DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS DA PRAIA DE CORTEGAÇA (OVAR): CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA, EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL E OSCILAÇÕES CLIMÁTICAS

A. P. SILVA *, A. MACHADO*, F. ROCHA* & C. GOMES*

Resumo

O objectivo essencial do presente trabalho é utilizar a composição mineral das fracções finas (siltosa e argilosa) para o estabelecimento de uma zonografia vertical mais fina, assim como para o despiste e caracterização de variações climáticas, ocorrentes nas áreas fonte dos sedimentos e no meio de depósito dos mesmos e, também, para reconstituições morfo-climáticas. Foram estudadas 40 amostras, colhidas ao longo de três perfis na zona em estudo. Os estudos mineralógicos foram efectuados utilizando, essencialmente, a Difracção de Raios X. As análises mineralógicas efectuadas evidenciam uma evolução vertical da composição mineral, salientando-se os seguintes aspectos principais: 1) no que se refere à fracção fina, predomínio generalizado do quartzo e dos filossilicatos, acompanhados por feldspatos e por um conjunto muito discreto de minerais acessórios, com ocorrência de secções nas quais hidróxidos de ferro e minerais evaporíticos assumem particular importância; 2) no que se refere à fracção argilosa, predomínio generalizado da illite com oscilações dos teores relativos da caulinite e da illite. A fim de melhor tipificar e hierarquizar as relações entre as variáveis mineralógicas identificadas e quantificadas procedeu-se à sua análise geoestatística. As variações laterais e verticais qualitativas e quantitativas dos minerais argilosos e não argilosos permitem o estabelecimento de ritmicidades e de periodicidades dos episódios morfoclimáticos que ocorreram em tempos recentes na região litoral onde se situa a praia de Cortegaça, sendo possível a discriminação de 3 sequências sedimentares. A cada uma destas sequências corresponde um meio inicialmente litoral que evoluiu para um meio mais continental. As condições climáticas seriam tendencialmente temperadas a frescas, mas com oscilação por vezes significativas quanto à pluviosidade (com ocorrência de períodos de aridez) e ao contraste sazonal. Foi possível detectar a presença de 10 episódios climáticos alternantes; alternância essa entre climas algo mais quentes e húmidos e climas mais frios e secos.

Palavras-chave: Depósitos Quaternários, mineralogia de argilas, evolução morfo-climática.

Abstract

Quaternary deposits in the Cortegaça beach (Ovar, Portugal): mineralogical characterization, paleoambiental evolution and climatic oscillations The site under study belongs to the Ovar municipality and is part of a extensive littoral region characterized by flat terrains, consisting mainly of old beach and dunar deposits.

Coastal erosion uncovered the so called Cortegaça beach formation showing the following three sedimentary sequences, from the basis to the top: 1) greensish sandy clay; 2) greyish sand layers with well marked cross-bedded showing on top a bioturbated podzol; 3) bioturbated beach and dune sand.

The main goal of the present paper is the use of the fine fractions (silt and clay) mineralogy for the establishment of a fine vertical zonography, able to discriminate and characterize the climatic oscillations that did occur both in the surrounding continental source areas of the sediments and in the sedimentation environments as well as the morfoclimatic reconstruction.

Forty samples collected along three profiles had been studied by X-ray diffraction. The results of these studies allowed the discrimination of three sequences corresponding to those which had been referred to. In them the following features should be emphasized: 1) general dominance of quartz and phyllosilicates, associated to minor amounts of feldspar and other accessory minerals; evaporite minerals and iron hydroxides are particularly important in some thin layers; 2) general dominance of illite over kaolinite in the clay fraction with oscillations of the illite/kaolinite contents.

For the typification and hierarchization of the relationships between mineralogical variables identified and quantified geoestatistical analysis (R-mode multivariate factorial analysis) was carried out.

Illite dominance in sequence 1 expresses an environment characterized by low hydrodinamism whereas its gradual enrichment towards the sequence top means that the environment became progressively more confined and lagunar. The environment changed from a littoral one, supramareal, to a lagunar one and finally to an evaporitic one. Sequence 2 expresses at its base the effects of a transgression, a littoral or a transition environment changed progressively to a lagunar very confined environment that later on changed to a continental air exposed one where a soil with the characteristics of a podzol could be developed. Sequence 3 is initiated with beach sand and ends up with dune sand.

On the basis of the qualitative and quantitative mineralogy reconstruction of the climate prevailing at the time of the sedimentary processes responsible for the formation of the different sequences. In sequence 1, the significant amounts (approximately equivalent) of illite and kaolinite present expresses a temperate climate with low contrasting seasons. In sequence 2, climate would be also, temperate, however not so warm as the one corresponding to sequence 1. In sequence 3 the prevailing temperate climate changed progressively to a climate characterized by lower temperature and rainfall.

* Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 3810 Aveiro

The evolution of the illite and kaolinite contents and also of their ratio (I/K) has been used to analyse the virtual climatic oscillations. Interpretation of these parameters allowed the definition of ten climatic alternating episodes, characterized by more warm and wet climates and more cold and dry climates.

Key-words: Quaternary deposits, clay mineralogy, morphoclimatic reconstruction.

1. INTRODUÇÃO

A Praia de Cortegaça insere-se numa região (Fig. 1) caracterizada por extensas zonas aplanadas, em grande parte ocupada por depósitos marinhos quaternários e com o litoral bordejado por depósitos dunares.

A erosão costeira pôs a descoberto uma formação designada por Formação da Praia de Cortegaça (GRANJA, 1991; GRANJA & CARVALHO, 1991, 1994), constituída da base para o topo por: areia fina silto-argilosa esverdeada sobreposta por estratos de areia com estruturas sedimentares (estratificação cruzada). Fragmentos de carvão existentes na camada de areia silto-argilosa esverdeada permitiram determinações de idade que se situam entre 6850 ± 60 e 5500 ± 160 anos BP. Por cima dos estratos de areia ocorre um podzol com horizontes bioturbados. A partir de datações feitas em amostras de carvão vegetal encontrados no podzol obtiveram-se valores que vão desde os

3490 ± 60 até aos 950 ± 80 anos BP. Por fim, no topo dos perfis estudados ocorrem areias de praia com bioturbação e areias de duna.

A composição mineral dos sedimentos, em particular das suas fracções finas, foi utilizada por MACHADO *et al.* (1995) para o estabelecimento de uma zonografia vertical mais fina, assim como para um primeiro ensaio de reconstituição morfo-climática.

O objectivo essencial do presente trabalho é aprofundar, através da utilização da composição mineral da fracção argilosa, a evolução morfo-climática, com despiste e caracterização de variações climáticas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram estudadas amostras colhidas em perfis seleccionados na zona em estudo. No quadro 1 descreve-se o perfil-tipo (Fig.2).

Os estudos mineralógicos foram efectuados utili-

Fig. 1 - Localização da área estudada.

Fig. 1 - Location of the studied area.

Amostras	Unidades	LITOLOGIA	Espessura
17	7 - Areia de duna	Areia de cobertura - areia cólica de duna, castanha clara.	≈ 1,5m
16	6 - Areia de praia	Areia da cobertura - areia de praia castanha.	≈ 2m
15	5 - Paleosolo do tipo Podzol	Transição para a cobertura - cinzenta arenosa.	10cm
14		Horizonte escuro, fino.	41cm
13		Horizonte arenoso acinzentado claro.	33cm
12		Areia ferruginosa vermelha escura.	24cm
11		Areia levemente ferruginosa - castanha avermelhada.	47cm
10	4 - Areia com estruturas sedimentares	Areia castanha avermelhada com estruturas.	80cm
9		Areia fina castanha escura com estruturas sedimentares.	82cm
8		Areia fina a média.	30cm
7		Areia castanha avermelhada.	7cm
6	3 - Crosta ferruginosa	Crosta ferruginosa.	1,5cm
5	2 - Areia fina silto-argilosa	Argila cinzenta escura c/carvão.	8cm
4		Argila cinzenta.	24cm
3		Argila arenosa - cinzenta clara.	30cm
2	1 - Areia inferior	Areia castanha avermelhada com intercalações castanhas claras.	7cm
1		Areia fina a média castanha clara.	>15cm

Quadro 1 - Descrição do perfil-tipo.

Quadro 1 - Description of the section.

Fig. 2 - Perfil estratigráfico sintético da "Formação da Praia de Cortegaça" (datações segundo CARVALHO & GRANJA, 1994).

Fig. 2 - Stratigraphic profile of the "Formação da Praia de Cortegaça" (ages according to CARVALHO & GRANJA, 1994).

-zando, essencialmente, a Difracção 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).

A fim de melhor tipificar e hierarquizar as relações entre as variáveis mineralógicas identificadas e quantificadas procedeu-se à sua análise geoestatística (análise factorial multivariada em modo R).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises mineralógicas efectuadas evidenciam uma evolução vertical da composição mineral de ambas as fracções estudadas, fracção fina <63 µm (Fig. 3) e fracção argilosa <2 µm (Fig. 4). Esta evolução permitiu (MACHADO *et al.*, 1995) discriminar três sequências:

- Sequência 1 - Inicia-se com a unidade 1 e termina com uma crosta ferruginosa. Caracteriza-se pelo aumento progressivo de ilite e pela diminuição progressiva de caulinite. A esmectite inicialmente presente diminui progressivamente até desaparecer, o mesmo acontecendo com a generalidade dos interestratificados também presentes.

- Sequência 2 - Inicia-se com a unidade 4 e termina no topo da unidade 5. Verifica-se tendência para o aumento da ilite ao longo da sequência, mais acentuadamente nos horizontes superiores do paleosolo. A caulinite, inicialmente em quantidades reduzidas,

apresenta tendência para aumentar até aos horizontes superiores do paleosolo onde decresce abruptamente. Os minerais argilosos acessórios, que têm uma presença importante na base da sequência, decrescem no sentido dos horizontes superiores do paleosolo, onde estabilizam quantitativamente. É de referir, que na parte intermédia da sequência eles praticamente desaparecem, reaparecendo no entanto nos horizontes superiores do paleosolo.

Sequência 3 - Inicia-se com a areia de praia (unidade 6) e termina com areia de duna (unidade 7). Caracteriza-se por um ligeiro aumento da ilite e pelo desaparecimento de grande parte dos minerais argilosos acessórios.

Verifica-se pela descrição sequencial um predomínio generalizado da ilite, mas com oscilações dos teores relativos da caulinite, enquanto que vermiculite, clorite e esmectite assumem pontualmente alguma importância. A expressão gráfica da razão caulinite/ilite (Fig. 5) ilustra as referidas oscilações dos teores da caulinite, verificando-se que este mineral argiloso é relativamente mais abundante na primeira sequência, atingindo os valores mais baixos na segunda sequência.

Os dados mineralógicos foram objecto de análise geoestatística, designadamente análise factorial multivariada em modo R.

A análise de componentes principais (modo R) das variáveis mineralógicas da fracção fina (Fig. 6), permite estabelecer as seguintes considerações:

- O Factor 1 mostra a halite frente aos carbonatos

Fig. 3 - Evolução vertical da composição mineral da fracção fina (<63 µm).

Fig. 3 - Vertical evolution of the mineral composition of the fine fraction.

Fig. 4 - Evolução vertical da composição mineral da fracção argilosa (<2 µm).

Fig. 4 - Vertical evolution of the mineral composition of the clay fraction.

Fig. 5 - Evolução vertical da razão caulinite/ilite.

Fig. 5 - Vertical evolution of the kaolinite/illite ratio.

(dolomite, calcite e siderite) e à opala C/CT.

- O Factor 2 mostra os filossilicatos frente aos feldspatos potássicos.

- O Factor 3 mostra as plagioclases frente aos zeólitos.

A componente detrítica da sedimentação encontra-se explicada pelo Factor 2, com a oposição entre os filossilicatos e os feldspatos potássicos a reflectirem essencialmente as oscilações climáticas ocorrentes na área-fonte dos sedimentos, que se traduziriam nas condições de hidrólise, ora mais moderadas (e, portanto, propícias à preservação dos feldspatos) ora mais

acentuadas (com a consequente alteração dos feldspatos e produção de filossilicatos). No Factor 1 encontramos um conjunto de minerais geneticamente relacionados com processos químicos, ainda que de natureza diversa, como ressalta da oposição entre a halite e os carbonatos e opala C/CT; estes últimos minerais são de origem bioquímica (os carbonatos têm a ver com conchas e outros restos carbonatados enquanto que a opala provém de restos de organismos siliciosos, tais como diatomáceas e/ou radiolários). No Factor 3, a oposição entre as plagioclases e os zeólitos tem seguramente como explicação processos evoluti-

Fig. 6 - Análise factorial (modo R) dos dados mineralógicos da fracção fina dos sedimentos.

Fig. 6 - R-mode factor analysis of the fine fraction mineralogical data.

vos ocorrentes nos litotipos (gneisses, migmatitos, xistos) aflorantes na área-fonte.

Por seu lado, a análise de componentes principais (modo R) das variáveis mineralógicas da fracção argilosa (Fig. 7), permite estabelecer as seguintes considerações:

- O Factor 1 mostra a vermiculite e a ilite-vermiculite frente aos sulfatos, cloretos e sesquióxidos.
- O Factor 2 mostra a caulinite e a clorite frente à ilite.
- O Factor 3 discrimina a esmectite e a ilite-esmectite.

Uma vez mais, a componente detrítica encontra-se explicada pelo Factor 2, com a oposição entre ilite e caulinite (acompanhada por clorite) a reflectir essencialmente as oscilações climáticas ocorrentes na área-fonte dos sedimentos, que se traduziriam nas condições de hidrólise, ora mais moderadas (e, portanto, propícias à ilite) ora mais acentuadas (com a consequente formação da caulinite); a associação da clorite com a caulinite indicia que, contudo, as condições de hidrólise nunca teriam sido muito extremadas. No Factor 1 encontramos um conjunto de minerais (vermiculite e ilite-vermiculite) geneticamente relacionados com o desenvolvimento de processos pedogené-

Fig. 7 - Análise factorial (modo R) dos dados mineralógicos da fracção argilosa dos sedimentos.

Fig. 7 - R-mode factor analysis of the clay fraction mineralogical data.

-ticos (formação do podzol), em oposição a outros relacionados com o desenvolvimento de paleosuperfícies em condições mais áridas, assim como com alguma interação com o aquífero superficial, episodicamente salinizado. A esmectite e a ilite-esmectite, discriminadas no Factor 3, estariam relacionadas com desmantelamento de solos desenvolvidos sobre os litotipos (gneisses, migmatitos, xistos) aflorantes na área-fonte.

Conforme já havia sido referido por MACHADO *et al.* (1995), a abundância da ilite na Sequência 1 traduz um meio de hidrodinâmica baixa, enquanto que o seu aumento gradual para o topo da sequência indicia que

o meio foi ficando cada vez mais restrito, lagunar, progressivamente mais confinado, evoluindo até um meio evaporítico (crosta ferruginosa com minerais evaporíticos). A diminuição da complexidade nas associações minerais à medida que se vai passando para as unidades superiores, traduzida primeiro pelo progressivo decréscimo da esmectite e posteriormente pelo desaparecimento de todos os outros minerais argilosos acessórios, traduz uma redução na alimentação da bacia (devida a forte redução de pluviosidade), embora as fontes de alimentação estivessem muito próximas, e ainda um incremento, numa fase final, da sedimentação química, a qual se traduz por uma inten-

Fig. 8 - Evolução vertical comparada dos teores em ilite e em caulinite.
Fig. 8 - Comparative vertical evolution of illite and kaolinite contents.

Fig. 9 - Evolução vertical da razão ilite/caulinite.
Fig. 9 - Vertical evolution of the illite/kaolinite ratio.

-sa ilitização (elevada abundância de ilite e quase total desaparecimento dos interestratificados). Trata-se, portanto, de uma sequência regressiva, com uma ruptura na sedimentação no fim da sequência. O meio evoluiu de litoral, supramareal, a lagunar, e, finalmente, a evaporítico árido.

As presenças relativamente abundantes de ilite e caulinite (com valores médios não muito significativamente afastados) traduzem condições climáticas temperadas, com algum contraste sazonal. As oscilações verificadas na razão caulinite/ilite (Fig. 5), assim como a oposição entre ilite e a caulinite observável no gráfico da Fig. 7, reflectem precisamente as oscilações climáticas ocorrentes na área-fonte, que possibilitavam condições de hidrólise ora mais moderadas ora mais acentuadas, sem que, contudo, as condições de hidrólise tenham sido muito extremadas, pois que a presença relativa da clorite significa que as temperaturas nunca foram muito elevadas. A ocorrência do referido contraste sazonal seria propício ao desenvol-

vimento de solos residuais esmectíticos sobre os litotipos aflorantes na área-fonte, cujo desmantelamento aquando dos episódios mais pluviosos ocasionaria o afluxo das quantidades limitadas de esmectite detetadas nos sedimentos estudados. O aumento progressivo da ilite ao longo da sequência com o comportamento oposto da caulinite, traduz uma tendência para o decréscimo gradual da temperatura. O concomitante desaparecimento da esmectite terá sido consequência da perda de contraste sazonal. Em relação à pluviosidade, ela terá sido significativa nas fases inicial e intermédia da sequência, mas o clima tornar-se-ia mais árido para o topo da sequência, onde aparecem sesquióxidos de ferro, cloretos e sulfatos.

A Sequência 2 evidencia de início uma pequena transgressão, com um meio litoral ou de transição a evoluir progressivamente para um meio caracterizado por uma alimentação mais forte e por uma maior presença de minerais evaporíticos, isto é, um meio progressivamente mais lagunar muito confinado, ao qual

sucede um meio continental subaéreo de clima temperado e húmido que possibilita a formação de um solo do tipo podzol. Ao longo desta sequência a caulinite tem uma presença em regra muito discreta, ainda que com algumas oscilações (fig. 5), o que, a par do incremento da ilite e decréscimo dos interestratificados, indicia que o clima seria temperado mas tendencialmente mais fresco que na base da sequência 1, com evidência de algum contraste sazonal assim como de oscilações no que respeita às condições de pluviosidade (com períodos quer de alguma aridez).

A base da sequência 3 representa um curto episódio transgressivo num ambiente litoral, sob condições climáticas temperadas, a que sucede uma fase regressiva num ambiente ainda litoral, com progressivo decréscimo de temperatura e pluviosidade (condições indicadas por um ligeiro aumento da ilite e pelo desaparecimento de grande parte dos minerais argilosos acessórios, mais característicos de condições climáticas opostas).

Para analisar as virtuais oscilações climáticas utilizaram-se os seguintes parâmetros:

- Evolução vertical da caulinite *versus* evolução vertical da ilite (Fig. 8).
- Evolução vertical da razão Ilite/Caulinite (Fig. 9).

A interpretação destes parâmetros assentou nos seguintes pressupostos:

- Condições climáticas relativamente mais quentes e húmidas são propícias a maior presença de caulinite e menor presença de ilite.
- Condições climáticas relativamente mais frias e secas são propícias a uma maior presença de ilite e menor presença de caulinite.

Com base nestes pressupostos e na representação gráfica dos referidos parâmetros (Figs. 8 e 9) podemos detectar a presença de 10 episódios climáticos alternantes caracterizados por climas mais quentes e húmidos e por climas mais frios e secos. Registam-se três episódios (Fig. 9) nos quais as condições seriam algo mais extremadas no sentido de um clima mais seco, correspondentes "grosso modo" a períodos de desenvolvimento de paleosuperfícies (crosta ferruginosa, camadas com minerais evaporíticos e, finalmente, o paleossolo).

4. CONCLUSÕES

A composição mineral das fracções finas dos sedimentos, em particular da fracção argilosa, tem vindo a ser utilizada para o estabelecimento de uma zonografia vertical mais fina, assim como para o despiste e caracterização de variações climáticas, ocorrentes nas áreas fonte dos sedimentos e no meio de depósito dos mesmos e, também, para reconstituições morfo-climáticas.

As variações laterais e verticais qualitativas e quantitativas dos minerais argilosos permitem o estabelecimento de ritmicidades e de periodicidades dos episódios morfoclimáticos que ocorreram em tempos recentes na região litoral onde se situa a praia de Cortegaça. Regista-se um predomínio generalizado da ilite, com oscilações da presença relativa da caulinite em relação à ilite e discriminação de 3 sequências sedimentares, com ocorrência de paleosuperfícies (crosta ferruginosa, camadas com minerais evaporíticos e um paleossolo do tipo podzol).

A análise geoestatística evidenciou a discriminação de processos detríticos, responsáveis pelo essencial da população mineral dos sedimentos analisados, de processos químicos relacionados quer com episódios de aridez quer com fenómenos de salinização do aquífero superficial, e ainda de processos bioquímicos.

A cada uma das sequências corresponde um meio inicialmente litoral que evoluiu para um meio mais continental. As condições climáticas seriam tendencialmente temperadas a frescas, mas com oscilações por vezes significativas quanto à pluviosidade (com ocorrência de períodos de aridez) e ao contraste sazonal. Estas oscilações, detectadas na análise do comportamento das associações de minerais argilosos e não argilosos, estão de igual modo evidentes no comportamento das variáveis analisadas no tratamento geoestatístico efectuado, através da oposição entre caulinite e ilite, no caso da fracção argilosa, e entre os filosilicatos e os feldspatos potássicos, no caso da fracção fina.

Foi possível detectar a presença de 10 episódios climáticos alternantes; alternância essa entre climas algo mais quentes e húmidos e climas mais frios e secos. Registam-se três episódios nos quais as condições seriam algo mais extremadas no sentido de um clima mais seco, correspondentes "grosso modo" a períodos de desenvolvimento de paleosuperfícies.

BIBLIOGRAFIA

- GRANJA, H., 1991. Os sistemas dunares a norte da laguna de Aveiro e a neotectónica recente. *Actas Seminário "A zona costeira e os problemas ambientais"*, EUROCOAST. Universidade de Aveiro.
- GRANJA, H. & CARVALHO, G., 1991. Processos geológicos durante o Plistocénico e o Holocénico na zona costeira do noroeste de Portugal. *Memórias e Notícias*, Univ. Coimbra, 112, p. 57-66.
- GRANJA, H. & CARVALHO, G., 1994. How can the Holocene help to understand coastal zone evolution? *Proceedings of the Second International Symposium EUROCOAST - LITTO-RAL'94*, I, p. 149-167.
- MACHADO, A.; SILVA, A.P.; ROCHA, F. & GOMES, C. (1995) - Contribuição da mineralogia das argilas para o estudo paleogeográfico das formações areno-pelíticas da Praia de Cortegaça (Ovar). *Memórias*, Mus. Lab. Min. Geol. Porto, 4, p. 647-652.

ROCHA, F. J. F. T., 1993. Argilas aplicadas a estudos litoestratigráficos e paleoambientais na Bacia Sedimentar de Aveiro. *Dissertação de Doutoramento*, Universidade de Aveiro, 399 p.

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 90p.