

Variação dos parâmetros paleomagnéticos em perfis dos Tufos de Condeixa (Baixo Mondego, Portugal)

*Changes of the paleomagnetic parameters in the Tufos de Condeixa outcrops
(Lower Mondego, Portugal)*

Celeste S. R. Gomes

Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Apartado 3014, 3049 Coimbra.
Proj. PRAXIS XXI – 2/21/CTA/156/94; romualdo@ci.uc.pt

RESUMO

Palavras chave: Tufos de Condeixa; paleomagnetismo; Crono de Brunhes; Ioniano; propriedades magnéticas; variações paleoclimáticas; Portugal.

São discutidos os parâmetros paleomagnéticos medidos em 4 perfis dos *Tufos de Condeixa*. Os registos direccionais permitem marcar a ocorrência do Criptocrono de Polaridade Inversa C1n-1, no perfil de Condeixa-a-Velha. São também apresentados possíveis relações entre as propriedades magnéticas, a origem das partículas magnéticas e o registo de variações paleoclimáticas. A diminuição dos valores da magnetização inicial e da susceptibilidade magnética, no perfil de Condeixa-a-Velha coincide com a ocorrência C1n-1 (504-493 Ka) e pode ser testemunho de um aumento na paleotemperatura. Os processos de desenvolvimento dos *Tufos de Condeixa* correspondem ao Ioniano-Tarentiano(?).

ABSTRACT

Key words: Tufos de Condeixa; paleomagnetism; Brunhes Chron; Ionian; magnetic properties; paleoclimatic changes; Lower Mondego; Portugal.

Paleomagnetic parameters measured in 4 outcrops of the *Tufos de Condeixa* are presented. The directional signatures allow the admission of the Reversed Polarity Cryptochron C1n-1 in the Condeixa-a-Velha outcrop. It was possible to discuss the magnetic properties, origin of the magnetic grains and paleoclimatic variation relationships. The downward of the initial magnetization and magnetic susceptibility values in the Condeixa-a-Velha outcrop coincide with the C1n-1 (504-493 Ka) occurrence and may represent a paleoclimatic variation. The *Tufos de Condeixa* were formed during the Ionian-Tarentian(?).

INTRODUÇÃO

Os *Tufos de Condeixa* ocupam uma área de cerca de 10 Km² que inclui as povoações de Salgueiro, Condeixa-a-Velha, Conímbriga, Condeixa-a-Nova, Eira Pedrinha, Orelhudo e Cernache (Soares *et al.*, 1997).

Os estudos paleomagnéticos em perfis dos Tufos de Condeixa foram desenvolvidos para avaliar: (1) as propriedades intrínsecas médias que caracterizam a mineralogia magnética e a sua interpretação, no âmbito de possíveis modificações paleoclimáticas; (2) os registos de variações direccionais, traduzidas quer por fenómenos de variação secular, quer por fenómenos globais que são

as inversões de campo, e a discussão de “pontos de idade”, por comparação com as Escalas Temporais de Polaridade Geomagnética (ETPG) (p. e. Cande & Kent, 1992; 1995).

Dos estudos anteriores, desenvolvidos nos Tufos de Condeixa, destacam-se:

1. Choffat (1895), com base no enquadramento geológico e em elementos paleontológicos (*Palaeoloxodon antiquus* e *Hippopotamus major* e gastrópodes), ainda que escassos ou pouco elucidativos, opta pela atribuição de uma idade média quaternária que, segundo o autor, facilita a representação cartográfica. Contudo, admite que a formação dos Tufos, ainda um fenómeno actual, poderá ter começado durante o Pliocénico superior ou, em

alternativa, ter-lhe sucedido. Assim, considera ser preferível fazer a distinção entre tufos de carácter antigo e tufos recentes. Para este autor, os restos fósseis de *Elephas antiquus* e *Hippopotamus major* são indicadores de um clima mais quente que o actual.

2. Com base em critérios altimétricos, Mendes (1985) e, mais tarde, Cunha (1988) colocam-nos igualmente no Quaternário e escalonados no tempo, função dos diferentes (4) níveis identificados. Para estes autores, a edificação dos Tufos corresponde a períodos quentes interglaciares e correlativos de carsificação intensa. Os períodos periglaciares são apontados essencialmente como responsáveis pelo encaixe da rede hidrográfica.

3. Em Cardoso (1993) são novamente avaliados os restos de vertebrados (*Elephas antiquus* e *Hippopotamus major*) e admite-se uma idade do Siciliano II (Gunz-Mindel). Para o autor, as “associações do Plistocénico médio” de Condeixa “...são compatíveis com clima quente e húmido...” e cobertura florestal densa (p. 292 e 300);

4. Soares *et al.* (1997) evidenciam a existência de diferentes fases de tufização, mas consideram “não ser fácil a individualização de diferentes níveis nos Tufos de Condeixa...” devido a uma evidente continuidade das massas tufosas, mesmo quando se registam variações de cota. Como hipótese de trabalho, distinguem dois grandes grupos: um, representado pelos tufos que afloram na área de Condeixa-a-Velha; outro, materializado pelos depósitos de Eira Pedrinha, Cernache e Condeixa-a-Nova. Estes grupos seriam, no âmbito do espaço do Baixo Mondego (Soares *et al.*, 1989), correlativos dos *Depósitos de Ameal-Santo Varão* do Siciliano (Mindel - Riss) e dos *Depósitos de Terraço de Tentúgal-Gabrielos* do Tirreniano (Riss-Wurm), respectivamente. Sob o ponto de vista litológico, os mesmos autores individualizam as seguintes fácies: conglomeráticas (Cgq, Cgc e Cgg); pelíticas (Pa e Pc); de acumulação, ricas em restos vegetais (Taf, Tag e Ti) e em cortina (Tc).

5. Em Gomes (2000) admite-se a hipótese de ocorrência de um criptocrono de polaridade inversa (C1n-1), localizado a cerca de 4 metros do topo do perfil de Condeixa-a-Velha, que com base na ETPG de Cande & Kent (1992; 1995) poderá apresentar idades possíveis da ordem dos 504-493 Ka. Porém, naquele trabalho são igualmente referidas outras possibilidades, em acordo com estudos que têm sido apresentados, versando a problemática ocorrência de pequenas variações direccionais (com duração aproximada $< 10^5$ - 10^6 anos), importantes no Crono de Polaridade Normal de Brunhes.

MÉTODOS E RESULTADOS

Foram amostrados 4 perfis, localizados na área representada pelos Tufos de Condeixa (fig. 1): perfil de Salgueiro (1) e perfil de Condeixa-a-Velha (2), a sul; e perfis de Cernache (3 e 4), a norte. As técnicas utilizadas na obtenção e orientação das amostras foram as descritas em Gomes (1996).

Para avaliar o vector magnetização remanescente natural (MRN) foram medidas cerca de 200 amostras: 32 num magnetómetro criogénico (GM400 CCL) no “Instituto de

Ciencias de La Tierra Jaume Almera, CSIC, Barcelona, España” (Gomes, 2000) e as restantes num magnetómetro JR5A no “Departamento de Geociencias Marinas y Ordenación del Territorio, Universidad de Vigo, España”. Num grupo de 40 amostras efectuaram-se estudos da estabilidade do vector MRN por processos de desmagnetização térmica e por campos magnéticos alternos (ca). Procedeu-se ainda à medição dos valores da susceptibilidade magnética (K) numa balança KLY-2, antes e após a desmagnetização térmica, assim como à determinação das curvas de magnetização remanescente isotérmica (MRI).

Os valores de declinação, inclinação e intensidade inicial (J_0) que definem cada vector estão representados nos diagramas das figuras 2, 3, 4 e 5.

No perfil 1 (fig. 2) foram amostrados 6 sítios (amostras Tf). Regista-se a variação dos valores de declinação, a inclinação é positiva e, em média, superior a 45°. Os valores de J_0 variam entre 0,679 e 8,187 mAm^{-1} (N = número de amostras = 41). No perfil 2 (fig. 3) foram amostrados 16 sítios (amostras Tv), numa espessura de cerca de 8 metros que corresponde à frente de uma pedreira desactivada. Os valores de declinação distribuem-se entre 270 e 90° e a inclinação apresenta valores positivos, destacando-se o registo de valores negativos, em dois níveis distintos. J_0 apresenta variações significativas, entre 0,057 e 23,280 mAm^{-1} (N = 90), sendo possível identificar um mínimo. Por sua vez, os valores de K variam entre -17,0 e 49,0 ($\times 10^{-6}$ SI).

Para o perfil 3 (fig. 4), com uma espessura de 5 metros, amostrado em 7 sítios (amostras Ht), as direcções colocam-se, em média, no quarto quadrante e as inclinações são positivas; J_0 varia entre 1,081 e 23,720 mAm^{-1} (N = 22). No perfil 4 (fig. 5), para um total de 66 amostras pertencentes a 17 sítios, em 5 metros de espessura (amostras Th), as direcções apresentam maior dispersão que no perfil anterior, embora se mantenha uma maior densidade no 4º quadrante e a presença de inclinações negativas. Os valores de J_0 variam entre 0,200 e 96,020 mAm^{-1} (N = 66).

De 40 amostras correspondentes a uma secção do perfil de Condeixa-a-Velha (entre os 3 e os 8 metros), 32 foram submetidas a desmagnetização térmica até valores máximos de 580°C e as restantes desmagnetizadas por ca, até máximos de 70 e 100 mT. As curvas de desmagnetização permitem concluir que os minerais magnéticos apresentam temperaturas de bloqueio inferiores a 580°C e forças coercivas menores que 70mT. Estas propriedades são compatíveis com a presença de estruturas ferrimagnéticas, existentes em percentagens ínfimas como traduzem os valores de J_0 e da susceptibilidade inicial. Por sua vez, as curvas de MRI são igualmente compatíveis com a presença de estruturas ferrimagnéticas.

O estudo da estabilidade da MRN permite estabelecer a presença de duas componentes de magnetização (TVI e TVII) para 3 dos sítios estudados (Gomes, 1999, 2000). Para outros três, admite-se a possibilidade de ocorrência de uma componente de polaridade inversa que, na maior parte das amostras, não é possível isolar. Contudo, por

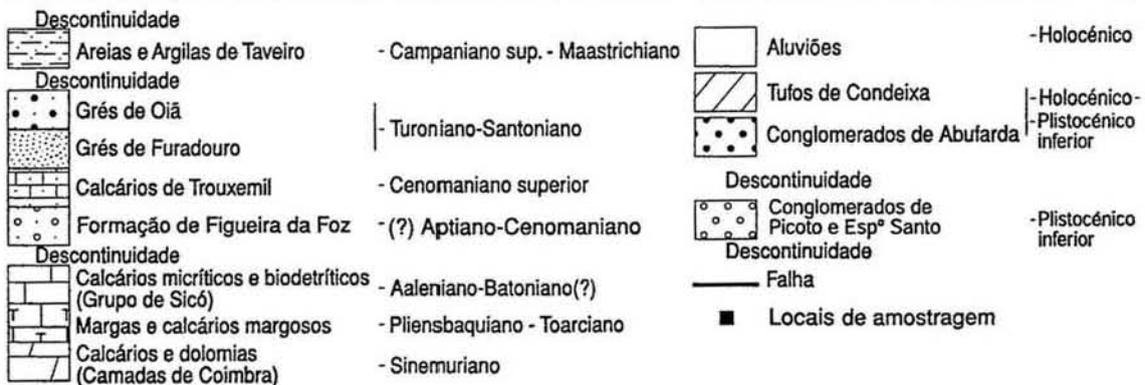
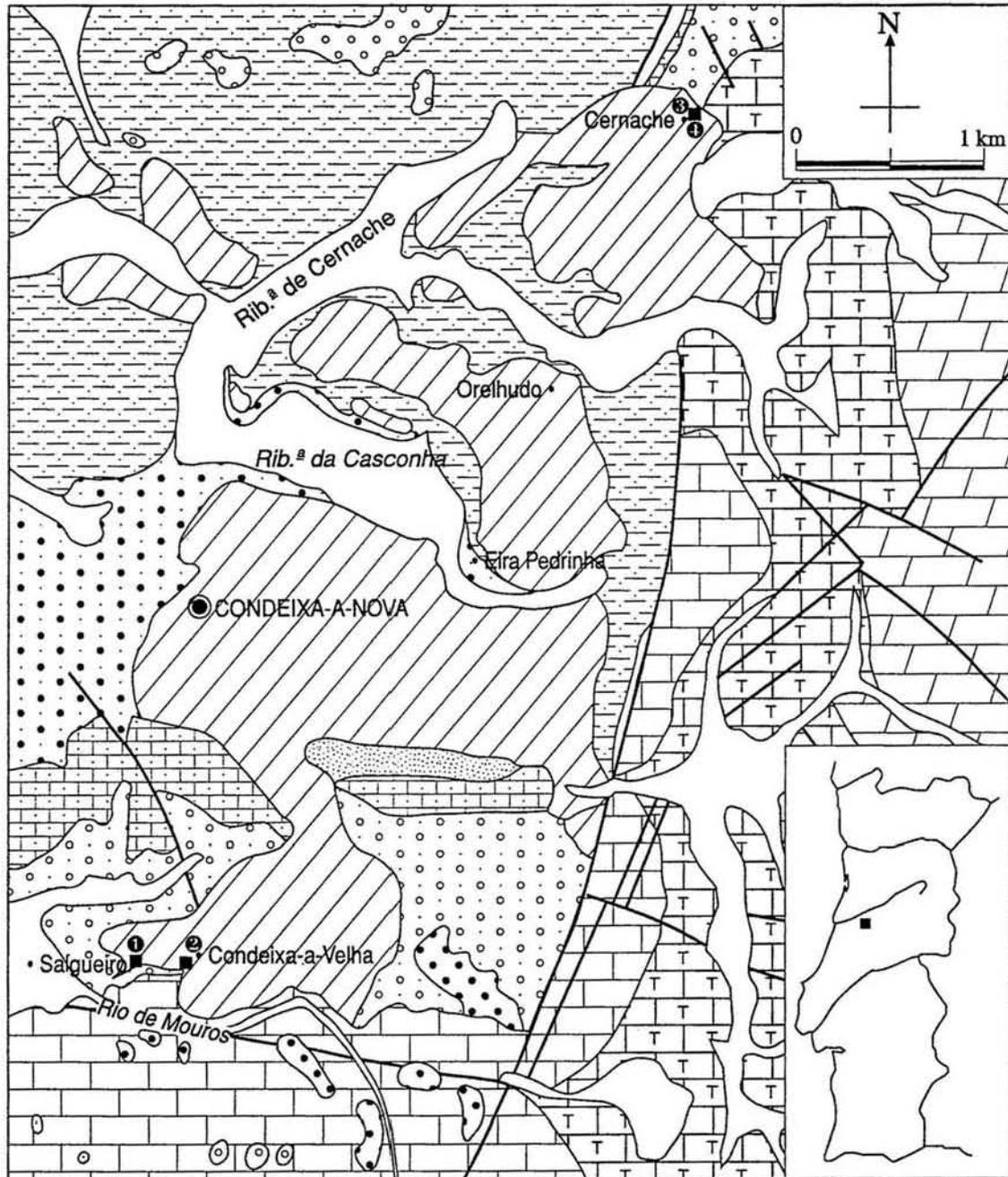


Fig.1 - Carta Geológica da região de Condeixa. (in: Soares *et al.*, 1997). Localização dos perfis amostrados: 1 – perfil de Cernache; 2 – perfil de Condeixa-a-Velha; 3 e 4 – perfis de Cernache.

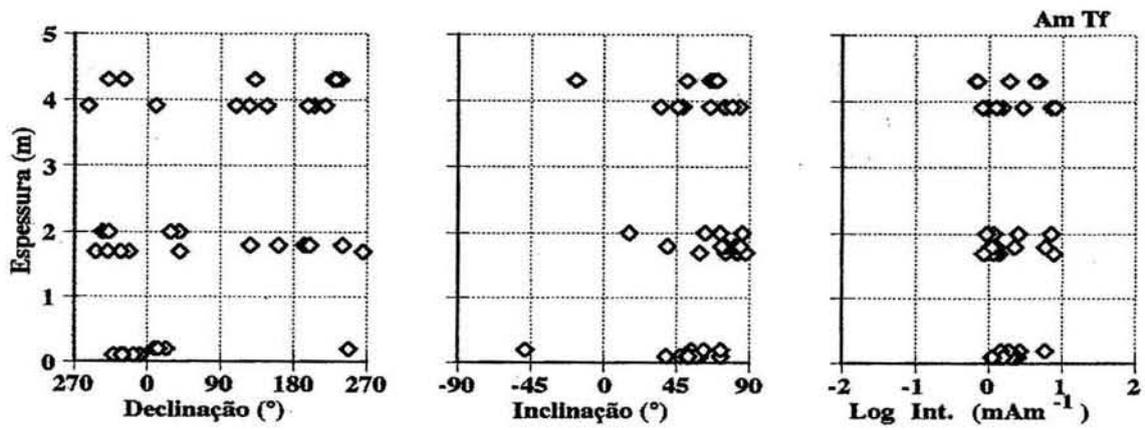


Fig. 2 – Representação dos valores de declinação, inclinação e intensidade relativos ao perfil de Salgueiro (1 - amostras Tf).

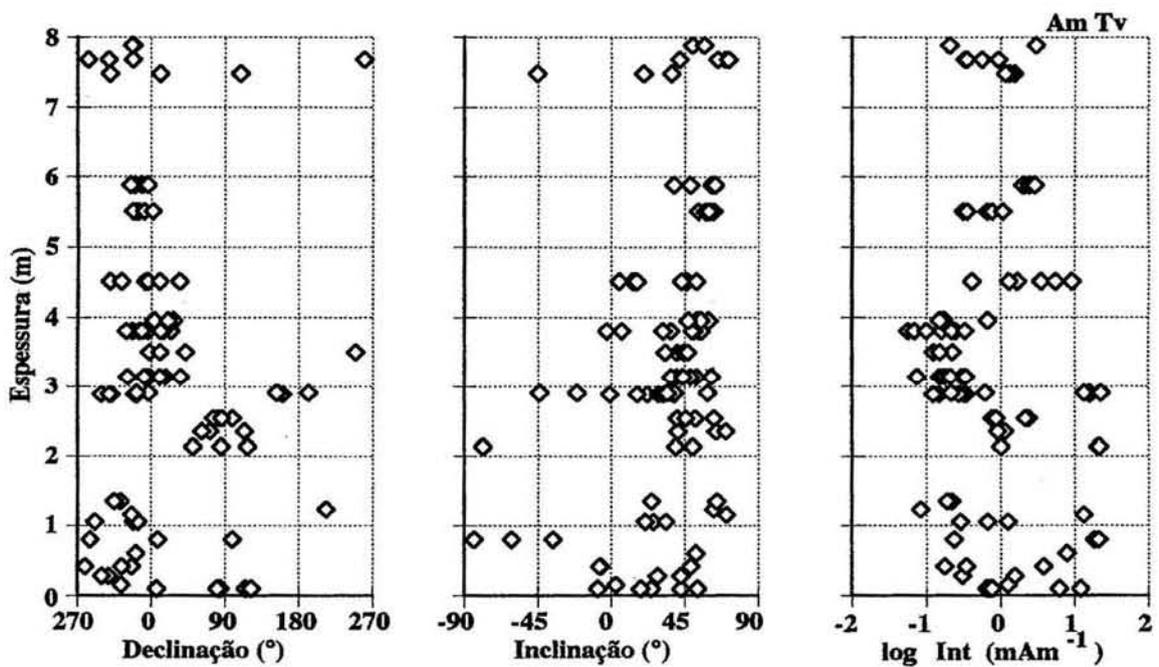


Fig. 3 – Representação dos valores de declinação, inclinação e intensidade relativos ao perfil de Condeixa-a-Velha (2 - amostras Tv).

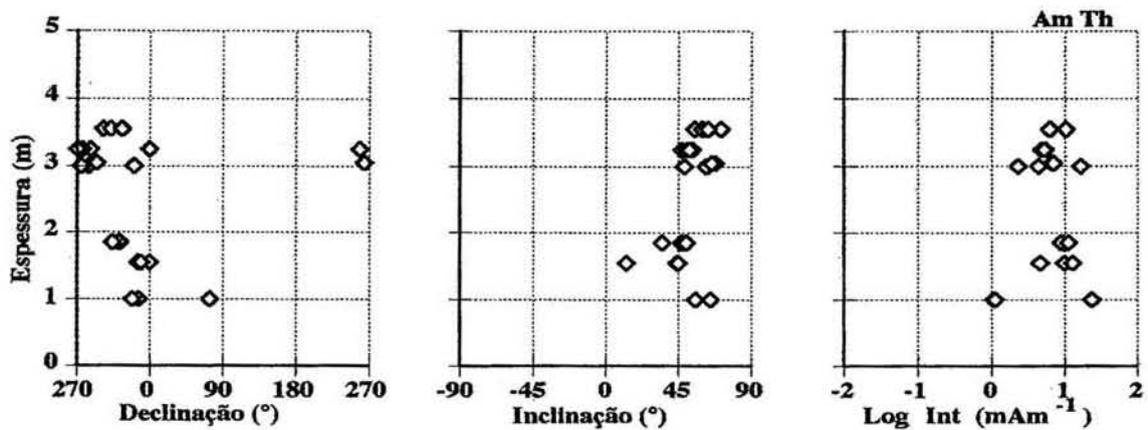


Fig. 4 – Representação dos valores de declinação, inclinação e intensidade relativos ao perfil de Cernache 1 (3 - amostras Th).

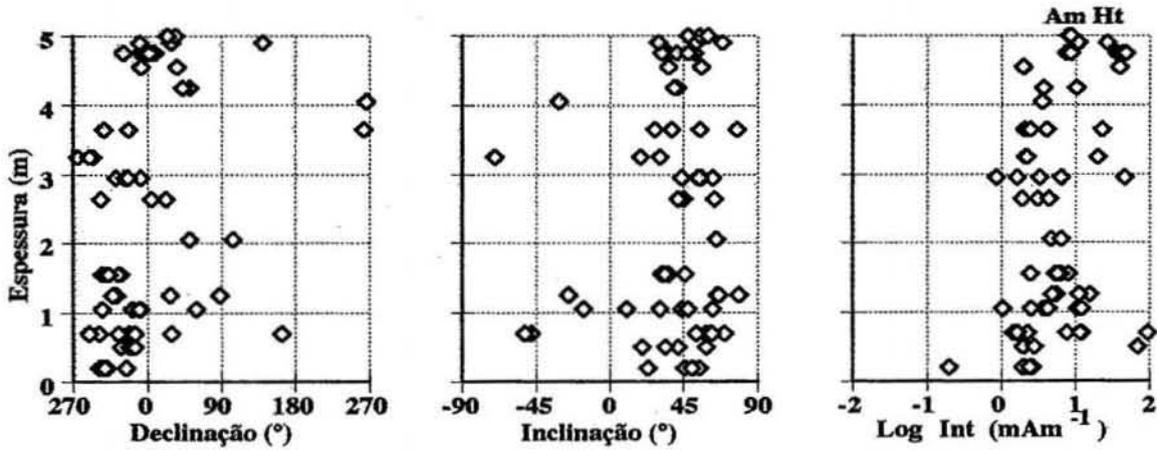


Fig. 5 – Representação dos valores de declinação, inclinação e intensidade relativos ao perfil de Cernache 2 (4 - amostras Ht).

comparação com duas das amostras que apresentam uma componente inversa, aliada ao processo de evolução do vector MRN durante a desmagnetização, pode admitir-se a hipótese da presença de uma componente de polaridade inversa. Esta, em alguns exemplares, encontra-se quase completamente substituída, ou poderá mesmo ter sido destruída antes de individualizada, e isto devido ao aquecimento e alterações consequentes na mineralogia magnética.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com a sua localização, os perfis serão analisados em grupos de dois: (1) perfis de Salgueiro-

Condeixa-a-Velha e (2) perfis de Cernache. A projecção dos valores do log da intensidade (mA m^{-1}) versus espessura (medida a partir da base), para os perfis 1 (fig. 6), permite verificar que os valores de J_0 são superiores nas amostras dos sítios referentes ao membro essencialmente terrígeno (f. Pa) e que, por sua vez, existe uma maior dispersão nas fácies travertínicas (Tt); nestas é possível realçar um pico de menor intensidade (mínimo).

Os perfis de Cernache (fig. 7) apresentam valores de J_0 superiores aos medidos nos perfis de Salgueiro-Condeixa-a-Velha. A explicação para as variações anteriores pode encontrar-se em aspectos relacionados com contribuições magnéticas distintas: na área de Salgueiro-Condeixa-a-Velha os Tufos contactam com a Formação

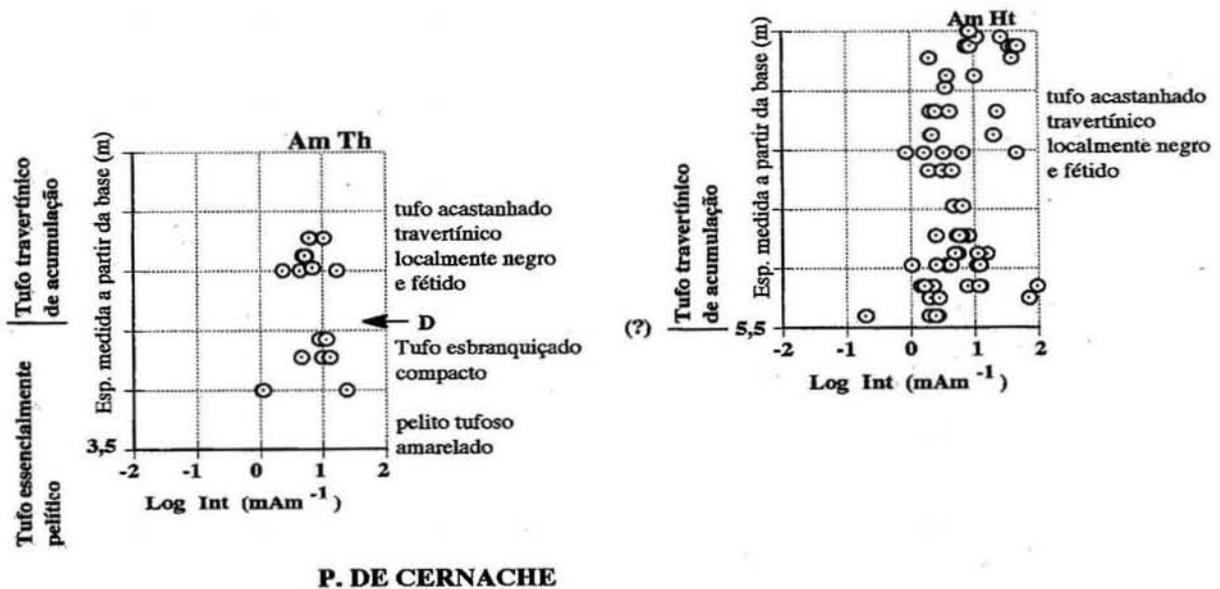
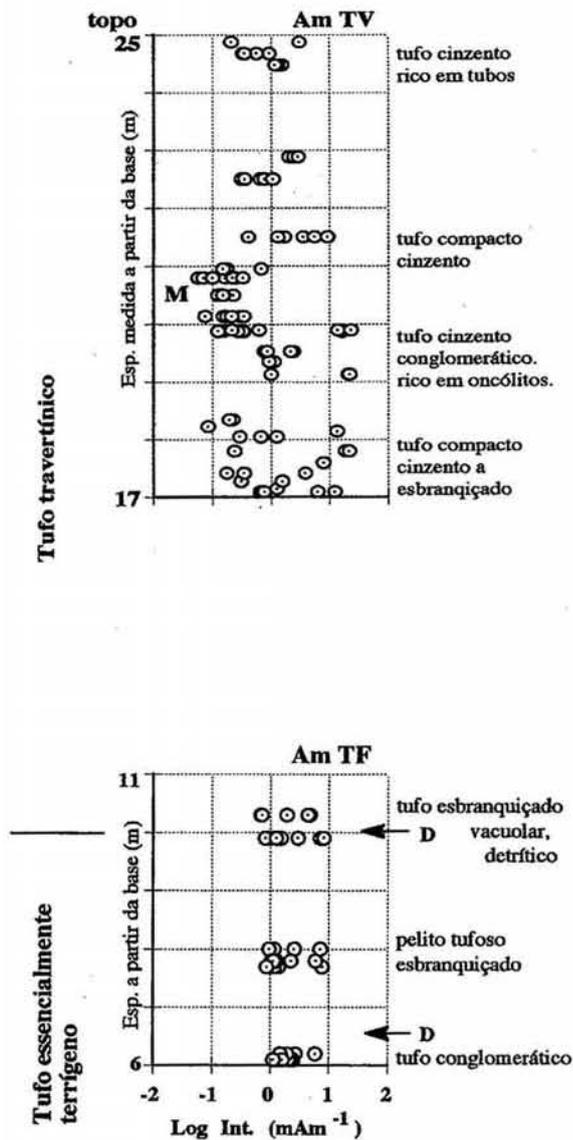


Fig. 7 - Variação dos valores de J_0 nos perfis de Cernache. D – descontinuidade.



P. DE SALGUEIRO - CONDEIXA-A VELHA

Fig. 6 – Variação dos valores de J_0 nos perfis de Salgueiro – Condeixa-a-Velha. D – descontinuidade; M – mínimo.

de Figueira da Foz e, na área de Cernache, também com as Areias e Argilas de Taveiro. A variação das propriedades magnéticas, relacionada com o conteúdo em minerais magnéticos, está, muitas vezes, dependente de alterações na contribuição terrígena e, portanto, também dependente das condições paleoclimáticas. Contudo, os minerais magnéticos poderão também ser biogénicos, em especial associados à actividade de bactérias produtoras de magnetite (Fe_3O_4) e cuja actividade é igualmente dependente das condições do meio, nomeadamente da temperatura.

Os valores direccionais obtidos correspondem ao Crono Normal de Brunhes, com a possibilidade de registo de, pelo menos, um criptocrono de polaridade inversa, como admitido por Gomes (1999, 2000). A sua presença permite a discussão de uma idade possível (504 - 493 Ka),

por comparação com as Escalas Temporais de Polaridade Geomagnética (Cande & Kent, 1995).

Em média, os valores de J_0 são diferentes nas duas áreas estudadas, possivelmente relacionados com a origem das partículas magnéticas. Por sua vez, a variação em cada perfil, destacável no perfil de Salgueiro-Condeixa-a-Velha, poderá estar relacionada com variações paleoclimáticas. A relação entre os parâmetros magnéticos e as variações paleoclimáticas tem sido amplamente demonstrada em perfis de rochas correspondentes a distintos ambientes de sedimentação. Constituem exemplos os resultados obtidos: em loess e depósitos associados (p. e. Jordanova. & Petersen 1999), em sedimentos de lagos (Rosenbaum *et al.*, 1996 e Lanci *et al.*, 1999) e em tufos calcários e litologias associadas (Escudero, 1997; Escudero *et al.*, 1997). Porém, as conclusões não são directas, ou seja, não existe uma relação directa entre valores absolutos, obtidos na avaliação dos parâmetros magnéticos, e o tipo de paleoclima. Aspectos como a origem dos sedimentos e as alterações pós-deposicionais, que podem induzir variações nas propriedades magnéticas dos minerais, devem ser considerados (Dekkers, 1997).

Num estudo efectuado para os *Tufos do Jorox*, Escudero *et al.* (1997) chegam às seguintes conclusões: as baixas concentrações em minerais magnéticos (valores de J_0 entre 0,1 e 1,3 mAm^{-1}) correspondem a litologias carbonatadas, edificadas durante “óptimos climáticos” (fases biostásicas); as concentrações elevadas (valores de J_0 entre os 3,2 e os 14,5 mAm^{-1}) obtidas nos corpos detríticos são tradutoras de “fases rexistásicas”. Analisando todos os valores de J_0 medidos nos perfis dos *Tufos de Condeixa* verifica-se que as diferenças existentes entre os perfis, a norte e a sul, serão mais facilmente justificadas pelas distintas contribuições terrígenas que por variações climáticas, embora estas não se devam excluir.

Nos perfis de Salgueiro e Condeixa-a-Velha (Fig. 6) é visível a diminuição dos valores da magnetização inicial, quando passamos aos travertinos e nestes verifica-se ainda um mínimo (M). É igualmente de realçar o facto de este mínimo corresponder ao intervalo equivalente à inversão de polaridade (504 - 493 Ka) e poderá significar ainda uma variação paleoclimática. Estes dados podem comparar-se com as curvas de Wollin *et al.* (1978) e também consideradas em Bradley (1996, p. 97) (curvas de variação da intensidade magnética *versus* tempo, para os últimos 2 Ka), cuja leitura permite verificar, para idêntico intervalo de tempo, diminuição nos valores da intensidade e aumento na temperatura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A leitura e interpretação dos dados paleomagnéticos em quatro perfis dos *Tufos de Condeixa* permitiu:

1. Considerar um criptocrono (ou microcrono) de polaridade inversa, localizado a cerca de 4 metros do topo do perfil de Condeixa-a-Velha e admitir a possibilidade de outras variações direccionais importantes; o criptocrono poderá corresponder àquele marcado na ETPG de Cande & Kent (1995) e com idade admitida dos 504-493 Ka.

Não se excluem outras possibilidades de “excursões”, subcronos ou microcronos que têm sido apresentados por outros autores. Uma hierarquia das unidades magnetostratigráficas é apresentada em Opdyke & Channell (1996, p. 78), na qual um criptocrono de polaridade significa uma “existência incerta”.

2. Testemunhar diferenças nos valores de J_0 entre os perfis de Salgueiro-Condeixa-a-Velha e os perfis de Cernache, que poderão estar relacionadas com contribuições terrígenas distintas, sem excluir a possibilidade de traduzirem variações paleoclimáticas, o que impõe uma possível variação de idades.

3. Associar as variações de J_0 , em especial nos perfis de Salgueiro – Condeixa-a-Velha a alterações paleoclimáticas, nomeadamente o mínimo que se verifica a cerca de 4 metros do topo e que corresponderia a um clima mais quente e seco(?). É de realçar o facto de ao admitirmos para este mínimo a idade referida no ponto 1, ele poder corresponder a um outro de baixos valores de intensidade (e igualmente diminuição dos valores de d^{18}) inscrito nos gráficos de Wollin *et al.* (1978). Esta tendência corresponde ainda, nos referidos gráficos, a aumento da temperatura.

De acordo com Soares (inf. oral) é muito possível que os *Tufos de Condeixa*, pelo menos atendendo aos resultados das análises radiométricas que têm vindo a ser

efectuadas (U/Th), tenham idades que rondam os 0,45 – 1,5? Ma para as fácies Pa do Salgueiro-Condeixa-a-Velha e 10 a 27 Ka para as fácies Tt dos mesmos perfis. Contudo, para o topo, em Condeixa-a-Nova, a inclusão de artefactos romanos conduz-nos à admissão de uma idade mais jovem, talvez a rondar os 2 000 anos BP.

Da análise conjugada de todos os valores, e por comparação com as tabelas cronostratigráficas apresentadas em Van Couvering (1995, 1997), podemos admitir que os *Tufos de Condeixa* se desenvolveram durante o Ioniano-Tarentiano? (utilizado em Van Couvering 1997 como possível designação do andar que sucede ao Ioniano), com assinaturas, quer no criptocrono (ou microcrono) de polaridade inversa C1n-1 (0,504 - 0,493 Ma), quer na integração de artefactos romanos (~2Ka).

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Doutor A. F. Soares do DCT, FCT Univ. Coimbra, pela leitura crítica do texto. Ao Prof. Doutor J. M. Parés do “*Instituto de Ciencias de La Tierra Jaume Almera, Barcelona, España*” e ao Prof. Doutor D. Rey do “*Departamento de Geociencias Marinas y Ordenación del Territorio, Universidad de Vigo, España*” pela possibilidade de realização dos trabalhos laboratoriais.

BIBLIOGRAFIA

- Bradley, R. S. (1985) - *Quaternary Paleoclimatology. Methods of Paleoclimatic Reconstruction*. Chapman & Hall, London, 472 p.
- Cande, S. C. & Kent, D. V. (1992) - A new geomagnetic polarity timescale for the late Cretaceous and Cenozoic. *J. Geophys. Res.*, 97: 13917-13951.
- Cande, S. C. & Kent, D. V. (1995) - Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the late Cretaceous and Cenozoic. *J. Geophys. Res.*, 100: 6093-6095.
- Cardoso, J. L. (1993) - Contribuição para o conhecimento dos grandes mamíferos do Plistocénico superior de Portugal. Câmara Municipal de Oeiras, Oeiras, 567p.
- Choffat, P. (1895) - Notes sur les Tufs de Condeixa et la découverte de l'hippopotame en Portugal. *Com. Serv. Geol. Portugal*, III, Lisboa: 1-12.
- Cunha, L. (1988) - As Serras Calcárias de Condeixa-Sicó-Alvaiázere. Estudo de Geomorfologia. Tese de doutoramento, Universidade de Coimbra, 329 p.
- Dekkers, M. J. (1997) - Environmental magnetism: an introduction. *Geol. Mij.*, 76: 163-182.
- Escudero, R. B. (1997) - El paleomagnetism: técnicas y aplicaciones a secuencias de travertinos y depositos asociados. *Études de Géographie Physique., Suppl.* n° XXVI: 103 - 106.
- Escudero, R. B.; Díaz del Olmo, F., Delannoy, J. J. & Guendon, J. L. (1997) - Resultados paleomagneticos en travertinos del sur de España y sureste de Francia. *Études de Géographie Physique., Suppl.* n° XXVI: 99-102.
- Gomes, C. S. R. (1996) - Observações Paleomagnéticas no Quadro da Bacia Lusitaniana (1ª Fase de Rifting). Estudo da Magnetização Remanescente Natural. Tese de doutoramento não publicada, Universidade de Coimbra, 254p.
- Gomes, C. R. (1999) - Aplicação das técnicas paleomagnéticas em Unidades do Quaternário. O exemplo dos Tufos de Condeixa. Encontros de Geomorfologia, Universidade de Coimbra: 17-24.

- Gomes, C. R. (2000) - Propriedades magnéticas dos Tufos de Condeixa (Baixo Mondego, Portugal). *Memórias e Notícias: Publ. do Dep. Ciências da Terra e do Mus. Min. Geol., Univ. Coimbra* (aceite para publicação).
- Jordanova, D. & Petersen, N. (1999) - Palaeoclimatic record from a loess-soil profile in northeastern Bulgaria – II. Correlation with global climatic events during the Pleistocene. *Geophys. J. Int.*, 138: 533-540.
- Lanci, L.; Hirt, A. M.; Lowrie, W.; Lotter, A. F.; Lemcke, G. & Sturm, M. (1999) - Mineral magnetic record of Late Quaternary climatic changes in a high Alpine lake. *Earth Plant. Sci. Lett.*, 170: 49-59.
- Mendes, A. G. (1985) - Os Tufos de Condeixa. Estudo de Geomorfologia. *Cadernos de Geografia*, 4: 53-119.
- Opdyke, N. D. & Channell, J. E. T. (1996) - Magnetic Stratigraphy. Academic Press. International Geophysics Series. V. 64: 346p.
- Rosembaum, J. G.; Reynolds, R. L.; Adam, D. P.; Drexler, J.; Sarna-Wojciki, A. M. & Whitney G. C. (1996) - A middle Pleistocene climatic record from Buck Lake, Cascade range, southern Oregon - Evidence from sediment magnetism, trace-element geochemistry and pollen. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 108: 1328-1341.
- Soares, A. F.; Cunha, L. & Marques, J. F. (1989) - Depósitos quaternários do Baixo Mondego. Tentativa de coordenação morfo genética. Actas, II Reunião do Quaternário Ibérico, Madrid: 803-812.
- Soares, A. F.; Cunha, L. & Marques, J.F. (1997) - Les tufs calcaires dans la région du Baixo Mondego (Portugal). *Études de Géographie Physique., Suppl. n° XXVI* : 55-58.
- Van Couvering, J. A. (1995) - Setting Pleistocene marine stages. *Geotimes*, 40: 10-11.
- Van Couvering, J. A. (1997) - Preface: the new Pleistocene. In *The Pleistocene Boundary and the Beginning of the Quaternary*. John A. Van Couvering (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge: xi-xvii.
- Wollin, G.; Ryan, W. B. F. & Ericson, D. B. (1978) - Climatic changes, magnetic intensity variations and fluctuations of the eccentricity of the Earth's orbit during the past 2 000 000 years and a mechanism which may be responsible for the relationship. *Earth Plant. Sci. Lett.*, 41: 395-397.