

Caracterização geomorfológica e sedimentológica da escadaria de terraços da margem direita do rio Mondego, no sector entre Maiorca e Vila Verde*

Anabela Ramos¹, Pedro P. Cunha², António A. Gomes³ e Lúcio Cunha⁴

¹Centro de Geofísica da Univ. Coimbra, bolsista de pós-Doutoramento da Fundação para a Ciência e Tecnologia; ana-baia@sapo.pt;

²Instituto do Mar -CMA, Departamento de Ciências da Terra da FCTUC.; pcunha@dct.ci.uc.pt

³Dep. de Geografia da Univ. do Porto; CEGOT – Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do território; atgomes@netcabo.pt

⁴Dep. de Geografia da Univ. de Coimbra; CEGOT – Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do Território; luciogeo@ci.uc.pt

Resumo: Neste trabalho apresenta-se uma caracterização dos terraços do rio Mondego, baseada em critérios geomorfológicos e sedimentológicos, em particular os que se localizam entre Maiorca e Vila Verde.

Na área vestibular do rio Mondego, Ramos (2008); Ramos *et al.* (2009) distinguiram seis episódios de escavação-agradção, cujos níveis foram designados por M1 a M6 (do mais alto para o mais baixo), situados abaixo da superfície culminante do enchimento sedimentar e acima da planície aluvial actual (3m de altitude).

A maioria dos níveis inferiores correspondem a terraços sedimentares, com associações de fácies deposicionais distintas nos vários níveis.

As associações de fácies que caracterizam M1, M2 e M3 (depósitos dos níveis mais antigos) são de natureza areno-cascalhenta e lutítica associadas a processos fluviais, bem como arenosas finas de génese eólica. Contudo, as fácies são difíceis de analisar espacialmente, nomeadamente as cascalhentas, por os depósitos estarem dispersos em retalhos e porque a unidade subjacente (do Cretácico) também é conglomerática. São exemplos destes depósitos os que se observam na Serra de S. Bento (126m de altitude; 123m acima da planície aluvial); Serra de Castros (118m) e Serra de Moinhos (100m).

O registo sedimentar de M4, M5 e M6 (terraços mais recentes) é o que está melhor preservado e as associações de fácies distinguem-se claramente das dos terraços mais antigos. A sua observação pode fazer-se entre Lares e Vila Verde, a altitudes que rondam os 10-20m. Interpretam-se associações de fácies fluviais, estuarinas e de praia.

Palavras Chave: Geomorfologia, terraços fluviais, Plistocénico, fácies deposicionais.

*Trabalho desenvolvido no âmbito de dissertação de doutoramento (Ramos, 2008).

1 – Introdução

O encaixe plistocénico da rede fluvial, essencialmente condicionado pelas variações glácio-eustáticas num contexto de levantamento continental, é responsável no sector vestibular dos rios portugueses por uma topografia muito particular que se traduz, em regra, por uma sucessão de degraus topográficos preenchidos por depósitos sedimentares fluviais.

A área em análise localiza-se na porção vestibular do estuário do rio Mondego (Figueira da Foz – Portugal Central), sendo analisados os depósitos plistocénicos fluviais, bem como, os degraus topográficos que com eles se relacionam e que se estabelecem entre as localidades de Maiorca e Vila Verde. Afloram unidades geológicas de idade jurássica a holocénica (figura 1). Têm sido vários os autores que ali têm desenvolvido trabalhos com diferentes objectivos científicos e que têm, no seu conjunto, contribuído para o conhecimento da evolução da paisagem desta área. Sob o ponto de vista do estudo sedimentar dos depósitos mais recentes referem-se os trabalhos de Soares de Carvalho (1949, 1951, 1964); Soares(1966, 1999); Soares *et al.* (1989, 1998); Ramos (2000, 2008).

Com trabalhos de índole geomorfológica referem-se autores como Almeida *et al.* (1990); Almeida (1995); Ramos (2000, 2008) e Cunha (2002). Considerando a importância da tectónica na evolução morfostrutural da área, são de referir as interpretações de Ribeiro *et al.* (1996); Cabral e Ribeiro (1988); Cabral (1995), Gomes (2008) e Ramos (2008).

Abaixo da plataforma de abrasão marinha tida como pliocénica, que corta o sector cimeiro da Serra da Boa Viagem, estabelecemos um quadro estratigráfico que compreende seis episódios de escavação-agradiação (M1, M2, M3, M4, M5 e M6), que se distinguem sob o ponto de vista geomorfológico e de associações de litofácies (figura 2 e 3).

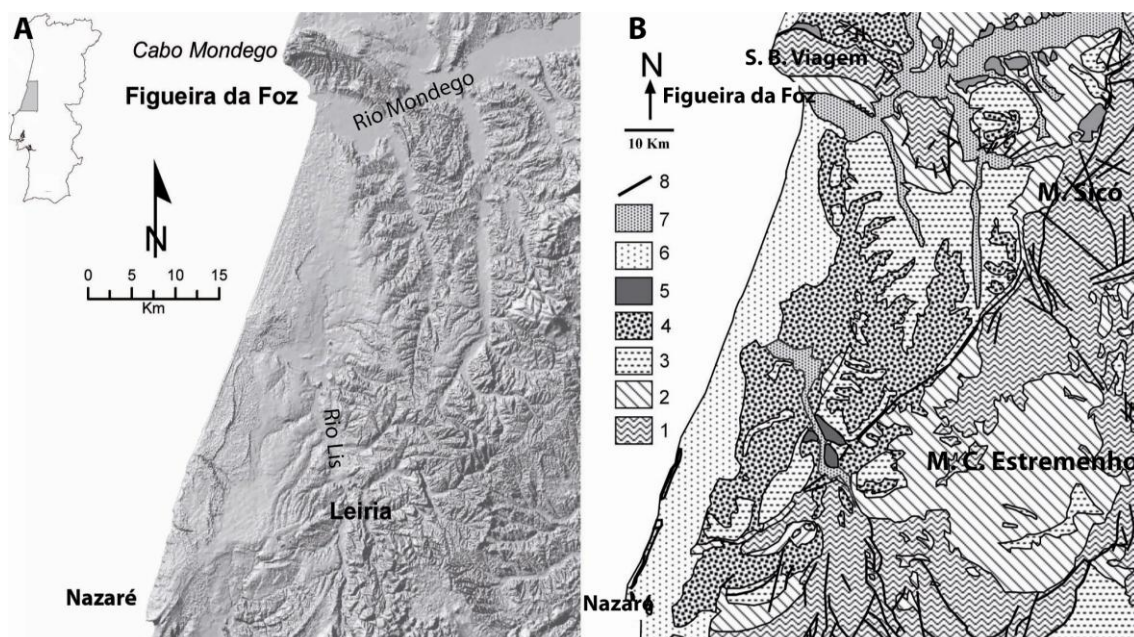


Figura 1 – A – Enquadramento da área de estudo (modelo sombreado com sobre-elevação vertical de 8x); B – Mapa geológico da área envolvente do estuário do rio Mondego (adaptado da Carta Geológica de Portugal, esc. 1/500000). 1 – Triásico a Jurássico, 2 – Cretácico, 3 – Paleogénico a Miocénico, 4 – Pliocénico, 5 – Plistocénico (terraços), 6 – Plistocénico sup. a Holocénico (dunas), 7 – Holocénico (aluviões), 8 – Falha.

2 – Caracterização do registo sedimentar dos níveis de escavação-agradiação do rio Mondego

2.1 – Primeiro episódio de escavação-agradiação

A reduzida exposição dos sedimentos ligados à incisão da rede de drenagem actual, as variações e recorrência de fácies e a existência de materiais areno-conglomeráticos do substrato Meso-Cenozóico dificultam a definição de unidades litostratigráficas.

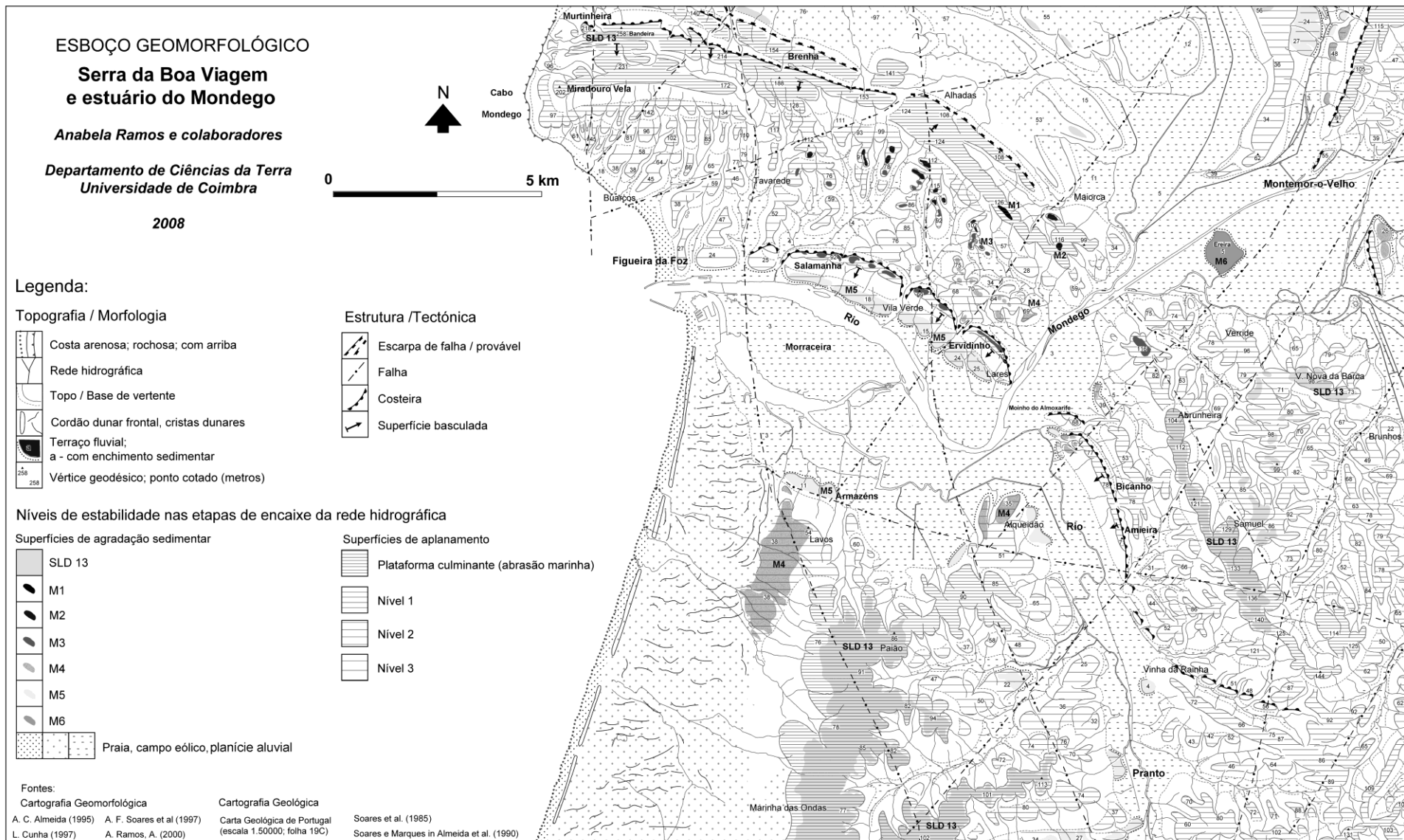


Figura 2 – Esboço geomorfológico da Serra da Boa Viagem e área envolvente da Figueira da Foz (Ramos, 2008).

Este primeiro nível de embutimento (130m) é caracterizado pela associação de fácies **M1 (AFM1)**, a qual comporta litofácies conglomeráticas, areníticas e lutíticas, cujas características se apresentam de seguida.

Litofácies conglomeráticas

Os depósitos compostos por estas fácies são pouco extensos, com espessuras que não ultrapassam os 4m, dispersos sobre o substrato mesozóico. A sua observação é possível na Serra de S. Bento (126m). As suas características constam no quadro 1.

Quadro 1 – Características das litofácies conglomeráticas da AFM1

MPS (cm)	Fracção (%)		Mineralogia (%)					Estruturas sedimentares	Fácies de Miall (1996)
	Ar	Clastos	Qz	Qt	Fd	Xt	Grs		
7	50	40	50	45	3	1	1	Graduação positiva Estratificação oblíqua planar	Gmg
12	40	60	50	45	5	V	V	Imbricação	Gt/Gp

Legenda: Ar – Areia, Qz – Quartzo; Qt – Quartzito; Fd – Feldspatos; Xt – Xisto; Grs – Grés; V – Vestígios.

Litofácies areníticas e lutíticas

Estas litofácies encontram-se na base dos corpos conglomeráticos, em lenticulas ou a constituir a matriz dos conglomerados. A constituição mineralógica da fracção arenosa apresenta quartzo, feldspatos e micas; a fracção <2µm é dominada pela caulinite, indicando condições de clima temperado húmido durante a deposição dos sedimentos. Os sedimentos são mal a moderadamente calibrados.

O afloramento localizado junto do vértice geodésico da Serra de S. Bento (126m) é o que melhor representa as fácies conglomeráticas, que aqui se encontram organizadas numa estrutura de canal com cerca de 8m de largura e 2m de altura, com o eixo segundo N240° (figura 2).

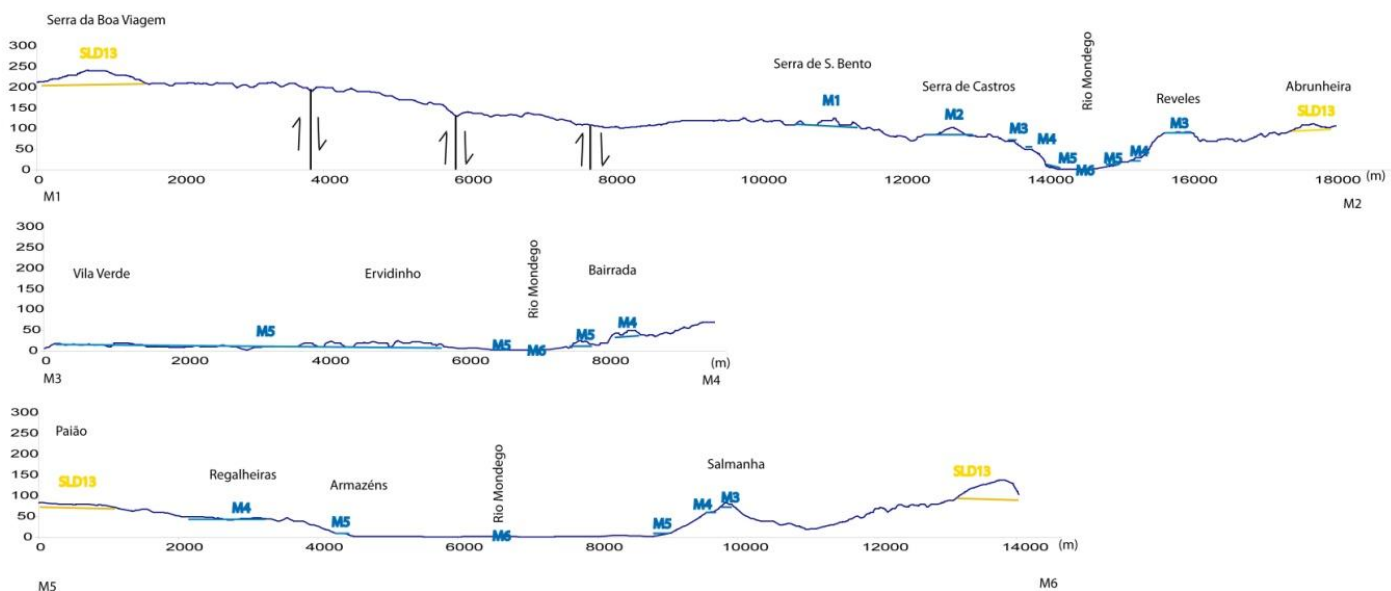
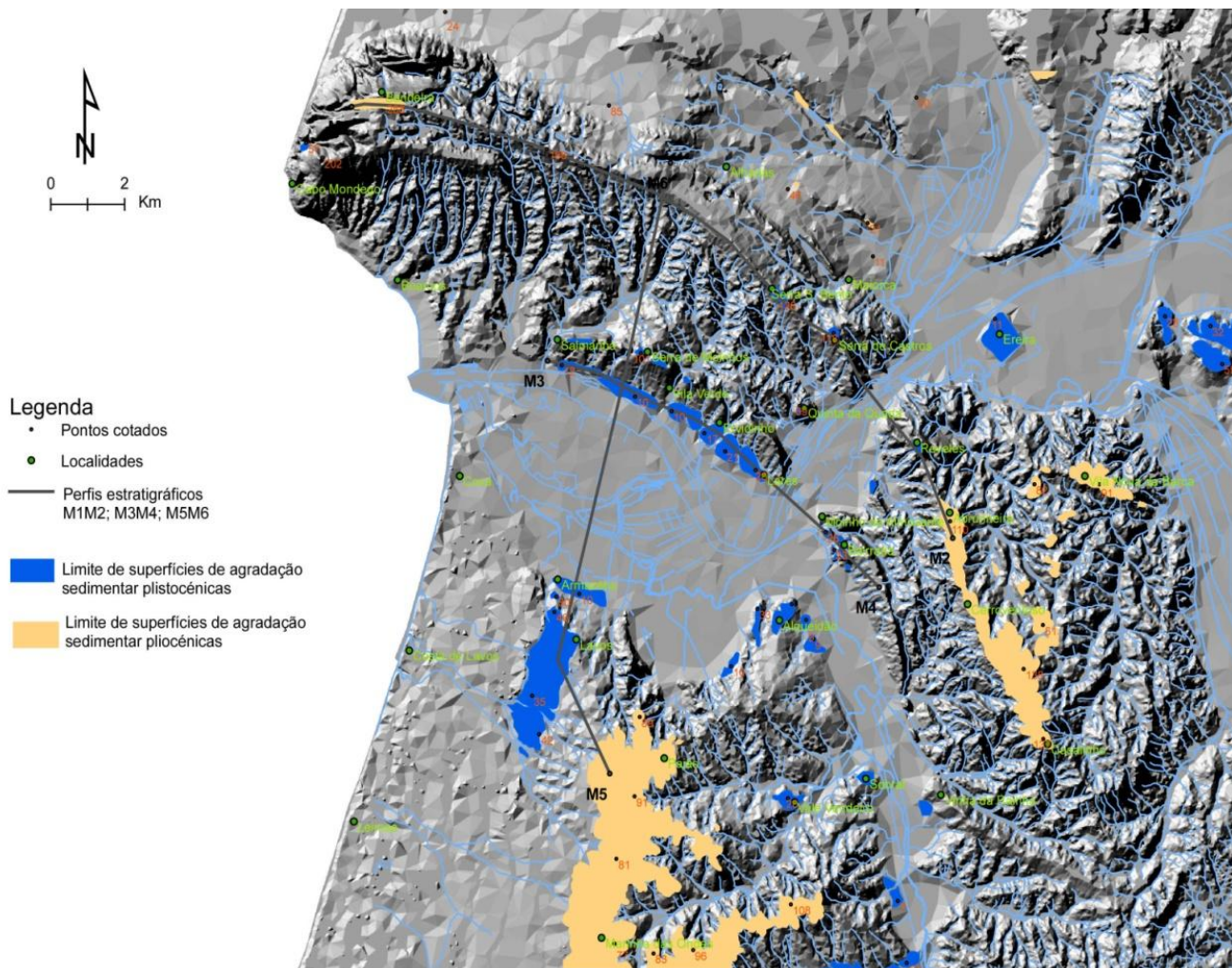


Figura 3 – Distribuição das plataformas de agração sedimentar na porção terminal do estuário do Mondego. Perfis topográficos M1M2, M3M4 e M5M6 que evidenciam os episódios de agração M1, M2, M3, M4, M5 e M6 (Ramos, 2008).

2.2 – Segundo episódio de escavação-agração

Este episódio de escavação-agração é tipificado pela associação de fácies M2 (AFM2), com litofácies conglomeráticas, areno-lutíticas e lutíticas.

Litofácies conglomeráticas

Esta associação de fácies é mais rica em matriz arenosa e pobres em estruturas sedimentares. Podem observar-se na Serra de Castros (118m) na margem direita do Mondego (quadro 2).

A esta associação de fácies pertencem também, pelo seu carácter pelicular e imaturo uma série de acumulações essencialmente conglomeráticas, constituídos por materiais do substrato cretácico ou jurássico retrabalhados em regime fluvial.

Quadro 2 – Características das litofácies conglomeráticas da AFM2

MPS (cm)	Fracção (%)		Mineralogia (%)	Estruturas	Fácies de Miall (1996)
	Areia	Clastos	Qz+Qt	Sedimentares	
6	70	30	> 90	Maciço	Gmm

Legenda: Qz – Quartzo; Qt – Quartzito.

Litofácies areno-lutíticas

a) Apresentam sob o ponto de vista mineralógico quartzo, micas, ortóclase e albite, estando os minerais de argila representados pela caulinite, ilite e vermiculite (Kiv). Quanto aos parâmetros granulométricos estas litofácies apresentam valores de média que rondam 2.3ϕ e a mediana varia de 2 a 2.9ϕ (areia fina). As distribuições revelaram-se no geral pobremente calibradas, com índice de assimetria negativo e índice de curtose é variável.

b) Areias eólicas e hídricas

De um modo geral, estas areias encontram-se nas zonas aplanadas e deprimidas, sugerindo ser esta a causa para a sua preservação. São areias finas, amarelas, siltosas, arcólicas, com presença de moscovite e os grãos de quartzo são redondos e foscas.

Estas areias revelaram a presença de quartzo, ortóclase e albite. A fracção argilosa está representada pela caulinite seguida da ilite. A média é de 2.08ϕ , valor semelhante ao apresentado pela mediana. Trata-se de uma distribuição moderadamente calibrada com assimetria positiva em que os materiais parecem estar truncados dos componentes mais finos ($> 3\phi$).

c) Litofácies lutíticas

As litofácies lutíticas apresentam composição mineralógica semelhante às litofácies areníticas. Em termos granulométricos as amostras revelaram médias distintas, sendo ambas mal calibradas e com assimetria a variar entre assimetria negativa a aproximadamente simétrica; a curtose é também variável.

As formas das curvas granulométricas traduzem a presença populações distintas, verificando-se que os materiais se encontram, mais uma vez, truncados da fracção > 3φ e < 1φ.

2.3 – Terceiro episódio de escavação-agradiação

Associação de fácies M3 (AFM3)

Litofácies areno-conglomeráticas

Caracterizam-se por um conglomerado (Gcm/Gp), amarelo, oligomítico em quartzo e quartzito (quadro 3). O corpo conglomerático apresenta estruturas entrecruzadas planares e côncavas (Gp/Gt) organizando-se em estruturas canalizadas ou a preencher formas cársicas (lapiás).

Quadro 3 – Características das litofácies areno- conglomeráticas da AFM3

MPS (cm)	Fracção (%)		Mineralogia (%)					Estruturas sedimentares	Fácies de Miall (1996)
	Ar	Clastos	Qz	Qt	Fd	Xt	Grs		
6-10	60	40	55	45	-	-	V	Estruturas cruzadas planares	Gcm/Gp

Legenda: Ar – Areia, Qz – Quartzo; Qt – Quartzito; Fd – Feldspatos; Xt – Xisto; Grs – Grés; V – Vestígios

Litofácies areno-lutíticas

As litofácies areno-lutíticas caracterizam-se por um arenito fino (Sr), vermelho, imaturo, com estratificação oblíqua planar e com material lutítico interestratificado. Sob o ponto de vista granulométrico, uma amostra recolhida mostrou tratar-se de um material com valores de média e mediana de 1.53φ, bem calibrado, permitindo traçar uma curva aproximadamente simétrica e leptocúrtica. Sob o ponto de vista mineralógico estão presentes, em ordem decrescente, quartzo, ortóclase e micas. Quanto aos minerais de argila, foram detectadas caulinite (80%) e ilite (20%). De notar também a presença de quantidade elevada de óxidos de ferro. Este arenito constitui a matriz das litofácies areno-conglomeráticas.

2.4 – Quarto episódio de escavação-agradção

Associação de fácies M4 (AFM4)

Litofácies conglomeráticas

Conglomerado polimítico e heterométrico, estando a sua composição lítica e características morfoscópias expressas no quadro 4.

Quadro 4 – Características líticas das litofácies conglomeráticas da **AFM4**

MPS (cm)	Fracção (%)		Mineralogia (%)					Fácies de Miall (1996)
	Ar	Clastos	Qz	Qt	Fd	Xt	Grs	
30	20	80	40	35	V	20	5	Gcm/Gp/Gt

Legenda: Ar – Areia, Qz – Quartzo; Qt – Quartzito; Fd – Feldspatos; Xt – Xisto;
Grs – Grés; V – Vestígios

São os clastos de quartzo e quartzito que apresentam as maiores dimensões, chegando, nalguns casos, o seu eixo maior a medir 35cm. Apresentam marcas de choque, em grande parte pouco vincadas. Trata-se de uma litofácies que se distingue em relação às litofácies conglomeráticas anteriormente descritas, pela elevada percentagem de patelas de xisto e seixos de quartzo muito rolados (MPS=3cm).

Litofácies areníticas

a) Tratam-se de areias de cor amarela acastanhada, médias a grosseiras, submaturas, com estruturas cruzadas planares (Sp) e em ventre (St). Em termos mineralógicos, são ricas em quartzo microclina e albite, com os minerais de argila a serem representados por 80% de caulinite e 20% de ilite.

b) Na AFM4 surgem litofácies areníticas médias a grosseiras, esbranquiçadas, mal calibradas e praticamente sem fracção argilosa. Com estruturas cruzadas planares e em ventre, traduzindo ambientes de praia. Estas litofácies colocam a AFM4 numa posição distinta relativamente às anteriores, já que não só apresentam litofácies de carácter fluvial, mas também litofácies de praia.

2.5 – Quinto episódio de escavação-agradção

Associação de fácies M5 (AFM5)

Litofácies conglomeráticas

Caracterizam-se por um conglomerado castanho, grosseiro, polimítico (quadro 5), MPS 22-30 cm, contando com a presença de seixo de quartzo muito rolado. Nestas litofácies articulam-se fácies conglomeráticas Gp predominantes sobre Gmg, com atributos sedimentológicos e estruturas sedimentares semelhantes aos da unidade lítica **U1** de Soares *et al.* (1998) (ver também descrição de Soares *et al.*, 1989).

Quadro 5 – Características líticas da litofácies conglomerática da AFM5

MPS (cm)	Fracção (%)		Mineralogia (%)					Estruturas sedimentares	Fácies de Miall (1996)
	Ar	Clastos	Qz	Qt	Fd	Xt	Grs		
22-30	20	80	45	40	V	15	V	Estruturas cruzadas planares e em ventre Imbricação	Gcm/Gt

Legenda: Ar – Areia, Qz – Quartzo; Qt – Quartzito; Fd – Feldspatos; Xt – Xisto; Grs – Grés;
V – Vestígios

Litofácies areníticas

a) Associadas a depósitos fluviais conglomeráticos

São caracterizadas por areias amarelas, médias a grosseiras, moderadamente calibradas, articulação de fácies St predominantes sobre Sp, Sr e Sm, por vezes com finos leitos conglomeráticos interstratificados (Gh), embora as fácies conglomeráticas se encontrem subordinadas em relação às fácies areníticas.

b) Associadas a depósitos estuarinos

Em posição superior relativamente às fácies descritas em a) é possível observar em pormenor pequenas rugas (“ripples”) em areia branca, muito fina (Sr), matura e quartzosa que, superiormente, passam a corpos arenosos onde predomina as estruturas cruzadas planares e côncavas.

A composição mineralógica das amostras recolhidas nos diferentes afloramentos, revelou a presença quartzo, ortóclase e albite. A fracção argilosa é dominada pela caulinite relativamente à ilite. Os parâmetros granulométricos indicam a média com valores a rondar 1 a 1.35φ (areia média), próximos dos valores da mediana. Trata-se de areias moderadamente calibradas com índice de assimetria revelando distribuições aproximadamente simétricas. O índice de curtose é variável. As curvas granulométricas mostram uma individualização em três troços, traduzindo a presença de populações distintas em transporte.

c) Associadas a depósitos de praia

Apresentam espessura aproximada de 6m e observam-se em areeiros como Copeiro e Outeiro. Trata-se de areias grosseiras com abundantes seixos de quartzo muito rolados, às quais se segue areia branca muito fina, sem matriz argilosa, solta, por vezes com laminação horizontal. A composição mineralógica destas areias é semelhante à das anteriores. A média varia de $-0,63$ a $1,33\phi$ e a mediana de $-0,68$ a $1,59$ (areia muito grosseira a média). As distribuições são pobremente a moderadamente calibradas, com índices de assimetria e curtose variáveis.

Litofácies areno-lutíticas

Sobrepõem-se às litofácies areno-conglomeráticas. Ocupam uma posição de topo nos afloramentos. A composição mineralógica é semelhante à das facies areníticas. Em termos granulométricos, a média e mediana têm valores de $1,8$ e $2,9\phi$ (areia muito fina), as distribuições são pobremente a moderadamente calibradas com truncatura de algumas fracções muito finas (3 e 4ϕ). O índice de assimetria revela distribuições aproximadamente simétricas.

2.6 – Sexto episódio de escavação-agradção

Admite-se que o registo sedimentar correspondente a este episódio esteja em parte coberto pelas aluviões do Mondego na parte distal do seu estuário, podendo estar representado próximo de Vila Verde a altitude de 6m. É constituído por fácies fluviais conglomeráticas semelhantes às de M5.

3- Resultados das datações por luminescência

O quadro 6 apresenta as idades obtidas em dois terraços do rio Mondego. As metodologias utilizadas para obter estes resultados são discutidas em Ramos (2008, secção 5).

Quadro 6 – Datações por termoluminescência (TL) e por luminescência opticamente estimulada (OSL) em dois terraços do Baixo Mondego (Pedro Cunha, inédito).

Código amostra	Local	Altitude da superfície do Terraço	Posição estratigráfica	Método de datação	Resultado
COM2	Tentúgal	30 m	Terraço M4, posição intermédia	TL	>138 ka
ARMAZ1	Armazéns	8 m	Terraço M5, topo	OSL em quartzo	99±7 ka

4 - Interpretação dos episódios de escavação-agração fluvial – modelos sedimentares e controlos deposicionais

Os episódios de escavação-agração, objecto de análise pertencem ao sistema fluvial do Mondego. Compreendem pois, conjuntos de terraços fluviais em áreas afastadas das fronteiras de placas, cujas origens têm sido atribuídas às subidas e descidas do nível do mar em resposta às flutuações climáticas quaternárias (Törnqvist, 1998; Karner & Marra, 1998; Blum & Straffin, 2001), supondo-se que os episódios de agração decorrem quando os vales terminais são invadidos pela subida do nível marinho (etapas transgressivas) e os episódios de escavação decorrem nos períodos em que se dá uma descida do nível do mar (etapas regressivas).

As variações climáticas, os movimentos tectónicos e as variações do nível do mar têm trabalhado juntos em diferentes escalas de tempo e o seu impacto relativo é variável nas diferentes áreas de um sistema fluvial (Antoine *et al.*, 2003). No entanto, quando há incerteza na idade de exposição do terraço não é possível a correlação directa com eventos climáticos específicos, como as etapas isotópicas marinhas (Gomes, 2008).

Em síntese, face ao que observamos no sistema fluvial do rio Mondego podemos assumir um esquema global que define seis etapas principais de escavação e agração fluvial. O seu relacionamento com as principais variações do nível do mar e eventos climáticos principais ao longo do Quaternário foi possível graças aos dados das datações que permitiram atribuir a idade de 100Ka a M5 e 200Ka a M4, que correspondem aos estádios isotópicos 5a e 7 respectivamente (AEQUA, 2007).

5 – Bibliografia

- AEQUA 2007, Tabla Cronoestratigráfica del Cuaternario de la península Ibérica. Asociación Española para el Estudio del Cuaternario.
- Almeida, A. C. 1995, Dunas de Quiaios, Gândara e Serra da Boa Viagem. Uma abordagem ecológica da paisagem. Tese de doutoramento; Faculdade de Letras, Univ. Coimbra, 305p.
- Almeida, A. C.; Soares A. F.; Cunha L. e Marques, J. F., 1990. Proémio ao estudo do Baixo Mondego. *Biblos*, LXVI, Coimbra, pp.17-47.
- Antoine, P.; Coutard, J.P.; Gibbard, P., Hallegouet, B.; Lautridou, J.P. e Ozouf, J.C. 2003, The Pleistocene rivers of the English Channel region. *Journal of Quaternary Science*, 18(3-4) pp.227–243.
- Blum, M.D. e Straffin, E.C. 2001, Fluvial responses to external forcing: examples from the French Massif Central, the Texas Coastal Plain (USA), the Sahara of Tunisia, and the lower Mississippi Valley (USA). In: Maddy, D., Macklin, M., Woodward, J. (Eds.), *River Basin Sediment Systems: Archives of Environmental Change*. Balkema, Rotterdam, pp.195–228.
- Cabral, J. 1995, Neotectónica em Portugal Continental. *Mem. Instituto Geológico e Mineiro*, nº 31, 265p.
- Cabral, J. e Ribeiro, A. 1988, Carta Neotectónica de Portugal. *Serv. Geol. Portugal*.
- Carvalho, G. S. 1949, Les dépôts des terrasses et la Paléogeographie dans la Bordadure Meso-cenozoique Occidentale du Portugal (entre Vouga e Mondego). *Revista Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra*. XVIII. Coimbra
- Carvalho, G. S. 1951, Sur l'origine éolienne et l'âge pleistocène de quelques sables de l'W Portugal. *C. R. Soc. Géol. France*, nº 4, Paris, 61-63. Carvalho, G. S. (1949) – Les dépôts des terrasses et la Paléogeographie dans la Bordadure Meso-cenozoique Occidentale du Portugal (entre Vouga e Mondego). *Revista Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra*. XVIII. Coimbra.

- Carvalho, G. S. 1964, Areias da Gândara (Portugal) – uma formação eólica Quaternária. Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciências, 81, 4ª sér., Porto, pp.7-32.
- Cunha, L. 2002, Mapa geomorfológico do Baixo Mondego. Provas de Agregação. Fac. Letras. Univ. Coimbra.
- Gomes, A. T. 2008. Evolução Geomorfológica da Plataforma Litoral entre Espinho e Águeda. Dissertação de Doutoramento, Univ. do Porto, 339p.
- Ramos, A. 2000, Organização e significado dos depósitos mais recentes do estuário do rio Mondego. Dissertação de Mestrado. Univ. Coimbra, 200p
- Ramos, A. M. 2008, O Pliocénico e o Plistocénico da plataforma litoral entre os paralelos do Cabo Mondego e da Nazaré. Dissertação de Doutoramento. Univ. de Coimbra. 329pp.
- Ramos, A.; Cunha, P.P.; Gomes, A. 2009, Os traços geomorfológicos da área envolvente da Figueira da Foz e a evolução da paisagem durante o Pliocénico e o Plistocénico. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, vol. VI, Braga, p.9-16. ISBN 978-989-96462-0-9
- Ribeiro, A.; Cabral, J.; Baptista, R. e Matias, L. 1996, Stress pattern in Portugal mainland and the adjacent Atlantic region, West Iberia. *Tectonics* 15 , pp. 641-659.
- Soares, A. F. 1966, Estudo das formações pós-jurássicas das regiões de entre Sargento-Mor e Montemor-o-Velho (margem direita do Rio Mondego). *Memórias e Notícias*, Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra, vol. 62, pp.1-343, 1 carta.
- Soares A. F. (1999) – As unidades quaternárias e pliocénicas no espaço do Baixo Mondego (uma perspectiva de ordem). *Estudos do Quaternário*, v.2, pp.7-17.
- Soares, A.F.; Cunha, L.; Marques, J.F. 1989, Depósitos quaternários do Baixo Mondego. Tentativa de coordenação morfogenética. Actas II Reunião do Quaternário Ibérico, Madrid, pp. 803-812.
- Soares, A. F.; Ramos A. M. e Marques, J. F. 1998, Os depósitos mais recentes da margem direita do Mondego. *Cadernos de Geografia*, nº17, pp.73-79.

- Törnqvist, T.E. 1998, Longitudinal profile evolution of the Rhine Meuse system during the last deglaciation: interplay of climate change and glacio eustasy? *Terra Nova* 10, pp.11–15.
- Karner, D.B. e Marra, F. 1998, Correlation of fluviodeltaic aggradational sections with glacial climate history: a revision of the Pleistocene stratigraphy of Rome. *Geological Society of America Bulletin*, 110, pp.748–758.