

Pegadas de vertebrados nos eolianitos do Plistocénico Superior do Sudoeste Alentejano, Portugal

Vertebrate tracks of the Late Pleistocene eolianites from SW Alentejo, Portugal

C. Neto de Carvalho^{1*}

Recebido em 10/05/2011 / Aceite em 15/09/2011

Disponível online em Outubro de 2011 / Publicado em Dezembro de 2011

© 2011 LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP

Artigo original
Original article

Resumo: Este estudo centra-se na descrição paleoicnológica do Campo Dunar do Malhão, a única sequência eolianítica portuguesa onde, até agora, foram encontrados pelo menos 14 níveis com pegadas e trilhos de mamíferos e de aves. Entre estes registos, os de pegadas de elefantes e de pequenos mamíferos, nomeadamente de leporídeos, são particularmente importantes, atendendo à sua raridade a nível mundial. A presença de, pelo menos, três trilhos paralelos, com pegadas subcirculares de grande dimensão, aponta para um comportamento gregário atribuível a *Elephas antiquus*. A descoberta recente de uma superfície intensamente bioturbada veio confirmar a existência de manadas desta espécie na região há cerca de 35000 anos. A icnoespécie *Proboscipeda panfamilia* encontrada nos sectores de Praia do Malhão, Angra da Vaca e Praia da Ilha, corresponde a algumas das primeiras descobertas de pegadas de elefantes datadas do Plistocénico que se conhecem, o primeiro registo seguro de pegadas de *Elephas antiquus* e representam uma das derradeiras ocorrências da espécie conhecidas para a Europa. Novos dados permitem detalhar a importância desta icnofauna para a reconstituição das mudanças ecológicas que ocorreram na transição para o Último Glacial.

Palavras-chave: Pegadas e trilhos, mamíferos, aves, Plistocénico, Sudoeste Alentejano.

Abstract: Pleistocene carbonate eolianites crop out along the Portuguese Atlantic coast in several areas distributed between latitudes 30°03'N (archipelago of Selvagens) and 41°54'N (North of Portugal). More continuous outcrops are found at the SW coast of Portugal, being the Late Pleistocene Malhão Dune Field the only one that held vertebrate trace fossils. This study describes the paleoichnology of the Malhão Dune Field where at least 14 stratigraphic horizons with mammal and bird footprints and trackways were found and the first vertebrate tracksites from all the Cenozoic from Portugal were previously reported. Tracks of birds ascribed to *Gruipeda maxima*, as well as small and large mammals tracks and footprints attributed to *Leporidichnites malhaoi*, *Bifidipes* isp., *Bestiopedia* isp. and *Proboscipeda panfamilia* are described and discussed according to new findings and comparison with global bibliographical compilations recently published. These tracksites are dated from OIS6?-OIS3, mostly Late Pleistocene. Among those footprints, elephant tracks are particularly important. Concave epirelief footprints show 3 foot-off toe imprints and heteropody in a narrow gauge. The presence of at least three parallel trackways and a new trampling site points to gregarious behavior attributed to *Elephas antiquus*. The ichnospecies *Proboscipeda panfamilia*, found in Malhão and Pessegueiro sectors, is the first record of elephant footprints in the Pleistocene of continental Europe and represent some of the latest occurrences of *Elephas antiquus* in Portugal, before final extinction in Europe, with the migration of herds across Malhão Dune Field some 35000 years ago. Tracks of hare may be also unique for the fossil record. New data enable to detail further the importance of this track record for the changing of the community dynamics in the transition for the Last Glacial.

Keywords: Footprints and trackways, mammals, birds, Pleistocene, SW Alentejo.

¹Gabinete de Geologia e Paleontologia do Centro Cultural Raiano, Geopark Naturtejo da Meseta Meridional – Geoparque Europeu e Global sob os auspícios da UNESCO. Avenida Joaquim Morão, 6060-101, Idanha-a-Nova.

*Autor correspondente / Corresponding author: carlos.praedichnia@gmail.com

1. Introdução

O potencial de preservação de pegadas e outros icnofósseis nos arenitos carbonatados eólicos do Plistocénico é relativamente baixo (e.g., Scrivner & Bottjer, 1986) devido ao facto de serem formações recentes que não beneficiaram de uma actividade tectónica significativa, nem de um ambiente deposicional propício, que contribuísse para o seu rápido enterramento. Estas formações resultaram de dinâmicas de erosão-sedimentação complexas, distribuindo-se por pequenos afloramentos dispersos e controlados pela geomorfologia fluvial e/ou costeira, sendo genericamente muito homogéneas do ponto de vista da sua composição sedimentar, e estando sujeitas a rápidos processos de pedogénese e litificação. Não obstante, o interesse crescente por estas fácies regressivas organizadas em parassequências agradacionais tem permitido descobrir nos últimos anos diversas jazidas de icnofósseis de vertebrados (na sua maioria mamíferos), sobretudo ao longo das costas do Atlântico e Mediterrâneo (e.g., Flor, 1989; Fornós *et al.*, 2002; Neto de Carvalho *et al.*, 2003; Fanelli *et al.*, 2007; Roberts *et al.*, 2008) que têm vindo a contribuir extraordinariamente para a compreensão da ecologia e comportamento de comunidades terrestres e de espécies já extintas. Estas jazidas estão entre as 584 referências bibliográficas de pistas de vertebrados do Cenozóico identificadas por McDonald *et al.* (2007) em listagem à escala mundial que, não obstante o esforço de pesquisa por muitas publicações obscuras de âmbito regional, se encontra incompleta.

Os eolianitos carbonatados plistocénicos ocorrem em Portugal continental (Fig. 1A) ao longo da costa atlântica com uma orientação tendencial N-S (latitudes 41°54'N a 37°7'N), com excepção dos pequenos afloramentos que se distribuem na costa algarvia segundo W-E, entre Sagres e Armação de Pêra, possuindo idades compreendidas entre 125000 e 32000 anos. Nas ilhas atlânticas encontram-se nas vertentes da Ponta de S. Lourenço (Senhora da Piedade), na Madeira, preenchendo os topos aplanados das Selvagens, assim como na Ilha de Porto Santo e ilhéus adjacentes, aqui com uma idade estimada entre os

8150 e os 4500 anos (Goodfriend *et al.*, 1996; latitudes entre 33°05' e 30°03' N). Estas formações, em termos gerais, afloram em faixas estreitas de frente-de-arriba (ecodunas e rampas de areia) e campos de dunas fósseis intersectados ou controlados pela incisão fluvial holocénica e por movimentos neotectónicos. No pico da Senhora da Piedade, na Ilha da Madeira, ventos de NE terão sido responsáveis pelo transporte a partir do litoral e deposição de uma sequência de 13 m de espessura, onde abundam os gastrópodes terrestres e fenómenos de pedogénese associados a intensa fitoturbação (Goodfriend *et al.*, 1996). Nas Selvagens, as areias carbonatadas com gastrópodes terrestres, por vezes com crostas pedogénicas, podem atingir 10 m de espessura (Ilhéu de Fora), encontrando-se a altitudes entre os 6 m e os 100 m, na Selvagem Grande (Zbyszewski & Veiga Ferreira, 1979).

Os afloramentos eolianíticos mais extensos, sempre muito descontínuos, desenvolvem-se na área do aeroporto da Ilha de Porto Santo, entre os 6 m e os 210 m de altitude, num campo eolianítico com mais de 15 km² (cerca de 1/3 da área da ilha) que pode atingir os 50 m de espessura na Fonte da Areia, assim como em Portugal continental, a Sul da Ericeira e a Oeste de Cascais (ao longo de uma extensão de 33 km), com uma idade compreendida entre 9600 e 7200 anos (Pereira, 1990) e desde o Sul de Sines (S. Torpes) até à praia da Armação de Pêra (distribuídos por 165 km de costa) - este último sector integrando parte do Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina.

A maioria dos estudos desenvolvidos sobre as formações dunares fósseis de Portugal é de índole geomorfológica e estratigráfica, ou remetem-se à paleontologia (taxonomia) de gastrópodes terrestres e raras ocorrências de aves (*e.g.*, Pereira, 1990; Goodfriend *et al.* 1996; Pereira & Angelucci, 2004; e a bibliografia citada nestes trabalhos). De facto, os fósseis são vulgarmente escassos, exceptuando-se a ocorrência de rizólitos, incluindo pontuais mas densas concentrações de caracóis terrestres, raras associações de moluscos marinhos e restos esqueléticos de aves, para além de macro restos de plantas e pólenes em ocasionais depósitos de turfa (veja-se Diniz, 1986; Goodfriend *et al.*, 1996). Desde 2002 que o autor do presente artigo desenvolve um trabalho paleoicnológico sistemático nos depósitos eolianíticos do Plistocénico em Portugal, tendo encontrado até ao momento, pelo menos, 14 níveis com pegadas e trilhos de mamíferos e aves, cujos primeiros achados foram preliminarmente reportados em Neto de Carvalho *et al.* (2003). Todos os achados encontram-se concentrados no Campo Dunar do Malhão, entre Porto Covo e Vila Nova de Milfontes (Fig. 1), o mais extenso afloramento eolianítico contínuo em Portugal, apresentando duas gerações de acumulação eólica. Neste trabalho, e completando o artigo apresentado por Neto de Carvalho (2009), pretende descrever-se o conteúdo icnológico conhecido no Campo Dunar do Malhão, nomeadamente aspectos comportamentais identificados em trilhos e pegadas de elefante antigo, veado, lebre, raposa e possivelmente lobo, para além de trilhos de aves semelhantes a cegonhas ou garças. Por outro lado, a dificuldade de encontrar bibliografia, sobretudo a mais antiga, assim como a publicação recente de artigos de compilação bibliográfica referentes ao registo icnológico de vertebrados do Cenozóico de âmbito mundial, fez com que houvesse a necessidade de corrigir a icnotaxonomia previamente determinada para o Malhão. A preservação de trilhos de pequenos mamíferos é realmente rara para o ambiente eolianítico, existindo uma única ocorrência bem preservada neste Campo Dunar que se associa, pela dimensão das pegadas, às lebres. O achado de trilhos de elefantes foi o primeiro para o Plistocénico da Europa continental; estes trilhos poderão representar uma das derradeiras evidências da presença de *Elephas antiquus* em

Portugal, antes da sua extinção na Europa, com a sua passagem no Campo Dunar do Malhão há cerca de 35000 anos.

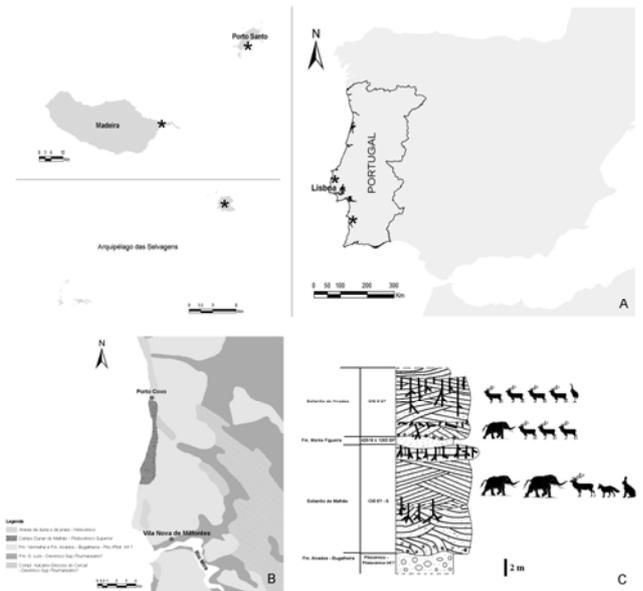


Fig. 1. Enquadramento geográfico e geológico. A - Distribuição dos eolianitos carbonatados em Portugal (indicados com asterisco e sumariamente descritos no texto). B - Carta geológica simplificada da região Porto-Covo-Vila Nova de Milfontes (fonte: Atlas do Ambiente). C - Estratigrafia do Campo Dunar do Malhão, com a sequência de níveis estratigráficos com os diferentes trilhos e pegadas identificados (adaptado de Neto de Carvalho, 2009). Dados compilados a partir das secções da Praia do Malhão beach e do Pessegueiro, principalmente. As formações pleistocénicas são as definidas por Pereira, 1990; Estádios Isotópicos de Oxigénio por Pereira & Angelucci (2004).

Fig.1. Geographic and geological setting. A - Distribution of the carbonate eolianites in Portugal (marked with asterisk and shortly described in the text). B - Simplified geological map of the region Porto-Covo-Vila Nova de Milfontes (source: Atlas do Ambiente). C - Stratigraphy of the Malhão Dune Field with location of the vertebrate tracks (adapted from Neto de Carvalho, 2009). Data compiled mainly from Malhão beach and Pessegueiro sections. Pleistocene formations defined by Pereira, 1990; Oxygen Isotope Stages obtained by Pereira & Angelucci (2004).

2. Enquadramento geológico do Campo Dunar do Malhão

As unidades estratigráficas do Plistocénico aflorantes no litoral a Sul de Sines foram definidas por Pereira (1990). O Campo Dunar do Malhão aflora entre S. Torpes e a Pedra de D. Rodrigo, possuindo uma área emergsa de 28 km² e uma largura máxima de 5 km (Pereira, 1990; Fig. 1B). A disposição da ilha do Pessegueiro, bem como de outros ilhéus e rochedos, mostra que o campo dunar se estendia muito para além da presente linha de costa (Fig. 2A). É composto sobretudo por arenito bioclástico com diferentes graus de cimentação carbonatada por processos pedogénicos, lateralmente descontínuos. Estes paleossolos incipientes são identificados pela homogeneização dos *fabric*s sedimentares primários, descoloração e presença abundante de rizólitos e, em certos casos, por fósseis de gastrópodes terrestres. Estão definidos dois ciclos deposicionais-pedogenéticos desenvolvidos no Plistocénico Superior, *i.e.*, durante os Estádios Isotópicos OIS6?-5 e OIS3-2? (Pereira & Angelucci, 2004; Fig. 1C). O eolianito do Malhão é anterior à plataforma rochosa do Monte Figueira, a qual é atribuída ao último Interglaciário (Emiano; Pereira & Angelucci, 2004). Uma ingressão marinha modelou o eolianito do Malhão, mais antigo, produzindo uma desconformidade com o eolianito de Aivados, mais recente. Os raros vestígios destes sedimentos marinhos depositados sobre a

plataforma moldada no eolianito do Malhão (Formação de Monte Figueira; Fig. 1C, não cartografável à escala do mapa apresentado na Fig. 1B, mas visível na base da arriba do Forte da Ilha de Dentro e no topo da arriba da Angra da Vaca) contém fauna típica de ambientes costeiros rochosos, nomeadamente *Patella vulgata*, *Littorina littorea* and *Mytilus edulis* (Pereira, 1990), para além de *Monodonta striata*, *Stramonita haemastoma*, *Gibbula* sp., balanomorfos, serpulídeos e ostreídeos. Observa-se ainda *Entobia* isp. na concha de alguns bivalves. Esta fauna é característica de ambientes mediolitorais a supralitorais, de elevado hidrodinamismo.



Fig. 2. Características sedimentares das formações eolianíticas estudadas. A - Secção do Pessegueiro, da costa a Sul do Forte à ilha; as formações plio-pleistocénicas, incluindo o eolianito, assentam em discordância sobre os xistos da Formação de S. Luís. B - Efeito diagenético de nodularização por circulação de fluidos alcalinos, e ricos em ferro, ao longo de sistema de fracturas (Cabeça Gorda, Zambujeira do Mar). C - Eolianito com nódulos agrupados por diferentes dimensões, com a formação de “bonecas de areia” (Cabeça Gorda, Zambujeira do Mar). D - Secção do Malhão; escala = 10 m. E - Detalhe dos níveis inferiores do eolianito de Aivados, na secção do Pessegueiro; escala = 10 m. F - Prolongamento lateral do eolianito de Aivados, entre o Forte e a Praia da Ilha.

Fig. 2. Sedimentary features of the studied eolianite formations. A - Pessegueiro section, southwards from the Fort to the Pessegueiro islet; Plio-Pleistocene formations (including the eolianite) lying in unconformity over the shales from S. Luís Formation. B - Diagenetic sand nodules by circulation of alkaline and ferrous rich groundwater throughout the joint system (Cabeça Gorda, Zambujeira do Mar). C - Eolianite with sand nodules clustered in different sizes, forming “sand dolls” (Cabeça Gorda, Zambujeira do Mar). D - Malhão section; scale bar = 10 m. E - Detail of the Aivados eolianite lower units from the Pessegueiro section; scale = 10 m; F - Lateral development of Aivados eolianite, between the Fort of the islet and Pessegueiro beach.

A litificação rápida e superficial destas formações areníticas está associada aos processos de saturação freática e percolação de fluídos em zona vadosa, associada aos processos fisiológicos do coberto vegetal (Klappa, 1980). Fenómenos de diagenese diferencial por ascensão de fluídos enriquecidos em Ca^{2+} (a partir da dissolução das areias dunares bioclásticas) ou em Mg^{2+} , K^+ e

Fe^{3+} (por meteorização das rochas do soco Paleozóico) geraram o desenvolvimento de crostas areno-ferruginosas controladas por descontinuidades sedimentares e tectónicas, assim como fenómenos de nodularização do tipo “bonecas de areia”, de grande beleza (Fig. 2B, C). Frequentemente, estes eolianitos carbonatados apresentam intensa carsificação. Um campo dunar holocénico não consolidado e activo cobre, e é alimentado parcialmente, pelas formações eolianíticas.

A sequência eolianítica na secção de Malhão, composta pelo eolianito mais antigo (eolianito de Malhão), é formada por três unidades areníticas bioclásticas separadas por superfícies de reactivação, de grão médio a grosseiro, moderadamente calibradas, com uma espessura até 25 m (Fig. 2D). Esta sequência ocorre em discordância sobre a Formação de S. Luís datada do Devónico Superior (Carvalho, 1976) ou sobre os conglomerados e arenitos pliocénicos da Formação de Aivados-Bugalheira. A unidade inferior, com até 12 m de espessura, é formada por *bedsets* com 2 m de espessura, mostrando laminação oblíqua do tipo ondulado, convexa ou côncava, atingindo por vezes inclinações superiores a 30°. O tipo de estratificação e a quase ausência de fitoturbação apontam para a migração de um sistema dunar activo, não vegetado, sob a influência dos ventos predominantes. A unidade seguinte, com menos de 10 m de espessura, mostra estratificação cruzada planar de escala métrica; agregados densos de rizólitos verticais podem ser aqui encontrados. Esta unidade foi formada por progradação das áreas interdunares estabilizadas pela vegetação. A unidade superior é muito menos espessa (<3 m) e mostra uma atitude da laminação diferente das unidades anteriores, a qual é menos visível devido à densa fitoturbação vertical. Processos pedogénicos levaram à dissolução dos abundantes bioclastos e à carbonatação diagenética. As medidas da estratificação entrecruzada de origem eólica mostram que os ventos dominantes variaram ao longo da sequência, entre os quadrantes N e WSW (como em Pereira, 1990). Trilhos e pegadas são encontrados preponderantemente em dois afloramentos da secção de Malhão, denominados de Praia do Malhão e Angra da Vaca, na sua maioria na unidade inferior.

A mobilização eólica é posterior à reorganização da rede hidrográfica com o abaixamento do nível do mar (Pereira & Angelucci, 2004). O incremento da fitoturbação no sentido do topo da sequência pode estar associado a um aumento progressivo da precipitação atmosférica.

O eolianito de Aivados encontra-se bem desenvolvido na secção da Ilha do Pessegueiro, com a sequência a atingir 18 m de espessura (Fig. 2E). Este ilhéu localizado a cerca de 250 m da linha de costa na praia-mar tem 340 m de comprimentos por 235 m de largura. A sucessão também pode ser seguida na arriba do Forte da Ilha de Dentro (Fig. 2F), que parece ter continuidade lateral com o Pessegueiro, com até 10 m de espessura, cobrindo em discordância a Formação de Aivados-Bugalheira (a qual inclui a “Formação Vermelha” definida nesta praia por Pereira, 1990). Esta é uma sequência predominantemente fluvial estruturada em paleocanais métricos evidenciando granoselecção positiva, que aqui culmina com um conglomerado de clastos sub-angulosos, suportados por uma matriz arenosa, do tipo praia emersa (Pereira, 1990). O perfil de rubefacção desta formação infrajacente ao eolianito de Aivados terá uma origem climática, provavelmente indicativo de elevada pluviosidade na transição interglacial-glacial. Ao nível da praia e na base da arriba ocorre ainda unidade lenticular arenítica grosseira com abundantes fósseis marinhos sobrejacente à Formação de Aivados-Bugalheira, que corresponderá à Formação de Monte Figueira, sobre a qual também assenta a sequência em estudo.

O eolianito encontra-se densamente fracturado e é composto por três unidades calcareníticas que se encontram bem expostas

na arriba WNW do pequeno forte do Pessegueiro, no seu fosso e na pedra do séc. XVI localizada a norte do ilhéu. As unidades encontram-se separadas por superfícies de reactivação, sobretudo por mudança de orientação dos *foresets* e da sua inclinação (Fig. 2E). A unidade inferior possui mais de 4 m de espessura e é composta por um arenito de grão médio a grosseiro organizado em feixes de estratificação entrecruzada planar. *Foresets* com 1-1,2 m mostram inclinações até 34°. As laminações têm menos de 2 cm de espessura e podem ter *ripples* aerodinâmicas assimétricas, com cristas longas e paralelas, de baixa amplitude e baixo comprimento de onda. A fitoturbação é intensa mas irregularmente distribuída, por vezes associada a protossolos. O tamanho, orientação e distribuição dos icnofábricas de rizólitos permitem interpretar um coberto vegetal do tipo herbáceo-arbustivo com a presença ocasional de árvores, desenvolvido paralelamente à frente de duna (Neto de Carvalho *et al.*, 2003). A segunda unidade tem até 11 m de espessura e apresenta uma granulometria semelhante à unidade anterior. A base é planar, de origem erosiva. A laminação entrecruzada tem uma inclinação inferior a 20° e as *ripples* aerodinâmicas tornam-se mais comuns. A persistência lateral de uma laminação entrecruzada de mais baixo ângulo reflecte uma deposição em áreas interdunares extensas e estáveis (Roberts *et al.*, 2008). A fitoturbação é mais densa e composta sobretudo por estruturas verticais profundas que revelam um coberto vegetal de tipo arbustivo que cobria na totalidade o sistema dunar costeiro (Neto de Carvalho *et al.*, 2003). A última unidade tem pouco mais de 1,5 m de espessura e é formada por laminação entrecruzada levemente ondulada. A fitoturbação torna-se muito mais esparsa e é caracterizada por finas estruturas horizontais, mostrando uma mudança do coberto vegetal para um domínio herbáceo desenvolvido sobre dunas móveis. Os ventos construtores das dunas sopraram predominantemente dos quadrantes NW e S, produzindo cordões dunares paralelos resultantes da coalescência lateral de pequenas dunas parabólicas orientados segundo a direcção WSW-ENE e SW-NE (Pereira, 1990), cuja morfologia se encontra muito bem preservada entre o Parque de Campismo do Sitava e a Praia do Malhão. Os trilhos de vertebrados são frequentemente encontrados nas duas unidades inferiores. O eolianito de Aivados é mais recente do que a idade de 39490 ± 2340 BP ¹⁴C determinada por Schröder-Lanz (1971; corrigido para 42519 ± 1263 BP por Pereira & Angelucci, 2004) a partir de um depósito de turfa encontrado por debaixo do eolianito, em S. Torpes. Este eolianito estará associado à regressão würmiana, possivelmente ao evento de flutuação climática global *Heinrich H4*, com idades centradas em torno dos 35000 anos (Brugal & Valente, 2007).

3. Análise paleoicnológica das jazidas com pegadas e trilhos de vertebrados

Os eolianitos calcareníticos são formações muito homogêneas, sem contrastes litológicos evidentes nem fenómenos de erosão diferencial (excepto na base das formações), onde as superfícies expostas aos agentes externos tendem a alterar-se muito rapidamente. Por esta razão, quase todos os 14 níveis estratigráficos com pegadas e trilhos de mamíferos e de aves foram detectados em zonas onde se dá a erosão activa das seqüências eolianíticas por acção da ondulação, a qual favorece o desabamento frequente em grandes blocos que se acumulam na base das arribas. Como os calcarenitos tendem a fracturar pelas laminações muitas destas superfícies, que representam a paleotopografia então percorrida por diversos animais, ficam assim disponíveis para análise icnológica, por vezes atingindo áreas com não mais de 10-15 m². Excepções a esta metodologia

são os achados *in loco* de grandes impressões arredondadas produzidas por elefantes e pegadas bífidas profundas, de veado, ambas produzidas sobre um protossolo, na base do eolianito onde assenta o Forte da Ilha de Dentro, que sofreu erosão diferencial, assim como pegadas de veado expostas numa superfície de ruptura de vertente, no Pessegueiro.

A areia de duna humedecida pela chuva ou pela humidade apresenta coesão suficiente para preservar detalhes anatómicos das pegadas, mesmo para as mais pequenas (Roberts *et al.*, 2008). A areia empurrada pelo vento pode preencher as pegadas por processos de fluxo de grãos e colapso de areia. Um enterramento rápido e uma litificação acelerada por percolação de fluidos em zona vadosa e pela actividade fisiológica ao nível das raízes das plantas levaram à fossilização das pegadas.

Não existe uma forma convencionada para apresentar as pistas fósseis de vertebrados. Aqui descreveremos os icnotaxa de mamíferos, desde os seus produtores maiores aos mais pequenos. O único registo de pegadas de aves efectuado até ao presente nestas formações é apresentado no final.

3.1. Icnologia Sistemática

Iconógeno *Proboscipeda* PANIN & AVRAM (1962)

Proboscipeda panfamilia McNEIL, HILLS, TOLMAN & KOOYMAN (2007) (Fig. 3, Fig. 5A)

Descrição: Uma notável jazida com trilhos de proboscídeos foi encontrada na secção da Praia do Malhão composta por 14 impressões quase circulares, por vezes mostrando sobreposição de pegadas organizadas em, pelo menos, 3 trilhos estreitos, em *bedset* com laminação oblíqua espessa com uma inclinação de 30° (Fig. 3A). Estas pegadas ocorrem sob a forma de grandes semi-esferas preservadas em hiporrelevo convexo, frequentemente bordejadas por cristas de deslocamento (*push up*) e por microfalhas. As pegadas têm um diâmetro entre 38 e 55 cm. A parte mais profunda da pegada encontra-se desviada para a frente (típica rotação durante o evento '*foot-on foot-off*'), em sentido contrário à inclinação da laminação o que, quando acompanhado por marcas de arrastamento da extremidade do membro, e a presença de uma pegada em epirrelevo côncavo com marcas de dedos, indicam a orientação de locomoção do animal (Fig. 5A). Os comprimentos de passada medidos variam entre 1,5 e 2,4 m. A ocorrência de pegadas em epirrelevo côncavo mostra impressões de, pelo menos, 3 dedos na parte frontal e heteropodia, onde as pegadas traseiras (*pes*), mais pequenas, se sobrepõem às pegadas dianteiras (*manus*), maiores (pegadas compostas; Fig. 3B, Fig. 5A). Outros dois níveis estratigráficos com trilhos de proboscídeos foram encontrados em Angra da Vaca (pequeno trilho com 4 sub-impressões em epirrelevo côncavo; Fig. 3C) e no Forte da Ilha de Dentro. Nesta última secção observa-se um trilho em hiporrelevo convexo, composto por 4 pegadas, com direcção S-N (Fig. 3D). As pegadas têm entre 40 a 60 cm de diâmetro, mostrando um comprimento de passada de 1,8 m. Existe uma pegada com as marcas dos dedos (Fig. 3E), resultante do apoio da extremidade anterior no movimento rotacional do membro (Hutchinson *et al.*, 2006). Uma das pegadas em falta é denunciada pela presença de leque de expulsão com 60 cm de comprimento, a dar indicação do talude de duna para W. Em continuidade lateral, uma superfície com intensa bioturbação parece ser o resultado da passagem de uma grande manada (Fig. 3F). Estas impressões profundas e mal preservadas indicam que o substrato era composto por sedimentos sem coesão depositados quase imediatamente antes da passagem dos animais.

Comentários: McDonald *et al.* (2007) reúne 52 referências bibliográficas conhecidas sobre icnitos de Proboscidea, a nível mundial, normalmente compostos por trilhos com 3 a 5 impressões. Panin & Avram (1962) propuseram um novo icnogénero, denominado *Proboscipeda*, para pegadas de proboscídeos do Miocénico da Roménia. Lucas *et al.* (2007) descreveram trilhos de mamutes e superfícies pisadas do Plistocénico Superior da Bacia de Tularosa, Novo México, e fizeram a revisão das raras ocorrências conhecidas de *Proboscipeda*, incluindo a nova icnoespécie *P. panfamilia* criada por McNeil *et al.* (2007) para as pegadas de mamutes de St. Mary Reservoir (Alberta, Canadá). As pistas de elefante do Plistocénico do Campo Dunar do Malhão enquadram-se perfeitamente no diagnóstico desta icnoespécie.

O *Elephas* (Palaeoloxodon) *antiquus* teve a sua origem em África, mas mostra uma rápida distribuição pela Eurásia há, pelo menos, 1000000-900000 anos (Itália, Espanha). Os raros achados de proboscídeos no Plistocénico português reportam-se quase na exclusividade a esta espécie (Zbyszewski, 1943). Segundo Mol *et al.* (2007), *E. antiquus* é a espécie de elefante mais comum durante o início do Plistocénico Superior, nas penínsulas itálica e ibérica. Restos osteológicos de *Elephas* (*P.*) *antiquus* (unciforme esquerdo) foram identificados não muito longe do Malhão (vide Antunes & Cardoso, 1992), no Plistocénico Médio? de Santa Cruz (Santiago do Cacém). Alguns dos mais recentes achados de *E. antiquus* na Europa têm uma idade 33600 ± 500 BP e foram encontrados na Bacia do Rio Tejo, em Vila Velha de Ródão (Raposo, 1995), correspondente ao início da última glaciação. Na Gruta de Figueira Brava, na Serra da Arrábida, Antunes & Cardoso (2000) encontraram um fragmento de lamela que foi classificada, ainda que com reservas, como pertencendo a *Mammuthus primigenius*, sendo datada de 30000 BP. Straus (1992) considera este achado como pertencente a *Elephas antiquus* e afirma que em toda a Península Ibérica, apenas na região Cantábrica existem referências seguras e raras à presença do Mamute, num intervalo cronológico compreendido entre os 40000 e os 30000 anos. Também Brugal & Valente (2007) levantam dúvidas sobre estes achados. Não obstante, Álvarez-Laó *et al.* (2005) descrevem a ocorrência inquestionável de Mamute no sul da Península Ibérica, à latitude mais a sul na Europa onde esta espécie foi identificada, com uma idade em torno dos 35800 anos. Um dos raríssimos achados, e o mais recente registo de *Mammuthus primigenius* em Portugal (fragmento de fémur), foi datado de 14170 ± 330 BP, o que poderá indicar uma presença já tardia desta espécie a esta latitude (Cardoso, 1996). Também esta classificação é questionada por Brugal & Valente (2007). Assim, a recorrência de pegadas de proboscídeo no Campo Dunar do Malhão, num intervalo de tempo correspondente ao OIS6?-OIS3, permite a atribuição de *Proboscipeda panfamilia*, com alguma segurança, a *Elephas antiquus*, já que não existem outros critérios, morfológicos ou comportamentais, que sejam seguros para a separação de pegadas desta espécie, das de *M. primigenius*.

Milán *et al.* (2007) descreveram aquele que poderá ser o mais recente registo de actividades de proboscídeos que se conhece na Europa. Com efeito, na Ilha de Rodes ocorrem grandes pegadas circulares no eolianito de Kattavia, com uma preservação pobre, sem a presença de quaisquer detalhes morfológicos das extremidades dos membros. Embora esta ocorrência esteja atribuída ao Plistocénico Superior-Holocénico Inferior por correlação com os achados osteológicos das formas endémicas daquela ilha (Theodorou, 1988), os autores admitem que a idade do eolianito de Kattavia é difícil de estimar. Estes eolianitos ter-se-ão depositado durante fase regressiva associada a intervalo glacial frio. Todavia, as formas anãs de proboscídeos

encontradas no Plistocénico Superior de Rodes derivaram dos mamutes, de acordo com as análises de ADN antigo efectuadas por Poulakakis *et al.* (2006).

A melhor maneira de identificar superfícies eolianíticas bioturbadas por proboscídeos, onde grandes impressões circulares não mostram evidências de organização em padrões de locomoção, podendo confundir-se com figuras de carga, é através da existência de deformação sedimentar em redor da pegada, a qual resulta do peso do animal sobre o membro em rotação. Neste caso, o sedimento levanta e quebra mostrando a plasticidade da areia, bem como o seu conteúdo em água, face ao impacto da extremidade do membro do animal, gerando leques de expulsão, cristas em crescente de pressão e microfalhas radiais. Os três trilhos paralelos indicando a mesma direcção de movimento, com alturas de ombro calculadas entre 1,5 m e 2,4 m, assim como a nova ocorrência de superfície intensamente bioturbada em continuidade estratigráfica com pegadas organizadas em trilho, sugerem um comportamento gregário expectável para *Elephas antiquus*; no primeiro caso, 3 sub-adultos/fêmeas do elefante-de-presas-direitas escalarium um cordão dunar com 20 m de altura, por uma frente de duna com forte pendente, a velocidades estimadas entre 1,7 e 3 km/h. As baixas velocidades estimadas são concordantes com o caminhar de um mamífero grande e pesado em areias dunares soltas, onde a impressão de dedos feita em níveis inferiores mais coesos e as marcas de arrastamento dos membros indicam um percurso vertente acima.

As jazidas de pegadas de proboscídeos são extremamente raras, tendo sido descritas na América do Norte, México, Argentina, África, Balcãs, Abu Dhabi e Japão (Lucas *et al.*, 2007; McDonald *et al.*, 2007). Este é o primeiro registo de trilhos de elefantes no Plistocénico da Europa continental e os únicos correlacionáveis com a espécie *E. antiquus*.

Ícnogénero *Bifidipes* DEMATHIEU, GINSBURG, GUÉRIN & TRUC (1984)

Bifidipes isp. (Fig. 4B, C)

Bifidipes aeolis FORNÓS, BROMLEY, CLEMMENSEN & RODRÍGUEZ-PEREA, 2002; NETO DE CARVALHO *et al.*, 2003 (Fig. 1-2)

Bifidipes isp. NETO DE CARVALHO, 2009 (Fig. 3E, F, 4C, D, F)

Descrição: Impressões didáctilas simétricas, isoladas ou em pequenos conjuntos de 2 a 11 pegadas produzidas por grandes cascos bífidios, normalmente preservadas em epirrelevo côncavo e mais raramente observadas em hiporrelevo convexo. Individualmente, as impressões têm um contorno arredondado a elíptico, são profundas (mais de 5 cm) ou apresentam-se como sub-impressões superficiais, sendo parcialmente bordejadas por cristas de deslocamento e fracturas radiais (*sensu* Fornós *et al.*, 2002). Por vezes, podem ser observadas as pequenas marcas circulares produzidas pelo segundo e quarto dígitos. Não foram identificadas diferenças de tamanho entre impressões dianteiras (*manus*) e traseiras (*pes*) num mesmo trilho, mas as dimensões das pegadas podem variar entre 5 e 15 cm de comprimento, dependendo também das condições de coesão do substrato. O comprimento do passo medido varia de 0 a 82 cm e a largura externa do trilho pode variar entre 19 e 44 cm; o comprimento da passada pode atingir os 139 cm. (veja-se Neto de Carvalho *et al.* 2003 para as medições dos trilhos).

Comentários: Nas secções do Pessegueiro e no Forte da Ilha de Dentro foram identificados 9 níveis estratigráficos com grandes

pegadas de artiodáctilos e pistas incompletas atribuíveis a *Bifidipes* isp.. Apenas uma pegada isolada foi encontrada na secção da Praia do Malhão. A preservação de verdadeiras pegadas associadas a paleosuperfícies com *ripples* aerodinâmicas testemunha o enterramento rápido após a sua formação (Fig. 4B). Previamente, Neto de Carvalho *et al.* (2003) atribuíram as formas da Ilha do Pessegueiro à icnoespécie *Bifidipes aeolis*. De acordo com o diagnóstico para esta icnoespécie de Fornós *et al.* (2002), *Bifidipes aeolis* é semelhante à icnoespécie-tipo *B. velox* (Demathieu *et al.*, 1984) mas está associada a bioturbação de sedimentos eólicos, com a deformação dos sedimentos criando microdobras e microfalhas. Estas estruturas de deformação variam obviamente com a coesão do substrato, granulometria, quantidade de água no sedimento e dependem se são “verdadeiras” pegadas ou sub-impressões (Fig. 4C). Por outro lado, *B. aeolis* é atribuído ao comportamento do pequeno caprício *Myotragus balearicus*. Considerando que o artiodáctilo interpretado como produtor de *Bifidipes* no Campo Dunar do Malhão é consideravelmente diferente em termos morfológicos (maior altura dos membros e do tronco) e biomecânicos, e que este icnogénero tem uma distribuição estratigráfica que vai do Oligocénico à actualidade, é sensato deixar *Bifidipes* em nomenclatura aberta até que seja feita uma necessária revisão taxonómica detalhada deste icnogénero, com a identificação das icnotaxobases que sustentarão efectivamente a separação das várias icnoespécies a partir da icnoespécie-tipo, e se estas são suficientes para manter separados *Bifidipes* e *Cervipeda* Vialov, 1965. *Odocoileinichnium commune* definido por Aramayo & Bianco (1987) não se distingue, a nível icnogénico, de *Bifidipes*, podendo entrar em sinonímia.

A dimensão das pegadas é muito variável e os trilhos que se podem seguir por uma curta extensão apresentam diferentes comprimentos e ângulos de passo, mas a morfologia das pegadas é congruente com uma única espécie de produtores. A morfologia e dimensões máximas destas pegadas didáctilas, a abertura anterior entre os dígitos atribuível a locomoção em substratos brandos, a largura interna entre pegadas e a distância glenoacetabular inferida pela passada (Neto de Carvalho *et al.* 2003), para além do enquadramento fito-ambiental interpretado através da análise da fitoturbação, indicam a presença de cervídeos juvenis, fêmeas e machos, que normalmente vivem em rebanho. As pegadas de bovídeos, também de grandes dimensões, têm um contorno circular, que as distingue das pegadas em estudo. No Plistocénico de Portugal, os grandes cervídeos conhecidos a partir do registo fóssil directo é o veado *Cervus elaphus* e o gamo *Dama dama* (Cardoso, 1996). No entanto, as pegadas de *Dama dama* machos são mais pequenas, estreitas e rectas, com a parte mais frontal das unhas quase paralela (Macdonald & Barrett, 1993). As pegadas de *Cervus elaphus* são mais alargadas, com as impressões dos dígitos como arcos simétricos abrindo para a frente e, portanto, mais conducentes com *Bifidipes* isp. do Pessegueiro e do Forte da Ilha de Dentro. Os tipos de marcha identificados variam de sub-estacionário a trote (com padrões “pé sobre pé”, segundo Bang & Dalstrøm, 2006) e a galope, com aumento do comprimento da passada, aumento da distância de passo e diminuição da largura do trilho.

Ícnogénero *Bestiopedia* VIALOV (1983)

Bestiopedia isp. (Fig. 4A, Fig. 5B, C)

Canipeda longigriffa PANIN & AVRAM (1962) (Fig. 16)

Canipeda isp. NETO DE CARVALHO (2009) (Fig. 3G, H)

Descrição: Trilhos de quadrúpede digitígrado compostos por pegadas superficiais simétricas com 5 impressões de almofadas

digitais, deixando uma elevação central entre elas resultante da expulsão da areia sobre pressão. Os dois níveis estratigráficos encontrados no sector de Malhão mostram trilhos com o mesmo padrão de marcha, mas diferentes dimensões de pegada. O morfotipo 1 ocorre, pelo menos, sob a forma de 4 trilhos que se entrecruzam na superfície de um bloco verticalizado com 6 m², localização que dificultou as medições (Fig. 4A). Os trilhos apresentados em esquema na Fig. 5B estão identificados segundo a ordem cronológica interpretada e são compostos por 9 a 17 pegadas visíveis e conservadas. As pegadas ocorrem em epi-relevo côncavo, com um contorno arredondado a elíptico e 5 cm de extensão. O comprimento médio da passada é de 20 cm, com uma largura de passo inferior a 10 cm. A elevação central entre as impressões dos dígitos é bastante grande. A orientação de locomoção inferida é dada pela presença de cristas de pressão. O morfotipo 2 corresponde a um único trilho composto por 11 pegadas semi-impressas preservadas em epi-relevo côncavo (Fig. 5C), com 8 cm de extensão máxima. O comprimento médio da passada é de 68 cm e a largura de passo é de 6-12 cm.

Comentários: Os trilhos de carnívoros são atribuídos ao icnogénero *Bestiopedia* (Vialov, 1983). Em substratos moles, como a areia solta, os canídeos tendem a sobrepor o membro traseiro sobre a pegada dianteira em trote, mantendo o seu corpo alinhado com o sentido de movimento. Pelo tamanho médio das pegadas e comprimento da passada, o morfotipo 1 foi produzido provavelmente por uma raposa adulta (*Vulpes vulpes*), atendendo à dimensão das pegadas; o morfotipo 2 terá sido produzido por um canídeo consideravelmente maior, talvez um lobo sub-adulto (*Canis lupus*) que se movimentaria em trote perpendicularmente à inclinação de uma frente de duna deixando, por isso, um trilho composto por pegadas semi-impressas. Atendendo à má preservação das pegadas e à idade da jazida, não podemos descartar a possibilidade destas pegadas terem sido produzidas pelo leão-das-cavernas, apesar do enquadramento paleoambiental, pois a última ocorrência de *Hyaena prisca* em Portugal foi datada do Paleolítico Superior Inicial (Brugal & Valente, 2007).

A dimensão homogénea das pegadas para os 4 trilhos atribuídos ao morfotipo 1 e a contemporaneidade de, pelo menos, 3 destes trilhos apontam para um único produtor ou de produtores com a mesma dimensão. Atendendo ao comportamento territorial reconhecido para as raposas, estes trilhos deveriam ter sido produzidos por um único animal solitário em busca de presas para se alimentar ou para alimentar a sua ninhada. A orientação e contemporaneidade inferidas dos trilhos desenvolvidos sobre superfícies com *ripples* aerodinâmicas indicando ventos soprando de NW à época da sua formação, levam a supor a deslocação recorrente da raposa de um ponto único (toca) até à sua área de alimentação, possivelmente no litoral, de onde soprava o vento que humedeceu a superfície dunar e a foi cobrindo com novas lâminas de areia. A sobreposição de trilhos, com perda de detalhe na preservação das pegadas de T1 para T3, poderá mostrar ainda que estes percursos se realizaram a partir do início do dia, com desidratação consequente e progressiva do substrato arenoso.

Ícnogénero *Leporidichnites* NETO DE CARVALHO (2009)

Leporidichnites malhaoi NETO DE CARVALHO (2009) (Fig. 4H, Fig. 5D)

Descrição: Séries de 4 a 5 pegadas organizadas em, pelo menos, dois trilhos paralelos, preservadas em epi-relevo côncavo (Fig. 4H) e localizadas 3 m acima de nível com os 3 trilhos sub-paralelos de *Proboscipeda*, na secção da Praia do Malhão. Podem ser observadas em ambos os trilhos 2 a 3 séries de pegadas. As marcas das mãos são circulares, com 4 cm de diâmetro, por vezes

dispostas em grupos de três formando os vértices de um triângulo equilátero. As marcas dos pés são alongadas, com até 12 cm de comprimento e apenas 5 cm de largura, ocorrendo a par e em justaposição. As impressões dos dígitos não ficaram preservadas. As cristas de expulsão do sedimento atestam a direcção de locomoção (Fig. 5D). O comprimento do passo varia entre 24 e 34 cm para um comprimento médio de passada de 45 cm; a largura externa do trilho é de cerca de 12 cm (Fig. 5D).

Comentários: Embora seja muito comum nos sistemas dunares actuais e em muitos outros habitats (incluindo tecnógenos), com milhares de restos osteológicos encontrados em algumas jazidas do Paleolítico Superior português (Brugal & Valente, 2007), as pegadas fossilizadas de leporídeos só muito raramente se encontram referidas na bibliografia. O pequeno tamanho destes animais leva a que pouca informação fique preservada nas suas pegadas, em substratos arenosos. No entanto, a forte heteropodia e a característica marcha por salto (com os membros posteriores movendo-se completamente em fase) permite atribuir estes trilhos à locomoção de lebres e coelhos. Em substratos moles, os trilhos de lebres e coelhos podem ser reconhecidos pelo padrão de marcha muito regular, típico de animais que saltam ou galopam. Os trilhos de coelho podem ser distinguidos dos de lebre pelo menor tamanho das pegadas e pelo bastante menor comprimento da passada.

Registou-se a presença de *Leporidichnites malhaoi* apenas em um nível estratigráfico, encontrado num enorme bloco invertido, no meio de outros, o que tornou mais difícil a análise dos dois trilhos. Por esta razão, o holótipo identificado por Neto de Carvalho (2009) permanece no local, sendo que a secção-tipo está incluída em área protegida do Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina. O padrão de locomoção por salto e o grande tamanho, que é semelhante para os pés e mãos de ambos os trilhos, indicam que estes terão sido produzidos por uma mesma lebre. É notável em quase todas as séries a presença de 3 impressões de mãos (Fig. 4H), cujo significado comportamental ainda não é bem entendido. Talvez o animal estivesse a coxear do membro anterior direito uma vez que o típico alinhamento frente-trás das mãos está mais profundamente impresso no substrato que a impressão lateral “exótica” localizada a meia distância entre as impressões de mãos. Será esta a impressão do membro posterior direito em directo apoio ao membro ferido?

Icnogénero *Gruipeda* PANIN & AVRAM (1962)

Gruipeda maxima PANIN & AVRAM (1962) (Fig. 4C-E, Fig. 5E)

Avipeda isp. NETO DE CARVALHO (2009) (Fig. 3E, F)

Descrição: Numerosas pegadas maioritariamente tridáctilas, de grande dimensão, por vezes organizadas em trilhos cujas pegadas estão dirigidas para o interior. Estas são formadas pelo dígito III mais longo, tendo ângulos interdigitais pronunciados com os dígitos II e IV, estes dispostos linearmente ou apresentando concavidade voltada para a frente (Fig. 4E). A impressão do *hallux* apenas ocorre raramente e quando esta acontece, apresenta-se como uma impressão circular superficial. A impressão do dígito médio tem 6-8 cm de comprimento, sendo mais comprida que as dos dígitos exteriores, com as quais une na parte proximal. As marcas das garras são comuns. Estes trilhos e pegadas ocorrem em apenas um nível estratigráfico intensamente bioturbado, também com pegadas e sub-impressões do tipo *Bifidipes*, ambos preservados em hiporrelevo convexo, na secção do Pessegueiro (Figs. 4C, 5E). Os trilhos de aves mostram um

comprimento médio de passo de 10 cm, com ângulos em torno dos 150-170° (Fig. 4D).

Comentários: A recente revisão icnotaxonómica das pegadas e trilhos de aves, feita por Lockley & Harris (2010), permitiu validar 45 icnoespécies distribuídas por 23 icnogéneros. No caso da Ilha do Pessegueiro, embora parecido com *Pulchravipes magnificus* na sua morfologia (Demathieu *et al.* 1984), *Gruipeda* apresenta pegadas de maior dimensão, com *hallux* ausente ou mais curto que o descrito por aqueles autores. Pegadas grandes como estas, com dígitos frontais longos e afilados, apresentando uma forte divaricação e a quase ausência da impressão do *hallux* são características de aves limícolas, das cegonhas e das garças que, no presente, nidificam na costa e normalmente buscam organismos para sua alimentação nas praias e enseadas (Fig. 4F).

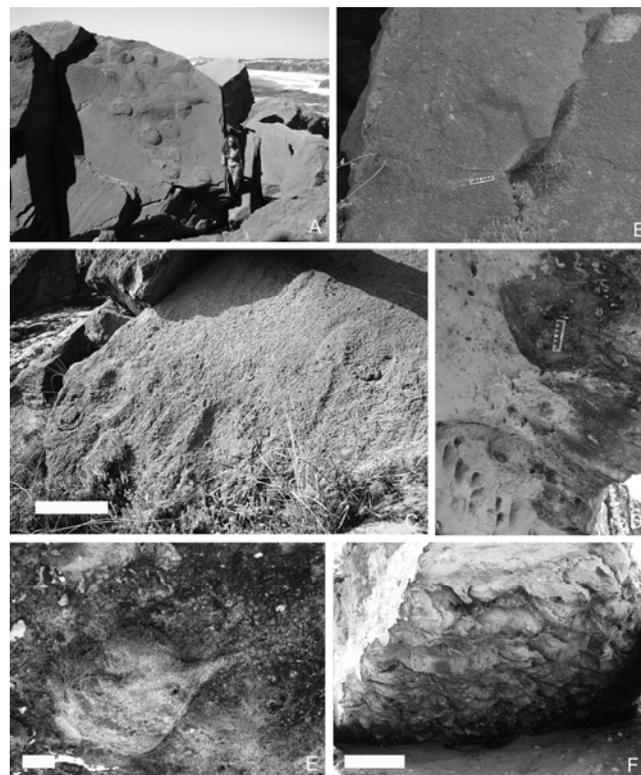


Fig. 3. Trilhos e pegadas de elefantes do Campo Dunar do Malhão. A - Nível estratigráfico com trilhos sub-paralelos do tipo *Proboscipeda panfamilia* (secção da Praia do Malhão). B - Impressão composta mostra sobreposição de pegada dianteira pela pegada traseira, para além das impressões de dedos direccionadas para a frente (mesmo nível estratigráfico que o precedente, diferente estilo de preservação em epirelevo côncavo); escala = 20 cm. C - Trilho em epirelevo côncavo composto por, pelo menos, 4 pegadas (secção da Angra da Vaca); escala = 50 cm. D - Trilho composto por três pegadas semi-esféricas (secção da Praia da Ilha); escala = 10 cm. E - Uma das pegadas do trilho anterior, mostrando o pormenor das marcas dos dedos (marcando o evento *foot-off* típico para os elefantes); escala = 10 cm. F - Intensa bioturbação provocada por uma manada de elefantes na base do eolianite de Aivados (secção da Praia da Ilha); escala = 1 m.

Fig. 3. Elephant trackways and footprints from the Malhão Dune Field. A - Main stratigraphic horizon with sub-parallel trackways of the *Proboscipeda panfamilia* type (Malhão beach section); scale bar = 1 m. B - Compound print record fore and hind limb overstepping and showing anterior directed toe impressions (same stratigraphic level as the previous, preservation as concave epirelefs); scale = 20 cm. C - Concave epirelevo preserved track composed by, at least, 4 footprints (Angra da Vaca section); scale = 50 cm. D - Track showing 3 bowl-shaped footprints (Pessegueiro Beach section); scale = 10 cm. E - One of the footprints of the previous track, showing detail of the toe-marks (typical *foot-off* event of the elephants); scale = 10 cm. F - Elephant trampling level at the base of Aivados eolianite (Pessegueiro Beach section); scale = 1 m.

As aves limícolas e as garças possuem dígitos longos e finos, muito espaçados entre si, constituindo uma boa adaptação para

caminhar em substratos moles sem se enterrarem (Fig. 4G). O tipo de marcha em trilhos pouco discerníveis, em nível intensamente bioturbado, é compatível com o de numerosas aves a caminhar na área interdunar segundo uma orientação predominante para sul (Fig. 5E).

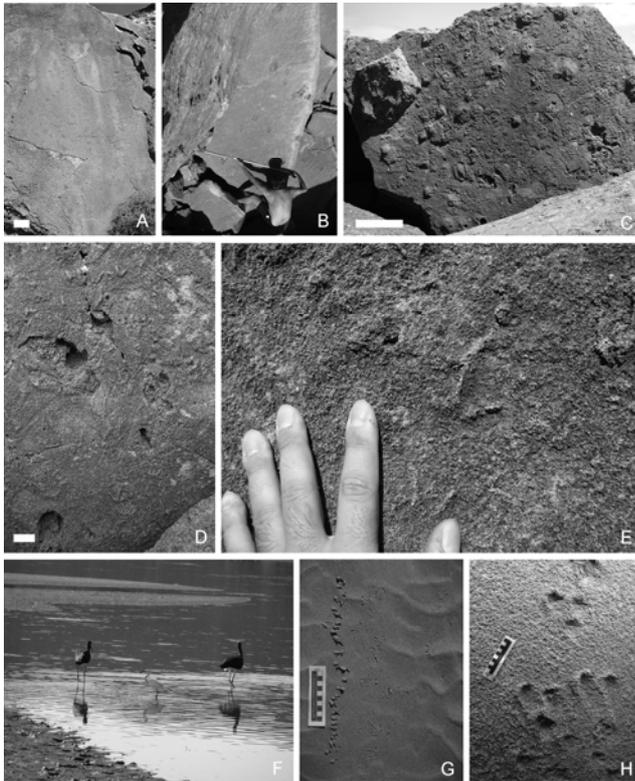


Fig. 4. Trilhos e pegadas produzidas por aves, grandes e pequenos mamíferos. A - Grande superfície com, pelo menos, 4 trilhos produzidos por pequeno canídeo (raposa), na secção de Angra da Vaca (morfolo 1); escala = 50 cm. B - *Bifidipes* isp.. Os mesmos trilhos ocorrem em dois níveis estratigráficos diferentes separados por 7 cm: o nível superior mostra *ripples* produzidas pelo vento e pegadas alargadas pela deformação do sedimento, parcialmente preenchidas pelo fluxo de areia provocado pelo vento e por colapso gravítico; forma bífida típica de *Bifidipes* e as suas verdadeiras dimensões são melhor definidas no nível inferior, mais coeso (Pessegueiro). A orientação do trilho principal é S40°E, coexistindo com trilhos mostrando locomoção em sentido contrário. C - Nível bioturbado com trilhos de pegadas didáctilas e sub-impressões de veados e tridáctilas de ave (pedreira, Pessegueiro); escala = 50 cm. D - Trilho do tipo *Gruipeida* (detalhe da foto anterior); escala = 10 cm. E - Detalhe de uma pegada, com a disposição característica dos dedos. F - Imagem actual dos possíveis produtores de *Gruipeida* do Pessegueiro: cegonha-preta e garça na foz da Ribeira de Aljezur. G - Pegadas e marcas de pesquisa de alimento deixadas pelos animais da figura anterior na areia húmida, durante a baixa-mar (foz da Ribeira de Aljezur); escala = 10 cm. H - Trilhos do tipo *Leporidichnites malhaoi*. O curioso conjunto de 5 impressões, com três pegadas dianteiras, constante nos trilhos paralelos da secção do Malhão; escala = 10 cm.

Fig. 4. Trackways and footprints produced by birds and large and smaller mammals. A - Large exposure with at least 4 fox tracks (Angra da Vaca section); scale bar = 50 cm. B - *Bifidipes* isp.. The same tracks occur in two different stratigraphic levels separated by 7 cm: the upper level shows enlarged footprints on wind ripples, partially filled by grainflow and grainfall sand; bifid shape typical of *Bifidipes* and true size are more discernible on the lower, more cohesive level (Pessegueiro section). C - Trampled horizon with cloven-hoof tracks and undertracks and tridactyl bird footprints (Pessegueiro section, at the quarry); scale bar = 50 cm. D - *Gruipeida* track (detail of the previous photo); scale = 10 cm. E - Footprint with the characteristic digit pattern. F - Present image of the probable producers of *Gruipeida* from Pessegueiro: black-stork and crane at the estuary of the Aljezur stream. G - Footprints and feeding traces left by the above mentioned birds in the moist sand during the low tide (estuary of the Aljezur stream); scale = 10 cm. H - *Leporidichnites malhaoi* tracks on the top of the same overturned block with *Proboscipeda panfamilia* parallel tracks. The curious 5 print set, with 3 "fore" prints, in two parallel tracks of the Malhão section; scale bar = 10 cm.

4. Implicações paleoecológicas para os últimos *Elephas antiquus* na Europa

Os eolianitos do Campo Dunar do Malhão, datados do Plistocénico Superior (ca. 125000 –ca. 35000 BP) mostram, até à data, 14 níveis estratigráficos com uma icnofauna de vertebrados moderadamente diversa atribuível ao elefante-de-presas-direitas, veado, raposa, lebre e, eventualmente, lobo, assim como a grandes aves do tipo das garças e das cegonhas. Parte das espécies que constituíam esta comunidade ainda podem ser encontrados hoje no campo dunar activo. O lobo e a raposa são predadores de leporídeos, pelo que a concorrência das suas pegadas no Malhão é considerada normal, embora os lobos se considerem extintos nos ambientes dunares actuais, em Portugal.

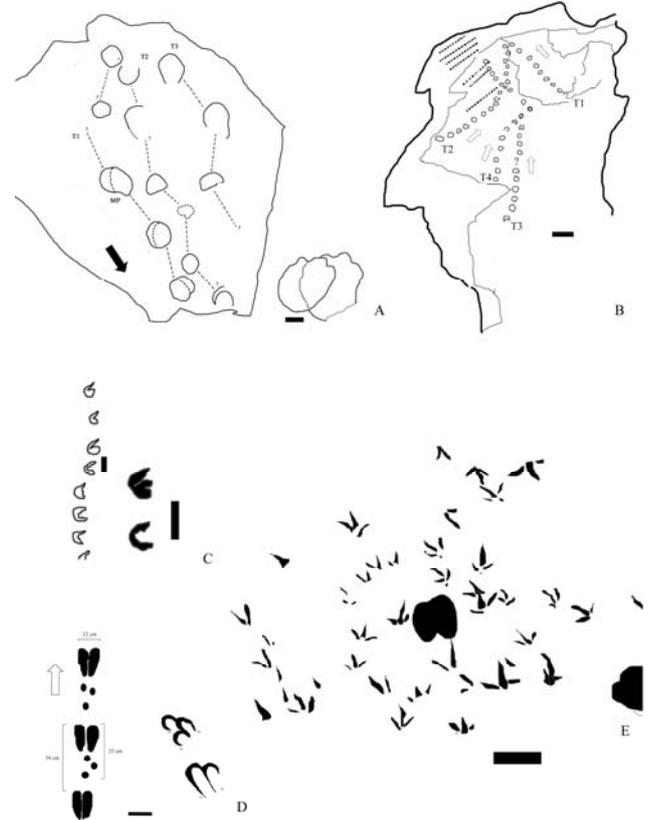


Fig. 5. Esquemas interpretativos para algumas das principais ocorrências de icnitas estudadas. A - *Proboscipeda panfamilia*, secção da Praia do Malhão: a seta indica o sentido de locomoção interpretado, T - identificação do trilho, MP - conjunto *manus/pes* desenhado com maior pormenor; escala = 10 cm. B - *Bestiopedia* isp. (morfolo 1), secção de Angra da Vaca: as setas indicam o sentido de locomoção interpretado, T - identificação do trilho; escala = 20 cm. C - *Bestiopedia* isp. (morfolo 2), secção de Praia do Malhão. Esquema do trilho e pormenor da morfologia preservada das pegadas; escala = 10 cm. D - *Leporidichnites malhaoi* (holótipo), secção da Praia do Malhão: esquema de um dos trilhos com medições associadas; pormenor da heteropodia das pegadas produzidas pelos membros anteriores (M) e posteriores (P); escala = 10 cm. E - Nível estratigráfico densamente bioturbado com *Gruipeida maxima*, secção da Ilha do Pessegueiro: T - identificação do trilho; escala = 10 cm.

Fig. 5. Interpretative drawings for the main ichnofauna. A - *Proboscipeda panfamilia*, Praia do Malhão section: arrow points the interpreted direction of travelling, T - trail number, MP - *manus/pes* set in more detail; scale bar = 10 cm. B - *Bestiopedia* isp. (morphotype 1), Angra da Vaca section: arrows indicate the interpreted directions of travelling; scale bar = 10 cm. C - *Bestiopedia* isp. (morphotype 2), Praia do Malhão section. Trail and detail of the preserved morphology of the footprints; scale bar = 10 cm. D - *Leporidichnites malhaoi* (holotype), Praia do Malhão section: drawing of one of the trails with track measurements; detail of the footprint heteropody produced by fore-limbs (M) and hind-limbs (P); scale bar = 10 cm. E - Stratigraphic trampled unit with *Gruipeida maxima*, Pessegueiro section: T - trail number; scale bar = 10 cm.

A preservação de pegadas de pequenos mamíferos é rara nas sequências eolianíticas, mas *Leporidichnites malhaoi*, atribuída ao comportamento de locomoção de lebres, foi descrita pela primeira vez no eolianito do Malhão.

As condições climáticas, a agradação sedimentar, a dinâmica das dunas e as alterações dos níveis freáticos locais foram os principais factores para a forma como se deu a colonização das plantas ao longo da evolução do Campo Dunar e resultante pedogénese. *Cervus elaphus* e *E. antiquus* são vistos como habitantes de florestas em condições temperadas húmidas (CARDOSO, 1996). A incursão destes animais, ainda que episódica, num ambiente aparentemente mais hostil, de sistema dunar activo, poderá ter estado relacionada com a geografia local, pelo menos no caso dos elefantes, já que é sabido que os veados procuram o litoral em busca de crostas de sal. A relativa abundância de *Bifidipes* ao longo da sequência eolianítica de Aivados mostra que os veados frequentavam habitualmente a área costeira, possivelmente em rebanhos. A Serra do Cercal limitava a Leste o Campo Dunar do Malhão, erguendo-se abruptamente a mais de 300 m de altitude e sendo profundamente entalhada por uma densa rede de drenagem. Durante o Plistocénico, esta serra terá sido coberta por floresta, ao longo das vertentes escarpadas e na cumeada. Para elefantes sub-adultos/fêmeas com 2 a 3,5 toneladas de peso estimado, que viajassem isolados ou em grandes manadas, o litoral permitiria uma via de migração, eventualmente sazonal, mais fácil para cruzar a área, permitindo percorrer as distâncias entre o luxuriante estuário do Sado e a Bacia do Rio Mira, os principais sistemas fluviais da região.

O Campo Dunar do Malhão apresenta o primeiro registo de trilhos de elefantes da Europa continental, podendo ser as primeiras evidências do comportamento que se conhecem para a espécie *Elephas antiquus*. Segundo Mol *et al.* (2007), esta espécie sofre uma extinção generalizada no final do Eemiano, tendo sobrevivido no Sul da Europa (Ibéria, Itália e Balcãs) até ao início do último Estádio Glacial (OIS5-4), podendo estender-se em Portugal até ao OIS3. A variedade anã "*Elephas antiquus falconeri*" evoluiu do mamute para se adaptar às condições ecológicas, geograficamente limitadas, da Ilha de Tilos, na Grécia, até à sua extinção há apenas 17000 anos (Poulakakis *et al.*, 2006; até há 4000 BP, segundo Theodorou, 1988). O mesmo terá acontecido com "*Elephas chaniensis*", que viveu na Ilha de Creta até há 18000 BP (Theodorou, 1986). Assim, as pegadas e o trilho encontrado no eolianito de Aivados corresponderão a algumas das últimas ocorrências, em termos temporais, da espécie *E. antiquus* na Europa, quando comparada com a revisão desta espécie feita por Stuart (2005) e atendendo à nova reconstrução evolutiva, de base genética, das formas insulares, o que ajuda a suportar a hipótese, desde há muito debatida, da Ibéria enquanto biótopo de refúgio, durante os estádios glaciais/interglaciais do Plistocénico Superior, para fauna já extinta em todo o continente europeu. Segundo Brugal & Valente (2007), juntamente com esta espécie sobreviveram em Portugal as hienas arcaicas, o pequeno lobo *Canis lupus lunellensis*, assim como os últimos Neandertais, pelo menos até às fases iniciais do Último Glacial.

Agradecimentos

O trabalho de campo tem beneficiado ao longo dos anos da ajuda de vários amigos, familiares e colegas, em particular Mário Cachão, Sérgio Saltão, Hugo Antunes e Joana Rodrigues. O autor agradece a composição dos mapas da Fig. 1 por Sara Canilho e das restantes figuras, por Joana Rodrigues, ambas colegas com quem tem o prazer de trabalhar no Geopark Naturtejo. O autor

agradece, ainda, o sempre imprescindível trabalho dos revisores, neste caso, a Vanda Faria dos Santos e Miguel Ramalho.

Referências

- Álvarez-Laó, D. J., García García, N., Mol, D., Martín-Suárez, E., 2005. A Southern find of woolly Mammoth at the El Padul Site (Granada, South Spain). In: Agenbroad, L. D., Symington, R. L. (Eds), *2nd World of Elephants Congress*. Mammoth Site of Hot Springs, South Dakota: 6-7.
- Antunes, M. T., Cardoso, J. L., 1992. Quaternary Elephants in Portugal: new data. *Ciências da Terra*, **11**, 17-38.
- Antunes, M. T., Cardoso, J. L., 2000. Gruta Nova da Columbreira, Gruta das Salemas and Gruta da Figueira Brava: stratigraphy and chronology of the Pleistocene deposits. In: Últimos Neandertais em Portugal: evidência, odontológica e outra. Academia das Ciências de Lisboa, 23-67.
- Aramayo, S. A., Bianco, T. M., 1987. Hallazgo de una ichnofauna continental (Pleistoceno tardío en la localidad de Pehuen-Co (partido de Coronel Rosales), Provincia de Buenos Aires, Argentina, Parte II: Carnívora, Artiodactyla y Aves. *IV Congreso Latinoamericano de Paleontología*, Bolivia, **1**, 532-547.
- Bang, P., Dahlström, P., 2006. *Animal Tracks and Signs*. Oxford University Press, U.K.
- Brugal, J.-P., Valente, M. J., 2007. Dynamic of large mammalian associations in the Pleistocene of Portugal. In: N. F. Bicho (Ed.) *From the Mediterranean basin to the Portuguese Atlantic shore: papers in honor of Anthony Marks*. Universidade do Algarve, Faro, 15-28.
- Cardoso, J. L., 1996. The large Upper-Pleistocene mammals in Portugal. A synthetic approach. *Geobios*, **29**, 2, 235-250.
- Carvalho, D., 1976. Considerações sobre o vulcanismo da região de Cercal-Odemira. Suas relações com a faixa piritosa. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, **60**, 215-238.
- Demathieu, G., Ginsburg, L., Guérin, C., Truc, G., 1984. Etude paléontologique, ichnologique et paléocologique du gisement oligocène de Saignon (Bassin d'Apt, Valcluse). *Bull. Mus. Nat. Hist. Nat. Paris*, **6**, 153-183.
- Diniz, F., 1986. Paleoambiente vegetal do depósito quaternário de S. Torpes. *Maleo*, **2**, 13, 19.
- Fanelli, F., Palombo, M. R., Pillola, G. L., Ibba, A., 2007. Tracks and trackways of "Praemegaceros" cazioti (Depéret, 1897) (Artiodactyla, Cervidae) in Pleistocene coastal deposits from Sardinia (Western Mediterranean, Italy). *Boll. Soc. Paleont. Italiana*, **46**, 1, 47-54.
- Flor, G., 1989. Estructuras de deformación por pisadas de cérvidos en la duna cementada de Gorniz (Vizcaya, N de España). *Rev. Soc. Geol. España*, **2**, 1-2, 23-29.
- Fornós, J. J., Bromley, R. G., Clemmensen, L. B., Rodríguez-Perea, A., 2002. Tracks and trackways of *Myotragus balearicus* Bate (Artiodactyla, Caprinae) in Pleistocene aeolianites from Mallorca. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **180**, 4, 277-313.
- Goodfriend, G. A., Cameron, R. A. D., Cook, L. M., Courty, M., Fedoroff, N., Livett, E., Tallis, J., 1996. The Quaternary eolian sequence of Madeira: stratigraphy, chronology, and paleoenvironmental interpretation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **120**, 195-234.
- Hutchinson, J. R., Schwerda, D., Famini, D. J., Dale, R. H. I., Fischer, M. S., Kram, R., 2006. The locomotor kinematics of Asian and African elephants changes with speed and size. *The Journal of Experimental Biology*, **209**, 3812-3827.
- Klappa, C. F., 1980. Rhizoliths in terrestrial carbonates: classification, recognition, genesis and significance. *Sedimentology*, **27**, 613-629.
- Lockley, M., Harris, J. D., 2010. On the trail of early birds: a review of the fossil footprint record of avian morphology and behavioral evolution. In: Ulrich, P. K. *et al.* (Eds.), *Trends in Ornithology Research*. New Science Publishers, 1-63.
- Lucas, S. G., Allen, B. D., Morgan, G. S., Myers, R. G., Love, D. W., Bustos, D., 2007. Mammoth footprints from the Upper Pleistocene of the Tularosa Basin, Doña Ana County, New Mexico. In: Lucas, S. G. *et al.* (Eds.), *Cenozoic Vertebrate Tracks and Traces*. *New Mex. Mus. Nat. Hist. Sci. Bull.*, **42**, 149-154.

- McDonald, D., Barrett, P., 1993. *Mammals of Britain & Europe*. HarperCollins Publishers, Londres.
- McDonald, H. G., White, R. S., Lockley, M. G., Mostoe, G. E., 2007. An indexed bibliography of Cenozoic vertebrate tracks. In: Lucas, S. *et al.* (Eds.), Cenozoic Vertebrate Tracks and Traces. *New Mex. Mus. Nat. Hist. Sci. Bull.*, **42**, 275-302.
- McNeil, P., Hills, L. V., Tolman, M. S., Kooyman, B., 2007. Significance of latest Pleistocene tracks, trackways, and trample grounds from southern Alberta, Canada. In: Lucas, S. *et al.* (Eds.), Cenozoic Vertebrate Tracks and Traces. *New Mex. Mus. Nat. Hist. Sci. Bull.*, **42**, 209-223.
- Milán, J., Bromley, R. G., Titschack, J., Theodorou, G., 2007. A diverse vertebrate ichnofauna from the quaternary eolian oolite, Rhodes, Greece. Sediment-Organism interactions: a multi-faceted Ichnology, *SEPM Special Publication*, **88**, 333-343.
- Mol, D., Vos, J., Plicht, H., 2007. The presence and extinction of *Elephas antiquus* (Falconer & Cautley, 1847) in Europe. *Quaternary International*, **169-170**, 149-153.
- Neto de Carvalho, C., 2009. Vertebrate tracksites from the Mid-Late Pleistocene eolianites of Portugal: the first record of elephant tracks in Europe. *Geological Quarterly*, **53**, 4, 407-414.
- Neto de Carvalho, C., Saltão, S., Ramos, J., Cachão, M., 2003. Pegadas de Cervus elaphus nos Eolianitos Plistocénicos da Ilha do Pessegueiro (SW Alentejano, Portugal). *Ciências da Terra*, **5**, 36-40.
- Panin, N., Avram, E., 1962. Noi urme de vertebrate in Miocenul subcarpatilor Rominești. *Stud. Cercet. Geol.*, **7**, 455-484.
- Pereira, A. R., 1990. A plataforma litoral do Alentejo e Algarve Ocidental. Estudo de Geomorfologia. *Tese de Doutoramento, não publicada*, Universidade de Lisboa.
- Pereira, A. R., Angelucci, D. E., 2004. Formações dunares no litoral português, do final do Plistocénico e inícios do Holocénico, como indicadores paleoclimáticos e paleogeográficos. In: Tavares *et al.* (Eds.), Evolução geohistórica do litoral português e fenómenos correlativos. *Geologia, História, Arqueologia e Climatologia*. Universidade Aberta, Lisboa, 221-256.
- Poulakakis, N., Parmakelis, A., Lymberakis, P., Mylonas, M., Zouros, E., Reese, D. S., Glaberman, S., Caccone, A., 2006. Ancient DNA forces reconsideration of evolutionary history of Mediterranean pygmy elephants. *Biology Letters*, **2**, 451-454.
- Raposo, L., 1995. Ambientes, Territórios y Subsistencia en el Paleolítico Médio de Portugal. *Complutum*, **6**, 57-77.
- Roberts, D. L., Bateman, M. D., Murray-Wallace, C. V., Can, A. S., Holmes, P. J., 2008. Last interglacial fossil elephant trackways dated by OSL/AAR in coastal aeolianites, Still Bay, South Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **257**, 261-279.
- Schröder-Lanz, H., 1971. Die eisten 14C - datierten mittelwürmbildungen von der südlichen Alentejoküste (Portugal). *Eiszeitalter u. Gegeuwart*, **22**, 35-42.
- Scrivner, P. J., Bottjer, D. J., 1986. Neogene avian and mammalian tracks from Death Valley National Monument, Califórnia. Their context, classification and preservation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **57**, 285-331.
- Straus, L. G., 1992. *Iberia before the Iberians. The Stone Age prehistory of Cantabrian Spain*. University of New Mexico Press, Albuquerque.
- Stuart, A. J., 2005. The extinction of woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) and straight-tusked elephant (*Palaeoloxodon antiquus*) in Europe. *Quaternary International*, **126-128**, 171-177.
- Theodorou, G. E., 1986. Pleistocene elephants from Crete (Greece). *Modern Geology*, **10**, 235-242.
- Theodorou, G. E., 1988. Environmental factors affecting the evolution of island endemics: the Tilos example for Greece. *Modern Geology*, **13**, 183-188.
- Vialov, O. S., 1983. The tracks of prey beasts and birds from the Pliocene of the western Turkmenia. *Paleontologicheskii Sbornik*, **20**, 74-79.
- Zbyszewski, G., 1943. Les éléphants quaternaires au Portugal. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, **24**, 71-89.
- Zbyszewski, G., Veiga Ferreira, O., 1979. Carta Geológica de Portugal na escala de 1/25 000, Notícia Explicativa da Folha das Ilhas Selvagens. *Serviços Geológicos de Portugal*, **28**.