

Morfologia dunar e movimentação de areias entre a lagoa da Ervedeira e o limite sul da Mata Nacional de Leiria

José Nunes André *

Fernando Rebelo **

Pedro Proença Cunha ***

Resumo:

O estudo da morfologia dunar no seu conjunto e a análise pormenorizada de cortes em dunas permitiram concluir sobre a ocorrência de importantes movimentações de areias no litoral centro-oeste português entre a Lagoa da Ervedeira e o limite sul da Mata Nacional de Leiria, desde há séculos. A recolha de areias em postos experimentais permitiu estabelecer ligações com os ventos predominantes e verificar que as dunas ainda se movimentam acarretando dois tipos de riscos eólicos – avanço das areias sobre áreas ocupadas pelo homem e criação de corredores de deflação que facilitam galgamentos marinhos.

Palavras chave:

Dunas, morfologia dunar, riscos eólicos.

Résumé:

L'étude de la morphologie dunaire dans son ensemble et l'analyse détaillée de coupes en certaines dunes ont permis de conclure sur l'existence de mouvements importants de sables dans le littoral centre-ouest du Portugal entre Lagoa de Ervedeira et la limite sud de la Mata Nacional de Leiria. Le recueillage de sables dans des postes expérimentaux a permis d'établir des relations avec les vents dominants et de vérifier la continuation des mouvements des dunes ayant comme conséquence deux types de risques éoliens – l'avancement des dunes sur des installations humaines et la création de couloirs de déflation facilitant l'invasion de la mer.

Mots clés:

Dunes, morphologie dunaire, risques éoliens.

Abstract:

The study of dune morphology and the analysis of some dunes gave the conclusion that important movements of sand occurred in the last centuries at center-west coast of Portugal, between Lagoa da Ervedeira and the southern border of the Mata Nacional de Leiria. Reception of sand in experimental plots showed the relationship with dominant winds as well as the progression of dunes with two eolian risks – sedimentation of sand on human settlements and the opening of corridors that can facilitate sea invasion.

Key words:

Dunes, dune morphology, wind hazard and risks.

Introdução

Areias eólicas cobrem uma área que se estende desde o Rio Mondego até à Nazaré, apenas com uma pequena interrupção à latitude de Vieira de Leiria, que corresponde ao antigo leito de cheia do Rio Lis. Esta área apresenta uma largura variável, que atinge o seu máximo entre Carriço e Monte Redondo (cerca de 12 km) aumentando, novamente, a Sul de Vieira de Leiria até à latitude da Maceira (também com cerca de 12 km) (fig.1).

Nestas areias encontra-se, a profundidades variáveis mas que, normalmente, não ultrapassam 1 m, um substrato escuro consistente, formado por areias eólicas com alguma matéria orgânica. Este horizonte, onde as areias se encontram cimentadas por óxidos de ferro, é semelhante ao horizonte B dos solos podzólicos. Conhecido na região por surraipa, foi utilizado como material de construção (fot. 1).

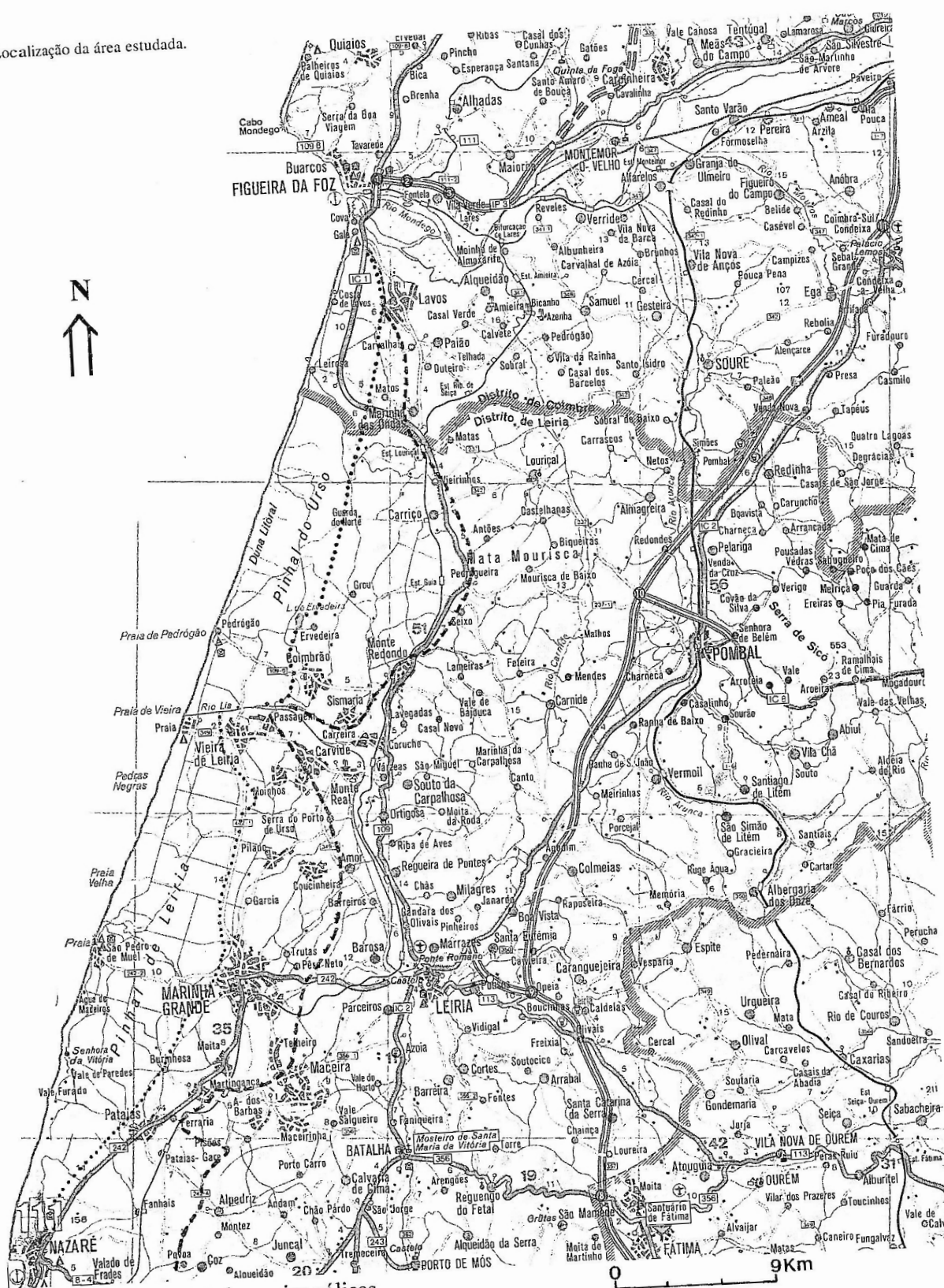
A génese deste material ferro-húmico deverá estar relacionada com fenómenos de lixiviação e com a presença de húmus ácido produzido pelas folhas acerosas da vegetação predominante (*Pinus*) que, com a areia, formam um horizonte A2, tipicamente eluvial (CORDEIRO, 1999). Daí que, numa faixa junto à costa, que chega a atingir 3 km de largura,

* Professor. Centro de Formação de Professores de Conímbriga.

** Instituto de Estudos Geográficos. Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra

***Departamento de Ciências da Terra. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Fig. 1 - Localização da área estudada.



----- Limite oriental das areias eólicas
..... Limite oriental da morfologia dunar

este horizonte não esteja presente, prova clara da arborização recente desta área (de finais do séc. XIX a princípios do séc. XX).

A morfologia dunar, com cristas bem delineadas, não cobre toda a área onde ainda se encontram areias eólicas. Existe uma faixa oriental, com cerca de 6 km de largura média, mas que chega a atingir 9 km, à latitude da Lagoa da Ervedeira, onde as dunas foram completamente erodidas (fig. 1). Para um estudo pormenorizado sobre a morfologia dunar privilegiámos uma área que se estende desde a latitude da Lagoa da Ervedeira (Norte do Pedrógão) até ao Vale de Água de Madeiros a cerca de 4 km a Sul de S. Pedro de Moel (Mata Nacional do Pedrógão, da Lagoa da Ervedeira ao Rio Lis, e Mata Nacional de Leiria, do Rio Lis ao enfiamento do Vale de Água de Madeiros) (fig. 2).

Para este estudo recorremos a fotografias aéreas verticais de 1947 (voo feito pela R.A.F.), de 1989 e de 1991 (destas, apenas a fiada junto à costa), respectivamente nas escalas de 1/30 000, de 1/15 000 e de 1/8 500.

Análise morfológica actual

Pelo esboço morfológico (fig. 2), obtido das fotografias aérea de 1947 e 1989, constata-se a predominância de dunas que, pela sua posição (WNW – ESE) em relação aos ventos predominantes (mais mobilizadores de areia) de N e NW, são consideradas transversais.

Apenas a Norte do Ribeiro de S. Pedro de Moel, ocupando uma área que se estende do aceiro K ao aceiro O, se encontram dunas parabólicas (fig. 3). As dunas parabólicas têm forma de crescente (U ou V) e desenvolvem-se a partir da erosão duma duna móvel pré-existente; apresentam a concavidade voltada ao vento e aparecem isoladas, porque quando avançam, coalescem pelas pontas, tomando a crista uma forma multilobada. Este último facto também se verifica em algumas das dunas parabólicas da área estudada.

O aparecimento de dunas parabólicas nesta área, poderá estar relacionado com o facto de se tratar de um trecho da costa mais exposto aos ventos predominantes mobilizadores de areia que, segundo Custódio de MORAIS (1936), sofreu levantamento já no Quaternário.

Para Norte destas dunas parabólicas e ao longo de toda a faixa litoral, com excepção das frentes urbanas, encontra-se um cordão dunar, que, pela sua posição em relação à costa classificámos por cordão frontal longilitoral. Apresenta uma altura média entre 10 e 15 m, podendo nalguns casos atingir os 20 m. Em algumas áreas surge, imediatamente a nascente e paralelo ao primeiro, um segundo cordão frontal (fot. 2). Este deverá ter sido formado por redução da velocidade do vento que transportava as areias da

praia e da crista das dunas do primeiro cordão, ao entrar numa situação de abrigo formada por este.

O cordão frontal teve a sua origem num ripado (paliçada) que limitava o transporte das areias para leste. Depois de várias tentativas infrutíferas de sementeira e/ou plantação de pinhal próximo da orla marítima, devido ao soterrar pelas areias eólicas, tentou fazer-se a sementeira do pinheiro juntamente com plantas arenófilas e, mais para o interior, com aveia e centeio. Mais tarde, colocou-se na antepraia uma paliçada formada por sebes de ramos. O objectivo era conter o avanço das areias enquanto os pinheiros não nascessem e, mesmo depois, era necessário defendê-los, principalmente aos que estavam mais para Ocidente, dos ventos marítimos que os crestavam e matavam.

Como as sebes perdiam a folhagem e deixavam passar a areia, foram substituídas por uma paliçada formada por tábuas com 2 a 3 m de comprimento (fot. 3). Para permitir a passagem de parte da areia acumulada a barlavento, de duas em duas tábuas havia um intervalo com 2 cm. À medida que a areia se acumulava junto às tábuas, estas eram levantadas por um método engenhoso designado por cábreá (elevador). Estes trabalhos iniciados no final do séc. XIX, prolongaram-se até ao início do século seguinte.

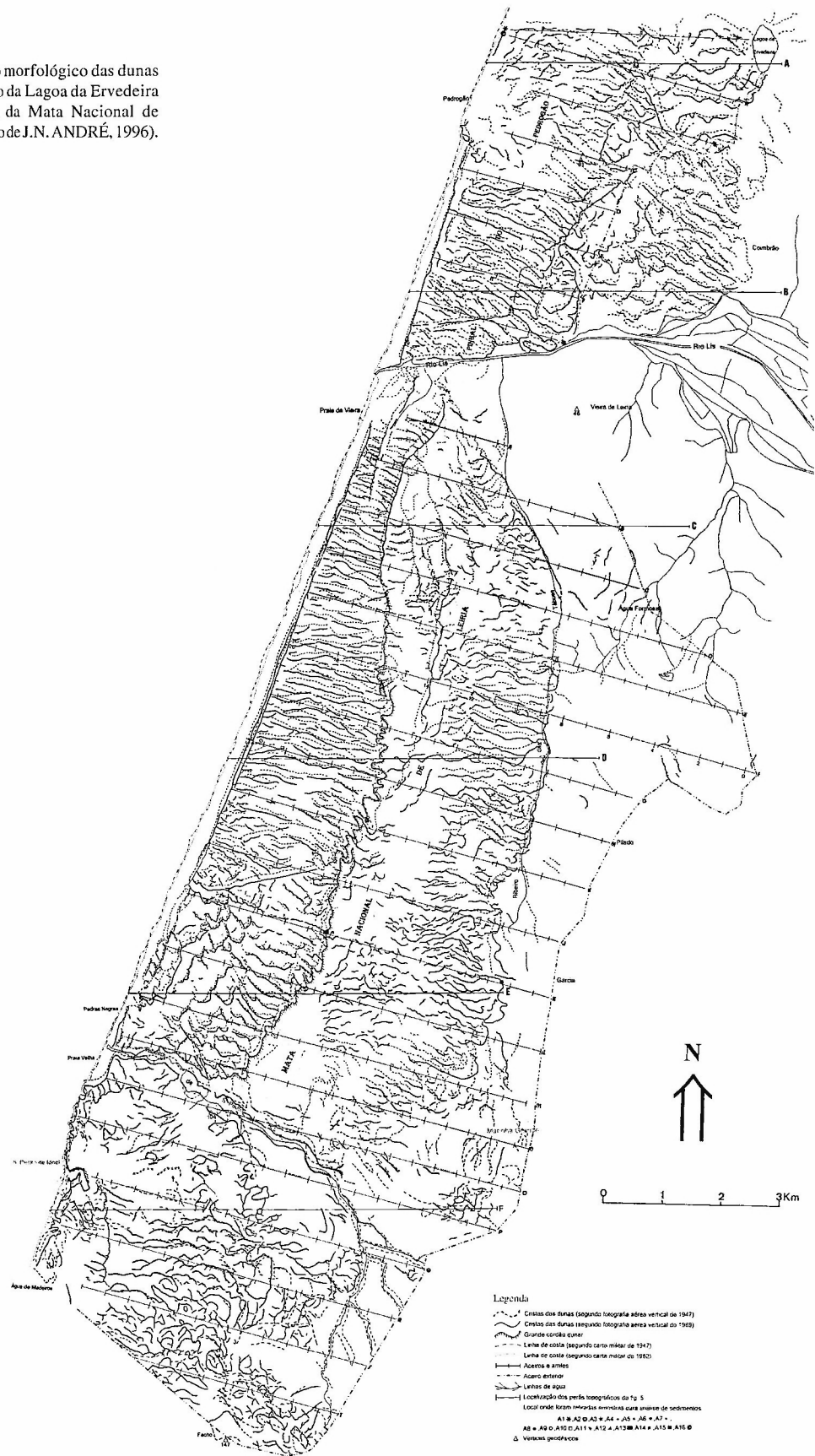
Devido à posterior erosão e movimentação para Nascente das areias eólicas que formam este cordão dunar, hoje podem ver-se vestígios do ripado, mas localizados no flanco ocidental (fot. 4).

Sensivelmente paralelo à linha de costa e a cerca de 2,5 km desta, surge outro cordão dunar que chega a atingir os 147 m de altitude (Ponto de Vigia do Facho, limite Sul da Mata Nacional de Leiria), o ponto mais alto no sistema dunar. Este imponente cordão dunar, que se encontra em toda a área em estudo, prolonga-se para Norte (Mata Nacional do Urso) atingindo 70 m de altura.

Analisando a *Carta Topográfica do Pinhal Nacional de Leiria e Seus Arredores*, datada de 1841 (fig. 4), verificámos que este cordão dunar correspondia à orla ocidental do pinhal na data da sua elaboração. Também escritos de 1841 referem toda a área para Ocidente como sendo de “areias por arborizar”.

Com o objectivo de provar que a orla ocidental do pinhal se manteve aqui durante muito tempo, num local onde o cordão dunar atinge cerca de 60 m de altura, onde os Serviços Florestais concessionaram a extracção de areia durante várias dezenas de anos (fot. 5), encontramos, desde a base até próximo do topo, troncos de pinheiros antigos, que ficaram a descoberto devido à remoção da areia. Uma amostra retirada de um tronco situado a cerca de 2 m da base da escavação, datada pelo Instituto Tecnológico e Nuclear pelo método de C14 (referência de Laboratório ICE-1299), forneceu a idade de 370±40 anos BP.

Fig. 2 - Esboço morfológico das dunas entre o paralelo da Lagoa da Ervedeira e o limite sul da Mata Nacional de Leiria (adaptado de J.N. ANDRÉ, 1996).



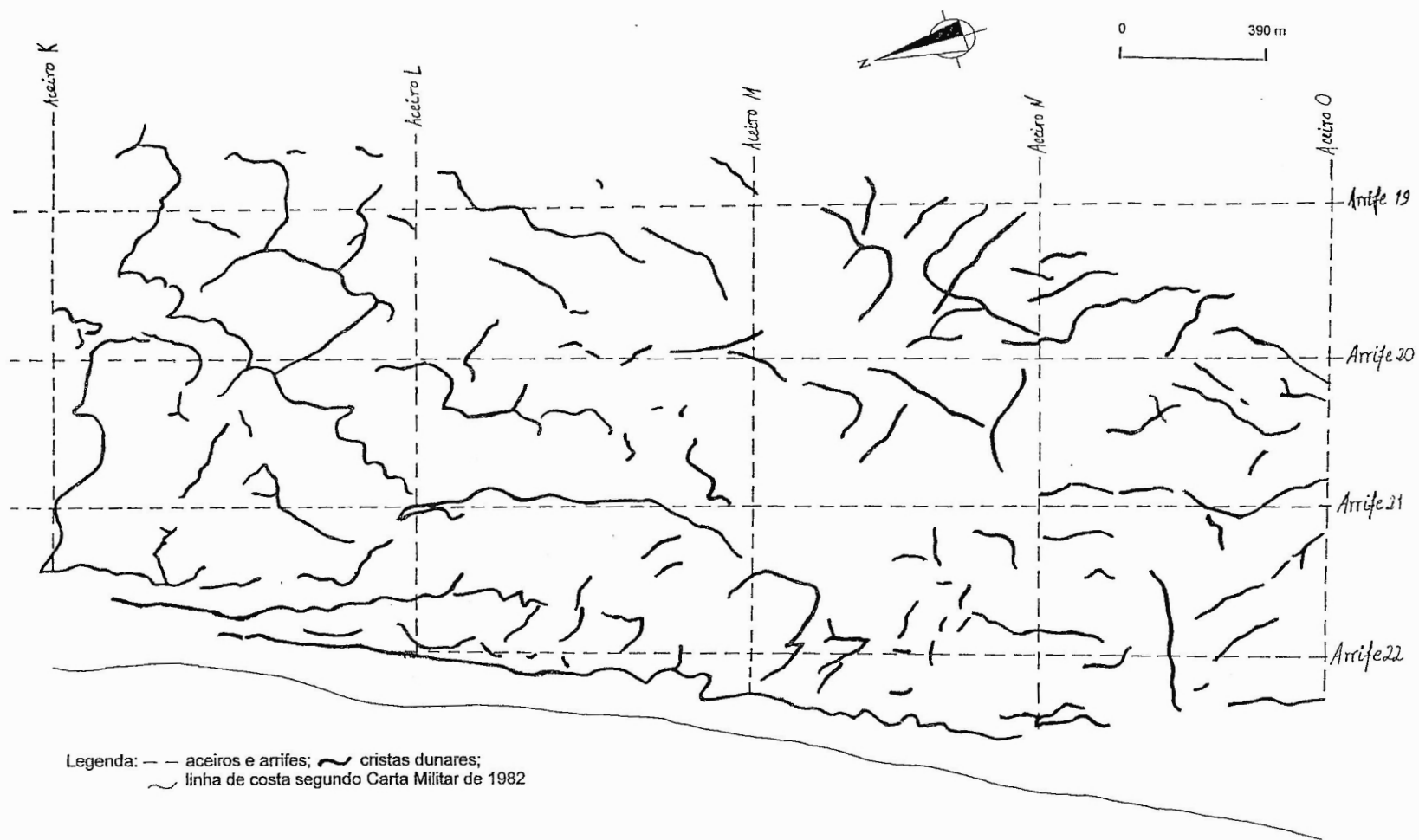


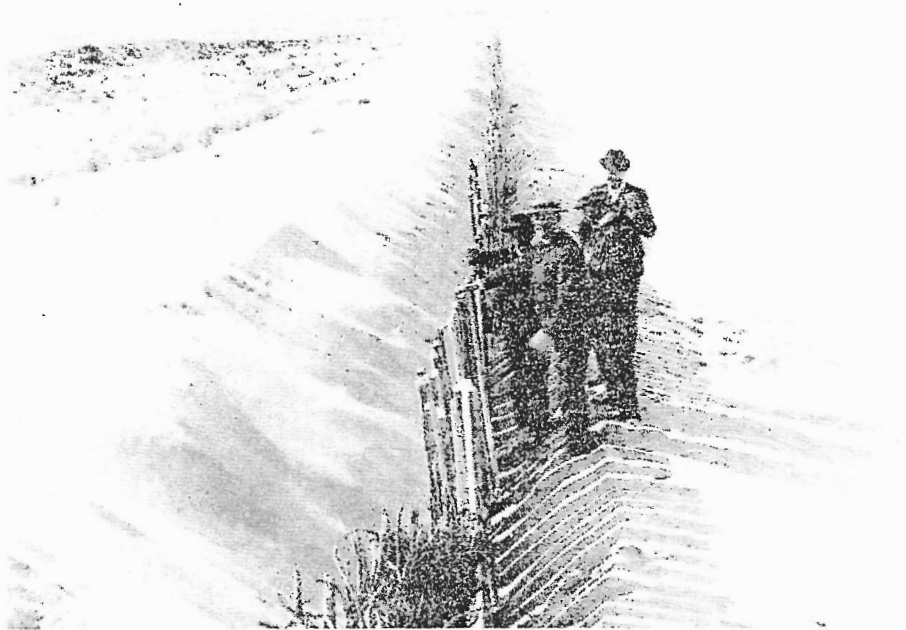
Fig. 3 - Esboço morfológico de dunas parabólicas, efectuado a partir de fotografia aérea vertical de 1991, na escala 1:8.500 (adaptado de J.N. ANDRÉ, 1996).



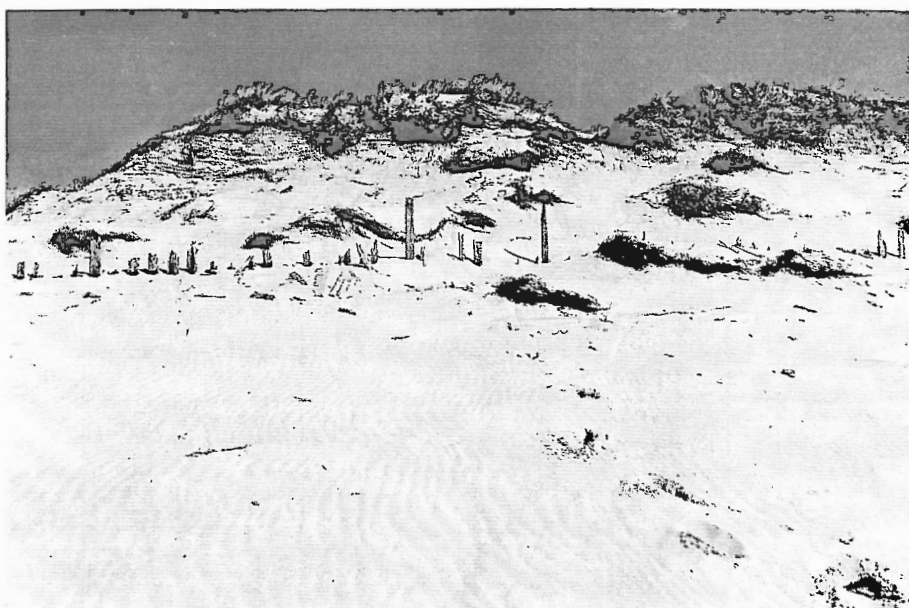
Fot. 1 - Construção antiga feita em surraipa.



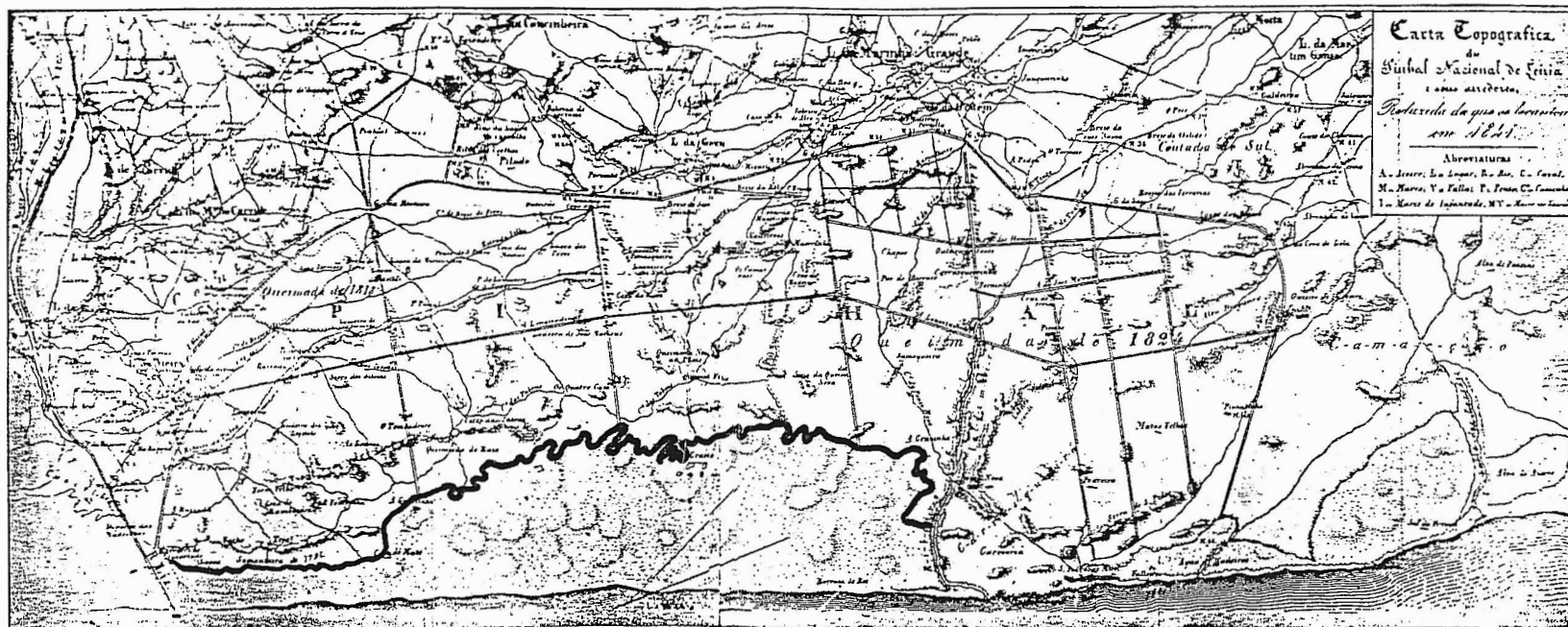
Fot. 2 - Segundo cordão dunar frontal.



Fot. 3 - Colocação de tábuas (ripado ou paliçada) para formação de dunas (fotografia pertencente a uma colecção dos Serviços Florestais).



Fot. 4 - Vestígios do ripado ou paliçada, hoje no flanco ocidental do cordão frontal longilitoral.



~ Limite ocidental do Pinhal em 1841 (coincidente com o actual grande cordão dunar).

Fig. 4 - Antiga Carta Topográfica do Pinhal Nacional de Leiria (adaptada de F.M. Pereira da SILVA e Caetano M. BATALHA, 1841).



Fot. 5 - Antiga exploração de areia no grande cordão dunar, próximo do entroncamento entre o aceiro I e o arrife 15.

Esta datação corresponde ao período entre 1540 e 1620, imediatamente antes da última pequena idade do gelo, quando as condições climáticas na costa ocidental deveriam ser de ventos fortes, associados a frio seco. Facto que deverá ter facilitado uma intensa mobilização eólica das areias, dando assim origem a dunas tão imponentes.

Imediatamente a Oriente deste grande cordão dunar é visível uma área onde as dunas quase desapareceram. Facto que deverá estar relacionado com o efeito de barreira, em relação às areias eólicas feito por este cordão dunar.

Mais para o interior, identificam-se esboços de outros dois cordões dunares também, sensivelmente, paralelos à linha de costa, mas já bastante erodidos. O mais próximo do grande cordão dunar chega a ultrapassar os 60 m de altitude, 20 m de altura, e é visível na zona intermédia da área em estudo. O que fica mais a Oriente está mais visível. Ultrapassa, por vezes, os 20 m de altura e, segundo a Carta Geológica de Portugal, localiza-se sensivelmente nos contactos geológicos das unidades “dunas e areias de dunas” (Moderno) e “materiais plio-pleistocénicos”. É, em grande parte, o limite oriental do complexo dunar.

Conclui-se assim que, para Oriente deste último cordão dunar, as formações eólicas quase desaparecem. No entanto, elas só vão desaparecer, completamente, a partir do limite oriental da Mata Nacional de Leiria. A Norte do Rio Lis as formações eólicas, com cristas bem delineadas, continuam para Oriente da Mata

Nacional do Pedrógão, já em terrenos particulares. Esta diferença deve-se ao facto de a Sul do Rio Lis (Mata Nacional de Leiria) as povoações da Marinha Grande, Garcia, Pilado, Água Formosa e Vieira de Leiria, com os seus campos agrícolas, fazerem fronteira com o aceiro exterior, limite oriental do Pinhal Nacional. A Norte do Rio Lis a povoação do Coimbrão encontra-se afastada do limite oriental da Mata Nacional do Pedrógão.

Com o objectivo de perspectivar a morfologia dunar que se dispõe paralelamente à linha de costa, nomeadamente os cordões dunares que referimos, elaborámos, no sentido W-E, seis perfis topográficos (fig. 5). Distanciados entre si cerca de 4 km, foram referenciados de Norte para Sul com as letras A, B, C, D, E e F.

Analisando os perfis, verifica-se que no A o cordão dunar frontal não está bem definido, possivelmente, devido ao facto da sua aproximação com a povoação do Pedrógão e, também, de uma desenfreada extracção de areia na antepraia, que durou até princípios da década de 80. A maior altitude (marco geodésico do Ferreiro) corresponde ao grande cordão dunar já referido e que também se encontra bem destacado nos perfis D, E e F. Este cordão dunar aparece menos destacado, ocupando uma posição mais ocidental no perfil C. Este facto deverá estar relacionado com a arborização, que aqui, se aproximou da costa primeiro do que a Norte e a Sul, como se pode ver na referida Carta *Topográfica do Pinhal Nacional de Leiria e*

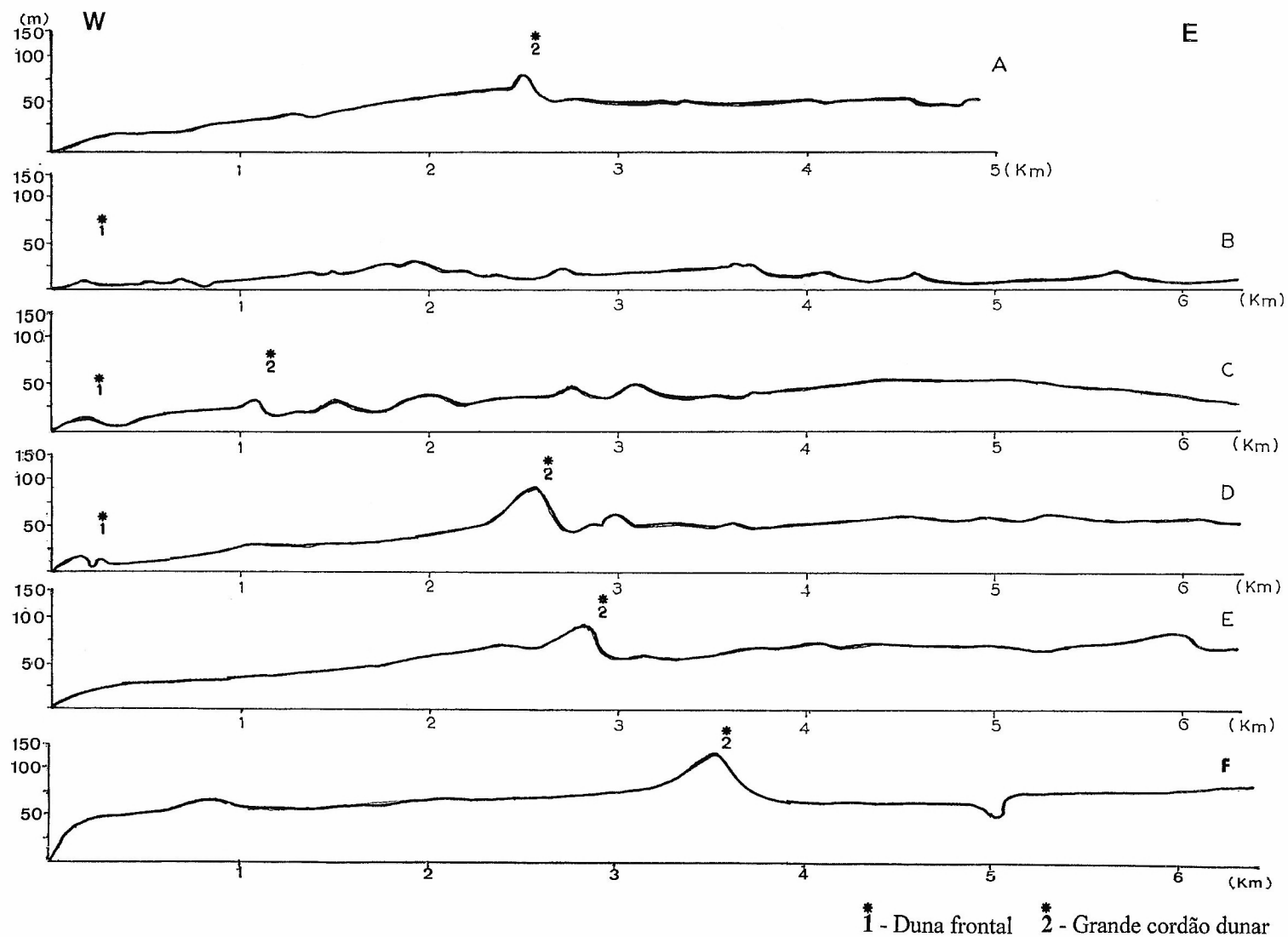


Fig. 5 - Perfis topográficos (localizados na Fig. 2).

Seus Arredores (fig. 4), que faz referência a uma sementeira em 1791, nesta área. A deambulação do troço final do Rio Lis até meados do séc. XX, poderá ser a justificação de no perfil B este grande cordão dunar não estar evidente.

O cordão dunar frontal, bem visível nos perfis B, C e D, também não se identifica nos perfis E e F. A parte mais ocidental do perfil E corresponde a uma área que, como já referimos, terá sofrido, no Quaternário, um ligeiro levantamento. No perfil F, o contacto com a praia é feito por arriba talhada em calcário margoso. Na parte superior desta arriba é visível uma morfologia que corresponde a areias eólicas depositadas antes do soerguimento deste trecho da costa e que estavam em continuidade com uma extensa praia arenosa. Também neste perfil, é nítido, a cerca de 5 km da costa, o encaixe do Ribeiro de Moel, com dunas mais altas a Nascente.

No perfil D, é bem visível um segundo cordão dunar frontal paralelo ao primeiro a que já fizemos referência.

No perfil E, destaca-se, a Oriente, um cordão dunar que corresponde ao limite oriental da morfologia dunar.

Análise dinâmico-sedimentar – metodologia

Aprofundar o estudo da morfologia dunar implica também o desenvolvimento de técnicas de quantificação. Nesse sentido e com o objectivo de avaliar o material deslocado pelo vento, foram construídos postos de observação sobre as cristas das dunas frontais. Durante um certo período de tempo, todos os dias, entre as 17 e as 18 horas, foram visitados estes postos de observação e recolhidas para pesagem as areias que, eventualmente, se encontrassem nas armadilhas (sacos) que os formavam.

Com o fim de analisar em que condições meteorológicas se processou a movimentação do material eólico, recorremos às informações do Posto Meteorológico de S. Pedro de Moel, colocado sobre uma duna, no topo de uma arriba e junto da linha de costa.

Além da velocidade média, foi-nos cedida informação sobre a velocidade do vento às 9 e às 18 horas, assim como os respectivos rumos e ainda a pluviosidade diária. No entanto, e atendendo a que os valores médios da velocidade do vento estão compreendidos entre as 9 horas de um dia e as 9 horas de outro, havendo portanto um desfasamento de 8 a 9 horas com o período de leitura do material eólico e, ainda porque este posto meteorológico não possui registo sobre eventuais rajadas que se tivessem verificado, recorremos, também, ao Posto Meteorológico da Base Aérea de Monte Real.

Apesar deste Posto se encontrar a cerca de 9 km da linha de costa, o pormenor dos dados disponibilizados

sobre o vento, foram importantes para a interpretação da movimentação do material eólico recolhido, nomeadamente, as médias diárias e de hora a hora, o registo de rajadas e os respectivos rumos.

Neste trabalho apenas vamos fazer a análise global da movimentação do material eólico, pois a análise exaustiva, dia a dia, foi feita no trabalho inicial, *Morfologia Litoral da Área Compreendida entre o Cabo Mondego e S. Pedro de Moel* (J. N. ANDRÉ, 1996).

Numa primeira fase de observação, que decorreu de 12 de Novembro a 31 de Dezembro de 1980, foram colocados dois postos no topo de dunas frontais. Um localizado a cerca de 3,750 km a Sul da foz do Rio Lis (posto 1) e o outro a cerca de 1,250 km a Norte da foz do Ribeiro de Moel (posto 2).

Cada posto era constituído por seis sacos com uma abertura de 15 cm de diâmetro, quatro dos quais colocados em semicírculo sobre estacas a 20 cm do topo da duna (fot. 6). Estavam orientados para os pontos cardeais e colaterais correspondentes ao rumo dos ventos que pareciam ser os mais importantes na explicação da dinâmica dunar.

Durante os cinquenta dias de observações, em dezoito registaram-se movimentações de areia, em maior ou menor quantidade, mas sem atingirem quantidades tão significativas como nas fases seguintes, quando, por vezes, as dimensões dos sacos não foram suficientes para conter toda a areia em trânsito.

Globalmente, nesta primeira fase, foi recolhida maior quantidade de areia no posto colocado mais a Sul (posto 2), com um total de 17 438 g, para 66 recolhas; no colocado mais a Norte (posto 1), o total foi de 13 720 g, para 57 recolhas (quadro 1 e fig. 6 e 7), o que deverá estar relacionado com a posição que os postos ocupavam no cordão dunar.

Apesar dos dois postos se encontrarem instalados sobre dunas frontais, as alturas dessas dunas eram diferentes. Cerca de 15 m para a do posto 1 e cerca de 5 m para a do posto 2, também o topo da primeira duna tinha menor superfície. Assim, a areia eólica retirada da praia (principal fonte de alimentação), mais facilmente chega ao topo das dunas mais baixas.

A maior superfície de deflação no topo da duna e mais dias de recolha terão também contribuído para a maior quantidade de areia recolhida no posto 2.

Numa segunda fase de observação (de 5 de Janeiro a 31 de Março de 1984), eliminou-se o posto colocado mais a Sul (posto 2), manteve-se o que se encontrava a Norte (posto 1) e foi criado um novo posto no interior (posto 3), a 2,8 km da linha de costa e à mesma latitude do posto 1. Com o objectivo de verificar a importância dos ventos vindos de terra na mobilização das areias, os postos de observação passaram a ter mais 4 sacos de recolha de areias, formando com os iniciais um círculo. Dispostos



Fot. 6 - Posto 1, primeira fase de observações – 1980.

Quadro 1
Resumo da movimentação do material eólico
Posto 1 e 2 na 1ª fase de observação – 1980

Orientação	Altura (cm)	Quantidade de areia recolhida (g)		Número de Recolhas	
		Posto 1	Posto 2	Posto 1	Posto 2
Norte	20	4098	2264	8	9
Noroeste	20	3236	2722	11	11
Oeste	20	324	3375	7	10
Sudoeste	20	787	794	6	8
Vertical	20	156	759	7	11
Vertical	00	5119	7524	18	17
Total		13720	17438	57	66

Total de dias de observações 52

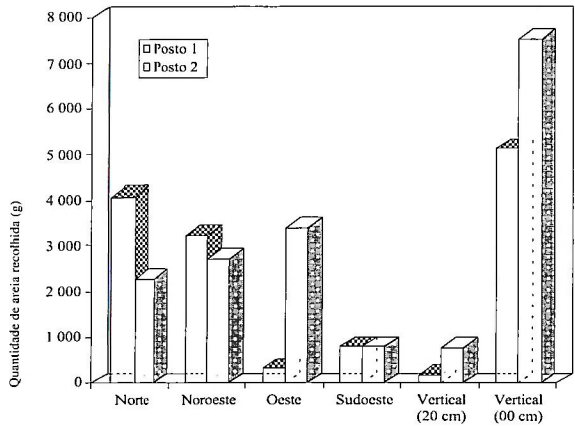


Fig. 6 - Resumo da movimentação do material eólico.
Posto 1 e 2 na 1ª fase de observação – 1980.

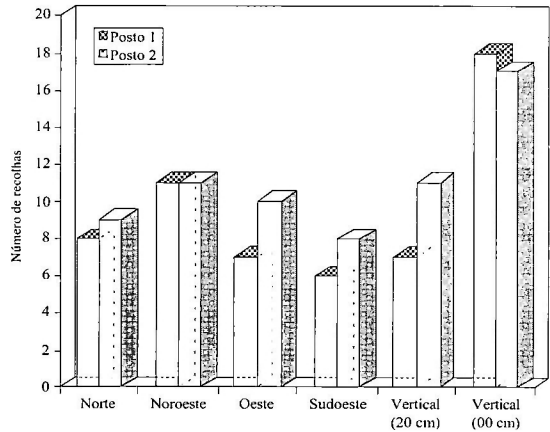


Fig. 7 - Resumo da movimentação do material eólico. Posto 1 e 2
na 1ª fase de observação – 1980.

também a 20 cm de altura, orientados para S, SE, E e NE. Para tentar quantificar a hipotética acumulação ou deflação das areias na crista da duna foi, também, colocada no centro do círculo uma régua na vertical (fot. 7).

O novo posto (3) estava colocado no topo de uma duna, numa zona onde os Serviços Florestais tinham procedido a um corte florestal pouco tempo antes. Tratava-se de verificar até que ponto os cortes florestais, mesmo no interior, poderão dar origem à movimentação de areias eólicas.

Foi interessante verificar que este novo posto de observação só uma vez, durante os três meses, apresentou quantidade significativa de areia para pesagem. Facto que deverá estar relacionado com a vegetação arbustiva e com a caruma que permanecem mesmo depois do corte. No entanto, algo acontece em termos de movimentação eólica e que poderá ter consequências em termos históricos.

Com efeito, no dia 2 de Fevereiro de 1984, encontraram-se vestígios de material muito fino nos sacos colocados a 20 cm de altura, orientados a NW, W e SW, e 40 g de areia no saco colocado ao nível do solo. A velocidade do vento no Posto Meteorológico de S. Pedro de Moel foi de 27 km/h às 18 horas do dia 1, com rumo de Oeste e de 30 km/h às 9 horas do dia 2, com rumo de NW. Não foi registada pluviosidade no dia 1, mas foram registados 5 mm no dia 2. No Posto Meteorológico da Base Aérea de Monte Real, durante as 24 horas em que decorreu o período de recolha de areias, foi registada uma velocidade média de 25,72 km/h do rumo de NW. No entanto, registaram-

-se rajadas de 95 km/h do mesmo rumo e de 45 km/h, 46 km/h e 41 km/h, estas do rumo N.

Neste mesmo dia, no posto 1 (situado junto à costa), os sacos colocados a 20 cm de altura e orientados a N, NW, W e NE, apresentaram respectivamente 8 520, 8 200, 5 255 e 3 090 g de areia, tendo os três primeiros e o colocado ao nível do solo (com 5 080 g) ficado completamente cheios; admitimos que poderiam ter recolhido mais areia se fossem de maiores dimensões. Refira-se, ainda, que neste período se verificou uma deflação no topo da duna com cerca de 6 cm.

No novo posto (3) só num outro dia (6 de Fevereiro) se recolheu ainda alguma areia (2 g, no saco colocado ao nível do solo).

Com o objectivo de obter mais dados sobre a quantificação do material deslocado pelo vento, cobrindo os meses do ano que faltavam e até repetindo alguns, desde 1990 até 1994 foram efectuadas novas leituras para observação da movimentação do material eólico.

Análise dinâmico-sedimentar – análise global dos dados recolhidos

Feita uma análise global da movimentação do material eólico em todas as fases de observações, de 1984 a 1994 (quadro 2 e Fig. 8 e 9), retomando o que já se escreveu sobre este assunto (F. REBELO e J. N. ANDRÉ, 1986 e J. N. ANDRÉ e F. REBELO, 1992) e, repensando tudo com novos elementos, tiraram-se algumas conclusões.

Em primeiro lugar, o saco colocado ao nível do solo, voltado para cima, foi o que recolheu maior



Fot. 7 - Posto 1, segunda fase de observações – 1984 – 1994.

quantidade de areia: mais do dobro do que aquele que lhe está imediatamente a seguir e quase a mesma quantidade recolhida pelos restantes nove sacos. Este facto deverá estar relacionado com a posição em que se encontrava no topo da duna, pois permitiu-lhe recolher a areia vinda de todos os quadrantes e em todas as formas de deslocação: reptação, saltação e suspensão. Relacionando ainda a quantidade de areia nele recolhida com a dos que se encontravam colocados a 20 cm de altura, podemos inferir que a maior parte da deslocação da areia se fez por reptação.

Dos sacos colocados a 20 cm de altura, foi o voltado a N que recolheu maior quantidade de areia. Este facto estará relacionado com a maior frequência e velocidade média do vento deste rumo, que se comprova quer no Posto Meteorológico de S. Pedro de Moel, quer no da Base Aérea de Monte Real (quadros 3 e 4);

Seguem-se-lhes, por ordem decrescente, os sacos voltados a NW, NE e W. Os dois últimos, apesar de apresentarem valores significativos, recolheram menos de metade da areia dos voltados a N e NW, justificando a progressão das dunas para SSE (fig. 2). A areia recolhida nos sacos voltados a NE e a W não se

Quadro 2

Resumo da movimentação do material eólico
Posto 1 em todas as fases de observações de 1984 a 1994.

Orientação	Altura (cm)	Quantidade de areia recolhida (g)	Número de recolhas
Norte	20	68611	62
Noroeste	20	56046	65
Oeste	20	19945	55
Sudoeste	20	1044	31
Sul	20	1034	29
Sudeste	20	1931	24
Este	20	2471	36
Nordeste	20	23447	52
Vertical	20	4246	41
Vertical	00	167798	88

Total da deflação 107,70 centímetros

Total da acumulação 3,75 centímetros

Total de dias de observações 424

Nota: Dada a flexibilidade do material com que foram feitos os sacos, que recolheram o material eólico em movimento, nem sempre encheram com o mesmo peso de areia. Por isso, na elaboração dos quadros 1 e 2 e figuras 6 e 8 e, sempre que existia indicação que o saco tinha enchido considerou-se não o peso real da areia recolhida mas, o peso de 8 500 gramas, que foi o máximo de areia recolhida num só saco, em todas as fases de observação.

Este facto, aconteceu 10 vezes no saco colocado ao nível do solo e voltado para cima. Nos sacos colocados a 20 cm ocorreu 6 vezes no voltado a N, 4 vezes no voltado a NW e 1 vez nos voltados a W e a NE. Refira-se, também, que para pesagem apenas se consideraram valores iguais ou superiores a 10 gramas. Quando os sacos recolhiam areia mas, não atingiam estes valores apenas foi registada como vestígios. No entanto, os dias em que tal aconteceu foram considerados como dias de recolha.

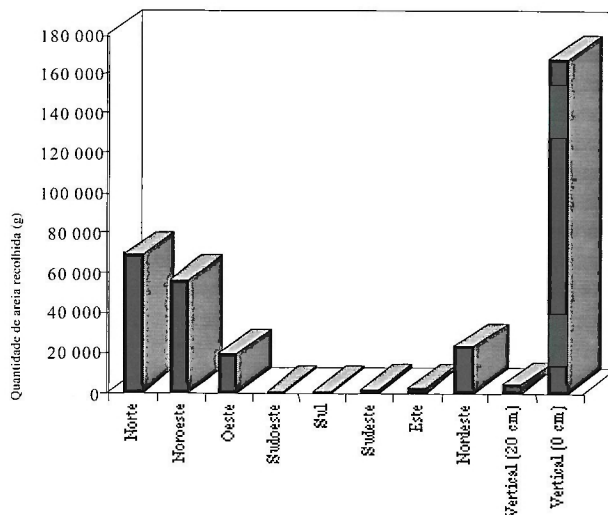


Fig. 8 - Resumo da movimentação do material. Posto 1 em todas as fases de observações de 1984 a 1994.

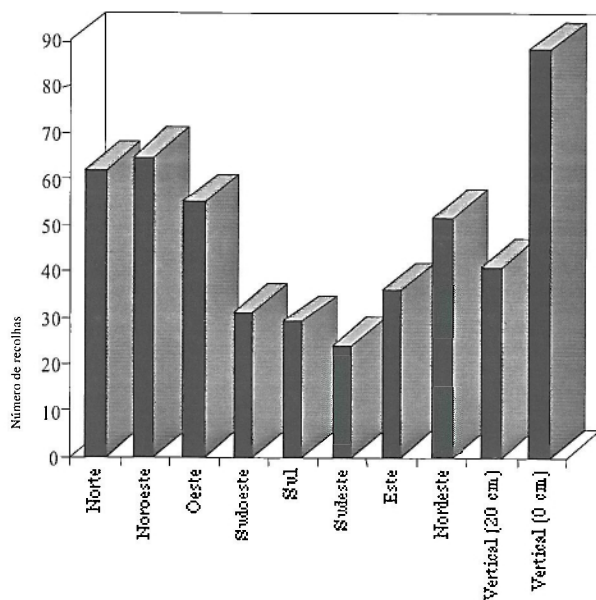


Fig. 9 - Resumo da movimentação do material. Posto 1 em todas as fases de observações de 1984 a 1994.

deverá tanto à frequência e velocidade média do vento desses rumos, mas à aproximação com os sacos dos rumos de N e NW.

Os sacos voltados a E, SE, S e SW surgem com valores pouco significativos de areia recolhida quando comparados com os que já referimos. Nos três primeiros, estes valores estão justificados pela fraca frequência e velocidade média com que o vento sopra desses rumos, nomeadamente, no Posto Meteorológico de S. Pedro de Moel.

O saco voltado a SW foi um dos que ao longo dos quase dezasseis meses de leituras recolheu menos

Quadro 3

Dados meteorológicos do vento em S. Pedro de Moel.

(Lat: 39°45'N Long: 09°02'W Alt: 40m)

Período: 1964-1990

MÊS	VENTO																	
	Frequência, F (%) e Velocidade Média, V (Km/h) por Rumor																	
	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		C	V Km/h
	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	
JAN	8,7	20,5	15,7	9,6	21,1	9,7	19,0	11,2	5,1	13,3	10,4	20,2	9,1	18,6	6,3	21,3	4,6	13,9
FEV	12,8	18,5	14,7	9,6	13,8	9,3	13,2	12,3	5,6	12,5	12,7	20,6	11,3	17,6	10,6	16,5	5,3	15,0
MAR	24,0	17,7	12,4	9,6	12,1	9,5	8,4	10,4	3,7	11,0	10,2	16,0	10,0	14,8	14,4	15,8	4,8	13,8
ABR	29,0	17,8	8,3	10,0	7,2	11,4	6,9	12,0	3,3	10,5	13,4	16,5	12,3	13,5	15,4	15,3	4,1	14,3
MAI	32,7	16,9	5,1	10,1	3,6	9,6	3,6	10,5	3,7	10,7	17,5	13,9	12,1	11,1	17,8	12,5	3,8	13,0
JUN	38,9	13,5	4,3	9,9	3,0	9,9	2,7	8,4	2,5	9,2	16,3	12,6	10,2	8,4	17,4	11,1	4,7	10,8
JUL	45,0	12,6	6,7	10,8	1,6	10,5	0,5	8,4	1,5	8,1	16,2	10,2	8,8	7,0	19,0	9,1	5,3	9,9
AGO	49,4	12,7	8,5	11,4	1,9	10,2	1,7	8,8	1,7	7,4	12,7	10,9	6,0	6,3	11,9	9,5	6,2	9,3
SET	33,4	11,9	9,9	9,8	4,8	9,9	5,0	11,0	4,2	10,1	16,9	9,9	6,4	6,7	12,0	8,4	7,4	8,8
OUT	24,1	13,1	18,7	9,0	8,3	9,1	11,3	12,1	5,2	12,5	12,6	14,5	5,5	16,3	7,8	14,2	6,4	11,5
NOV	12,7	17,0	20,2	9,2	19,1	9,7	17,1	10,7	4,4	12,0	8,4	15,9	5,5	14,7	8,3	17,1	4,3	12,2
DEZ	8,5	16,7	22,5	9,6	20,0	9,6	18,4	13,0	4,1	15,4	10,2	22,1	8,0	21,1	5,8	18,1	2,5	13,3
ANO	26,3	14,8	12,2	9,7	9,7	9,7	8,9	11,5	3,7	11,6	13,2	14,7	8,8	13,1	12,3	13,1	4,9	12,2

Fonte: Instituto de Meteorologia

Quadro 4

Dados meteorológicos do vento em Monte Real/Base Aérea.

(Lat: 39°50'N Long: 08°53'W Alt: 52m)

Período: 1961-1990

MÊS	VENTO																	
	Frequência, F (%) e Velocidade Média, V (Km/h) por Rumor																	
	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		C	V Km/h
	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	
JAN	9,5	16,5	2,7	10,1	2,5	10,2	28,6	12,1	13,5	14,8	5,7	22,4	9,4	20,2	7,7	19,1	16,8	8,7
FEV	14,0	16,5	6,1	10,0	2,5	11,0	19,2	11,6	10,3	15,2	5,7	23,7	10,2	22,8	12,3	19,1	15,3	9,6
MAR	19,1	19,8	6,9	10,6	2,5	10,8	15,0	12,5	7,2	14,6	5,7	25,0	8,1	20,3	14,5	18,1	15,4	9,3
ABR	28,5	21,0	5,3	10,8	2,5	10,3	6,0	11,4	6,0	13,7	5,7	19,0	10,7	19,5	20,0	19,3	12,3	9,9
MAI	33,2	21,0	2,6	13,3	2,5	10,9	3,6	12,0	5,3	15,9	5,7	20,9	10,6	17,5	25,9	18,4	10,3	10,8
JUN	31,5	19,9	2,3	10,5	2,5	13,1	2,2	11,7	2,8	12,6	5,7	17,6	13,7	17,2	30,5	17,3	8,8	10,3
JUL	38,3	19,8	2,0	8,8	2,5	7,7	1,1	9,7	1,9	9,2	5,7	11,2	12,6	14,7	33,8	17,9	6,5	11,4
AGO	43,2	19,9	1,9	11,1	2,5	8,6	1,2	9,3	1,4	9,3	5,7	11,3	7,8	15,8	31,3	16,8	10,8	10,5
SET	24,7	17,3	2,3	9,0	2,5	8,9	6,1	9,3	4,8	13,1	5,7	15,5	12,6	17,4	20,9	16,9	20,9	8,5
OUT	16,7	16,6	4,9	8,7	2,5	10,6	16,9	11,7	7,6	12,4	5,7	19,6	7,1	16,0	14,0	17,2	23,6	7,7
NOV	14,4	16,7	6,5	10,1	2,5	8,3	24,6	10,9	9,0	14,2	5,7	21,3	6,4	16,6	11,4	18,2	17,9	8,3
DEZ	15,8	14,9	8,6	9,3	2,5	8,4	26,9	10,4	8,8	12,6	5,7	19,6	5,1	20,0	7,3	16,1	18,0	9,3
ANO	24,1	19,0	4,3	10,1	2,5	10,0	12,6	11,4	6,5	13,8	5,7	20,0	9,5	18,0	19,2	17,8	14,7	9,5

Fonte: Instituto de Meteorologia

quantidade de areia, apesar da frequência e velocidade média do vento deste rumo serem das mais elevadas. No Posto de S. Pedro de Moel apenas o rumo de N tem maior frequência e velocidade média. A justificação poderá residir no facto do vento deste rumo estar associado a perturbações da frente polar, associadas, portanto, a pluviosidade, o que se relaciona com a maior dificuldade que a areia tem em movimentar-se depois de molhada. A água vai preencher os interstícios entre os grãos, dando-lhes maior coesão.

Por último, refira-se a quantidade de areia recolhida no saco colocado a 20 cm, voltado para cima. Apesar de receber a areia vinda de todos os quadrantes, o valor recolhido é insignificante quando comparado com o saco colocado na mesma posição, mas ao nível do solo. Este facto vem demonstrar, mais uma vez, que o material eólico recolhido se deslocou, essencialmente, por reptação.

A régua colocada no posto de observação durante quatrocentos e vinte e quatro dias quantificou uma deflação de 107,7 cm, contra apenas 3,75 cm de acumulação. Chegámos a assistir a uma deflação diária de 15 cm. Contudo, não podemos concluir que as dunas do cordão litoral estão a ser destruídas a este ritmo; o que se verifica é uma migração das dunas para SSE, como já referimos, consequência dos ventos mais mobilizadores de areia. Como resultado desta migração é frequente encontrarem-se pinheiros rastejantes, caídos no flanco ocidental das dunas frontais. No entanto, onde a cobertura vegetal foi mais destruída, abrem-se longos corredores de deflação, dando origem a novas dunas mais a sotavento, mas perpendiculares à costa (fot. 8).

Ao longo das várias fases de recolha de material eólico e para acompanhar a migração da duna, tivemos necessidade de deslocar o posto de observação. Analisando o afastamento entre alguns suportes que anteriormente serviram de apoio aos sacos, hoje numa situação de flanco ocidental e os mais recentes (fot. 9), podemos deduzir que, no período analisado, a migração das dunas primárias foi de cerca de 15 a 20 cm por ano.

Também a posição actual do ripado ou paliçada, que, como já referimos, esteve na origem das dunas do cordão litoral, serviu para avaliar a migração actual das dunas frontais. Quando se formaram, o ripado estaria próximo do flanco oriental, pois a deposição da areia verificava-se a barlavento, mas dado que as tábuas não estavam justapostas (espaçadas duas a duas 0,02 m) alguma areia acumulada passava para sotavento. Hoje, bastante degradado, o que resta desse ripado encontra-se numa situação de flanco ocidental (fot. 4).

A análise morfoscópica à lupa binocular de 100 grãos de quartzo hialino em cada amostra, num total de dezasseis amostras seleccionadas, onde se obteve o grau de arredondamento e o brilho, permitiu constatar que na distribuição geográfica dos grãos, o seu arredondamento tende a aumentar do litoral para o interior. Os grãos são, geralmente, brilhantes e pouco brilhantes nas dunas frontais, tornando-se mais foscos nas dunas interiores. Estas características revelam que a alimentação das dunas interiores se faz, essencialmente, por transporte eólico a distâncias consideráveis.



Fot. 8 - Duna recente, em formação, a sotavento do cordão dunar frontal longitudinal.

Análise dos índices climáticos elaborados para o limiar da movimentação das areias eólicas

A ruptura da inércia dos grãos de areia depende da velocidade e frequência do vento, bem como de outros factores. A precipitação, a humidade atmosférica e a duração do período seco são também factores importantes neste processo, aumentando ou diminuindo a coesão dos grãos.

A precipitação e a humidade atmosférica fornecem água que preenche os interstícios entre os grãos, constituindo o elemento aglutinador das areias. Quanto mais abundante e melhor distribuída for a precipitação, maior e mais duradoura é a coesão entre os grãos de areia e, consequentemente, mais difícil a sua mobilização (B. SWAN, 1979). Contudo, esta depende, fundamentalmente, da velocidade do vento.

Relacionando-se com a humidade do ar, a presença de nevoeiro é também importante nestas áreas.

Por sua vez, a temperatura condiciona, indirectamente, a mobilização das areias, dado que tem influência na humidade relativa e na evaporação.

De igual modo, a maior ou menor duração do período seco aumenta ou diminui a humidade atmosférica.

A maior ou menor profundidade a que se encontre o nível freático também poderá ter influência na humidade existente entre os grãos de areia.

As praias, os cordões litorais livres, as ilhas barreiras, as restingas ou os cabedelos são fontes de alimentação de material mobilizável pelo vento. No caso da área em estudo, a única fonte é a praia. Pelo que, o seu declive, assim como as variações do nível do mar, quer à escala geológica, quer à escala diária em função das marés, são importantes, pois estão na origem de diferentes extensões de areia

mais ou menos húmida, influenciando assim a quantidade de material mobilizado pelo vento.

Também a maior ou menor agitação do mar tem influência na humidade existente na superfície de deflação. As ondas que rebentam junto à costa deixam espuma no areal e em suspensão (salsugem), que poderão fazer-se sentir por várias centenas de metros. Neste caso, o limiar repouso-movimento da areia é alterado, a quantidade de material deslocado pelo vento será menor.

A velocidade do vento é, no entanto, o principal factor para que as areias sejam postas em movimento. O vento terá que vencer a força da gravidade, responsável pela imobilidade dos grãos de areia. Sendo variável a dimensão e densidade destes, a velocidade do vento necessária para os movimentar estará na razão directa desta variabilidade.

Diversas têm sido as fórmulas propostas para exprimir a velocidade limiar repouso-movimento das areias; no entanto, alguns factores que referimos e que influenciam este limiar não estão nelas contemplados.

Convictos da impossibilidade de conjugar numa fórmula todos os factores que influenciam o limiar de entrada em movimento das areias eólicas e com base na experiência que viemos obtendo, ao longo dos catorze meses de recolhas de areias nos vários postos de observação a que já fizemos referência. Concluímos que, na ausência de pluviosidade, de intenso nevoeiro, ou de um outro qualquer factor que provoque intensa humidade, as areias (secas) começam a movimentar-se com vento de cerca 12 km/h. Mas, quando ocorre, ou ocorreu há pouco tempo, pluviosidade, é necessário vento com velocidade superior a 18 Km/h para as areias se movimentarem.



Fot. 9 - Posto 1, em Maio de 1992, à direita os suportes dos sacos utilizados em 1980.

MILLER et al. (1977) referem que para mobilizar silte e areia muito fina a velocidade do vento terá que ser de 18 km/h e que serão necessários 57,6 km/h para mobilizar grãos com 1 mm de diâmetro.

No dia 25 de Maio de 1992, de uma amostra de areia recolhida a 20 cm de altura, no Posto 1, 50% tinha granulometria entre 0,125 mm e 0,355 mm, 30% acima de 0,355 mm e apenas 20% abaixo de 0,125 mm. A velocidade do vento registada no Posto Meteorológico de S. Pedro de Moel foi de 10 Km/h e de 22 km/h, respectivamente, às 9 e às 18 horas. No da Base Aérea a velocidade média foi de 16 km/h, tendo se registado rajadas de 43 km/h do rumo de S e de 46 km/h e 54 km/h, do rumo de W. Não se registou pluviosidade.

Segundo R. D. SARRE (1987), apenas os grãos com dimensões inferiores 0,01 mm são transportados em suspensão e aqueles que têm dimensões entre 0,01 mm e 0,1 mm são deslocados por saltação.

Apesar de estarmos convictos de que o material recolhido a 20 cm de altura, se deslocou em grande parte por reptação e saltação, considerámos que o material transportado em suspensão é também importante na formação das dunas costeiras. Muitos dos dias em que se fez a recolha do material eólico contido nos sacos, observámos na crista da duna, movimentações de areia a altura superior a 2 metros.

Considerações finais

Para além das conclusões parciais apresentadas quando tratámos dos vários itens que constituem este artigo, refira-se, ainda, que se constata uma degradação dos sistemas dunares, mais acentuada nas dunas próximas da praia (frontais). Esta degradação é devida essencialmente ao pisoteio antrópico e à erosão marinha e eólica:

- o pisoteio antrópico é uma consequência da intensa pressão humana no litoral;
- a erosão marinha é uma consequência do recuo da linha de costa provocado pelo défice sedimentar (CUNHA et al., 1997) e pela subida do nível do mar;
- a erosão eólica é uma consequência da diminuição do acarreio de areias da praia e da destruição de parte do coberto vegetal das dunas.

Urge disciplinar o acesso e a circulação nas dunas e praias. A legislação existe, mas não é cumprida.

A existência de habitações sobre dunas, ou próximo delas, nomeadamente, os designados apoios de praia, fixos ou sazonais, é também um aspecto a ter em conta.

Os Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOCs), como o do Centro, Espinho-S. Pedro de Moel, em vez de restringir o número daquelas construções (apoios de praia), aumentam-no. A título de exemplo, refira-se o caso das Pedras Negras, praia

imediatamente a Norte do Ribeiro de S. Pedro de Moel, onde agora existe apenas um apoio de praia; segundo o Plano de Ordenamento da Orla Costeira, serão construídos mais dez. Também na Praia do Pedrógão, onde já se encontram alguns colocados sobre dunas frontais, segundo este mesmo plano, os apoios de praia irão triplicar.

Bibliografia

- ANDRÉ, José Nunes (1996) – *Morfologia litoral da área compreendida entre o Cabo Mondego e S. Pedro de Moel*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física, Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra, 164 p. e 5 anexos.
- ANDRÉ, José Nunes e REBELO, Fernando (1995) – “A evolução actual das dunas na área compreendida entre Vieira de Leiria e S. Pedro de Moel”, *VI Colóquio Ibérico de Geografia, Actas*, Porto, 1992. Vol. II, p. 1045-1051.
- CORDEIRO, Maria de Fátima Neves (1999) – *Mata Nacional de Leiria. Exemplo histórico na fixação das areias eólicas e na prevenção de incêndios florestais*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física, Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra, 184 p.
- CUNHA, P. Proença; SILVA, A. Freire da; ANDRÉ, J. Nunes e CABRAL, M. Cristina (1997) – “Considerações sobre a evolução actual do litoral entre a Figueira da Foz e Nazaré”. *Colectânea de ideias sobre a zona costeira de Portugal*, Assoc. Eurocoast-Portugal (Ed.), pp. 503-524.
- MILLER, M. C.; McCABE, I. N. e KOMAR, P. D. (1977) – “Threshold of sediment motion under directional currents”. *Sedimentology*, 24, p. 507-527.
- MORAIS, J. Custódio de (1936) – “Geologia e geografia da região do Pinhal de Leiria”. *Memórias e Notícias*, Publicações do Museu Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra, 9, p. 1-46.
- REBELO, Fernando e ANDRÉ, José Nunes (1986) – “Sobre a evolução actual das dunas na área de S. Pedro de Moel (Distrito de Leiria)”, *IV Colóquio Ibérico de Geografia, Actas*, Coimbra, p. 883-893.
- SARRE, R.D. (1987) – “Aeolian sand transport”. *Progress in Physical Geography*, 11 (2), p. 157-182.
- SILVA, F. M. Pereira da e CAETANO, M. Batalha (1841) – *Memórias sobre o Pinhal Nacional de Leiria*. Lisboa, Imprensa Nacional, 62 p. e 2 est.
- SILVA, F. M. Pereira da & CAETANO, M. Batalha (1841) - *Carta topográfica do Pinhal Nacional de Leiria e seus arredores (escala 1/20 000)*.
- SWAN, B. (1979) – “Sand dunes in the humid tropics: Sri-Lanka”. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N. E., 23, 2, Berlin – Stuttgart, p. 152-171.