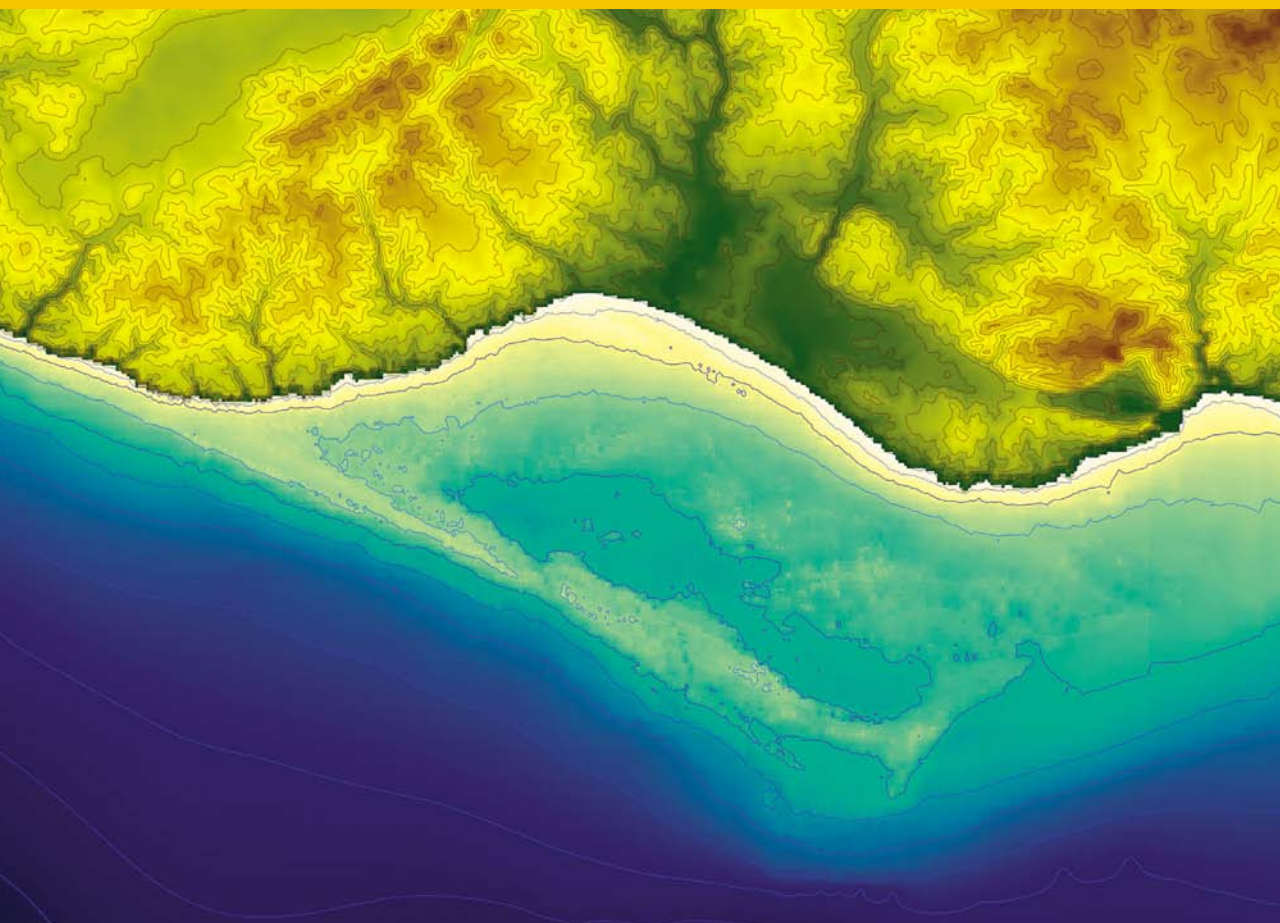


A. CAMPAR ALMEIDA · ANA M. S. BETTENCOURT · D. MOURA
SÉRGIO MONTEIRO-RODRIGUES · MARIA ISABEL CAETANO ALVES



ENVIRONMENTAL CHANGES AND HUMAN

INTERACTION ALONG THE
WESTERN ATLANTIC EDGE

MUDANÇAS AMBIENTAIS E INTERAÇÃO HUMANA

NA FACHADA ATLÂNTICA OCIDENTAL

IMPRINT / FICHA TÉCNICA

Title: ENVIRONMENTAL CHANGES AND HUMAN INTERACTION ALONG THE WESTERN ATLANTIC EDGE
MUDANÇAS AMBIENTAIS E INTERAÇÃO HUMANA NA FACHADA ATLÂNTICA OCIDENTAL

Eds. A. Campar Almeida, Ana M. S. Bettencourt, D. Moura, Sérgio Monteiro-Rodrigues and Maria Isabel Caetano Alves

Editors:

APEQ - Associação Portuguesa para o Estudo do Quaternário
CITCEM - Centro de Investigação Transdisciplinar “Cultura, Espaço e Memória”, financiado por Fundos Nacionais, através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, no âmbito do projeto PEstOE/HIST/UI4059/2011.

CEGOT - Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território

CGUP - Centro de Geologia da Universidade do Porto

CCT - Centro de Ciências da Terra da Universidade do Minho

Editorial advisory committee:

António Monge Soares, Fernando da Silva Rebelo, Helena Granja, Isabel Figueiral, João Luís Cardoso, João Pais, Lúcio Cunha, Maria da Conceição Freitas, Nuno Bicho, Pedro Proença e Cunha, Philippa Ascough, Ramon Fábregas Valcarce.

Cover image: Digital terrain model of the Armação de Pêra, Algarve, Portugal (by Leandro Infantini)

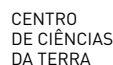
Composition, printer and bound by Sersilito-Empresa Gráfica, Lda.

Edition: 500 Exemplares

Legal deposit: 350801/12

ISBN: 978-989-97140-1-4

Coimbra, October 2012



A. Campar Almeida, Ana M. S. Bettencourt,
D. Moura Sérgio Monteiro-Rodrigues, Maria Isabel Caetano Alves (eds.)

Environmental changes and human interaction
along the western atlantic edge

*Mudanças ambientais e interação humana
na fachada atlântica ocidental*

Contents

Índice

7 Foreword

I

Methodology

Metodologia

- 13 Marine reservoir effects: problems and prospects for radiocarbon dating
Philippa L. Ascough
- 27 Radiocarbon dating of aeolianite formation
A. M. Monge Soares, A. Ramos Pereira, J. M. Matos Martins & P. J. Portela
- 43 Diatomáceas como potencial ferramenta para reconstituições paleoecológicas
A. Gomes, T. Boski & D. Moura

II

Palaeoenvironmental Changes and Human Activity

Mudanças Paleoambientais e Actividade Humana

- 51 Reconstructing Holocene evolution in the archaeological site of Campo Lameiro (NW Spain): an interdisciplinary approach to geoarchaeology
Manuela Costa-Casais, Antonio Martínez Cortizas, Joeri Kaal, Maria Isabel Caetano Alves & Felipe Criado-Boado
- 71 Sedimentological analysis of relict slope deposits from Serra da Estrela (Portugal): first results
Alexandre Trindade, G. Vieira & C. Schaefer
- 79 Environmental changes in the westernmost Cantabrian range during the postglacial period: the Pena Velosa (Muniellos, Asturias) pollen record
C. Muñoz Sobrino, F. J. Suárez Pérez, H. S. Nava Fernández, M.A. Fernández Casado, L. Gómez-Orellana, M. A. Rodríguez-Gutián, J. A. Fernández Prieto & P. Ramil-Rego
- 95 Refúgios para árvores temperadas caducifólias na área litoral do Noroeste Ibérico durante o último período glacial
Luis Gómez-Orellana, Pablo Ramil Rego & Castor Muñoz Sobrino
- 107 História do fogo durante o holocénico na serra da Estrela, Portugal: resultados preliminares
João Araújo, Simon E. Connor, Jacqueline F. N. van Leeuwen & Willem O. van der Knaap
- 115 Firewood and timber exploitation during the 3rd and 2nd millennia BC in the Western façade of the Iberian northwest: wooden resources, territories and chaîne opératoire
María Martín-Seijo, Ana M. S. Bettencourt, Emilio Abad-Vidal & Juan C. López García

III

Fauna and Human Activity

Fauna e Actividade Humana

- 139 O povoamento humano do paleo-estuário do Sado (Portugal): problemáticas em torno da ocupação dos concheiros mesolíticos
Mariana Diniz & Pablo Arias
- 159 Preliminary analysis of the spatial relationships between faunal and lithic remains on the Mesolithic shellmidden of Cabeço da Amoreira (Muge, Portugal)
Rita Dupont de Sousa Dias, João Cascalheira, Célia Gonçalves, Cleia Detry & Nuno Bicho
- 165 Burial practices in Muge shell middens (Portugal): state of the art
Olívia Figueiredo
- 171 Acerca da influência ambiental e humana nos moluscos do Monte Molião (Lagos, Portugal)
Cleia Detry & Ana Margarida Arruda

IV

Mining and Environmental Impact

Mineração e Impacto Ambiental

- 187 Impacto ambiental da primeira mineração e da metalurgia especializada no Sudoeste da Península Ibérica
Nuno Inácio, Francisco Nocete, José Miguel Nieto, Moisés R. Bayona, Joaquín Delgado, T. Boski & Daniel Abril
- 203 Modelo de gestão e circulação de sílex há 5000 BP na faixa litoral entre Nazaré e Peniche (Estremadura portuguesa)
Patrícia Jordão & Nuno Pimentel

V

Evolution of Coastal Land

Evolução do Litoral

- 219 Mean sea level and coastline-Late Quaternary
D. Moura, A. Gomes, S. Gabriel & J. Horta
- 227 Utilização de ferramentas SIG para o estudo da morfologia submersa da bacia de Armação de Pêra (Algarve)
Leandro Infantini, D. Moura & Nuno Bicho
- 243 Guidoiro Areoso. Megalithic cemetery and prehistoric settlement in the Ría de Arousa (Galicia, NW Spain)
José Manuel Rey García & Xosé Ignacio Vilaseco Vázquez
- 259 Evolução recente (décadas de 1950-2010) da morfologia dos deltas do Catumbela e Cavaco (Benguela, Angola)
Pedro A. Dinis, Luís S. Silva, João Huvi, Jorge M. Dinis & Pedro P. Cunha
- 265 Land use evolution of the coast Blanc Cap to Cantin Cap (Moroccan Atlantic coast): cartography by aerial photography analysis
Khalid el khalidi, Abdenaim Minoubi, Bendahhou Zourarah & Ahmed Aajjane

FOREWORD

This book is part of the project on Paleoenvironmental Changes and Anthropisation in the Quaternary of Western Iberia, a study carried out in 2010-2011 by the Portuguese Association for Quaternary Research (*APEQ*). The aim of the project was to bring together a number of research efforts leading to an explanation of environmental changes during the Quaternary, of how human communities responded to those changes, and of the role played by man in altering the landscape of the Western part of the Iberian Peninsula.

The present publication is a follow up to *Paleoenvironmental Changes and Anthropisation in the Quaternary of Western Iberia*, first published in 2010, although this time the geographical scope has been expanded to include the Western Atlantic edge and thus put the Iberian Peninsula in a wider research perspective.

For the most part the articles in this book are based on the papers first presented at “IV Jornadas do Quaternário” / 1st International Conference: Environmental Changes and Human Interaction Along the Western Atlantic Façade, held at the University of Coimbra in 9-10 December 2011.

Coming from a variety of universities and research centres in Portugal, Spain, Scotland, Switzerland, Morocco, Angola and Brazil, the authors of these studies belong to different scientific areas, from geophysics to geology to geography, archaeology and biology, thus reflecting the multidisciplinary nature of Quaternary studies.

The articles are divided into five thematic sections, according to the research interests of the authors involved.

Part I is devoted to methodological issues and opens with Philippa Ascough's article. Ascough's topical theme deals with the need to be cautious when using C14 for absolute ratings of marine samples or man-related remains, as they appear to be older than their terrestrial counterparts. What we have here is the marine reservoir effect (MRE). In the next article, António Monge Soares and his collaborators show how radiocarbon dating carried out in Portugal allowed them to determine the age of a number of apparently contemporary consolidated dunes, dating from somewhere between the last interstadial and the early Holocene. In their study, Ana Gomes, Tomasz Boski and Delminda Moura use the specificity of diatom communities in terms of ecological preferences to carry out paleoenvironmental reconstructions in the Guadiana estuary (S of Portugal) during the Holocene.

Part II is made up of articles on paleoenvironmental change and human activity. Based on their interdisciplinary study of sedimentary deposits found in the archaeological area of Campo Lameiro (Pontevedra, NW of Spain), Manuela Costa Casais and her team offer a model of Holocene environmental evolution. Their findings confirm the occurrence of significant erosion/sedimentation processes starting in the Younger Dryas and throughout the Holocene. According to the authors, some of the discontinuities found in Holocene colluvia coincide with abrupt climate events known to have occurred in the past 10,000 years, namely the 8.2 ka event, the beginning of Neoglaciation, and the 2.8 ka event. But since at least the Neolithic period, human intervention in the landscape must have played an important role in the way the landscape evolved, sometimes with far greater repercussions than those caused by natural phenomena. Alexandre Trindade, Gonçalo Vieira and C. Schaefer used the micromorphology of sediments and of soil slopes to come to a better understanding of their morphogenetic significance and thus arrive at a chronological framework of the late Quaternary in Serra da Estrela (Portugal). Using isotope datings and marine records, C. Muñoz-Sobrino, L. Gomez-Orellana and P. Ramil-Rego draw correlations between pollen sequences that help us understand the regional migration of plant species in the western end of the Cantabrian range (North of Spain) during the Post-glacial. From their pollen analysis of coastal wetlands in northwestern Iberia, L. Gomez-Orellana, P. Ramil-Rego and C. Muñoz-Sobrino derive the conclusion that between 100,000 and 32,000 BP there were conifers alongside temperate deciduous trees on the coast of northwestern Iberia, a region that served as a refuge for mesophilic and thermophilic species. Based on the study of charcoals found in a marsh, João Araújo and his colleagues offer a variation of Serra da Estrela (Portugal) vegetation dating from the end of the last glacial and the Holocene. The authors noticed that this higher concentration of charcoal was concurrent with deforestation between 3,000 and 900 BP. The paleobotanical study of Chalcolithic and Bronze Age sites located in northwestern Iberia, presented in the article by M. Seijo-Martín and his collaborators, uses the logic of operational chains as applied to the exploitation of wood resources. Using this method, the authors attempt to characterise the various stages of this particular activity – from the procurement of timber to its end use –, and from there they proceed to make inferences of a paleotechnological and paleoethnological nature. Their results show a broad-spectrum strategy for procuring firewood and timber, through the use of the resources available in the various landscape units around the habitats: climax forests, brushwood and riparian zones.

Part III covers both the fauna and human activity, *i.e.*, the ways in which humans have used a number of wildlife resources. Mariana Diniz and Pablo Arias's work on the Mesolithic shell middens of Portugal's Sado river aims, among other things, to draw attention to the specificities of these prehistoric sites. For although it is broadly possible to include them in a *typically Euro-Atlantic culturescape* to which the Muge shell middens also belong, there are certain peculiarities that have to be taken into account if one is to build an explanatory model of regional Mesolithic settlement. More

specifically, the authors believe that the analysis of these peculiarities may help assess the exact extent to which ecological and cultural factors determined how Mesolithic communities came to choose this territory. While also dealing with Mesolithic shell middens, the study carried out by Rita D. S. Dias and her team focuses on Muge (Portugal) and their article discusses the consequences of the use of spatial distribution models at Cabeço da Amoreira. Their methodology aims at identifying concentrations of artifacts and ecofacts, establishing relationships between lithic materials and osteological remains, and obtaining data on the site formation processes. Olivia Figueiredo, on the other hand, gives us a state-of-the-art type of review on the burial practices identified in Muge's diverse mounds. According to the author, there is ample evidence of the fact that the approximately three hundred skeletons found in Muge were actually the object of intentional, albeit nonstandard, burials. In the context of a much later chronological framework, Cleia Detry and Ana Margarida Arruda sought to identify the causes of the decrease of cockle (*Cerastoderma edule*) remains and the increase in grooved carpet shell clam (*Ruditapes decussatus*) and mussel (*Mytilus edulis*) remains at Monte Molião (Lagos, Portugal) during its Roman occupation. The findings suggest that the variation may be due to environmental changes caused by some sudden, brief event such as a storm or tsunami, leading to the disruption of this cockle-rich estuarine ecosystem. While giving this hypothesis its due, the authors do not rule out the possibility that the changes in the frequency of these molluscs were caused by habit changes with regard to the exploitation of water resources. This study also led to a dietary reconstruction of the inhabitants of Monte Molião.

In Part IV, devoted to mining and its impact on the environment, Nuno Inácio and his collaborators assess the environmental impact of copper mining and metallurgy in the Huelva region (Sw of Spain) in the third millennium BC. Palynological data, chemical analyses of sediments and other biomarkers of the Guadiana, Tinto, Odiel and Guadalquivir drainage basins for the period in question point to severe deforestation with consequent soil erosion as well as land and water contamination by various heavy metals. Based on these impacts, the authors suggest the possibility of copper mining and metallurgy as a specialised activity in the 3rd millennium BC. The Chalcolithic period is also the focus of the research carried out by Patricia Jordan and Nuno Pimentel, who submit a model for the management and movement of lithic resources, namely flint, in the Nazareth-Peniche region (central Portugal). Methodologically, this model derived from the petroarchaeological approach used for the Village of S. Mamede (Óbidos), which in turn resorted, among other things, to petrographic analyses and to studies based on lithic technology.

Part V deals with coastal evolution in four different geographical areas: the Algarve (SW of Iberian Peninsula), Galicia (NW of Iberian Peninsula), Morocco (NW of Africa) and Angola (West Africa). As far as the Algarve is concerned, Delminda Moura, Ana Gomes, Selma Gabriel and J. Horta discuss the relationship between the mean sea level and the coastline and how that relationship is reflected in terms of archaeological finds. L. Infantini, on the other hand, shows the occurrence and probable dynamics of

an immersed lagoonal form in the Armação de Pêra bay (Algarve). J. M. García-Rey and X. Vilaseco Vasquez analyse the loss of sand on an island in the ria de Arousa (Galicia) to study its archaeological sites and trace the island's evolution throughout the Quaternary. Pedro Dinis and his colleagues seek to explain the sedimentary dynamics of two river deltas near Benguela, in Angola, an area marked by a sharp seasonal contrast. Finally, El Khalidi, B. Zourarah and A. Ajjane use sequential analysis of aerial photos as well as a geographical information system to explain landscape and coastline changes on a stretch of the Moroccan coastline.

This book is thus the materialisation of APEQ's goals as expressed in the above-mentioned project and in the Association's activity over a two-year period.

*A. Campar de Almeida, Ana M. S. Bettencourt,
D. Moura, Sérgio Monteiro-Rodrigues & Maria Isabel Caetano Alves*

UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS SIG PARA O ESTUDO DA MORFOLOGIA SUBMERSA DA BAÍA DE ARMAÇÃO DE PÊRA (ALGARVE)

Leandro Infantini¹, Delminda Moura² & Nuno Bicho¹

Resumo: Durante o Último Máximo Glacial (UMG) vastas porções das plataformas continentais encontravam-se emersas devido à regressão marinha de grande amplitude. Deste modo, uma grande parte da paisagem e consequentemente do património pré-histórico e paleoambiental está presentemente submerso e potencialmente preservado, sendo necessárias investigações no sentido de o estudar e recuperar. Neste contexto, e de forma a contribuir para o conhecimento de paisagens submersas, o objetivo deste trabalho é apresentar e discutir os dados preliminares da investigação efetuada na área submersa da Baía de Armação de Pêra (Sul de Portugal). Devido a dificuldades inerentes ao trabalho em zonas submersas, desde a caracterização morfológica à recolha de amostras para análise textural, foram necessárias novas abordagens metodológicas para a caracterização da área de estudo. A caracterização e análise morfológica da área de estudo, foi realizada em ambiente SIG utilizando um Modelo Digital de Terreno (MDT) da região construído a partir de dados batimétricos obtidos por deteção remota. Com base nesta análise, a zona submersa da Baía de Armação de Pêra apresenta uma morfologia compatível com o desenvolvimento de um sistema lagunar durante o Plistocénico, abrigado por uma restinga arenosa. Tal como observado nas análises sedimentológicas e petrográficas preliminares, realizadas em amostras colhidas em mergulho, as areias da restinga sofreram uma rápida cimentação por carbonato de cálcio que lhes conferiu resistência mecânica à erosão pelas ondas e correntes.

Palavras-chave: SIG; Modelo Digital de Terreno; Morfologia; Linha de Costa; Pré-história.

Abstract: SIG tools usage for the study of the Armação de Pêra bay (Algarve) submerged morphology

During the Last Glacial Maximum (LGM) wide portions of the continental shelves were emerged due to a wide marine regression. Accordingly, the landscape and therefore prehistoric heritage and palaeoenvironmental indicators are currently submerged and potentially preserved, being necessary investigations in order to study and restore this heritage. Aiming to contribute for the understanding of underwater landscape, this work presents preliminary data about research in the submerged area of the Armação de Pêra bay (Southern Portugal). Due to difficulties of working in underwater areas, from the morphological characterization to sampling for textural analysis, new approaches were needed to investigate this area. Characterization and morphological analysis of the study area was performed in GIS environment using a Digital Terrain Model (DTM) built from bathymetric data obtained by remote sensing. Based on this analysis, the submerged area of the Armação de Pêra Bay has a morphology compatible with the development of a coastal lagoon system during the Pleistocene, sheltered by a spitbar. As observed in preliminary petrographic and sedimentological

¹ FCHS (Faculdade de Ciências Humanas e Sociais) – Universidade do Algarve.
E-mail: leandroinfantini@hotmail.com

² CIMA (Centro de Investigação Marinha e Ambiental) – Universidade do Algarve.

analysis carried out on samples taken from diving, the sands of the sedimentary body have suffered a rapid cementation by calcium carbonate that preclude erosion by waves and currents.

Key-words: GIS; Digital Terrain Model; Morphology; Coastline; Prehistory.

1. INTRODUÇÃO

As alterações do nível médio do oceano e as alterações climáticas encontram-se entre os fenómenos naturais de maior impacto geológico e ambiental, ocorridos durante o Quaternário. A expansão das calotes polares e glaciares continentais durante as grandes glaciações do Plistocénico teriam provocado uma diminuição no volume de água dos oceanos provocando o rebaixamento do nível do mar. Por outro lado, em períodos mais quentes, a fusão parcial dos glaciares provocaram um aumento no nível do mar (eg. Ponzi 2004). As migrações da linha de costa no passado resultaram de processos de erosão, transporte e deposição. Várias evidências geomorfológicas como plataformas litorais, arribas, ruturas de declive e praias antigas, podem ser indicadoras de antigas linhas de costa. Muitos destes elementos podem ser identificados utilizando sistemas de deteção remota (Bird 2008).

O presente trabalho tem como objetivo investigar a zona submersa da baía de Armação de Pêra onde ocorre um relevo compatível com o desenvolvimento de uma restinga arenosa. Uma restinga arenosa pode ser definida como um tipo de barreira, formada na direção predominante da deriva longilitoral pela acumulação de sedimentos e moldada em grande parte pelo padrão dominante das ondas. A formação de uma restinga arenosa ocorre quando a capacidade de transporte do sedimento decresce devido a fatores como a morfologia do fundo ou a mudança de direção da linha de costa e que induzem a refração e reflexão das ondas, permitindo a deposição do sedimento transportado. Algumas restingas, à semelhança da que ocorre na área de estudo, têm a extremidade encurvada, devido à deposição do sedimento na sua parte final e podem indicar tanto a posição da linha de costa quanto a evolução da própria restinga (Ciavola 1997; Davis Jr & Fitzgerald 2004; Jewell 2007; Lindhorst *et al.* 2008). Estes sistemas de barreira podem proteger baías, lagunas e sapais que constituem habitats de grande importância para a reprodução de organismos marinhos, além de uma importante fonte de nutrientes (Davis Jr & Fitzgerald 2004). Deste modo, a identificação destes paleoambientes, para além de fornecer um indicador da evolução da linha de costa, das correntes e direção preferencial das ondas, pode contribuir para o conhecimento da exploração de recursos aquáticos para a dieta das comunidades humanas pré-históricas.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A baía de Armação de Pêra (Fig. 1) situa-se ao largo da vila de Armação de Pêra, no Algarve. É uma baía em forma de zeta, onde se acumula uma praia contínua de, aproximadamente, 6 km paralelamente à linha de costa, interrompida apenas pelas desembocaduras das ribeiras de Alcantarilha e Espiche. A praia é limitada no lado

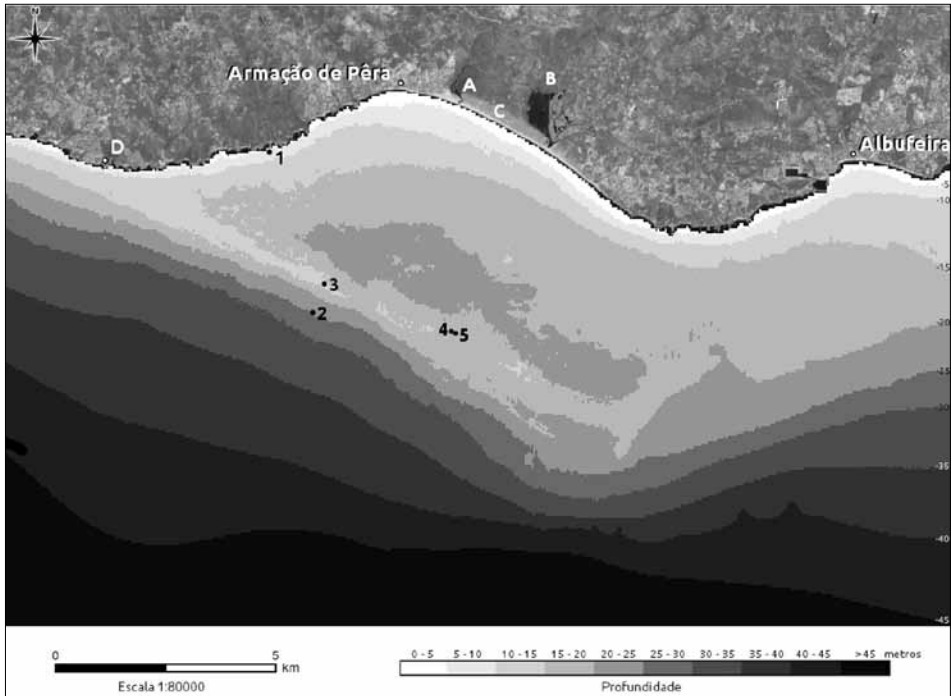


Fig. 1 – Localização da zona de estudo, utilizando o modelo digital de terreno (MDT) para a zona submersa e a imagem em infravermelho próximo (Banda 4) do Landsat7 para a zona continental. No MDT as profundidades foram agrupadas em 10 classes de profundidades. Na imagem Landsat, os alvos de maior absorção dos infravermelhos, como as ribeiras, lagoas e vegetação densa estão em tons escuros enquanto alvos de maior refletância, como as dunas, praias e construções, estão em tons claros. Em: A – Ribeira de Alcantarilha; B – Ribeira de Espiche; C – Campo dunar; D – Cabo Carvoeiro; 1 – Amostras AL-01 e AL-02; 2 – Amostras PT-1F e PT-1S; 3 – Amostra PT-2B; 4 – Amostras PC-SP e PC-SL; 5 – Amostra AP-01.

Fig. 1 – Location area, using the Digital Terrain Model (DTM) for submerged zone and panchromatic image (Band 8) of Landsat7 for continental zone. In DTM, depths were classified into 10 classes depths. In: A – Alcantarilha creek; B – Espiche creek; C – Dune field, D – Cape Carvoeiro; 1 – Samples AL-01 and AL-02; 2 – Sample PT-1F and PT-1S; 3 – Sample PT-2B; 4 – Sample PC-SP and PC-SL; 5 – Sample AP-01.

continental por um campo dunar ativo que atinge 200-300 metros de largura sobreposto a um paleo sistema dunar, que, associado à ocorrência de rochas de praia testemunham um paleolitoral holocénico resultante da estabilização do nível do mar desde há aproximadamente 5000 anos (Teixeira 2002; Moura *et al.* 2007).

Na zona submersa adjacente ocorre uma crista rochosa com cerca de 1 km de largura e, tal como a linha de costa atual, também orientada no sentido NW-SE, situada entre os 14 e 25 metros de profundidade, formada por calcarenitos de grão médio com cimento carbonatado (Teixeira 2002). Uma depressão que representa provavelmente uma paleo laguna, separa o referido relevo da linha de costa. De acordo com trabalhos anteriores (Teixeira 2002; Teixeira & Pinto 2002) a formação deste relevo teria ocorrido no Plistocénico final.

A costa do Algarve tem um regime de marés mesotidal, variando entre 1.3 e 3.5 m em marés mortas e vivas respetivamente. As ondas aproximam-se da costa predominantemente de WSW (72 % de ocorrências) sendo a sua altura significativa geralmente inferior a 1 m podendo raramente atingir alturas superiores a 3 m (2% de ocorrência anual) durante as tempestades (Costa *et al.* 2001).

3. METODOLOGIA

A zona em questão foi identificada e selecionada para investigação, no âmbito do projeto *SIGPAL* (Infantini, no prelo), devido à potencial preservação de paleolinhas de costa. Este projeto tem como objetivo a recolha, tratamento e gestão de informações geoespaciais como imagens e Modelos Digitais de Terreno (MDT) e de sítios arqueológicos Paleolíticos e Mesolíticos do Algarve.

3.1. Análise morfológica

Devido a dificuldades logísticas de se investigar em zonas submersas, foi necessário o desenvolvimento de duas abordagens de pesquisa. Por um lado, foi necessário desenvolver uma metodologia para a recolha de amostras em contexto subaquático, e por outro lado, o desenvolvimento e gestão de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para a caracterização, análise morfológica e para a definição de um plano de amostragem na região a ser investigada.

Numa primeira abordagem, recorreu-se a Sistemas de Informação Geográfica (SIG), por serem ferramentas computacionais do geoprocessamento e que permitem a realização de análises complexas, ao integrar diversas fontes de dados e a criação de bases de dados georreferenciadas (Câmara *et al.* 2001). Neste contexto, utilizaram-se diversas ferramentas computacionais de acesso livre, como o sistema operativo GNU/Linux Ubuntu e os softwares SPRING (Câmara *et al.* 1996), Mirone (Luís 2007) e Quantum GIS (Quantum GIS Development Team 2011). Também foram utilizados dados de diversas fontes de acesso livre como imagens do sensor ETM+ do satélite Landsat 7 com uma resolução de 15 (banda pancromática) e 30 metros, e os Modelo Digitais de Terreno compilado por Luís (2010) com uma resolução espacial de 50 metros para a caracterização altimétrica e batimétrica do leito marinho e o MDT do SRTM (Jarvis *et al.* 2008) com uma resolução espacial de 90 metros para a caracterização altimétrica.

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) ou Modelo Numérico de Terreno (MNT) pode ser definido como um conjunto de dados em suporte numérico que permite associar, em qualquer ponto definido sobre o plano cartográfico, um valor correspondente à sua altitude (Matos 2008). As vantagens destes modelos, neste projeto, residem tanto na capacidade de apresentar, além da sua altitude em qualquer ponto, perspetivas em três dimensões que auxiliam em simulações de paisagem e na identificação de morfologias relacionadas a paleoambientes. Neste sentido, várias operações foram realizadas

a partir do modelo digital do terreno (MDT), como o cálculo de declives, reconstrução da rede de drenagem da região e o planeamento de missões de recolha de amostras subaquáticas.

O mapa de declives (Fig. 2) da zona emersa e submersa foi construído a partir do MDT (Luís 2010), e foi reclassificado em quatro classes entre os 0 a 2%, 2 a 4%, 4 a 6% e maior que 6%, a fim de se identificar os principais conjuntos de declives, ruturas de declive e plataformas litorais. A rede de drenagem foi construída a partir de um modelo hidrológico de escoamento tendo como base o mesmo MDT, e deste modo foi construído a rede na zona emersa e submersa.

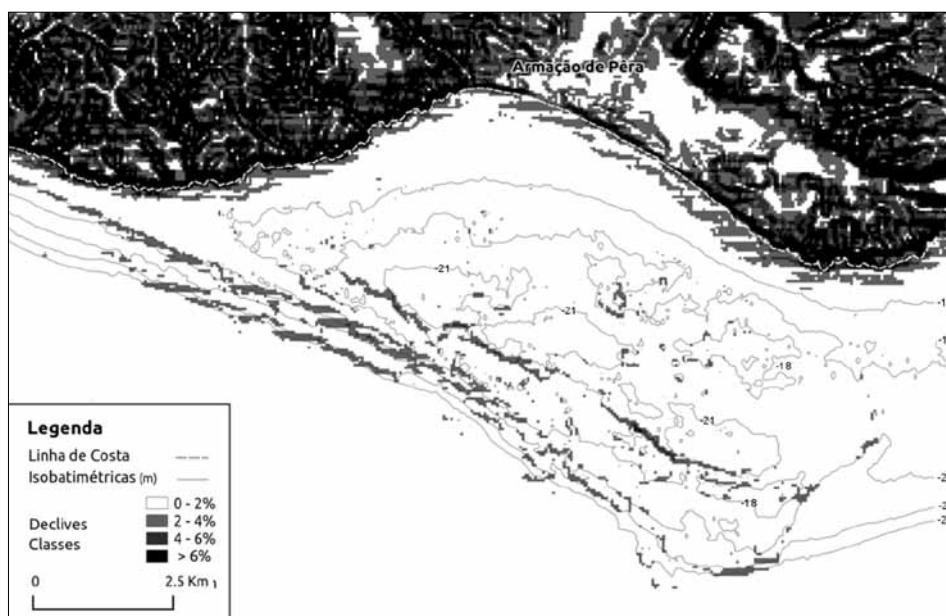


Fig. 2 – Mapa de declives da área em estudo em conjunto com as isobatimétricas dos -14, -18, -21 e -26 metros de profundidade.

Fig. 2 – Slope map of continental and submerged area, with depth contour of -15m, -18m, -21m, -24m and -26 meters depth.

3.2. Amostragem

Vários mergulhos foram realizados para a recolha de amostras, visando a identificação e caracterização da litologia. Nesses mergulhos, para além de amostras superficiais, foram recolhidas amostras de rocha por meio de um sistema pneumático de perfuração. Este sistema é autónomo, uma vez que utiliza a pressão de ar de um cilindro de ar secundário e independente. Aplica-se, portanto, o mesmo princípio do sistema SCUBA de mergulho autónomo, ao utilizar um regulador de pressão (primeiro estágio) para a redução da pressão de ar do cilindro de mergulho até uma pressão intermédia para a utilização do amostrador. Neste sistema de amostragem, utilizou-se um perfurador pneumático e optou-se pela utilização de brocas de 30 mm de espessura

e com comprimentos variáveis para permitir a extração de amostras mais profundas. Porém, devido a questões técnicas do equipamento e limites de mergulho, as amostras utilizadas tem um comprimento entre 4 a 5 cm.

Os locais de amostragem foram selecionados em perfis batimétricos previamente elaborados a partir do SIG e do MDT. Utilizaram-se um total de oito amostras subaquáticas (Tabelas 1 e 2) provenientes de cinco locais distintos (Fig. 1).

Tab. 1 – Profundidade das amostras, percentagem de carbonato de Ca, e análise estatística (método de Folk & Ward) realizada através do Gradistat (Blott 2010)

Tab. 1 – Depth of samples, proportion of calcium carbonate and statistical analysis (Folk & Ward method) performed by Gradistat (Blott 2010)

| Amostras | Prof. (m) | CaCO ₃ % | Média Φ | Calibragem σ | Assimetria S_k | Kurtose K |
|----------|-----------|---------------------|---------------------|--|-------------------------|----------------------------|
| AL-01 | -7 | 80,7 | 2,78 Areia Fina | 0,75 Moderadamente calibrada | -0,36 Muito negativa | 1,59 Muito leptocúrtica |
| AL-02 | -7 | 76,11 | 2,55 Areia Fina | 0,92 Moderadamente calibrada | -0,36 Muito negativa | 1,14 Leptocúrtica |
| PT-2B | -15 | 61,35 | 2,44 Areia Fina | 0,52 Moderadamente bem calibrada | -0,26 Negativa | 1,38 Leptocúrtica |
| PC-SP | -18 | 63,03 | 1,84 Areia média | 0,81 Moderadamente calibrada | -0,26 Negativa | 0,70 Platicúrtica |
| PC-SL | -18 | 57,09 | 1,15 Areia média | 0,69 Moderadamente bem calibrada | 0,71 Positiva | 2,75 Muito leptocúrtica |
| PT-1F | -25 | 60,16 | 1,19 Areia média | 0,64 Moderadamente bem calibrada | 0,60 Positiva | 0,82 Platicúrtica |
| PT-1S | -25 | 63,18 | 2,08 Areia fina | 0,89 Moderadamente calibrada | -0,35 Muito negativa | 0,83 Platicúrtica |

Tab. 2 – Resultado da datação obtida pelo Laboratório de Radiocarbono de Waikato, Nova Zelândia

Tab. 2 – Result of ¹⁴C dating by Waikato Radiocarbon Dating Laboratory, New Zealand.

| Amostra | Referência | Prof. (m) | Material | Método | Resultado (BP) |
|---------|------------|-----------|------------------------------|--------|----------------|
| AP-01 | Wk-30540 | -18 | Cimento (CaCO ₃) | AMS | 17581 ± 56 |

3.3. Análises texturais

Foram selecionadas sete amostras (Tab. 1) para análises texturais que foram tratadas com H₂O₂ a 110 v. para a limpeza de organismos marinhos vivos. Posteriormente, foram emersas numa solução de HCl a 20% para determinar a quantidade de carbonato de cálcio total (por diferença de peso, antes e depois da digestão em ácido). A fra-

ção detrítica foi peneirada mecanicamente num jogo de crivos com intervalo de malha de $\frac{1}{2} \Phi$. A análise estatística foi realizada através da aplicação Gradistat (Blott 2010).

3.4. Datação

Uma das amostras (AP-01) foi datada por radiocarbono no laboratório Waikato, Nova Zelândia (Tab. 2), sendo datado o cimento. As restantes amostras de rocha não foram enviadas para datação, pois, por observação macroscópica verificou-se que os traços de atividade da endofauna, como por exemplo, tubos carbonatados de poliquetas afeta toda a amostra. Deste modo, será necessário recolher amostras até maior profundidade (pelo menos 30 cm) no substrato rochoso para o melhor enquadramento temporal da forma estudada.

4. RESULTADOS

4.1. Morfologia

A estrutura sedimentar submersa aproximadamente paralela à linha de costa (praia de Armação de Pêra) e dela afastada de cerca de 4 km apresenta fisiografia compatível com uma paleo restinga arenosa (posteriormente litificada) construída aproximadamente a partir do Cabo Carvoeiro, onde se encontra ancorada (Fig. 1).

A zona submersa é composta predominantemente por classes de declive entre os 0 a 2%, sendo este um gradiente comum em plataformas continentais. Contudo, ruturas no pendor, com declives entre os 2% a 4% estão associados às profundidades de -15, -18, -21 e -26 m.

Na rede de drenagem (Fig. 3) foi colocada em evidência a existência de paleocanais da rede de drenagem na zona submersa da baía, que foram possivelmente esculpidos quando o nível médio do mar estava mais baixo que o presente, provavelmente em fase posterior a litificação deste relevo. Ainda, em mergulho, foram observadas várias formas cársicas designadamente algares (Fig. 4).

4.2. Análises texturais

A percentagem de carbonato de cálcio total das amostras analisadas varia entre 47% a 80% (Tab. 1). As amostras com teor em carbonato mais elevado são AL-01 e AL-02 localizadas em Praia de Albandeira a uma profundidade de -7 metros (Fig. 1 e Tab. 1). A média granulométrica variou entre 1,14 e 2,78 Φ , isto é entre areia fina e areia média, variando de moderadamente calibrada a moderadamente bem calibrada (Tab. 1) e a assimetria situa-se entre 0.7 e -3.6.

Foi realizada uma análise morfoscópica dos grãos de quartzo, nas frações granulométricas 0.500, 0.355 e 0.250 mm. Nas amostras PT-1F, PT-1S, PT-2B, PC-SL e PC-SP (Tab. 1) o quartzo é principalmente hialino com precipitação de óxidos de ferro na superfície. Os grãos de quartzo são sub-angulosos a muito angulosos. Após limpeza

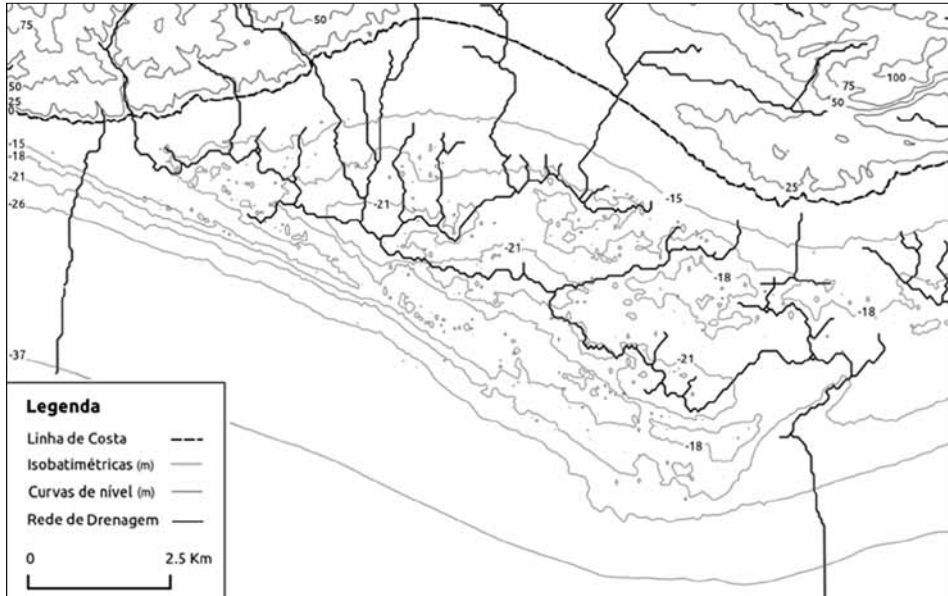


Fig. 3 – Rede de drenagem, gerada por modelação numérica através do Modelo Digital de Terreno, em conjunto com as isobatimétricas dos -15m, -19m, -21m, -26m e curvas de nível com espaçamento de 25 metros.

Fig. 3 – Drainage network, generated by numerical modeling using the Digital Terrain Model (DTM), with depth contour of -15m, -18m, -21m, -26m and contour lines (continental zone) spaced by 25 meters.



Fig. 4 – Imagens subaquáticas próximas aos pontos 4 e 5 (Fig. 1), a aproximadamente -18 m de profundidade, mostrando evidências de carsificação (algares).

Fig. 4 – Underwater images near to items 4 and 5 (Fig. 1), approximately -18m depth, showing evidences of karstification.

com ultra-sons, os grãos revelaram-se brilhantes com frequentes marcas de dissolução e marcas de impacto em crescente e em cúpula com figuras de cisalhamento em feixe (Azevedo 1983). No interior de algumas cavidades de dissolução ocorrem ocasionais inclusões de pirite. Não foram observados minerais pesados nestas frações granulométricas. Foram estudadas lâminas delgadas produzidas numa sub-amostra da amostra que foi datada. Os cristais de calcite entre os grãos de quartzo são de pequenas dimensões e irregulares. As amostras AL-01 e AL-02 (Tab. 1) são compostas por areia fina vasosa (11.8% de silte e argila) cinzenta com ocasionais grãos de pirite e abundantes tubos de vermes construídos com o sedimento detrítico aglutinado.

4.3. Datação

Sobre uma amostra recolhida a -16 metros de profundidade (AP-01) foi obtida a idade 14C que aponta a formação do cimento a $17\ 581 \pm 56$ BP (Tab. 2). Foi datada a rocha total pelo que esta datação tem que ser interpretada com precaução, uma vez que há uma série de problemas associados à datação deste contexto, como por exemplo, contaminação por atividade biogénica, assim como efeitos de carbonatos fósseis. Tal como referido na secção 3.4, existem tubos carbonatados de endofauna atual que contribuem para subestimar a idade radiocarbono.

5. DISCUSSÃO

5.1. Morfologia

As restingas arenosas resultam da acreção sedimentar em meio subaquático abaixo do nível de base das ondas (profundidade abaixo da qual não se verifica movimento) e encontram-se frequentemente a barlar de desembocaduras de rios (Ciavola 1997; Simms *et al.* 2006; Costas & FitzGerald 2011). O Cabo Carvoeiro é um obstáculo natural à deriva longilitoral predominantemente de W (Dias 1988) pelo que, a perda de eficácia de transporte teve como consequência a acumulação de uma restinga arenosa até aproximadamente ao paleo estuário das ribeiras de Alcantarilha e de Espiche onde encurva para o continente, condicionada pela descarga fluvial que constituiu uma barreira hidrodinâmica e sedimentar á deriva longilitoral (Fig.1 e 3). De facto, analisando o prolongamento subaquático da rede de drenagem aérea, pode situar-se localização da principal descarga fluvial na extremidade leste da restinga. A instalação desta restinga teve como consequência o desenvolvimento de uma laguna abrigada das ondas, bem marcada na morfologia, a uma profundidade máxima de aproximadamente -23 metros.

Os declives associados as profundidades de -15, -18, -21, -24 e -26 provavelmente foram esculpidos pelas mudanças do nível do mar depois da consolidação deste cordão, uma vez que a diferença entre as profundidades corresponde aproximadamente ao regime de marés da região. Destaca-se ainda que os declives na zona interna da barreira, em direção ao continente, estão associados à profundidade de -18 m, e que foram formados provavelmente durante a exposição direta da zona ao mar, uma vez que a

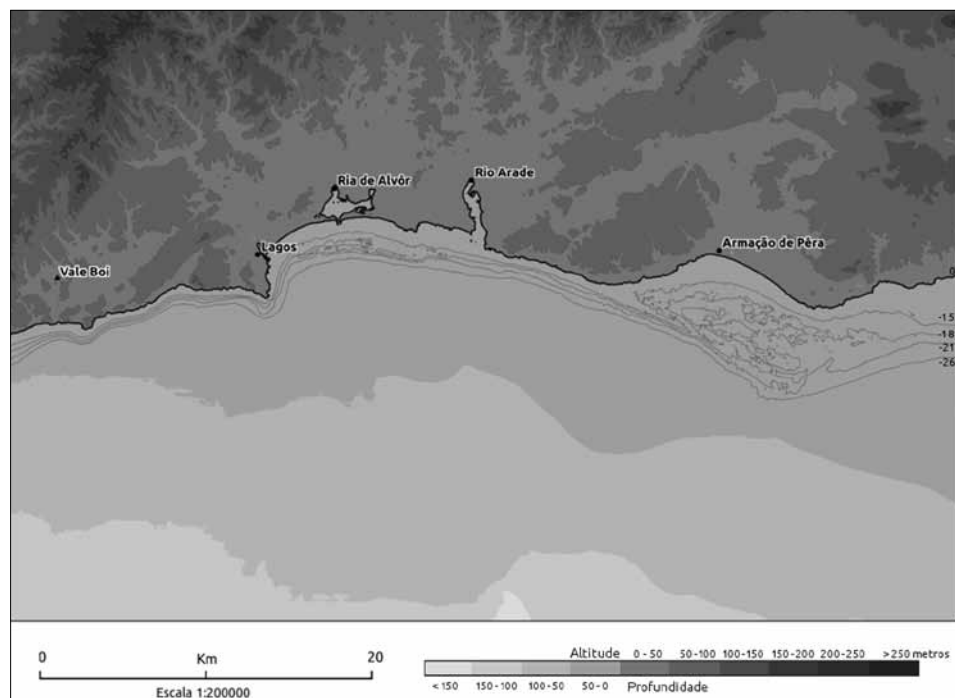


Fig. 5 – Localização do Sítio arqueológico de Vale Boi, em conjunto com as isobatimétricas dos -15, -18, -21 e -26 m ao longo de parte da plataforma continental do Algarve.

Fig. 5 – Location of the archaeological site of Vale Boi, with the depth contour of -15m, -18m, -21m, -26m and part of continental shelf of the Algarve. In Lagos Bay, depth between -18m and -21m shows a submerged relief that could be related with paleoenvironmental context of Armação de Pêra bay.

partir de -19 m a zona interna se encontraria completamente abrigada (Fig. 3). Além disso, é possível perceber o perfil curvado deste cordão, que indica que as condições de corrente longilitoral e direção preferencial das ondas eram semelhantes as atuais.

Além disso, em termos morfológicos, há uma correspondência entre as profundidades citadas anteriormente com outras zonas da plataforma continental do Algarve, nomeadamente na foz do Alvor e Baía de Lagos e que podem apontar um contexto semelhante ao de Armação de Pêra, possivelmente indicando uma paleolinha de costa (Fig. 5).

5.2. Características do sedimento

Assimetrias inferiores a 0.1 tais como a das amostras PT-2B; PC-SP; PT-1S são características de sedimentos de praia (Tanner 1995). As assimetrias positivas, superiores a 0.1 (amostras PT-1F e PC-SL) são características de sedimentos eólicos ou bacias marinhas restritas (Tanner 1995). Porém, a conjugação das marcas de impacto em crescente e em cúpula com figuras de cisalhamento em feixe tal como identificadas em morfoscopia, são características de meios aquáticos de elevada energia (Azevedo

1983). Se bem que algumas dessas marcas possam também surgir em grãos de transporte eólico, a calibragem e as marcas de dissolução são características incompatíveis com este tipo de transporte. A dissolução dos grãos de quartzo caracteriza ambientes marinhos sub-saturados em sílica principalmente em ambientes energéticos (Azevedo 1983). O desvio padrão entre 0.3 e 0.5 é característico de praias maduras, isto é com sedimento longamente trabalhado pelas ondas. Contudo, nenhuma das amostras está nestas condições. De facto, os grãos de quartzo são maioritariamente sub-angulosos a muito angulosos, mais compatíveis com a rápida deposição a partir de um fluxo desaccelerado do que com o sucessivo transporte pelas ondas. Segundo Allen (1965) e Fleming (1977) médias granulométricas entre 2,3 e 3,2 Φ estão associadas a sedimentos que resultam da deposição da carga de fundo partir de um fluxo que desaccelera para velocidades inferiores a 24 cm/s^{-1} . O valor obtido para a curtose nas amostras analisadas é inferior a 3.25 (Tab. 1) o que, segundo Allen (1965), é indicativo de que foram depositadas durante uma subida do nível médio do mar, uma vez que este parâmetro granulométrico é função da energia sendo que, existe uma relação inversa entre a curtose e a energia do meio. De acordo com o anteriormente expresso, os sedimentos analisados (amostras PT-2B; PC-SP, PT-1S, PT-1F e PC-SL) são compatíveis com a deposição em restinga arenosa. O cimento carbonatado de grãos não equigranulares e de pequenas dimensões é compatível com rápida cimentação em ambiente sub-aéreo.

Contudo, as amostras AL-01 e AL-02 foram sedimentadas em ambiente completamente distinto das amostras acima descritas. São areias finas vasosas cinzentas, nas quais se encontram preservados abundantes tubos direitos de poliquetas construídos com sedimento aglutinado. Estes vermes concentram seletivamente os grãos de sedimento de acordo com a sua granulometria e aglutinam-nos com um muco orgânico. São comuns nas planícies litorais intermareais onde vivem em colónias (Fournier *et al.* 2010). Nestas amostras ocorrem, embora raros, grãos de pirite. Atendendo às características descritas, são compatíveis com ambiente marinho restrito, como por exemplo, baía abrigada adjacente a um estuário.

5.3. Evolução paleoambiental

O índice de rebentação das ondas definido como a razão entre a altura da onda e a profundidade da coluna de água, varia entre 0.78 e 0.82 (Goda 2010). Se considerarmos as ondas de 3 m que caracterizam presentemente as tempestades associadas a agitação de WSW (Costa *et al.* 2001), a coluna de água sobre a restinga arenosa em formação deveria ter sido pelo menos de 4 m para que os sedimentos não fossem remobilizados. Assumindo que não se verificou movimentação tectónica nem eventos erosivos significativos, durante a fase final de acreção sedimentar da restinga arenosa em análise, cujo topo se encontra a -14 m, o NMM teria de estar pelo menos a cerca de -10 m relativamente ao presente.

Uma vez que a paleo-restinga arenosa se encontra cimentada por carbonato de cálcio e carsificada, teve necessariamente de ter ficado exposta a alteração sub-aérea

após a sua formação. Durante o Último Glacial (18 ka) a plataforma continental ficou emersa, pelo que a fase de cimentação e carsificação deverá ter ocorrido nesse período, o que remete a gênese da restinga arenosa para um evento climático anterior. Uma possível hipótese é a de que a formação da restinga arenosa tenha ocorrido durante o OIS3, entre os 25 ka e os 30 ka associado a um nível elevado do mar. Gracia *et al.* (2008) indica que entre 20-30 ka, o nível médio do mar estaria acima de -30 m relativamente ao atual no golfo de Cádiz. Além disso, Dabrio (Dabrio *et al.* (2000) também indica um nível do mar elevado entre os 25-30 ka para o sudoeste espanhol (Cádiz e Huelva), sem atingir a cota atual. Ainda, o preenchimento sedimentar do estuário do Rio Guadiana revelou que os primeiros sedimentos estuarinos anteriores a ca. 17 ka BP (ca. 23m abaixo do NMM), são provavelmente do OIS3 ou OIS 5 (Boski *et al.* 2002). Na costa atlântica dos EUA, encontram-se formações associadas ao *middle Wisconsin* (OIS3) que apontam o nível do mar a uma cota próxima da atual (-15 m) (Rodrigues *et al.* 2000).

Assim, a idade obtida de 17581 BP para a cimentação da paleorestinga está provavelmente sub estimada, o que pode ser explicado por contaminação da amostra por atividade biogénica. Deste modo, é necessário investir em novas campanhas de amostragem a fim de se colher um maior número de amostras, tanto para a obtenção de novas datações como para caracterização e análise textural.

Em termos arqueológicos, esta hipótese poderia explicar as explorações de recursos marinhos no sítio de Vale Boi, situado no concelho de Vila do Bispo, defendido previamente por Bicho (2004). O sítio arqueológico de Vale Boi (Fig. 5) situa-se a cerca de 2,5 km da atual linha de costa, num declive de uma zona de vale fluvial aberto, e caracteriza-se por diferentes explorações de recursos alimentares marinhos ao longo da pré-história. O sítio é composto por uma longa sequência cronológica, incluindo todo o Paleolítico Superior desde o Gravetense Inicial ao Magdalenense Tardio (Bicho & Haws 2007, 2008).

Nos níveis Gravetenses, situados temporalmente entre 33-24 ka Cal BP (Bicho *et al.* no prelo), há uma grande utilização de recursos marinhos, sobretudo moluscos, diminuindo durante o Solutrense, já próximo do último máximo glacial, retornando a ter grande importância apenas durante o Mesolítico, há aproximadamente 9 ka (Bicho & Haws 2007, 2008).

Neste sentido, esta questão indicaria que as explorações dos recursos marinhos estariam, entre outras questões, relacionadas com as distâncias entre o sítio arqueológico e a linha de costa, sendo que durante o gravetense o nível do mar estaria mais elevado e a linha de costa deveria estar ainda próximo o suficiente para a exploração destes recursos, declinando nas etapas posteriores devido ao rebaixamento do nível do oceano e sua consequente maior distância entre o sítio arqueológico e a linha de costa.

Utilizando o SIG e o MDT do Algarve e simulando um nível médio do mar durante o Gravetense na cota atual dos -25 m de profundidade (valor mínimo), a paleolinha de costa estaria nestas condições a pouco mais de 1 km da linha de costa atual devido a morfologia submarina da zona próxima ao sítio de Vale Boi, composta por um declive

mais acentuado. Por outro lado, aplicando o mesmo princípio a profundidade de -10 m, a linha de costa estaria a pouco menos de 0,5 km da linha de costa atual. Desse modo, aplicando a hipótese discutida anteriormente, permite-se supor que para o Gravetense, a linha de costa estaria a aproximadamente 3 km de distância do sítio de Vale Boi (Fig. 5).

6. CONCLUSÃO

Os Sistemas de Informação Geográfica são uma ferramenta de extrema importância para a investigação paleoambiental, na medida em que permite a deteção de morfologias de interesse para investigação, como plataformas e ruturas de declives, assim como a identificação de paleocanais do sistema de drenagem de um determinado local de análise.

Este trabalho foi desenvolvido, sobretudo, sobre um modelo digital de terreno. Neste sentido, este apresentou-se de grande importância, possibilitando revelar mais pormenores da zona de pesquisa. Contudo, seria de grande importância, a fim de fornecer maiores detalhes da região, a construção de modelo de terreno com maior definição, principalmente em relação a batimetria, através de utilização de sistemas de deteção remota de maior resolução espacial.

No entanto, os dados preliminares aqui apresentados, baseados sobretudo na morfologia da região e nas análises granulométricas, que o cordão litoral identificado na Baía de Armação de Pêra deve ter se formado antes do Último Máximo Glacial. Pelas diversas evidências apontadas, parece razoável supor que a formação deste sistema se deu no MIS3, a aproximadamente 30 ka BP, num período onde poderíamos situar o nível do mar entre -25 e -10 m de profundidade.

Deste modo, tendo em conta os dados e conclusões preliminares aqui apresentados, a região de Armação de Pêra apresenta grande potencial para a reconstrução paleoambiental, sobretudo acerca do nível do mar e da linha de costa, além de sua grande importância para a relação com a Arqueologia durante a pré-história, sendo necessárias maiores investigações nesta região.

AGRADECIMENTOS: Este trabalho insere-se no projeto de investigação – *A evolução da linha de costa algarvia sob uma perspectiva arqueológica* (SFRH/BD/47538/2008), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), Portugal.

Agradecimentos a Miguel Rodrigues (Divespot Lda – www.divespot.com.pt) e Pedro Neves (Centro de Mergulho da Universidade do Algarve) pela cedência de amostras e imagens subaquáticas da zona de estudo e Projecto PTDC/CTE-GIX/111230/2009 (EROS).

BIBLIOGRAFIA

- Allen J.R.L. 1965. A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments. *Sedimentology* 5: 89-191.
- Azevedo M.T.M. 1983. *Exoscopia. Textos e Documentos de Apoio ao Ensino*. Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 24 p.

- Bicho N.** 2004. As comunidades humanas de caçadores-recolectores do Algarve Ocidental: Perspectiva Arqueológica. In: L.C. Cardoso, A.A.Tavares & M.J.F. Tavares (eds.) *Evolução Geohistórica do litoral português e fenómenos correlativos: Geologia, História, Arqueologia e Climatologia*, Lisboa: Europress: 359-396.
- Bicho N.F. & Haws J.** 2007. Sea level changes and the impact on Late Pleistocene and Early Holocene Portuguese Prehistory. In: N. Bicho (ed.) *From the Mediterranean basin to the Portuguese Atlantic shore: Paper in Honor of Anthony Marks. Actas IV congresso de arqueologia peninsular*. Promontoria monográfica 07. Faro: Universidade do Algarve: 37-56.
- Bicho N.F. & Haws J.** 2008. At the land's end: Marine resources and the importance of fluctuations in the coastline in the prehistoric hunter-gatherer economy of Portugal. *Quaternary Science Reviews* 27 (23-24): 2166-2175.
- Bicho N.F., Haws J. & Marreiros J.** no prelo. Desde el Mondego al Guadiana: la ocupación Gravetiense de la fachada atlántica portuguesa. *Actas do congresso El Gravetiense Cantábrico*. Altamira: Museo de Altamira.
- Bird E.** 2008. *Coastal Geomorphology: an introduction*. Second Edition. Chichester: Wiley ed.
- Blott S.** 2010. *GRADISTAT: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments by Sieving or Laser Granulometer* (v. 4.0).
- Boski T., Moura D., Veiga-Pires C., Camacho S., Duarte D., Scott D. & Fernandes S.G.** 2002. Postglacial sea-level rise and sedimentary response in the Guadiana Estuary, Portugal/Spain border. *Sedimentary Geology* 150: 103-122.
- Câmara G., Davis C. & Monteiro A.M.V.** 2001. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos, DPI/INPE.
- Câmara G., Souza R.C.M., Freitas U. M. & Garrido J.** 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics* 20 (3): 395-403.
- Ciavola P.** 1997. Coastal dynamics and impact of coastal protection works on the Spurn Head spit (UK). *Catena* 30: 369-389.
- Costa M., Silva R. & Vitorino J.** 2001. Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. *2^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. Sines: Associação Nacional de Navegação, 20 p.
- Costas S. & Fitzgerald D.** 2011. Sedimentary architecture on a spit-end (Salisbury Beach, Massachusetts): The imprints of sea-level rise and inlet dynamics. *Marine Geology* 284: 203-216.
- Dabrio C.J., Zazo C., Goy J.L., Sierro F.J., Borja F., Lario J., Gonzales J.A. & Flores J.A.** 2000. Depositional history of estuary infill during the last postglacial transgression (Gulf of Cadiz, Southern Spain). *Marine Geology* 162: 381-404.
- Davis Jr, R. & Fitzgerald D.** 2008. *Beaches and coasts*. Oxford: Blackwell publishing.
- Dias J.M.A.** 1988. Aspectos geológicos do Litoral Algarvio. *Geonovas*, 10: 113-128.
- Dias J.M.A., Boski T., Rodrigues A. & Magalhães F.** 2000. Coast line Evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until Present – A Synthesis. *Marine Geology* 170: 177-186.
- Dias J.A.** 2004. A história da evolução do litoral português nos últimos vinte milénios. In: L.C. Cardoso, A.A. Tavares & M.J.F. Tavares (eds.) *Evolução geohistórica do litoral português e fenómenos correlativos: Geologia, História, Arqueologia e Climatologia*. Lisboa: Europress: 157-170.
- Flemming B.W.** 1977. *Depositional processes in Saldanha Bay and Langebaan Lagoon*. PhD thesis, Faculty of Science, University of Cape Town, 215 p.
- Fournier J., Etienne S. & Le Cam J.B.** 2010. Inter- and intraspecific variability in the chemical composition of the mineral phase of cements from several tube-building polychaetes. *Geobios* 43:191-200.
- Goda Y.** 2010. Reanalysis of regular and random breaking wave statistics. *Coastal Engineering Journal* 52 (1):71-106.

- Gracia F.J., Rodríguez-Vidal J., Cáceres L.M., Belluomini G., Benavente J. & Alonso C.** 2008. Diapiric uplift of an MIS 3 marine deposit in SW Spain: Implications for Late Pleistocene sea level reconstruction and palaeogeography of the Strait of Gibraltar. *Quaternary Science Reviews* 27: 23-24.
- Infantini L.R.** no prelo. Sistema de Informação Geográfica para a Pré-história do Algarve. *Actas da IV Jornadas de Jovens em Investigação Arqueológica*, Faro: Universidade do Algarve.
- Jarvis A., Reuter H.I., Nelson A. & Guevara E.** 2008. Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m. Disponível em: <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- Jewell P.W.** 2007. Morphology and paleoclimatic significance of Pleistocene Lake Bonneville spits. *Quaternary Research* 68: 421-430.
- Lindhorst S., Betzler C. & Hass H.C.** 2008. The sedimentary architecture of a Holocene barrier spit (Sylt, Germany Bight): Swash-bar accretion and storm erosion. *Sedimentary Geology* 206: 1-16.
- Komar P. D.** 1976. *Beach processes and sedimentation*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Luís J.F.** 2007. Mirone: a multi-purpose tool for exploring grid data. *Computers & Geosciences* 33: 31-41.
- Luis J.F.** 2010. GMT grid with the topo and bathymetry of the Algarve at ~50 m. Disponível em: <http://w3.ualg.pt/~jluis>.
- Matos J.** 2008. *Fundamentos da Informação Geográfica*. Lisboa: Lidel Edições Técnicas, 5ª edição.
- Moura D., Veiga-Pires C., Albardeiro L., Boski T., Rodrigues A.L. & Tareco H.** 2007. Holocene sea level fluctuations and coastal evolution in the central Algarve (southern Portugal). *Marine Geology* 237: 127-142.
- Ponzi V.R.A.** 2004. Sedimentação Marinha. In: J.A.B. Neto, V.R.A. Ponzi & S.E. Sichel (eds.) *Introdução à Geologia Marinha*. Rio de Janeiro: Editora Interciência.
- Quantum Gis Development Team** 2011. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- Rodriguez A.B., Anderson J.B., Banfield L.A., Taviani M., Abdulah K. & Snow J.N.** 2000. Identification of a -15 m middle Wisconsin shoreline on the Texas inner continental shelf: *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 159:25-43.
- Simms A.R., Anderson J.B. & Blum M.** 2006. Barrier-island aggradation via inlet migration: Mustang Island, Texas. *Sedimentary Geology* 187 (1-2): 105-125.
- Tanner W.F.** 1995. *Environmental clastic granulometry*. Florida Geological Survey. Special publication N° 40.
- Teixeira S.B.** 2002. Geomorfologia da zona submarina ao largo de Armação de Pêra (Algarve-Portugal). *Actas da V Jornadas de Silves, 30-31 de Outubro de 1999*. Silves: Associação de Estudos e Defesa do Património Histórico-Cultural do Concelho.
- Teixeira S.B. & Pinto C.A.** 2002. Idades radiocarbono de calcarenitos emersos e submersos na Baía de Armação de Pêra (Algarve-Portugal). *Actas do XI Seminário Ibérico de Química Marinha*. Faro: Universidade do Algarve.
- Vanney J. & Mougenot D.** 1981. *La plateforme continentale du Portugal et les provinces adjacentes: Analyse geomorphologique*. Memória dos Serviços Geológicos de Portugal 28. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal, 145 p.

