

# *Geo e bioindicadores: na busca dos ambientes onde o Homem viveu\**

Helena GRANJA<sup>1</sup>  
CIIMAR

## **Resumo**

Num tempo em que a investigação se tornou cada vez mais multidisciplinar, é fundamental, recorrendo a várias disciplinas científicas, situar o Homem nos ambientes nos quais se instalou ou passou e entender de que modo aquele os condicionou ou foi condicionado por eles. Na tarefa de reconstituição dos paleoambientes é importante conhecer factos reveladores da sua natureza e das mudanças que sofreram ao longo do tempo. Os geoindicadores e os bioindicadores são ferramentas fundamentais que permitem realizar essa tarefa e dar resposta a muitas questões, entre outras, arqueológicas.

## **Palavras-chave**

Geoindicadores, bioindicadores, (paleo)ambientes, arqueologia

## **Abstract**

Nowadays scientific research becomes more and more multidisciplinary and it is important, involving different scientific disciplines, to relate the environment with the human being settlements or passages in order to understand how the man influenced the environment or was conditioned by it. In the problem of paleoenvironmental reconstitution it is important to know the main factors determining the environment and to study their evolution. Geoindicators and bioindicators are effective tools that allow one to solve the problem and to give an answer to many questions appearing in archaeology.

## **Key-words**

Geoindicators, bioindicators, (palaeo)environments, archaeology

---

\* Este trabalho foi financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competitividade- COMPETE e por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito dos projectos PEsT-C/MAR/LA0015/2013 e PTDC/EPH-ARQ/5204/2012.

<sup>1</sup> helenapgranja@gmail.com

## Introdução

Em qualquer trabalho de investigação de arqueologia, nomeadamente nos que pressupõem a realização de escavações, é imprescindível conhecer o arranjo dos estratos postos a descoberto nas sanjas. Os estratos, cujo significado é ligeiramente diferente consoante é referido por arqueólogos ou geólogos, não são mais do que os testemunhos que restam dos ambientes que existiram num certo lugar, num determinado período de tempo.

Do ponto de vista da geologia, um estrato ou camada, corresponde a um pacote de sedimentos (ou a uma rocha, se já houve diagénese) que se encontram dispostos com um certo arranjo (estrutura), apresentam uma certa uniformidade de características e correspondem ao produto da actuação de agentes forçadores e processos que caracterizaram um certo ambiente sedimentar (por exemplo, um ambiente estuarino).

Quando, nesses estratos são encontrados artefactos ou estruturas de origem antrópica, torna-se fundamental não só analisar esses produtos (objecto da arqueologia) como também identificar o ambiente no qual eles se encontram (objecto da geologia). Do cruzamento da informação geológica e arqueológica pode obter-se uma informação muito mais profunda e esclarecida sobre a interrelação Homem-ambiente, ou seja, acerca do modo como os seres humanos lidaram com, ou mudaram, a natureza. Entra-se no domínio de uma nova ciência – a geoarqueologia – através da qual ciências humanas, sociais e da terra se encontram com a tecnologia (GHILARDI e DESRUELLES, 2009).

Um importante contributo para a compreensão do que foram os ambientes do passado (paleoambientes), representados pelos estratos, é a procura de indicadores nos sedimentos que os compõem. Esses indicadores podem ser de carácter geológico – geoindicadores – ou biológico – bioindicadores.

## Geo e bioindicadores de paleoambientes

Geo e bioindicadores são testemunhos do passado, inclusos ou impressos nos sedimentos, que ajudam a compreender o que então se passou em termos de mudanças ambientais (por exemplo, tomar conhecimento de que um determinado ambiente ribeirinho ficou assoreado por areias transportadas pelos ventos e procurar entender porque tal sucedeu).

Segundo BERGER e IAMS (1996), *geoindicators are defined as magnitudes, frequencies, rates or trends of geological processes and phenomena that occur at or near the Earth's surface and that are significant for assessing environmental change over periods of 100 years or less*. Segundo BERGER (2002), os geo-indicadores incluem tanto acontecimentos rápidos e catastróficos, como mudanças mais disseminadas, com começo lento, geralmente observáveis durante o intervalo de tempo de uma vida humana. Embora aqui só se considerem os geoindicadores na perspectiva da sua utilidade na interpretação dos ambientes do passado (paleoambientes), eles também são usados para outros fins, tais como a avaliação e monitorização ambiental (de rios, vertentes, qualidade de águas, etc.). Embora os geoindicadores não sejam algo de novo, recentemente, a União Internacional das Ciências Geológicas estabeleceu uma base conceptual comum para alertar os não geólogos para a importância de incluírem as mudanças geológicas rápidas nas avaliações ambientais. Aquela organização estabeleceu

vinte e sete geo-indicadores para esse propósito (BERGER, 2002).

Os bioindicadores são os equivalentes de origem biológica - animal ou vegetal. Pela análise qualitativa e quantitativa de comunidades biológicas é possível inferir do ambiente em que viveram (paleoambiente) e das mudanças que este possa ter sofrido, por comparação com o que se passa actualmente. Inventariando as preferências individuais de cada espécie é possível definir janelas ecológicas dos atributos comuns no habitat. Há determinadas espécies que, só por si, definem um determinado tipo de ambiente, não podendo existir em outro qualquer. São estas espécies os mais importantes bioindicadores na reconstituição paleoambiental.

Tanto os geo como os bioindicadores, como a combinação de ambos, são ferramentas preciosas na reconstituição paleoambiental, ou seja, na reconstrução das condições físicas e biológicas que caracterizaram um determinado ambiente e na identificação de acontecimentos responsáveis por mudanças (graduais e bruscas) eventualmente operadas ao longo do tempo.

Consideremos alguns exemplos de aplicação que ajudam a elucidar o papel dos referidos indicadores. Imaginemos um corte, ou uma sanja, onde está exposto um certo registo sedimentar. Através da análise pormenorizada desse registo, é possível reconhecer fácies que são características de um determinado ambiente. Por exemplo, a presença de um nível turfoso pode revelar que houve uma zona húmida, e os macro e microrrestos vegetais nele existentes as suas características quanto a salinidade, extensão e profundidade, permitindo subsequentemente inferir sobre outros aspectos tais como o uso da terra, a produtividade biológica, o caudal fluvial, e, mesmo, o nível freático e a proximidade do mar. Outro exemplo, seria encontrar fácies eólicas de duna ou de deflacção e, a partir daí, especular sobre o regime de ventos, a humidade/secura do solo e a disponibilidade sedimentar. Se, no primeiro exemplo, recorreremos a indicadores geológicos e biológicos, no segundo usamos apenas geoindicadores. Quanto aos bioindicadores, como têm sempre um suporte físico, estão intimamente relacionados com os geoindicadores (por exemplo, presença de pólen num sedimento de fácies eólica ou lagunar).

### **Qual o seu interesse em Arqueologia?**

A aplicação destes indicadores na interpretação dos ambientes (paleoambientes) representados pelos sedimentos ou pelo substrato rochoso nos quais se encontram artefactos ou estruturas erigidas pelo Homem, constitui um auxiliar precioso em arqueologia.

Nas últimas décadas, esboçou-se, no norte da Europa, uma nova dualidade cultura-natureza com a realização de arqueologia em zonas húmidas e frentes de água. A comunidade arqueológica actual tem vindo a tomar consciência da importância do ambiente na compreensão alargada das bases sócio-económicas nas quais as sociedades antigas viviam, pelo que a investigação multidisciplinar é um pilar fundamental (MOHRANGE, 2014). O mesmo autor aponta a importância, além da arqueologia, de outros campos sub-disciplinares de investigação, tais como a geomorfologia, a sedimentologia e a biologia.

Os contributos de geólogos, geógrafos, arqueólogos e historiadores são uma mais valia para o entendimento da relação das sociedades com o meio ambiente natural e

do modo como nele se operam mudanças, quer de carácter natural, quer induzido pela acção antrópica. Esta reflexão multidisciplinar não é senão essa, relativamente nova, ciência chamada geoarqueologia.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias e *softwares*, as metodologias de reconstituição paleoambiental dispõem de ferramentas muito eficazes e de grande resolução que podem ajudar muito. Entre elas estão os SIG (sistemas de informação geográfica) e os MDT (modelos digitais de terreno), uns e outros recorrendo à georreferenciação e digitalização de cartografia, fotografia aérea e levantamentos topográficos e batimétricos. Nos levantamentos são, por sua vez, usadas diferentes tecnologias como DGPS, LIDAR, sonar. Para levantamentos de sub-superfície, a prospecção geofísica (sísmica, resistividade, georradar) é a metodologia mais adequada. O uso destas tecnologias permite muito mais facilmente localizar áreas de interesse, quer arqueológico, quer geológico e, deste modo, rentabilizar meios (geralmente dispendiosos) usados na abertura de sanjas e realização de sondagens.

Tanto os geo como os bioindicadores, assim como dados estratigráficos, sedimentológicos, geomorfológicos, cronológicos, arqueológicos, podem ser introduzidos em ambiente SIG, depois de convenientemente georreferenciados. O SIG permitirá obter, após cruzamento de toda a informação, a reconstrução de paleorrelevos e paleopaisagens.

### **Geo e bioindicadores da zona costeira**

A zona costeira, no limite terra-mar, é uma área onde qualquer variação do nível do mar se faz sentir com particular acuidade. Na reconstrução paleoambiental da zona costeira são utilizados geo e bioindicadores especialmente sensíveis a variações do nível médio do mar e à migração da costa acompanhada da mobilidade dos ambientes ditos de transição (praias, lagunas, estuários, deltas, rasos de maré).

Alguns indicadores, pela especificidade de suas características, permitem inferir daquelas variações à escala centimétrica, o que pode ajudar a esclarecer dúvidas de interpretação quer de investigadores das ciências da terra quer de arqueólogos. Recorra-se a alguns exemplos da literatura.

Na reconstituição da história de portos e actividades portuárias, é muito importante identificar e datar posições relativas do nível do mar. Determinados bioindicadores, fixos às paredes de antigos cais, permitem estimar a paleo-profundidade da coluna de água, o que é fundamental para compreender a evolução do assoreamento local e o calado de antigos barcos (MOHRANGE, 2014).

Os animais e as plantas marinhas bênticas estão estreitamente adaptados a condições ecológicas muito precisas, como intensidade da luz, turbidez, salinidade da água, temperatura e exposição ao *surf*. Portanto, variações nas condições ecológicas derivadas de mudança do nível relativo do mar são seguidas de modificações quantitativas e qualitativas dos organismos, com substituição por formas mais tolerantes. Esta zonação é particularmente bem definida em tanques de pesca, os quais se encontram abrigados das tempestades e da ondulação (MOHRANGE *et al.*, 2013).

O limite superior da zona infralitoral é marcado por um aumento súbito da biodiversidade, definindo um nível do mar biológico. Esta zona é densamente ocupada por moluscos, gastrópodes, vermetídeos fixos e crustáceos cirrípedos como,

por exemplo, *Balanus* spp. Este tipo de bioindicadores pode ser usado para corrigir informação obtida por indicadores arqueológicos de nível do mar (MOHRANGE *et al.*, 2013).

Quanto aos geoindicadores, há, também, alguns particularmente usados na zona costeira. Por exemplo, a presença, numa praia actual, de um depósito limo-argiloso ou limo-arenoso, orgânico e plástico, à cota do nível médio do mar actual (Fig. 1), implica a existência de um ambiente aquático de água confinada num período anterior, o qual poderá ser datado por radiocarbono através da matéria orgânica nele contida. Do mesmo modo, se sob as dunas de uma praia se encontra uma camada de seixos marinhos, tal significa que houve uma mudança substancial das condições energéticas de um ambiente marinho de dinâmica elevada para um ambiente dominado pelo vento. Tanto num exemplo como no outro, a mudança de ambiente (que pode ter sido gradual ou brusca; Fig.2) está relacionada com factores como o clima, abastecimento sedimentar, variações relativas do nível do mar ou até acções antrópicas.

Tentando sintetizar, podem enumerar-se alguns dos bio e geoindicadores mais usados na zona costeira. Entre os bioindicadores destaca-se a fauna bêntica infralitoral incluindo os elementos bio-construtores e bio-erosivos, os foraminíferos, os ostracodos, as diatomáceas, os radiolários, os pólenes e palinórfos, fragmentos vegetais. Entre os geoindicadores podem referir-se turfas, depósitos lagunares, tempestitos, *beachrocks* (Fig. 3), couraças, superfícies de abrasão, solapas, conglomerados, níveis eólicos, *ventifacts*, paleossolos (Fig. 4), pátinas. A uma escala maior, podem considerar-se outros geoindicadores tais como estruturas sedimentares (figuras de carga, de erosão, traços, etc.; Fig. 5), as quais contribuem de modo decisivo para o reconhecimento de mudanças de processos e de acontecimentos súbitos.

Tanto os geo como os bioindicadores usados na actual zona costeira são ferramentas da maior utilidade na reconstrução da posição relativa do nível do mar e das costas, de suas causas e consequências.

### **Um caso de estudo**

Na praia de Rio de Moinhos (Fig. 6), no concelho de Esposende, em 2006, a seguir a um evento que implicou acentuada perda de areia da praia, ficou a descoberto, em baixa mar, um depósito escuro, no qual se encontravam alguns troncos de árvore dispersos, em posição de vida. Simultaneamente, foram encontradas madeiras trabalhadas e inúmeros restos de cerâmica.

Um tronco foi serrado (Fig. 7) e deste foram retiradas duas sub-amostras, uma para datação e outra para identificação da madeira. Do mesmo modo, procedeu-se com uma das madeiras trabalhadas.

Surgiu a oportunidade de um trabalho conjunto de geologia e arqueologia, cujos resultados preliminares foram primeiro apresentados em Bruxelas (*4<sup>th</sup> International Geological Belgica Meeting 2012*) e depois publicados em *O irado mar atlântico. O naufrágio bético augustano de Esposende (norte de Portugal)* (eds. MORAIS Rui, GRANJA Helena, MORILLO Ángel, 2013, Braga).

Rapidamente, a praia foi recoberta por areia e aqueles vestígios enterrados (alguns podem ter sido destruídos pelo mar). Assim permaneceram escondidos, até que, em 2013, reapareciam novamente alguns desses materiais e muitos outros. A extensão do

depósito escuro (Fig. 8) era agora muito maior prolongando-se para norte e sul do passadiço de acesso à praia. As arqueólogas da Divisão de Acção Cultural da Câmara Municipal de Esposende (Ana Almeida e Ivone Magalhães) procederam à inventariação dos achados e recolha de peças cerâmicas. Simultaneamente realizaram-se colheitas de sedimentos e de madeiras em posição de vida.

Neste caso de estudo, particularmente interessante uma vez que pressupõe um naufrágio romano (MORAIS *et al.* eds, 2013), além de artefactos arqueológicos, existem, à vista desarmada, geoindicadores de um passado diferente do actual. Para conhecer a história evolutiva desta área, procuraram-se outros indicadores à escala do pormenor e dataram-se alguns níveis orgânicos e novos fragmentos de madeira.

Os indicadores usados neste estudo incluem pólenes e diatomáceas (bioindicadores), sedimentos e geofomas (geoindicadores).

A realização de sondagens por trado permitiu a obtenção de amostras que foram utilizadas para reconhecimento de indicadores e para datações. A espessura de sedimentos não ultrapassa 50cm (Fig. 9). Sob estes encontra-se a plataforma rochosa. Sobre esta, nalguns locais, encontram-se vestígios de um conglomerado marinho ferruginizado (Fig. 10). A plataforma rochosa apresenta, em vários sítios, cavidades de ouriços, geoindicador da sua permanência em ambiente infralitoral, sem cobertura sedimentar (Fig. 11). De destacar que são observáveis, nalguns desses sítios, salinas escavadas na rocha (Fig. 12).

A coluna sedimentar mostra a passagem de areias muito finas a limos argilosos, uns e outros muito mal calibrados, muito orgânicos, correspondendo a um ambiente aquático confinado que vai perdendo energia. A caracterização da sequência polínica (DANIELSEN e MENDES, 2013) revela, da base para o topo, passagem de ambiente confinado de tipo charco a salobro e finalmente a ambiente de água doce aberto (*open freshwater*), pressupondo um aumento da coluna de água (Fig. 13). Num processo natural de *hydrosere* (sucessão de plantas que ocorre em ambiente de água doce aberto) haverá tendência para a sua colmatação dando origem a pântano e sapal e finalmente a bosque. Ora o que se passa neste caso é exactamente o contrário, o que pode reflectir mudança lateral da posição do leito do rio ou manipulação do ambiente por actividades antrópicas. Nesta fase da investigação não são de excluir mudanças climáticas e/ou do nível do mar. (Neste momento ainda não são conhecidos os resultados das diatomáceas, os quais podem ajudar a refinar o modelo evolutivo).

Observando a fotografia aérea, verifica-se que a zona é controlada estruturalmente por alinhamentos preferenciais NO-SE, bem visíveis na plataforma rochosa, a qual tem uma superfície de exposição mais larga a sul e mais estreita a norte, onde é ligeiramente mais elevada e se encontra muito próximo da arriba talhada no que resta da duna mais alta desta área. O levantamento sub-aquático até -5m de profundidade, realizado frente à praia, parece apontar a existência de um canal orientado E-O. Contudo, é possível que exista um canal mais importante NO-SE, mas a confirmação necessita de outros levantamentos mais a norte.

A interpretação dos perfis de georradar realizados na praia de Rio de Moinhos e área adjacente revela uma descontinuidade, para norte, das cristas de seixos existentes, sob as dunas, na zona mais meridional. A norte, parece haver apenas algumas saliências atenuadas, não tendo as cristas tido possibilidade de se desenvolver como a sul, o que

pode ter sido resultante da acção do rio que tal impediria, originando aí um pequeno estuário ou estando represado artificialmente.

Tal interpretação é corroborada pela existência da vasta área ocupada pelo depósito escuro, posto a descoberto na baixa mar, o qual corresponde ao ambiente de zona húmida acima referido, no qual se verifica um aumento da coluna de água doce a partir de  $4060 \pm 30$  BP (passagem do ambiente de água salobra a doce aberta; Tabela 1). Atendendo a que i) havia floresta de *Alnus* (Fig. 13) em  $5590 \pm 80$  BP, ii) a que não foram encontrados quaisquer indicadores de influência marinha nos sedimentos e iii) admitindo que o nível do mar estacionou na actual posição entre 5000 e 4000 BP, como defendem DIAS *et al.* (2000), a área onde se insere a actual praia de Rio de Moinhos teria de se encontrar afastada do mar durante o intervalo temporal a que se refere este estudo ( $5590 \pm 80$  BP- $3550 \pm 30$  BP). Resta saber se esse distanciamento do mar se deveu a causas naturais, antrópicas ou ambas, o que não pode ainda ser respondido na actual fase de investigação.

Quanto às salinas, se forem romanas (possibilidade apontada por Brochado de Almeida em comunicação pessoal), pressupõem que esta plataforma esteve emersa, acima da zona intertidal, após ter estado imersa (como provam as cavidades dos ouriços). Com as devidas reservas, poderíamos especular que o nível do mar se encontrava mais baixo e a zona onde hoje existe a praia de Rio de Moinhos constituiria uma lagoa talvez acessível por mar. Aguarda-se que a investigação em curso permita esclarecer e responder a muitas outras questões.

### **Conclusão**

Os indicadores, sejam geo ou bio, são ferramentas da maior utilidade na interpretação da evolução dos ambientes do passado e na reconstituição de níveis relativos do mar e posicionamento das costas. A importância relativamente recente dada aos sedimentos pelos arqueólogos, enfatizando a influência e co-evolução do meio físico nas sociedades, veio promover a multidisciplinaridade e o enriquecimento da investigação sobre as interações homem-ambiente nas sociedades antigas.

Actualmente, em qualquer trabalho de investigação arqueológica é inaceitável não incluir o estudo do meio físico por onde as sociedades passaram ou se instalaram. O recurso a várias disciplinas, com diferentes metodologias de trabalho, torna-se cada vez mais importante na abordagem da história das sociedades do passado, da sua relação com o ambiente e do modo como este condicionou a vida e hábitos das populações.

Os geo e bioindicadores são ferramentas fundamentais na investigação do passado como no diagnóstico das condições ambientais actuais. O caso de estudo da praia de Rio de Moinhos, cuja investigação ainda está na fase inicial, é disso um bom exemplo.

### **Agradecimentos**

Quero expressar os meus agradecimentos a Randi Danielsen (IGESPAR) pela análise polínica das amostras e a Julian Orford (Queen's University of Belfast) pelo seu precioso contributo na interpretação e análise crítica dos radargramas.

### **Bibliografia**

BERGER Antony (2002), Tracking rapid geological change. *Episodes*, 25 (3), pp. 154-159

BERGER A. R; IAMS W J, eds. (1996), *Geoindicators—assessing rapid environmental changes in earth systems*, Rotterdam, A.A. Balkema, 466p.

DANIELSEN Randi, MENDES Patrícia (2013), Preliminary report: Palynological investigation of a core from Rio de Moinhos, Esposende, 9 pp

DIAS João Alveirinho, BOSKI Thomas, RODRIGUES Aurora, MAGALHÃES Fernando (2000), Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until present – A synthesis. *Marine Geology* 170, pp 177–186

GHILARDI Mathieu; DESRUELLES Stéphane (2009), Geoarcheology: where human, social and earth sciences meet with technology. *Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society*, 2 (2) Special issue Methods

MOHRANGE Christophe, MARRINER Nick, EXCOFFON Pierre, BONNET Stéphan, FLAUX Clément, ZIBROWIUS Helmut, GOIRAN Jean-Philippe, and EL AMOURI Mourad, 2013, Relative sea level changes during Roman times in the Northwest Mediterranean: the 1st century A.D. fish tank of Forum Julii, Fréjus, France, *Geoarchaeology: An International Journal*, 28, pp 363–372

MOHRANGE Christophe, 2014, The geoarchaeology of ancient Mediterranean harbours. In MORHANGE Christophe, MARRINER Nick, CARAYON Nicolas, *La géoarchéologie française au XXI<sup>e</sup> siècle*, França, Chapitre XX, pp 245-253

MORAIS Rui, GRANJA Helena, MORILLO Ángel (eds) (2013), *O irado mar atlântico. O naufrágio bético augustano de Esposende (norte de Portugal)*, Braga, ISBN 978-989-97443-1-8

nmm relativo ao actual	Geoindicador	Bioindicador	Ambiente	Datação (radiocarbono anos BP)	Artefactos
< (?)			Estuarino (?) /lagunar (?)	Romano/ Augustano	Cerâmica (naufrágio)/ salinas (?)
<	Sedimentos finos, mal calibrados, orgânicos, escuros	Pólens (ver Fig. 13)	Água doce aberto Salobro Charco (pântano)	3550±30 4060±30 4860±30	
<		Troncos e raízes de <i>Alnus</i>	Floresta sobre solo	4570±80 5480±30	Madeiras trabalhadas (?)
<		Cavidades de ouriços sobre a plataforma rochosa	Infralitoral		Indústria lítica (?)
= ou >	Conglomerado marinho		Praia		
= ou >	Plataforma rochosa		Marinho		

Tabela 1 – Quadro síntese dos indicadores e ambientes da praia de Rio de Moinhos



Fig. 1 – Exumação de um depósito lagunar numa praia

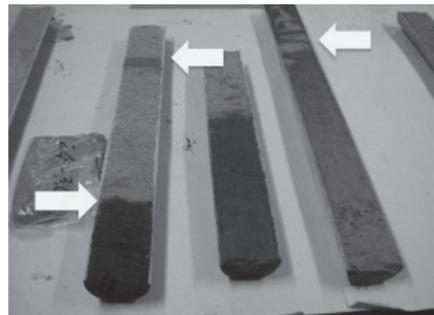


Fig. 2 – Passagem abrupta de ambientes sedimentares

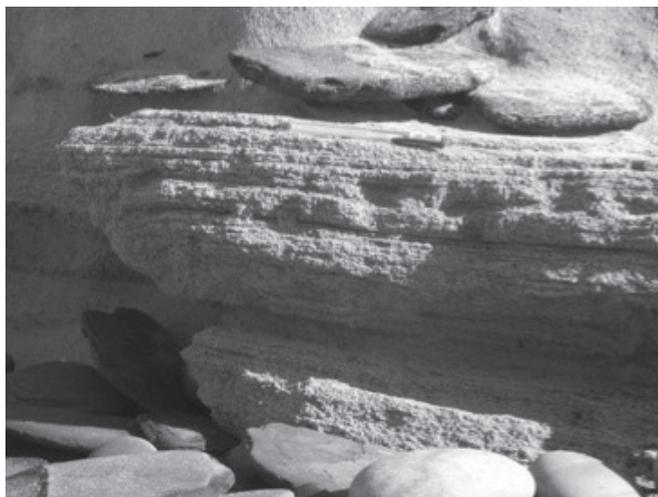


Fig. 3 – Beachrock exposto sob dunas da Pequena Idade do Gelo



Fig. 4 – Paleossolo do tipo podzol sob areias de praia e duna



Fig. 5 – Figuras de erosão (acção da água em ambiente eólico)

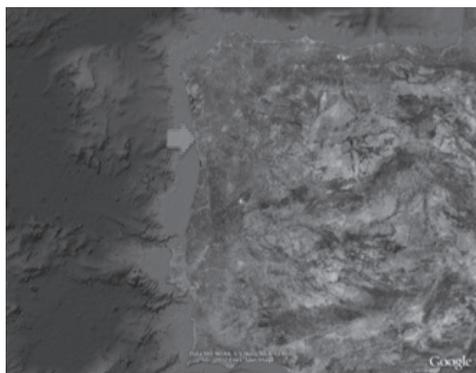


Fig. 6 – Localização da praia de Rio de Moinhos



Fig. 7 – Tronco de *Alnus glutinosa* a ser serrado para amostragem



Fig. 8 – Vista parcial do depósito lagunar exposto na praia de Rio de Moinhos

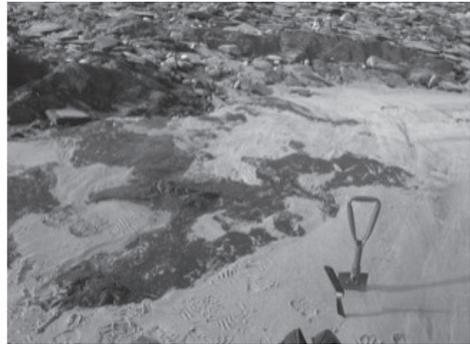


Fig. 9 – Pormenor do depósito lagunar e raízes de árvores in situ



Fig. 10 – Restos de conglomerado marinho ferruginizado

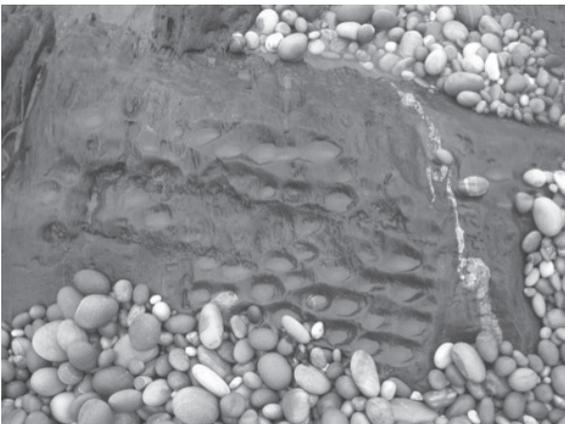


Fig. 11 – Cavidades de ouriços na plataforma rochosa



Fig. 12 - Salina na plataforma rochosa com cavidades de ouriço

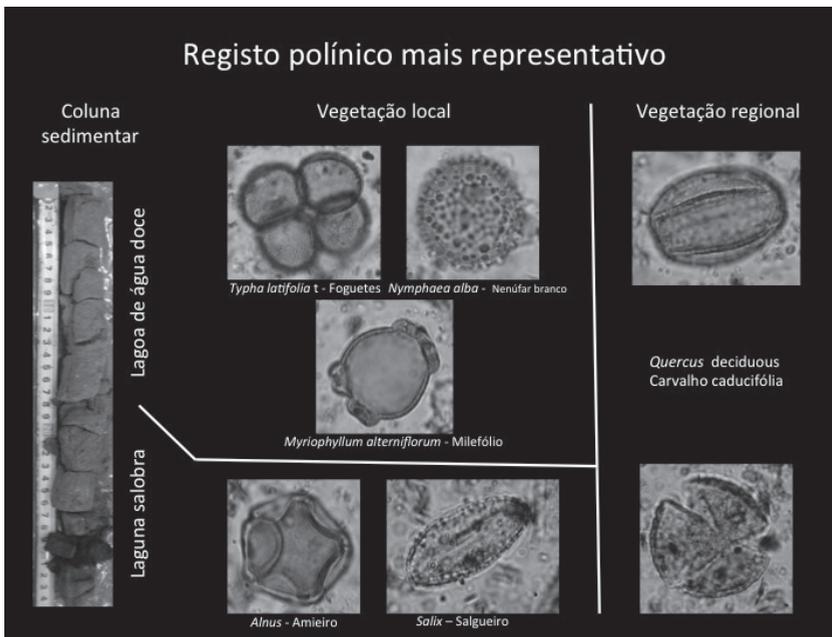


Fig. 13 – Registo polínico mais representativo do depósito (DANIELSSEN Randi)