ficam fora do alcance do método de datação utilizado. Foram seleccionadas uma escadaria de terraços em Vila Nova da Barquinha (na transição do troço III para o troço IV) e uma outra em Abrantes (troço III), tendo-se representado a elevação das amostras acima do leito actual em função das respectivas idades; as altitudes do leito actual do rio são ~25 m em Abrantes e ~15 m em V.N. da Barquinha. Afim de se obter mais um ponto de referência, utilizou-se também a elevação da planície de inundação actual na correlação atrás referida. As rectas de regressão obtidas indicam idades próximas de 475 ka para o T2, 670 ka para o T1 e 900 ka para a superfície culminante do enchimento sedimentar (início do encaixe). As idades estimadas por extrapolação devem ser encaradas como uma aproximação em virtude da margem de erro nos

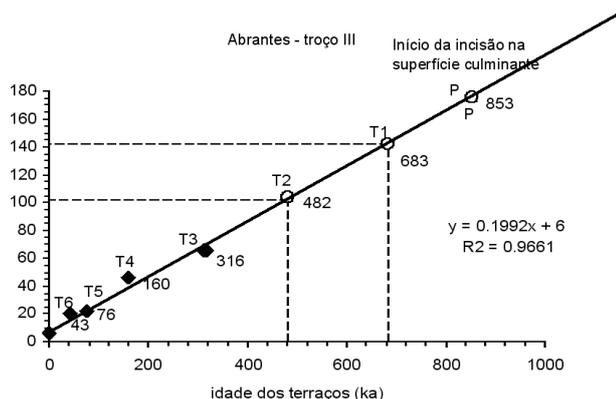


Figura 3 – Determinação das idades dos terraços T2, T1 e do início do encaixe da drenagem na superfície culminante da bacia (círculos sem preenchimento) no troço III (Abrantes). Considera-se naquela estimativa uma taxa de incisão constante (0,20 m/ka), igual à obtida para os terraços dados, T3, T4, T5 e T6 (losangos pretos).

terraços datados e também no pressuposto de se assumir uma taxa de incisão constante, que não está garantida para o tempo mais antigo. Nas figuras 3 e 4, os valores de incisão média (~ 0,19 m/ka), dados pelo declive da recta de regressão linear, são inferiores aos que constam na Tabela 1 (colunas 6 e 7), pois foram usadas as idades de amostras cuja posição estratigráfica nem sempre se localiza no topo de cada terraço.

#### 4. Conclusões

Usando-se como referências geomorfológicas os quatro terraços mais baixos do rio Tejo, datados por luminescência (IRSL), foram determinadas as taxas de incisão em sectores da Bacia do Baixo Tejo. Em cada sector estudado obtiveram-se similares taxas de incisão para cada um dos quatro níveis de terraço datados, o que permite inferir que o soerguimento litosférico regional se esteja a fazer com taxa, aproximadamente, constante nos últimos 290 mil anos. A taxa de incisão de longo termo obtida foi de 0,29 m/ka no troço III (Gavião ao Arripiado), 0,36 m/ka no compartimento oriental do troço IV (do Arripiado à Chamusca) e 0,13 m/ka no compartimento ocidental do mesmo troço.

Os limites dos compartimentos com diferentes taxas de incisão correspondem, respectivamente, à falha de Vila Nova da Barquinha-Arripiado (WNW-ESE, com soerguimento relativo do compartimento a N e à zona de falha do Vale Inferior do Tejo (NNE-SSW, com soerguimento relativo do compartimento a oriente), que terão tido actividade no intervalo considerado.

Para os diversos sectores analisados, o valor constante da taxa de incisão permitiu estimar a idade da superfície dos terraços mais antigos (T2 ~475ka, T1 ~670ka; Plistocénico médio) e a idade da superfície culminante do enchimento sedimentar (~870ka; Plistocénico inferior).

<sup>1</sup> O leito actual, leito ordinário do rio, pode situar-se entre 1 a 6 m abaixo da planície de inundaçào.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projecto PPCDT/CTE-GEX/58120/2004, aprovada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia e co-financiado pelo FEDER.

#### Referências bibliográficas

Bull, W., 1990. Stream-terrace genesis: implications for soil development. In P.L.K. Knuepfer and L.D. Mcfadden (Eds.). Soil and Landscape Evo-

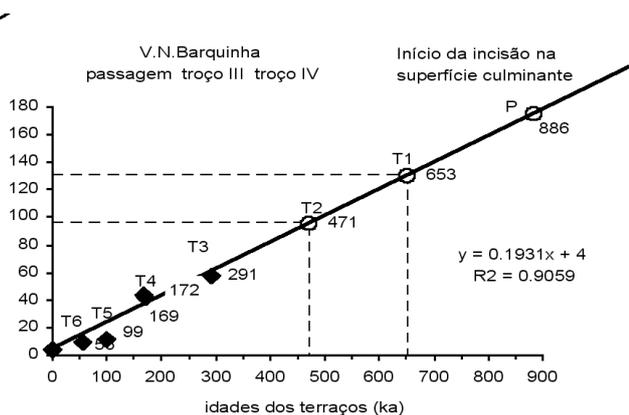


Figura 4 – *idem* figura 3, mas para o troço de IV em Vila Nova da Barquinha com taxa de incisão de 0,19m/ka.

- lution. *Geomorphology*, 3, pp. 351-367.
- Cabral, J., 1993. Movimentos neotectónicos verticais em Portugal Continental. Tentativa de síntese. Resumos 3ª Reunião do Quaternário Ibérico, Coimbra, Portugal, pp. 31-37.
- Cabral, J., 1995. Neotectónica de Portugal continental. Memórias do Instituto Geológico e Mineiro Portugal, 31
- Cunha, P., Martins, A., Daveau, S., Friend, P., 2005. Tectonic control of the Tejo river fluvial incision during the late Cenozoic, in Ródão – central Portugal (Atlantic Iberian border). *Geomorphology* 64, pp. 271-298.
- Cunha, P., Martins, A., Huot, S., Murray, A., Raposo, L., 2008a. Dating the Tejo river lower terraces in the Ródão area (Portugal) to assess the role of tectonics and uplift. *Geomorphology*, 102, pp. 43-54.
- Cunha, P., Dinis, P., Martins, A., Stokes, M., Handcok, G., 2008b. Discussion of eustatic, climatic and tectonic controls on the Tejo River terraces genesis, at Alvega-Chamusca (Portugal, western Iberia). *Fluvial Archives Group Meeting, Budapest, Hungary, Abstract Book*, p. 34.
- Cunha, P., Martins, A., Pais, J., 2008c. O estudo do Cenozóico em Portugal: estado da arte e perspectivas futuras. In: *a Terra: Conflitos e Ordem, Livro de Homenagem ao Prof. Ferreira Soares, Univ. de Coimbra*, pp. 101-110.
- Maddy, D., Bridgland, D., Green, C., 2000. Crustal uplift in southern England: evidence from the river terrace records. *Geomorphology* 33, pp. 167-181.
- Martins, A., 1999 - Caracterização morfotectónica e morfossedimentar da Bacia do Baixo Tejo (Pliocénico e Quaternário). PhD, Thesis, Univ. Évora, Portugal.
- Martins, A., Cunha, P., 2006a. Vantagens e limitações da luminescência opticamente estimulada na datação de terraços do rio Tejo, sua importância na determinação da taxa de incisão fluvial. VII Congresso Nacional de Geologia, Resumos II, Estremoz, Portugal pp. 683-686.
- Martins, A., Cunha, P., 2006b. Possibilidades de aplicação da luminescência opticamente estimulada (OSL) na datação de sedimentos do rio Tejo. Tagus Floods 06 Workshop, Resumos, Lisboa, Portugal, pp. 72-75.
- Martins, A., Cunha, P., Huot, S., Murray, A., Buylaert, J., Stokes, M., 2008a. Geomorphological correlation of the Tejo river terraces in the Gavião-Chamusca area (central Portugal) supported by luminescence dating. *Fluvial Archives Group Meeting, Budapest, Hungary. Abstract Book*, p. 33.
- Martins, A., Cunha, P., Buylaert, J., Murray, A., Dinis, P., Stokes, M., 2008b. Luminescence dating and geological significance of a Pleistocene river terrace staircase sequence in the Arripiado-Chamusca area of the Lower Tejo river (western Iberia). 12th International Conference on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating, Peking Univ., China, Abstracts, p. 111.
- Martins, A., Cunha, P., Huot, S., Murray, A., Buylaert, J., 2009. Geomorphological correlation of the tectonically displaced Tejo river terraces (Gavião-Chamusca area, Portugal) supported by luminescence dating. *Quaternary International*, doi:10.1016/j.quaint.2009.01.009.
- Pederson, J., Anders, M., Rittenhour, T., Sharp, W., Gosse, J., Karlstrom, K., 2006. Using fill terraces to understand incision rates and evolution of the Colorado River in eastern Grand Canyon, Arizona. *Journal of Geophysical Research*, vol. 111, 1-10.