CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DOS NÍVEIS LODOSOS NO SISTEMA DE DUNAS COSTEIRAS A SUL DO CABO MONDEGO (LEIROSA, PORTUGAL)

F. ROCHA*, C. BERNARDES *

Resumo

A região litoral a S do Cabo Mondego é caracterizada por um sistema de dunas costeiras de provável idade holocénica. Os materiais estudados foram obtidos durante os trabalhos de instalação de um emissário de efluentes, a Sul da Leirosa, os quais puseram a descoberto uma sequência representativa de três gerações de dunas. Nas zonas interiores, a geração de dunas mais antigas encontra-se alterada e associada a níveis de podzóis, similares aos descritos nas "Areias da Gandâra" de idade plistocénica. As formas dunares mais que recobrem a unidade anterior apresentam solos incipientes. Nas zonas próximas à actual linha de costa os níveis de solos perdem expressão, as unidades estão individualizadas por superfícies de diferente hierarquia e ocorrem níveis lodosos intercalados. Os estudos mineralógicos foram efectuados essencialmente por Difracção de Raios X. Regista-se um grande predomínio dos minerais detríticos (Quartzo, Feldspatos e Filo-silicatos), sendo a Illite, a Caulinite, a Esmectite e a Vermiculite os minerais argilosos mais característicos destes lodos. A associação mineral presente indica meios lagunares protegidos, com reduzido transporte detrítico.

As observações estratigráficas sugerem que as condições lagunares se tenham desenvolvido a alguma distância da linha de costa actual, durante um período de baixo nível do mar, acompanhando a progradação do sistema dunar; mas, não há indicações que as dunas ante-holocénicas tenham sido muito activas, já que, este período parece antes ter induzido a alteração e a pedogénese das formas dunares. Após esta etapa, a actividade dunar poderia ser reiniciada, induzida por transgressões marinhas, durante o holocénico, que induziriam o retrabalhamento dos sedimentos costeiros e sua migração para "terra" devido à acção mobilizadora do vento.

Palavras-chave: Dunas costeiras, Holocénico, mineralogia, níveis de lodos

Abstract

Mineralogical characterization of the mud levels of the coastal dune system, south of the Mondego Cape (Leirosa, Portugal) - Dune formations on the coast of south Cabo Mondego display stratigraphic evidence for a long period of sand accumulation during the Quaternary. Drilling has shown that aeolian deposits were composed at least by three units. In inland areas the older dunes are typically weathered and podzolized although the pattern of depositional alteration varies in response to hydrological factors. Those deposits are covered by aeolian sand with incipient soil horizons and are quite similar to the "Areias da Gandara", Pleistocene age, in the north of Cabo Mondego. In the areas near to the actual shoreline the horizons soils are not present, the dunes being individualized by sedimentary surfaces of different hierarchy. Dark mud levels can be found between dunes units. The localization of samples is shown in fig. 1 and the principal sedimentary characteristics being presented in table I. The mineralogical data, obtained by ray X diffraction from the fine fraction (<38µm) is displayed in tables II and III. The samples are characterized by a predominance of detritic minerals (Quartz, Feldspars and Phyllosilicates). In addition to the three most common minerals are also present Opal C/CT, Gypsum and Anhydrite, Zeolites, Pyrite and Marcassite, Siderite and in lower concentrations Jarosite, Lepidocrocite, Halite, Calcite and Dolomite. All minerals show increasing concentrations from D to S2 samples. Concerning clay minerals Illite, Kaolinite, Smectite and Vermiculite are the most frequent; Chlorite and mixed layers (Illite-Smectite, Illite-Vermiculite, Illite-Chlorite) are nevertheless also common. The mineral association suggests the presence of lagoonal environments with a non continuous supply of detrital sediments.

Stratigraphic observation suggest that lagoonal conditions were set at some distance seaward of the present shoreline, possibly at a time of lower sea level. Insufficient support is presently available to be certain about the number, timing and causes of eolian episodes in that area. Nevertheless there is evidence for the hypothesis some aeolian activity occurring at the time of both high and lower stands of sea level. During the last low stand conditions the dunes can be prograded to the external platform but there are not evidences that they migrated great distances and were kept in the actual coastal morphology. However near to Rio Mondego estuary has been mentioned (Pereira, 1987) the presence of older dunes in a submerged beach below modern sea level being possibly formed during the last marine regression holocene aged. But there is as yet not positive stratigraphic evidence for dune instability did accompany marine regressions. The morphological responses associated with shoreline progradation are beach ridge, barrier spit and lagoon formation; in both cases, dune formation is restricted to superficial cappings foredunes. Relict dunes present in some beach ridge sequences probably represent temporary cessations, or reversals, of the dominant progradational trend (Prye, 1984). In this case the ante-holocene dunes could be weathered and deeply podzolized. Towards the following dune building activity may be associated with the early holocene marine transgression: during such episodes, shoreline retreat leads to reworked coastal sediments in a landward direction by wind action.

Key-words: Coastal dunes, Holocene, mineralogy, mud levels.

* Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 3810 Aveiro

1. INTRODUÇÃO

A região litoral a Sul do Cabo Mondego é caracterizada por uma extensa cobertura arenosa com orientação Norte-Sul. Os materiais, correspondentes a um alinhamento de dunas costeiras recentes, assentam sobre depósitos miocénicos, pliocénicos e plistocénicos (ROCHA *et al.*, 1981). Pouco se conhece sobre a estratigrafia e morfologia dos depósitos dunares nesta região. A análise da fotografia aérea evidenciou uma certa monotomia de formas, dominadas por dunas transversais de crista recta a sinuosa, estabilizadas pela vegetação, que definem alinhamentos Oeste-Este; o cordão dunar de praia, em geral com morfologias degradadas provocadas pela actividade humana, integra dunas linguiformes e pequenos domos associados a formas erosivas ("blowout") (Fig. 1). A Norte do Cabo Mondego, e denotando distintas etapas de evolução e estabilização, o campo de dunas exhibe formas que se ordenam, esquematicamente de Este para Oeste, em dunas parabólicas, dunas transversais e cordão dunar de praia (NOIVO & BERNARDES, 1995).

Os materiais estudados e os dados de campo apresentados foram obtidos durante os trabalhos de instalação do emissário de efluentes da Celbi e Soporcel, localizado a Sul da Leirosa. A abertura de uma vala, com cerca de 1200 metros de comprimento e 5 metros de altura máxima (Fig. 1), pôs a descoberto uma sequência arenosa, representativa de três gerações de dunas (Unidades I, II e III).

As observações efectuadas em vários locais evidenciaram certa complexidade estratigráfica. Nas zonas interiores, localizadas a E, as dunas suportam solos com distinta morfologia. A geração de dunas mais antiga, Unidade I, encontra-se alterada e associada a níveis de podzóis, similares aos descritos na região de Cantanhede-Mira nas designadas "Areias da Gandâra" (CARVALHO, 1964; PEREIRA, 1989) de idade plistocénica (CARVALHO, 1964; PEREIRA & PAIS, 1990); em ambas zonas, os níveis de podzol apresentam características distintivas: a) ausência de acumulação superficial de húmus bruto; b) teor de matéria orgânica muito baixo; c) princípio de destruição da surraipa. As formas dunares mais recentes, que recobrem a unidade anterior, apresentam solos incipientes.

Nas zonas próximas à actual linha de costa os níveis de solos perdem expressão e a sequência das formas dunares está individualizada por superfícies erosivas de diferente hierarquia. A Unidade I é truncada por uma superfície erosiva e ondulada, inclinada para W, que acompanha a actual tendência topográfica; as características observadas sugerem erosão associada a processos de deflação eólica, cuja natureza se assemelha à de uma supersuperfície, no sentido de KOCUREK (1988). A Unidade II, que recobre a anterior, possui carácter descontínuo, adap-

tando-se à topografia da superfície subjacente; a unidade integra dois tipos de depósitos: areias eólicas e níveis de lodos. A Unidade III assenta sobre a Unidade II mas, nas zonas mais interiores, localizadas a E, contacta directamente sobre a Unidade I. O limite entre esta unidade e as subjacentes, identificado ao longo da vala estudada, é erosivo e planar, ao qual se associam níveis de bioturbação, raízes e matéria orgânica.

O presente trabalho tem como objectivo a caracterização dos níveis de lodos que ocorrem intercalados entre os depósitos dunares da Unidade II, ligados a etapas evolutivas do campo dunar costeiro. A existência destes níveis foi anteriormente referida em furos para captação de água, localizados na zona da Leirosa, e interpretados como evidência de um pequeno vale que vinha desaguar no litoral (ROCHA *et al.*, 1981).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Estudaram-se 4 amostras, referenciadas como D, B1, S1 e S2, cuja localização está ilustrada no mapa da Fig. 1.

A descrição das fácies, baseada em observações de campo, e sua interpretação encontram-se sintetizadas no Quadro I.

Os estudos mineralógicos, na amostra total assim como em ambas as fracções granulométricas separadas, <38 µm e <2 µm (fracção argilosa), foram efectuados essencialmente por Difrakção de Raios X, seguindo-se metodologia referida em ROCHA (1993). Nas análises mineralógicas semiquantitativas efectuadas adoptaram-se os critérios recomendados por SCHULTZ (1964) e THOREZ (1976).

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados dos estudos mineralógicos efectuados estão sintetizados no Quadro II, no qual se apresenta a composição mineral total e da fracção <38 µm das quatro amostras estudadas.

Regista-se um grande predomínio dos minerais detríticos (Quartzo, Feldspatos e Filossilicatos), acompanhados por um conjunto de minerais acessórios, constituído por Opala C/CT, Gesso e Anidrite, Zeólitos (essencialmente Clinoptilolite/ Heulandite), Pirite, Marcassite, Siderite e, com presença mais discreta e irregular, Jarosites, Lepidocrocite, Halite, Calcite e Dolomite. A presença destes minerais acessórios tende a ser mais abundante e complexa no sentido D→B1→S1→S2.

A composição mineral da fracção <2 µm (fracção argilosa) das quatro amostras estudadas é apresentada no Quadro III.

Fig. 1 - A. Mapa de localização da zona estudada; V-V' - Vala; Dd - Dunas degradadas; T - Dunas transversas; B. Perfil topográfico; D, B1, S1 e S2 - locais de amostragem; n.m.m - nível médio do mar.
A. Location of the studied area; V-V' - Cross section; Dd - Degraded Dunes; T - Transverse Dunes; B. Topographic profile; D, B1, S1 and S2 - Sampling location; n.m.m - mean sea level

FÁCIES	DESCRIÇÃO	INTERPRETAÇÃO
D (-3 m)	Areia lutítica; grão médio a fino sub- a arredondado; bem calibrado; cor cinzenta (7.5Y 4/1); matéria orgânica.	Transporte eólico; processos pedogenéticos (?).
B1 (-4 m)	Lutito micáceo; grãos de areia fina dispersos; cor cinzenta (5Y 6/1).	Decantação em zonas protegidas de condições redutoras, submetidas a episódios de influxo de sedimentos clásticos - laguna marginal.
S1 (-3 m)	Lutito argiloso, micáceo; grãos de areia média a fina dispersos; cor cinzenta (5Y 5/1); gastrópodes e bivalves muito abundantes; restos vegetais (raízes?).	
S2 (-4 m)	Lutito argiloso, micáceo; cor cinzenta (5Y 5/1); gastrópodes de pequenas dimensões; fragmentos de bivalves.	Decantação em zonas protegidas, condições redutoras - laguna central a marginal.

Quadro I - Características das litofácies; entre parenteses estão indicadas as profundidades a que foram recolhidas referidas ao nível médio do mar (localização na fig. 1).

Table I - Description of the lithofacies; the sampling depths are showed in brackets related to mean sea level (for location see Fig. 1).

	D	D<38µm	B1	B1<38µm	S1	S1<38µm	S2	S2<38µm
Quartzo	70	45	36	26	30	26	38	29
Filosilicatos	4	18	28	29	34	36	18	29
Feldspato-k	14	13	6	11	5	9	19	6
Plagioclase	3	8	11	16	13	10	9	15
Calcite	2	1	0	0	0	0	0	2
Dolomite	2	2	0	1	0	1	0	1
Siderite	1	2	2	3	2	3	3	3
Pirite	0	0	3	4	1	3	2	2
Gesso	0	0	1	1	0	0	1	1
Anidrite	0	4	3	3	3	2	2	3
Jarosites	0	0	0	0	1	1	1	1
Lepidocrocite	0	0	0	0	0	0	1	1
Halite	0	0	0	0	2	2	1	1
Opala C/CT	3	5	8	4	6	4	3	4
Zeólitos	1	1	1	1	2	1	1	1
Marcassite	0	1	1	1	1	2	1	1

Quadro II - Composição mineral total e da fracção <38µm das quatro amostras estudadas.

Table II - Mineral composition (whole rock and fine fraction).

	D	B1	S1	S2
Ilite	65	64	75	62
Caulinite	10	16	13	16
Esmeectite	12	4	3	2
Vermiculite	0	5	4	10
Clorite	0	0	0	4
Ilite-Esmeectite	7	5	5	2
Ilite-Vermiculite	6	4	5	2
Ilite-Clorite	0	2	0	2

Quadro III - Composição mineral da fracção argilosa.

Table III - Mineral composition of the clay fraction.

A Ilite, a Caulinite, a Esmectite e a Vermiculite são os minerais argilosos mais característicos destes lodos, acompanhados por Clorite e interestratificados irregulares 10-14 Å dos tipos Ilite-Esmectite, Ilite-Vermiculite e Ilite-Clorite.

Verificam-se, contudo, algumas variações laterais na composição mineral da fracção argilosa que se podem sintetizar do seguinte modo:

- Uma presença mais abundante de Esmectite e dos interestratificados 10-14 Å na amostra D.

- Um incremento da presença de Caulinite e da Vermiculite, a par de decréscimo da presença da Esmectite e dos interestratificados 10-14 Å, no sentido D→B1→S1→S2.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na composição mineral das amostras (amostra total e fracção <38µm) a associação mineral presente: minerais detríticos (Quartzo, Feldspatos e Filossilicatos) fortemente predominantes, mas acompanhados, por vezes em quantidades totais significativas, por minerais típicos de condições redutoras (tais como Pirite, Marcassite e Siderite) e algo evaporíticas (Gesso, Anidrite, Halite), indicia meios de deposição protegidos, provavelmente lagunares.

No que se refere à composição mineral da fracção argilosa, a associação mineral presente: Ilite + Caulinite + Esmectite + interestratificados 10-14 Å, com alguma Vermiculite e Clorite associadas, corresponde, dos pontos de vista qualitativo e quantitativo, a condições deposicionais com fraco acarreo de material detrítico para um meio litoral algo confinado.

Com efeito, em toda a região da actual Beira Litoral depositaram-se no decurso do Holocénico níveis lodosos, muito micáceos, de cor predominantemente acinzentada escura, cuja mineralogia é muito similar. Estes níveis tem sido interpretados como depósitos de estuário e/ou lagunares. Na região de Aveiro, a Ilite, a Esmectite e, ainda que com presença discreta, a Vermiculite e a Clorite são os minerais argilosos mais característicos dos níveis lodosos, encontrados a profundidades de 3 a 5 m, acompanhados por Caulinite e interestratificados irregulares de tipo Ilite-Vermiculite, Ilite-Clorite, Ilite-Esmectite e, menos comum, Caulinite-Esmectite (ROCHA & GOMES, 1991, 1992; ROCHA, 1993). Estes níveis com características sapropélicas (diatomáceas, Pirite e Marcassite) correspondem a condições deposicionais de reduzido transporte detrítico para uma bacia anóxica, de baixa salinidade. Para o topo desses níveis, ocorre por vezes um relativo incremento da Caulinite, com presença de Anatase, de Caulinite-Esmectite e de Gibsite. A ocorrência do interestratificado Caulinite-Esmectite representa um estágio intermédio da conversão de Esmectite em Caulinite, sob clima quente e pluvioso, tropical, com incremento da drenagem, po-

dendo ser considerado como indicador de proximidade a zonas continentais (JONES & SELLWOOD, 1989).

As variações laterais na composição mineral da fracção argilosa permitem postular algumas considerações acerca dos processos desenvolvidos. A presença mais abundante da Esmectite (e dos interestratificados 10-14 Å) na amostra D pode estar relacionada com processos pedogenéticos, propiciadores à formação de solos esmectíticos desenvolvidos em condições climáticas algo quentes, contrastadas no que se refere à pluviosidade, de características subtropicais. O incremento da Caulinite no sentido D→B1→S1→S2 estará relacionado com processos de transformação favorecidos pelas condições climáticas e em particular pelas condições de drenagem.

Com efeito, neste tipo de meio de depósito as condições de drenagem prevalecentes ao longo do espaço e do tempo assumem um papel relevante, favorecendo certas transformações geoquímicas no meio de depósito. Quando as condições de drenagem são deficientes e o meio é de tipo anóxico ocorre formação de Pirite (muito comum nos níveis de lodos), enquanto que a melhoria da drenagem favorece a oxidação da Pirite, sendo este fenómeno reversível (VAN BREEMEN, 1980; DUBREUILH *et al.*, 1984; JONES & SELLWOOD, 1989). Estas transformações afectam também os minerais argilosos, com a Esmectite a desempenhar um papel de "pivotal", com intersubstituições de Fe por Mg, e com transformação da Esmectite em Caulinite. Estas condições algo mais oxidantes explicariam o aparecimento, nas amostras S1 e S2, de Jarosites e, apenas na amostra S2, de Lepidocrocite. O comportamento da Vermiculite poderia ser resultante da destruição parcial do podzol, identificado na zona mais interna do campo dunar, e posterior deposição em meio de mais baixo dinamismo.

5. CONCLUSÕES

As características mineralógicas dos níveis de lodos indicam ambientes lagunares, com circulação restringida, ocupando, provavelmente, zonas deprimidas interdunares em ligação não permanente com o mar. Depósitos com características semelhantes são descritos nas Formações da Praia da Cortegaça e Silvade-Paramos e interpretados como depósitos lagunares abertos a restringidos (GRANJA & CARVALHO, 1994, 1995). Os aspectos atrás citados, levam a admitir a existência de edifícios dunares litorais que actuariam como barreiras de protecção, mantendo eixos de comunicação com o mar que, devido às características dos depósitos, apenas funcionariam em períodos de marés vivas ou de tempestade.

O posicionamento estratigráfico dos níveis lodosos sugerem, no entanto, que o estabelecimento das

condições lagunares tenham sido precedidas por um período de estabilização e posterior erosão dos depósitos da Unidade I, em resposta a alterações climáticas ou a uma mudança temporária da linha de costa. Por outro lado, parte inferior da Unidade II, a qual integra os níveis lodosos, materializa o início de um novo episódio deposicional que conduz ao desenvolvimento de acumulações eólicas e aos ambientes lagunares, atrás citados. Esta arquitectura é compatível com um aumento relativo do nível do mar; nestas circunstâncias, o período de máxima inundação coincidiria, nesta zona, com os depósitos lagunares que, em simultâneo, marcam a inversão do ciclo sedimentar que culmina com a Unidade III.

É provável que as dunas, em períodos de baixo nível do mar, tenham progredido para a plataforma mas, não existem evidências que comprovem que tenham migrado grandes distâncias e sido preservadas na actual morfologia costeira. Junto à foz do Rio Mondego foi referida a presença de antigas dunas(?) consolidadas e materializadas, actualmente por rebordos rochosos (PEREIRA, 1987). Contudo, são escassos os dados estratigráficos que relacionem a maior instabilidade das dunas com a situação de baixo nível do mar. Em geral, as respostas morfológicas, associadas à progradação da linha de costa são o aparecimento de cristas de praia (beach ridge), barreiras e lagunas a elas associadas, cujo desenvolvimento de dunas, em ambos casos, restringe-se à edificação de formas de pequenas dimensões; grandes dunas consolidadas, descritas em algumas sequências de praias, representam provavelmente paragens temporárias, ou mesmo inversas, na tendência progradante (PRYE, 1984, 1993).

BIBLIOGRAFIA

- VAN BREEMEN, N. (1980) - Magnesium-ferric ion replacement in Smectite during aeration of pyritic sediments. *Clay Minerals*, 15, p. 101-110.
- CARVALHO, G. S. (1964) - Areias da Gandâra (Portugal): uma formação eólica quaternária. *Anais Fac. Ciências Porto*, 46, p. 235-260.
- DUBREUILH, J.; MARCHADOUR, P. & THIRY, M. (1984) - Cadre géologique et minéralogie des argiles des Charentes, France. *Clay Minerals*, 19, p. 29-41.
- GRANJA, M. M & CARVALHO, G. S. (1994) - How can the Holocene help to understand coastal zone evolution (the example of the NW coastal zone of Portugal). *Littoral'94*, v. 1, p.149-167.
- GRANJA, M. M & CARVALHO, G. S. (1995) - Sea-level changes during the Pleistocene-Holocene in the NW coastal zone of Portugal. *Terra Nova*, 7, p. 60-67.
- JONES, L. E. & SELLWOOD, B. W. (1989) - Palaeogeographic significance of clay mineral distributions in the inferior oolite group (Mid Jurassic) of southern England. *Clay Minerals*, 24, p. 91-105.
- KORUREK, G (1988) - First-order bounding surfaces in eolian sequences. Bounding surfaces revisited. *SEDIM. GEOLOGY*, 56, p. 193-206.
- NOIVO, L. & BERNARDES, C. A. (1995) - Morfologia e dinâmica sedimentar das dunas de Quiaios. *Mus. Lab. Mineral. Geol. Fac. Ciências*, Univ. Porto, mem. n° 4, p. 953-957.
- PEREIRA, V. & PAIS, J. (1990) - Podzols in Western Portugal: are they paleosols?. *Trans. 14th Int. Congress Soil Sci.*, Kyoto, 5, p. 398-399.
- PEREIRA, V. (1989) - Podzóis da região de Mira. I-Characterização geral. *Geociências, Rev. Univ. Aveiro*, 4 (2), p. 123-135.
- PEREIRA, A.R. (1987) - *Acumulações arenosas eólicas consolidadas do litoral do Alentejo e Algarve Ocidental*. Centro de Estudos Geográficos, linha de acção de Geografia Física, rel. n° 22, Lisboa, p. 40-54.
- PRYE, K. (1984) - Models of transgressive coastal dune building episodes and their relationships to Quaternary sea level changes: a discussion with reference to evidence from eastern Australia. In: *Coastal research: UK perspectives* (Ed. Malcolm W. Clark). Imperial College, London, p. 81-104.
- PRYE, K. (1993) - Late Quaternary development of coastal parabolic complexes in northeastern Australia. *Int. Ass. Sediment. Spec. Publs.*, 16, p. 23-44.
- ROCHA, F. J. F. T. (1993) - *Argilas Aplicadas a Estudos Litoestratigráficos e Paleoambientais na Bacia Sedimentar de Aveiro*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 399p.
- ROCHA, F. J. F. T. & GOMES, C. S. F. (1991) - Mineralogical and sedimentological data of the post-Cretaceous sediments of the Ria de Aveiro region. *Geolis*, 5(1), p. 81-87.
- ROCHA, F. J. F. T. & GOMES, C. S. F. (1992) - Morpho-climatic evolution of the Aveiro littoral region (NW of Portugal) during Tertiary and Quaternary. *Proc. Int. Coastal Congress* (Kiel), p. 157-166.
- ROCHA, R.; MANUPPELLA, G.; MOUTERDE, R.; RUGET, C. & ZBYSZEWSKI, G. (1981) - Notícia explicativa da folha 19-C (Figueira da Foz) da Carta Geológica de Portugal, esc. 1/50.000. Serv. Geol. Portugal.
- SCHULTZ, L. G. (1964) - Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre Shale. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 391-C, p. 1-31.
- THOREZ, J. (1976) - *Practical identification of clay minerals*. Ed. G. Lelotte, Belgique.