PALEOAMBIENTES QUATERNÁRIOS DE SECTORES DA ZONA COSTEIRA DO NO DE PORTUGAL: ESTUDO GEOFÍSICO

ISABEL M. C. RIBEIRO*

Resumo

Frequentemente, as expressões superficiais da zona costeira encontram-se apagadas por processos erosivos, eólicos e de praia, e pela actividade antrópica. Contudo, as características do subsolo encontram-se parcialmente preservadas; a sua análise pode, portanto, esclarecer sobre o modo como se processou a evolução da zona costeira. A investigação desenvolvida, apoia-se em prospecção geofísica (realização de sondagens eléctricas e aplicação do radar de penetração), sondagens mecânicas (para controlo dos resultados da geofísica) e na análise sedimentológica e cronológica das unidades sedimentares que cobrem o substrato rochoso. Como objectivo procurou-se estabelecer a profundidade e continuidade lateral do substrato rochoso (bedrock), a extensão da cobertura sedimentar, caracterizar a sucessão sedimentar (definição da textura e/ou estratificação dos sedimentos, processos e determinação de ambientes) e identificar acidentes neotectónicos (estruturais e morfológicos) no subsolo os quais, se reactivados, poderão manifestar-se na sucessão sedimentar.

Palavras-chave: evolução paleoambiental, zona costeira, geofísica, sondagens, datações.

Abstract

Quaternary paleo-environmental evolution of NW coastal sectors of Portugal combining geophysical, coring and dating methodologies – Frequently, coastal zone landforms are obliterated by erosion, aeolian and beach processes, and by man activity. However, subsoil characteristics are partly preserved; therefore, its analysis could elucidate about the coastal zone evolution. The research conducted is supported by geophysical prospecting (using electrical soundings and ground-penetrating radar), coring (for geophysical data control) and sedimentological and chronological analysis of sedimentary units above rocky substratum. As aim, the establishment of bedrock depth and lateral continuity, sedimentary cover extent, sedimentary sequence characterisation (definition of sediments texture and/or stratification, processes and environmental determination) and identify neotectonic accidents (structural and morphological ones) in the subsoil which, if reactivated, could influence the sedimentary sequence above.

Key-words: paleo-environmental evolution, coastal zone, geophysics, coring, dating.

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira, dada a sua localização geográfica, testemunha variações eustáticas do nível do mar, traduzidas em termos de regressões e transgressões, ocorridas durante o Quaternário. Estas variações do nível marinho, vão ficar registadas nas sequências estratigráficas que constituem a cobertura sedimentar da zona costeira; uma vez que a acumulação destes depósitos ocorre em ambientes deposicionais distintos relacionados, não só, com flutuações do nível do mar mas, também, sob diferentes paleoclimas, é de esperar que os mesmos mostrem géneses e cronologias distintas. No entanto, tais episódios de natureza glácio-eustática não são suficientes para explicar processos ocorridos no período geológico mais recente (no Holocénico), onde vão dominar outros factores (MORNER, 1996b), nomeadamente os de natureza tectónica.

A necessidade de caracterizar o subsolo (cobertura sedimentar) suprajacente ao substrato rochoso (bedrock) levou a que, numa primeira fase fosse aplicada geofísica, com métodos eléctricos (sondagens

eléctricas) e electromagnéticos (radar de penetração), com o objectivo de identificar a existência de possíveis acidentes morfológicos e/ou estruturais a afectar quer os sedimentos quer o próprio bedrock. Em fase posterior, foram realizadas sondagens mecânicas as quais permitiram confirmar a interpretação geofísica (ao permitir correlacionar o tipo de sedimento com assinaturas características evidenciadas pela geofísica) e, pelo estudo sedimentológico dessa sucessão sedimentar, obter informações quanto à sua natureza (lagunar, fluvial, marinha e eólica) e génese (ambientes de deposição e processos dinâmicos). A realização da datação de alguns dos níveis silteosos com conteúdo orgânico da sequência sedimentar, permitiu situar no tempo a evolução paleoambiental da zona. A utilização combinada destas metodologias e a interpretação dos dados, quer geofísicos quer sedimentológicos, permitiu reconhecer diferentes paleoambientes e estabelecer a provável evolução da área geomorfológica implantada na plataforma emersa da zona costeira investigada, e correlacioná-la com flutuações do nível do mar, responsáveis pela sucessão de ambientes regressivos e transgressivos e sedimentos associados.

* Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710, Braga, iribeiro@det.uminho.pt

2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E EXPERIMENTAL

A investigação foi realizada nos sectores costeiros das Marinhas e Belinho localizados, respectivamente, a 4 e 6.5 Km a norte de Esposende (Fig.1), no seguimento de trabalhos de investigação (RIBEIRO, 1998, 2000a, b, c e d) feitos com aplicação de Prospeccção Geofísica (métodos eléctricos, com sondagens eléctricas, e electromagnéticos, com o radar de penetração), execução de sondagens mecânicas e investigação laboratorial (estudo sedimentológico de unidades e níveis sedimentares presentes nas sondagens; alguns destes níveis, sendo mais orgânicos, permitiram a sua datação por radiocarbono, estabelecendo-se a sua cronologia).

Fig.1 – Localização das Marinhas e Belinho, no segmento costeiro entre os rios Neiva e Cávado, com a implantação dos perfis geofísicos (sondagens eléctricas e radar) e dos locais das sondagens mecânicas.

Fig. 1 – Marinhas and Belinho location, in the coastal zone between Neiva and Cávado rivers, with geophysical profiles (electrical soundings and radar) and coring implantation.

3. CORRELAÇÕES

Marinhas, no sector estudado, é caracterizada por uma bacia de acumulação preenchida por sedimentos areno-siltosos, reflectindo ambientes de deposição marinhos e fluviais (continentais), conforme foi evidenciado pelas sondagens mecânicas SMP (Fig.2b). Esta bacia diferencia-se da plataforma contígua por

acidente morfológico inclinado para oeste, entre as posições aproximadas de 30 e 90 m (confirmado tanto pelas sondagens eléctricas, Fig.2a, como pelo radar, Fig.2c), interpretado como uma superfície de abrasão, ou paleorelevo, talhado pelo mar, provavelmente durante a última fase transgressiva maior, ocorrida já no Holocénico. Para leste desta superfície, o substrato rochoso aproxima-se gradualmente da superfície topográfica, sugerindo a presença de uma plataforma de abrasão separada da área de sedimentação (plataforma de acumulação), para oeste (Fig.2a). No extremo leste do perfil geofísico (posições 220-230 m), na ribeira do Peralta, as isolinhas de resistividade aparente, para um e outro lado da ribeira, sugerem a presença de um acidente estrutural que parece ter condicionado a descida do terreno do lado leste, e a sua subida do lado ocidental do acidente. As sondagens realizadas mostram que os sedimentos fluviais e marinhos que preenchem a bacia de acumulação, a ocidente, se sobrepõem a uma camada de seixos rolados de quartzito, de tipologia marinha, de espessura aparentemente crescente em direcção ao mar.

Na região do Belinho, cerca de 4.5 Km a norte de Marinhas, o estudo realizado procurou investigar as variações espaciais no comportamento dos sedimentos: segundo a orientação E-O, para obter informação transversalmente à plataforma costeira (Fig.3a), e segundo a orientação N-S, para caracterizar as variações laterais ao longo da costa (Fig.4a). No Belinho os dados geofísicos e sedimentológicos evidenciaram: 1 – a presença de uma bacia sedimentar caracterizada por um substrato rochoso de contornos irregulares, mas com profundidades gradualmente decrescentes para leste; esta subida do *bedrock* em direcção à superfície é notória para leste da posição 790-800 (Fig.3a), sugerindo que, nessa zona, se localize a transição entre as plataformas de acumulação (a oeste) e a de abrasão (a leste); 2 – a presença de várias zonas abatidas instaladas no *bedrock*, preenchidas por depósitos areno-siltosos; nalguns casos, tais depressões apresentam turfas e sedimentos siltosos com diatomáceas (confirmado pelas sondagens SBP1 e SBP3, Fig.3b, indicando que as mesmas terão sido ocupadas por ambientes lagunares; 3 – tal como nas Marinhas, as sondagens revelaram a presença de uma camada de seixos depositados sobre o *bedrock*, com tendência a tornar-se mais espessa para o lado do mar (conforme o evidenciou a sondagem SBPL2A, Fig.4b).

4. CONCLUSÕES

A investigação, realizada nos sectores costeiros das Marinhas e do Belinho (Esposende), permitiu identificar a presença de ambientes deposicionais

Fig. 2 – a) Geofísica (sondagens eléctricas), assumindo resistividade aparente do *bedrock* de 200-400 Ohm metro, evidenciando a ruptura de pendor e o acidente estrutural (falha); b) sondagens mecânicas referenciadas ao nível médio do mar (NMM) actual, mostrando a sucessão de depósitos marinhos e fluviais; c) secção de radar evidenciando o paleorelievo.

Fig. 2 – a) Geophysics (electrical soundings), assuming bedrock apparent resistivity of 200-400 Ohm metre, showing the structural accident (fault) and the paleo-relief; b) coring referred to present MSL, showing the sequence of marine and fluvial deposits; c) radar section showing the paleo-relief.

Fig. 3 – a) Geofísica, assumindo resistividade aparente do *bedrock* de 200-400 Ohm metro, com profundidades gradualmente decrescentes para leste; b) sondagens mecânicas referenciadas ao Nível Médio das águas do Mar actual e datação por C^{14} de níveis turfosos; c) secção de radar evidenciando os dois níveis de turfa.

Fig. 3 – a) Geophysics, assuming bedrock apparent resistivity of 200-400 Ohm metre, with easterly decreasing depths; b) coring referred to present Mean Sea Level and C^{14} dating of peaty beds; c) radar section showing the two peat beds.

Fig. 4 – a) Geofísica realizada no lado leste da base da duna frontal, assumindo resistividade aparente do *bedrock* de 200-300 Ohm metro, evidenciando a formação de materiais de elevada resistividade (cascalho) e o paleocanal fluvial na posição de 650; b) sondagens mecânicas e datação de nível orgânico de SBPL1; c) secção de radar evidenciando o paleocanal.

Fig. 4 – a) Geophysics, assuming bedrock apparent resistivity of 200-300 Ohm metre, showing high resistivity deposits (gravel) and fluvial paleo-channel in 650 position; b) coring and SBPL1 organic bed dating; c) radar section with the paleo-channel.

caracterizados por sequências sedimentares acumuladas em diferentes ambientes, que revelam fases regressivas e transgressivas. A investigação evidenciou ainda, a presença de acidentes morfológicos (em ambas as regiões) e estruturais (nomeadamente nas Marinhas) a afectar os depósitos quaternários da zona costeira. Com efeito, o estudo revelou, sobre a plataforma rochosa, a presença de bacias de acumulação preenchidas por depósitos de diferente natureza sedimentar consistindo em níveis alternantes de cascalho, areão, areia e silte, os quais foram interpretados como ambientes marinhos, eólicos, fluviais e lagunares. Nestas bacias, as zonas mais abatidas correspondem a paleocanais e/ou depressões preenchidas por sedimentos mais condutores (menos resistivos), provavelmente de natureza lagunar (quando estão presentes turfas e sedimentos siltosos com diatomáceas) e/ou fluvial (sedimentos siltosos, provavelmente relacionados com a paleodivagação das linhas de água que atravessam estas regiões e desaguam no mar, a oeste).

No segmento costeiro do Belinho, observa-se uma extensa formação detrítica de seixo (confirmada por observação no terreno, pela presença de depósito superficial de elevada resistividade – $> 1000 \Omega m$ – na Fig.4a, e evidenciado pela sondagem mecânica

SBPL2A, Fig.4b), sugerindo que, junto à costa contemporânea da sua acumulação, possivelmente relacionada com a ocorrência de tempestades e galgamentos do mar em fase transgressiva, se terá desenvolvido uma crista de seixos de espessura variável (segundo evidências, em alguns pontos, atinge uma espessura de cerca de 12 m), a qual terá funcionado como uma barreira; numa fase regressiva posterior, a acção eólica dominante terá provocado a sua total cobertura por dunas as quais, hoje se encontram em degradação. Tal crista de seixos terá isolado do mar a bacia sedimentar localizada mais a oriente; esta terá sido localmente interrompida por uma linha de água (cujo paleocanal é evidenciado na posição 650, na Fig.4a e 4c), o qual terá facilitado a penetração do mar para o interior e, a mistura de água doce e salgada, conferindo um carácter salobro às lagunas (confirmado pelas espécies de diatomáceas identificadas, GRANJA, 1990).

Os dados sedimentológicos e geofísicos agora disponíveis (RIBEIRO, 1998, 2000a, b, c e d), e segundo evidências anteriormente encontradas (CARVALHO G. S. & GRANJA H., 1991, 1997; GRANJA, 1990, 1993, 1999; GRANJA H. & CARVALHO G.S., 1993, 1994, 1995; GRANJA H. & de GROOT T., 1996; GRANJA H. *et al.*, 1996, 1999), apontam para a existência na zona costeira do noroeste de Portugal, de um extenso sis-

tema lagunar de idade holocénica. O presente estudo parece indicar para a presença de um tal sistema lagunar, na zona costeira investigada, localizado em depressões da plataforma rochosa, onde ocorreu a acumulação de sedimentos silicosos com diatomáceas e turfas. As datações obtidas em alguns níveis orgânicos de sondagens realizadas na zona investigada (Figs 3b, 3c e 4b), revelaram a sua permanência desde os 4000 até aos 1500 anos BP; tal ambiente, terá sido, posteriormente, colmatado por depósitos sucessivamente mais arenosos, evidenciando o carácter marinho do regime transgressivo que se seguiu.

O trabalho realizado com a aplicação de dois métodos geofísicos (sondagens eléctricas e radar) mostrou ser bastante válido, tendo as características do subsolo sido confirmadas por ambas as técnicas, e clarificadas especialmente quando a interpretação geofísica resultante pôde ser controlada com informação de sondagens mecânicas.

A presente investigação mostrou que a aplicação combinada de diferentes metodologias, com particular ênfase para a existência de dados geofísicos articulados com elementos objectivos fornecidos por sondagens, constitui uma valiosa ferramenta para caracterizar o subsolo da zona costeira (cobertura sedimentar e substrato rochoso) e constatar da influência que o controle recente, morfológico e estrutural (neotectónico), pode exercer na evolução quaternária da zona costeira clarificando, assim, algumas dúvidas hoje existentes sobre a evolução paleoambiental de um sector, de si, difícil pela sua natureza e complexidade.

BIBLIOGRAFIA

- CARVALHO, G. S.; GRANJA, H. (1991) – «Processos geológicos durante o Plistocénico e o Holocénico na zona costeira do noroeste de Portugal», *Memórias e Notícias*, Publicação do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra, 112, p. 57-66.
- CARVALHO, G. S.; GRANJA, H. (1997) – «Terraços versus litos-tratigrafia e cronologia do Plistocénico da zona costeira do Minho (Portugal) », *Estudos do Quaternário*, 1, APEQ (Associação Portuguesa para o Estudo do Quaternário), Lisboa, p. 25-40.
- GRANJA, H. (1990) – «Repensar a geodinâmica da zona costeira: o passado e o presente: que futuro?», Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Braga, 347 pp.
- GRANJA, H. (1993) – «Os conhecimentos actuais sobre o Holocénico de Portugal», In: *O Quaternário em Portugal – balanços e perspectivas*, APEQ, Edições Colibri, Lisboa, p. 43-49.
- GRANJA, H. (1999) – «Evidence for late Pleistocene and Holocene sea-level, neotectonism and climate control in the coastal zone of northwest Portugal», *Geologie en Mijnbouw*, 77, p. 233-245.
- GRANJA, H.; CARVALHO, G. S. (1993) – «As datações pelo radiocarbono e o Plistocénico – Holocénico da zona costeira do NO de Portugal (síntese de conhecimentos)», *Actas da 3.ª Reunião do Quaternário Ibérico*, Coimbra, p. 383-393.
- GRANJA, H.; CARVALHO, G. S. (1994) – «How can the Holocene help to understand coastal zone evolution?», *Proceedings of the Second International Symposium EUROCOAST-Littoral 94*, Lisboa, 1, p. 149-167.
- GRANJA, H.; CARVALHO, G. S. (1995) – «Sea-level changes during the Pleistocene-Holocene in the NW coastal zone of Portugal», *Terra Nova*, European Union of Geosciences, 7, p. 60-67.
- GRANJA, H.; de GROOT, T. (1996) – «Sea-level rise and neotectonism in a Holocene coastal environment at Cortegaça Beach (NW of Portugal) – a case study», *Journal of Coastal Research*, 12 (1), p. 160-170.
- GRANJA, H.; CARVALHO, G. S.; de GROOT, T.; SOARES, A.; MONGE; PARISH, R. (1996) – «Geochronology and the recent geomorphological evolution of the northwest coastal zone of Portugal», *Partnership in Coastal Zone Management*, eds. J. Taussik e J. Michell, Samara Publishing Ltd., Cardigan, Inglaterra, p. 297-308.
- GRANJA, H.; RIBEIRO, I. C.; CARVALHO, G. S.; MATIAS, M. J. S. (1999) – «Some neotectonic indicators in quaternary formations of the northwest coastal zone of Portugal», *Physics and Chemistry of the Earth (A)*, Elsevier Science Ltd., 24, (4), p. 323-336.
- MORNER, N.-A. (1996b) – «Sea level variability», *Zeitschrift fuer Geomorphologie*, N.F. supplementband Bd., 102, p. 223-232.
- RIBEIRO, I. (1998) – «Prospecção geofísica na zona costeira a norte de Esposende», In: *Comunicações do IGM*, Actas do V Congresso Nacional de Geologia, Tomo 84, fascículo 1, Lisboa, p. D85-D88.
- RIBEIRO, I. (2000a) – «Geofísica aplicada ao estudo da evolução quaternária da zona costeira: exemplo da região do Belinho (Esposende)» Resumo S07-21 da 2.ª Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica, p. 283-284.
- RIBEIRO, I. & GRANJA, H. – «Evolução holocénica nos segmentos costeiros das Marinhas e Belinho (Esposende): evidências de flutuações do nível do mar», Workshop WT2, 3.ª Simpósio sobre a Margem Continental Ibérico-Atlântica, Universidade do Algarve, Ciacomar.
- RIBEIRO, I. (2000b) – «Estudo da evolução paleoambiental quaternária dos segmentos costeiros das Marinhas e Belinho (Esposende), com aplicação de métodos geofísicos aliados a sondagens mecânicas e datações», In: *Comunicações do IGM*, Tomo 87 (2000), p. 79-90.
- RIBEIRO, I. (2000c) – «Impacte do Homem sobre o ambiente geológico vs impacte do ambiente geológico sobre o Homem», Seminário sobre Geologia Ambiental, Departamento Ciências da Terra, Universidade Minho, 23-25 Fevereiro 2000.