

Atividade - O nascimento e a morte da Lagoa da Pederneira

Guia do Professor - Teoria

Tipo de aula:	Duração:	
Teórica	3ºCiclo	Ensino Secundário
Conteúdos:		
1. Que fatores afetam o nível médio do mar?		
1.1- Fatores globais / Fatores locais		
2. Curva do nível do mar em Portugal		
2.1- Várias curvas/vários autores		
2.2- Previsões para o futuro		
2.3- Que impactos se podem observar na linha de costa?		
3. Apresentação de um caso de estudo		
3.1- Como se modifica a linha de costa com a subida do nível médio do mar?		
3.1.1- O exemplo da Lagoa da Pederneira		
4. Simulador da subida do nível do mar	45 minutos	45 minutos
Objetivos:		
Conhecer os fatores que afetam o nível médio do mar.		
Conhecer os impactos que se podem observar na linha de costa.		
Conhecer como variou o litoral após a última glaciação, na região da Nazaré, nos últimos 18 000 anos.		

1. QUE FATORES AFETAM O NÍVEL MÉDIO DO MAR?

A seguir, resume-se um trabalho sobre esta temática, elaborado por Cruces (em publicação).

1.1- Fatores globais / Fatores locais

- As oscilações do nível do mar, quando ocorrem, são promovidas:
 - Pelo movimento vertical do plano de água do oceano (alterações climáticas - **factor global**);
 - Pelo movimento do continente (movimentos tectónicos, isostáticos, afluxo de sedimentos - **factores locais ou regionais**);
 - Ou pela conjugação dos dois movimentos anteriores.
- Essas oscilações ficam registadas na zona costeira, sendo esta uma região privilegiada para o estudo destas variações que afectam a interface continente – oceano.
- Durante períodos de estabilidade do nível do mar, o registo geológico de um litoral:
 - Em **regiões com subsidência** vai acusar uma **subida do nível do mar**;
 - Em **regiões costeiras com levantamento tectónico** ou com **forte afluxo sedimentar terrígeno**, o registo geológico registará uma **descida do nível do mar**.
- Por este motivo, deve-se sempre referir **oscilações relativas do nível do mar** em detrimento de oscilações do nível médio do mar.

- Quando ocorrem **oscilações de carácter global** que resultam de flutuações do volume de água nos oceanos, essas devem ser mencionadas como **oscilações eustáticas** e se são controladas pelo crescimento/recuo dos glaciares então estamos perante oscilações **glacio-eustáticas**.

Na tabela 1, a título de exemplo, citam-se algumas causas responsáveis pelas **variações globais e locais** do nível do mar. É notório que os **múltiplos fatores podem estar envolvidos no controlo das oscilações do nível do mar** nos diferentes segmentos do litoral dos continentes. Deste modo, é clara a necessidade da definição de curvas de variação do nível médio do mar de carácter local que sejam consideradas como específicas de cada região, em detrimento de uma curva universal.

Tabela 1 – Fatores/mecanismos responsáveis pelas oscilações globais (eustáticas) e locais do nível médio do mar.

Variações Eustáticas	Variações Locais/Regionais
<ol style="list-style-type: none"> 1. Expansão térmica dos oceanos; 2. Aumento/redução dos glaciares de montanha e/ou das calotes polares; 3. Oscilações do geóide; 4. Tectónica de placas (divergência/convergência, modificações na elevação das cristas médias oceânicas). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Movimentos isostáticos, podem conduzir a fenómenos de subsidência/ levantamento como consequência de variações no continente ou na zona litoral de: <ul style="list-style-type: none"> • Volume de gelo (glacio-isostáticos); • Volume de água (hidro-isostáticos); • Volume de litosfera, oscilações térmicas/densidade (termo-isostáticos); • Deposição/erosão de rochas e/ou sedimentos (sedimento-isostáticos). 2. Fenómenos de compactação. 3. Movimentos tectónicos (tectónica/vulcanismo). 4. Alterações do fluxo sedimentar terrígeno. 5. Modificações locais/regionais nos padrões atmosféricos de vento e de correntes oceânicas.

2. CURVA DO NÍVEL DO MAR EM PORTUGAL

2.1- Várias curvas/vários autores

- Para o estudo da variação relativa do nível do mar de determinada região, existem várias ferramentas que podem ser utilizadas de forma isolada ou combinada.
 - **Evidências geomorfológicas de processos atuantes na linha de costa**, sejam eles fenómenos erosivos e/ou acumulativos, podem contribuir para a identificação de antigos troços costeiros e consequentemente fornecer pistas sobre a posição

altimétrica do nível do mar em determinada época. Formas estas que podem posicionar-se acima do atual nível, como por exemplo: corais, praias levantadas, arribas fósseis, plataformas rochosas, restingas, depósitos estuarinos/lagunares, deltas, grutas, terraços. No entanto, a procura destas formas não deve cingir-se à região emersa, podendo as formas anteriormente referidas ou mesmo outras (ex: antigos vales fluviais) ser encontradas atualmente submersas.

- **A ocupação do litoral por antigas civilizações e a existência de documentação histórica** podem igualmente fornecer dados interessantes para a avaliação das oscilações do nível do mar e das modificações da linha de costa.

- ❖ O posterior mapeamento e o posicionamento altimétrico destas “pistas” permitirão a visualização das antigas linhas de costa e a definição da variação do nível do mar para essa região. É evidente que a partir destes dados geomorfológicos não é fácil, por vezes, obter uma imagem contínua das oscilações do nível do mar mas se combinados com sequências sedimentares datadas (obtidas através de sondagens em ambiente marinho/transição ou visualizadas em cortes geológicos), o “quadro” pode ficar mais completo.

- **Dias (1985, 1987)**, (*in Cruces*, em publicação) com base em estudos geomorfológicos e sedimentológicos da **plataforma continental norte portuguesa**, propôs a primeira curva de variação do nível do mar para o nosso país (**Figura 1**).

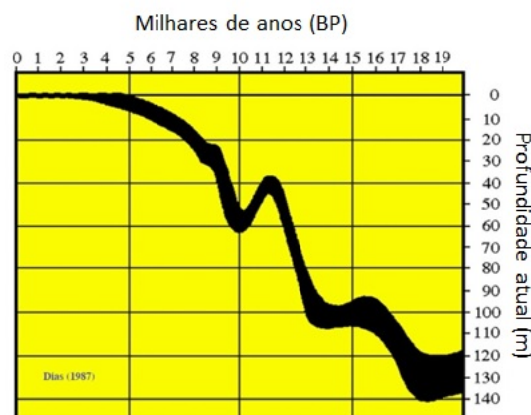


Figura 1 - Curva de variação do nível médio do mar para a plataforma Norte Portuguesa desde o último máximo glaciário. A largura do traçado da curva expressa a incerteza relativamente à idade e à cota do nível do mar. BP (Before present – reporta os acontecimentos, considerando o presente o ano de 1950).

- Em 1993, **Dias & Rodrigues** (*in Cruces*, em publicação) propuseram cinco fases para a evolução da **plataforma portuguesa** nos últimos 18 000 anos.

- Etapas de evolução do litoral português desde o Último Máximo Glaciário até ao presente (Figura 2):

- **Máximo Glaciário, 18 000 anos BP (Fase I)**

No último máximo glaciário a linha de costa estaria próxima do limite da plataforma e o nível médio do mar estaria cerca de 120-140m abaixo do atual. Este nível baixo, expunha quase por completo a plataforma sulcada pelos troços terminais dos rios que drenavam bacias de maior dimensão responsáveis pelo transporte de maiores caudais hídricos e carga sólida, como consequência de estações chuvosas mais prolongadas (Daveau, 1980, *in* Freitas, 1995) (*in* Cruces, em publicação).

- **Início da deglaciação – 16 000 a 13 000 anos BP (Fase II)**

Após o último Máximo Glaciário, o início da deglaciação introduziu enormes volumes de água nos oceanos. Esta fase é marcada pela subida do nível do mar que atinge a cota dos -100m, há cerca de 16 000 anos. Em consequência, verificou-se a migração do litoral em direção ao continente. Posteriormente, o nível do mar estabilizou durante cerca de 3000 anos, permitindo o desenvolvimento na plataforma de alguns acidentes geomorfológicos como plataformas de abrasão, arribas e cordões litorais.

- **Bölling – Allerød, 13 000 a 11 000 anos BP (Fase IIIa)**

Durante este período o clima e a circulação do Atlântico Norte sofreram alterações consideráveis, correspondendo este período a uma fase mais quente onde o padrão de circulação da corrente do golfo é semelhante à atual. A este aquecimento associa-se a subida muito rápida do nível do mar que atinge a cota dos -40m. Esta subida rápida não daria tempo aos estuários de entrarem em equilíbrio com um novo nível de base em progressiva mudança, pelo que a quantidade de sedimentos debitados por estes sistemas na linha de costa era pequena e essencialmente constituída por sedimentos finos, transformando estas ambientes de transição em verdadeiras armadilhas sedimentares, que rapidamente assoreavam.

- **Dryas Recente, 11 000 a 10 000 anos BP (Fase IIIb)**

O Dryas Recente foi marcado pelo retrocesso a condições mais frias, com consequências notáveis na circulação oceânica. O nível do mar desce rapidamente para a posição dos -60m e o ajuste a este novo nível de base é feito através de intensa erosão dos depósitos anteriormente deixados no interior dos estuários que são reposicionados na

plataforma contemporânea. Atualmente entre a cota dos -40 e dos -60m encontram-se vários traços morfológicos (arribas, cordões litorais, plataforma de abrasão) bem conservados, devido à posterior subida rápida do mar após o final do Dryas Recente.

■ Holocénico, 10 000 anos BP à atualidade (Fases, IIIc, IV e V)

Após o final do Plistocénico entra-se no atual período interglaciário, marcado pela acentuada melhoria climática. Estas alterações climáticas são responsáveis pela subida glacio-eustática do nível do mar conduzindo à transgressão holocénica.

Entre os 10 000 e 8000 anos BP regista-se a elevação muito rápida do nível do mar, o qual teria subido em menos de 2000 anos cerca de 40m, passando a posicionar-se a -20m, o que aponta para taxas de subida na ordem dos 20mm/ano. A migração rápida da linha de costa não terá permitido que os processos costeiros modificassem as geoformas modeladas na fase anterior.

Após a desaceleração da taxa de subida do nível do mar este estabilizou há cerca de 5000 – 3000 anos BP aproximando-se do nível atual. A configuração do litoral contemporâneo desse período era bastante diferente do atual, caracterizando-se por predominância de costa rochosa e estuários amplos, o que conferia ao litoral um contorno mais sinuoso e recortado (**Figura 2**). A linha de costa entrou então em progressivo equilíbrio com tendência para a linearização da faixa costeira em virtude da erosão das saliências rochosas e acumulação nas reentrâncias. Esta estabilização promoveu o assoreamento dos estuários e a génese e o crescimento de restingas arenosas, contribuindo estas últimas para o encerramento/isolamento de alguns pequenos estuários/rias transformando-as em lagunas. É também neste período que a acumulação de areias promove igualmente a ligação a terra de outrora pequenas ilhas próximas do litoral (ex: tombolo de Peniche). A maior parte destas modificações parecem ter ocorrido nos últimos 1000 anos, associadas a períodos mais frios e onde possivelmente ocorreram pequenos abaixamentos do nível do mar.

- Na mesma época em que foi proposta a 1ª curva de variação do nível do mar para Portugal, outros dois investigadores **Quevauviller & Moita**, (*in* Cruces, em publicação) em **1986** apresentaram um modelo de evolução para a **plataforma norte alentejana**, com base no estudo dos relevos superficiais, das formações sedimentares presentes na plataforma e efetuando um paralelismo com a evolução de outras plataformas.

- Mais tarde, em **1994**, **Betencourt** (*in* Cruces, em publicação) apresentou para a **região do sotavento algarvio** uma nova proposta, com base em datações de conchas e gastrópodes, para a variabilidade do nível do mar nos últimos 7500 anos. Embora a incerteza altimétrica seja considerável, em virtude da diversidade de habitats que os organismos podem ocupar, os dados revelam uma desaceleração do nível do mar há cerca de 5000 anos BP e uma ligeira descida entre os 2500 – 1900 anos BP.
- Em **2000**, o estudo de várias sondagens efetuadas no **estuário do Sado**, permitiu a **Psuty & Moreira** (*in* Cruces, em publicação) apresentar um modelo esquemático regional para variação relativa do nível médio do mar (**Figura 3**). Entre os 6300 anos BP e a atualidade o nível médio do mar sempre mostrou uma tendência positiva, embora com taxas diferenciadas ao longo do tempo, ao contrário do sugerido por outros autores que indicam uma “quase estabilização”, dentro do Holocénico recente. Para o período entre 6300 e 2600 anos BP obtiveram taxas de subida na ordem de 2mm/ano, descendo para valores de 0,43mm/ano entre 2600 anos BP e a atualidade.

Susana Fernandes

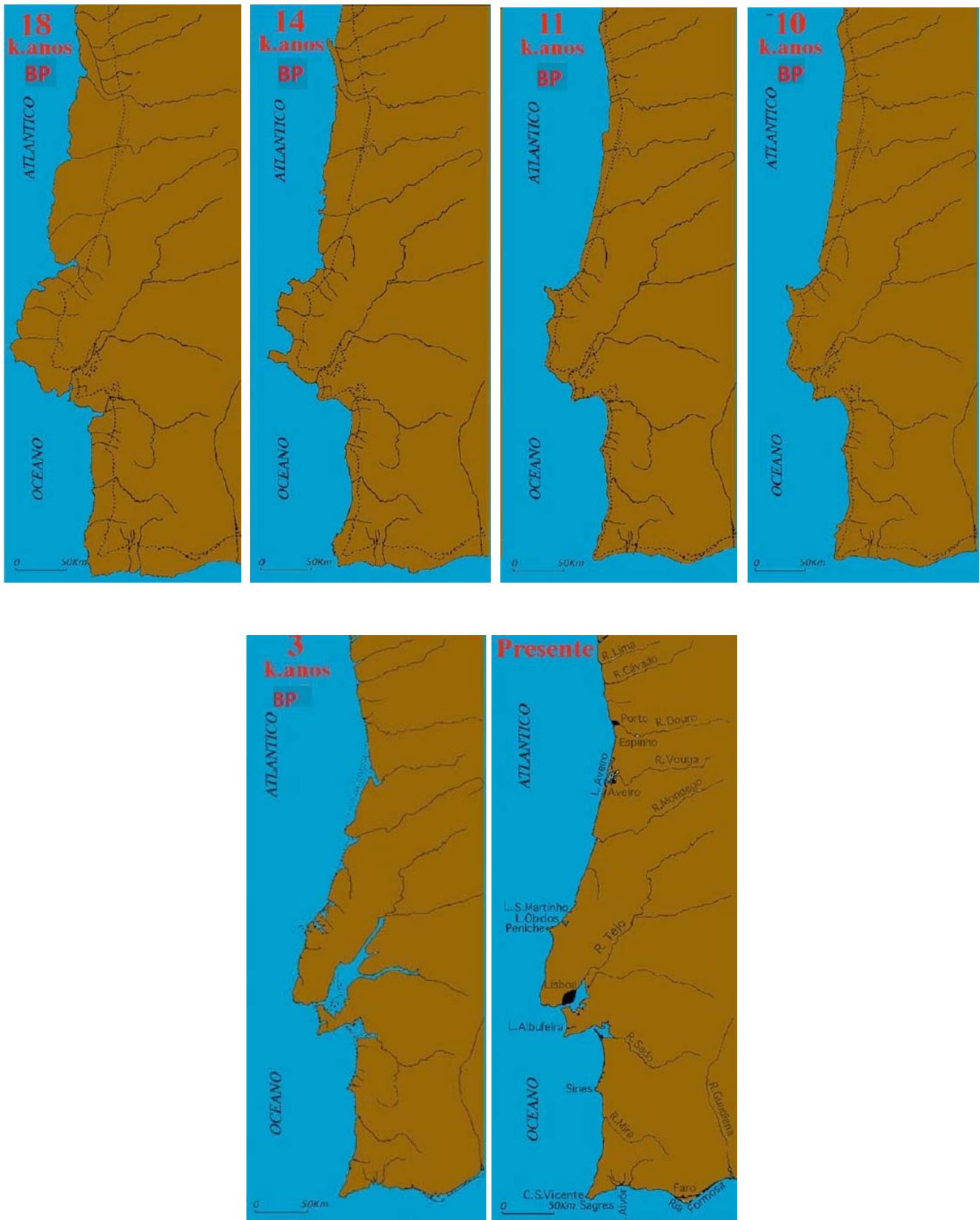


Figura 2 - Evolução da linha de costa desde o Último Máximo Glaciário (adaptado de <http://w3.ualg.pt/~jdias/GESTLIT/Apresentacoes/Evolucao.pdf>).

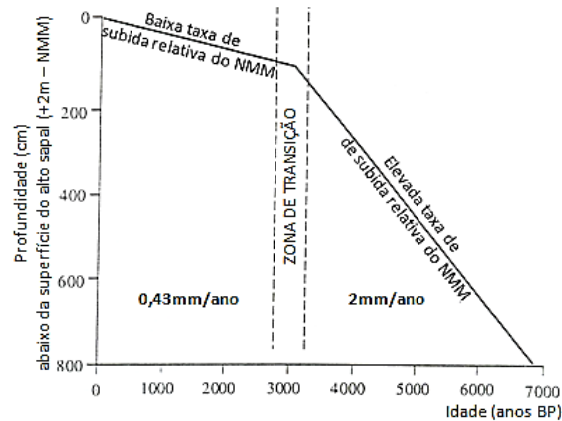


Figura 3 - Modelo regional esquemático da taxa de subida relativa do nível médio do mar, com base no tipo de sedimentação e desenvolvimento morfológico do estuário de Sado (adaptado de Psuty & Moreira, 2000, *in Cruces*, em publicação).

- Em 2002, com base no estudo de seqüências transgressivas do enchimento holocénico do paleovale do Rio Guadiana, Boski *et al.* (*in Cruces*, em publicação) apresentaram um modelo de idades para a região, conseguindo resultados para idades mais antigas que as do modelo do estuário do Sado (Figura 4). A curva mostra uma subida elevada – 8,5mm/ano – entre 10 000 e 6600 anos BP (\approx 11 700 – 7400 anos cal BP), sendo este valor uma ordem de grandeza inferior ao estimado de 20mm/ano na plataforma norte portuguesa por Dias (1985, 1987), (*in Cruces*, em publicação) entre os 10 000 e 8000 anos BP. Posteriormente até 5500 BP (\approx 6300 anos cal BP) assiste-se a uma desaceleração da taxa para 3,0mm/ano, muito semelhante ao estimado por Psuty & Moreira (2000) (*in Cruces*, em publicação) de 2mm/ano para o estuário de Sado neste período.

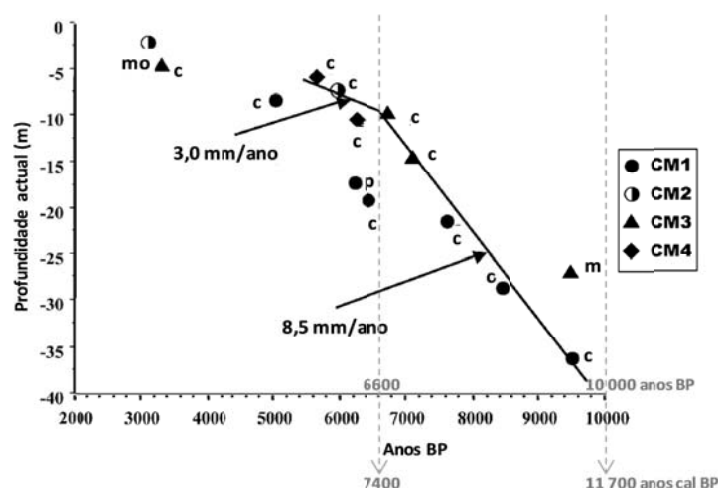


Figura 4 – Idade versus profundidade de materiais estudados em quatro sondagens (CM1, CM2, CM3 e CM4) efetuadas nas proximidades da atual foz do Rio Guadiana. Tipo de material datado: c - conchas, m - madeira; mo - matéria orgânica disseminada; p - turfa (adaptada de Boski *et al.*, 2002, *in Cruces*, em publicação).

■

- Em **2005**, **Teixeira** (*in Cruces*, em publicação) surge com uma nova proposta para o território nacional. Com base em datações de ^{14}C de bivalves e no intervalo de profundidade que estas espécies toleram (habitam) definiram a variação relativa do nível médio do mar para a região de Quarteira (Algarve) nos últimos 9000 anos cal BP (**Figura 5**). Esta curva mostra uma subida rápida entre 9000 e 7000 anos cal BP (6-7mm/ano), uma desaceleração entre os 7000 e os 5000 anos cal BP, período a partir do qual atinge-se a cota próxima da atual e onde a curva se apresenta próxima da horizontalidade até ao presente. Este último facto é a razão pela qual os autores afirmam não terem encontrado evidências de níveis médios do mar mais altos que o atual no litoral de Quarteira.

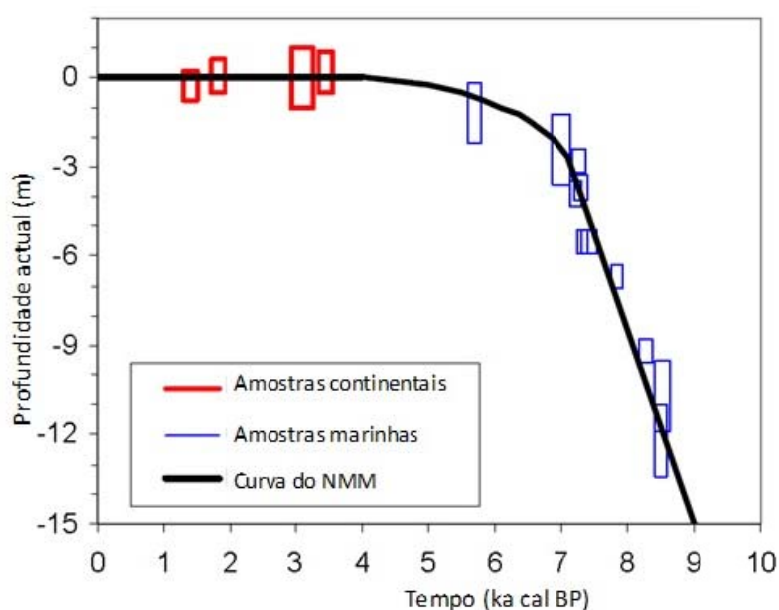


Figura 5 – Curva de variação do nível médio do mar para a faixa costeira da região de Quarteira (Algarve – Portugal) (adaptado de Teixeira *et al.*, 2005, *in Cruces*, em publicação).

- Mais recentemente, em **2009**, **Vis** (*in Cruces*, em publicação) com base no estudo de sequências holocénicas obtidas no enchimento do **paleovale do Rio Tejo**, construiu um modelo de idades, para os últimos 11 500 anos cal BP.
- No **litoral da região centro**, sudoeste e sul a evolução processa-se principalmente pelo assoreamento dos antigos vales fluviais pliocénicos, sem se terem encontrado até ao momento evidências de níveis holocénicos mais elevados que o atual. Veja-se a título de exemplo desta evolução os estudos efectuados no Estuário do Mira, do Guadiana, da Lagoa de Melides, de Santo André e da **antiga Lagoa da Pederneira** (Nazaré). No registo geológico desta faixa costeira portuguesa as espessas sequências sedimentares mostram que a evolução do

litoral se processou, embora sob constante subida do nível do mar (eustatismo positivo), em duas fases distintas:

- **Regime Transgressivo:** durante o holocénico antigo, contemporaneamente a taxas de subida elevadas (na ordem dos 10mm/ano). Os antigos depósitos fluviais são cobertos por materiais de génese marinha/estuarina e posteriormente por depósitos de ambiente estuarino confinado/lagunar. Esta evolução deverá ter ocorrido até há aproximadamente 7000 anos cal BP;
- **Regime Regressivo** (regressão forçada): quando se assiste à desaceleração da taxa de subida do mar e à estabilização do nível de base, o litoral entra em equilíbrio, ocorrendo intenso afluxo de material detrítico que promove elevado assoreamento, ou fica disponível para construção de formas anamórficas costeiras (restingas, ilhas barreira, complexos dunares) que promoveram o confinamento dos estuários ou mesmo o seu isolamento, transformando-os em ambientes lagunares. O assoreamento prolonga-se até aos dias de hoje com a redução da área estuarina/lagunar como consequência da progradação dos leques fluviais ou do avanço das barreiras arenosas, que cobrem os antigos depósitos estuarinos/lagunares

Esta evolução faseada é sinónima de que na primeira metade do Holocénico foram os **fatores globais** (principalmente as oscilações glacio-eustáticas) que mais condicionaram a evolução do litoral, enquanto na última, com a estabilização do nível de base, foram efetivamente os **fatores locais** (principalmente a disponibilidade sedimentar) que se impuseram aos globais.

- A **análise de registos de marégrafos** posicionados nas regiões costeiras, tem constituído o método principal para a **avaliação da variação do nível do mar no século XX** (Ferreira *et al.*, 2008, *in Cruces*, em publicação) e **XXI**, ou seja nos tempos históricos e atuais (meso e microescala temporal). Para estimar a tendência do nível do mar deve utilizar-se uma série temporal longa, **superior a 50 anos** (Douglas, 1991, *in Ferreira et al.*, 2008, *in Cruces*, em publicação). No entanto, os registos maregráficos portugueses reportam-se na sua maioria a intervalos temporais menores.
- A regressão linear efectuada aos dois mais longos registos existentes no litoral continental português, nomeadamente aos das **estações de Cascais** (104 anos) e de **Lagos** (78 anos), indica tendências médias de subida de $1,3 \pm 0,1$ e $1,5 \pm 0,2$ mm/ano (Taborda & Dias, 1989, *in Cruces*, em publicação; Dias & Taborda, 1992, *in Cruces*, em publicação) (**Figura 6**), respetivamente.

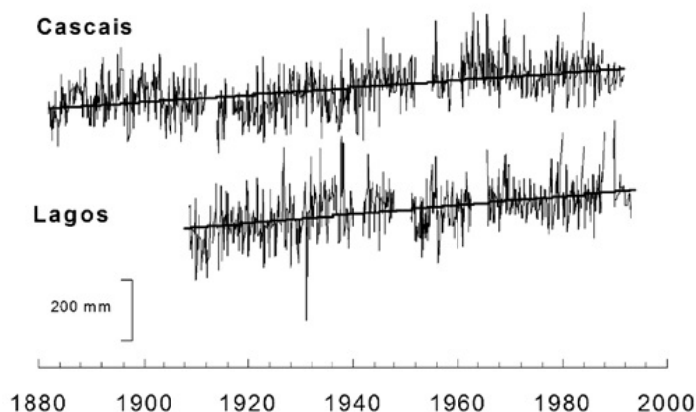


Figura 6 - Registo do marégrafo de Cascais e Lagos (retirada de FERREIRA *et al.*, 2008, *in* Cruces, em publicação).

■ O registo do marégrafo de Cascais (mais antigo marégrafo da península ibérica que contém a uma das séries mais longas do mundo) é utilizado em trabalhos mais recentes (Antunes & Taborda, 2009, *in* Cruces, em publicação), desta vez a série temporal entre 1882 e o ano 2008 (126 anos, 80% da série completa). Para retirar as oscilações sazonais e inter-anuais que estão relacionadas com circulação oceânica global, com a pressão atmosférica e regime de ventos. Os resultados confirmam a segmentação do registo em dois períodos diferentes. Uma 1ª fase até 1920 que revela sinal negativo de $-1,8\text{mm/ano}$ e uma 2ª fase com taxa positiva de $1,9\text{mm/ano}$ (Figura 7). No entanto, a segunda fase não se pauta por uma subida gradual. O padrão mostra oscilações positivas e negativas, com valores mínimos de $-3,0\text{mm/ano}$ entre 1966 e 1977 e máximos de $5,2\text{mm/ano}$ entre 1937 e 1949 (Figura 7), evidenciando que a variação do nível médio do mar teve períodos de aceleração/desaceleração. O registo das duas últimas décadas do séc. XX (1977 a 2000) se mostra mais regular, com uma taxa de subida de $2,1 \pm 0,1\text{mm/ano}$.

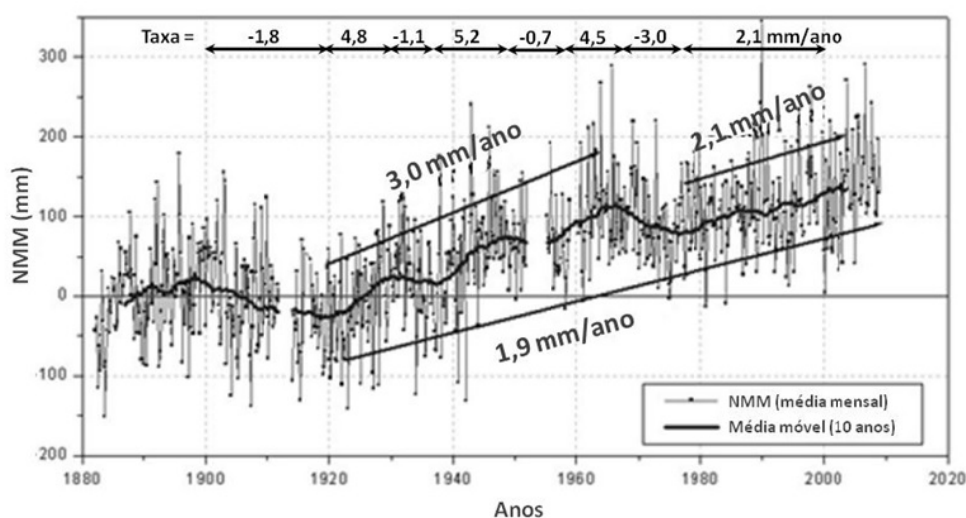


Figura 7 - Série mensal da média mensal do nível médio do mar no marégrafo de Cascais. A curva a negrito representa a média móvel com intervalo de 10 anos. Em cima estão as taxas de subida do NMM estimadas para os vários intervalos temporais (adaptado de Antunes & Taborda, 2009, *in* Cruces, em publicação).

- Os valores das oscilações do nível médio do mar obtidos nos registos dos marégrafos, mesmo que corrigidos das oscilações sazonais e inter-anuais que estão relacionadas com circulação oceânica global, com a pressão atmosférica e regime de ventos, correspondem a **variações relativas** do nível médio do mar, pois não entram em conta com possíveis movimentos verticais da crosta. Para se obterem **valores absolutos** válidos para comparações com a subida do nível médio do mar global, deve ter-se em conta os possíveis movimentos verticais a que o marégrafo pode estar sujeito (Antunes & Taborda, 2009, *in* Cruces, em publicação) (assentamento/subida tectónica).
- Em Portugal existem evidências de movimentos neotectónicos na região NW de que colocam depósitos holocénicos em posições mais elevadas que o atual nível do mar (GRANJA, 1999, *in* Cruces, em publicação). Efetivamente, no quadro tectónico atual, Portugal apresenta movimentos verticais neotectónicos (CABRAL, 1995, *in* Cruces, em publicação) que devem ser considerados, para cada sector do litoral em análise, quando se efetuam estudos sobre a variação relativa/absoluta do nível do mar.
- Para a região de Cascais, são referidos no trabalho de (Antunes & Taborda, 2009, *in* Cruces, em publicação) três velocidades de movimentos verticais:
 - a) Solução S1: -1,3mm/ano, EUREF-Abril2008;
 - b) Solução S2: +2,0mm/ano, EUREF-Outubro2008;
 - c) Solução S3: +0,5mm/ano, comparação com a subida global do nível do mar.

As duas primeiras soluções resultam da “EUREF Permanent Network”, rede de monitorização de um sistema de coordenadas GPS por toda a Europa com dados disponíveis em <http://www.epncb.oma.be/>.

A 3ª solução de +0,5mm/ano, não resulta de dados medidos no terreno tendo sido calculada por (Antunes & Taborda, 2009, *in* Cruces, em publicação), para a região de Cascais assumindo que neste litoral a subida do nível médio do mar é igual à taxa global de 3,0mm/ano.

2.2- Previsões para o futuro

- Uma das mais importantes contribuições do estudo das oscilações do nível médio do mar é permitir a sua extrapolação para o futuro.
- Tendo em conta as três soluções previamente referidas (S1, S2 e S3), (Antunes & Taborda, 2009, *in* Cruces, em publicação) referem que em **2100 o nível médio do mar estará 47cm mais elevado**, com um intervalo de confiança de 95%, entre 19 e 75cm (**Figura 8**).
 - Estes valores estão dentro das projeções apresentadas pelo Painel Intergovernamental das Alterações Climáticas (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change) em 2001 e 2007 (**Figura 8**).

- No entanto, refere-se que a projeção para o ano de 2100 de (Antunes & Taborda, 2009, *in Cruces*, em publicação), baseada na solução S3, assume que a subida da temperatura no futuro seguirá o padrão atual.
- Sabendo que a variação da Temperatura Superficial do Atlântico Norte é um dos fatores principais da expansão térmica dos oceanos é então estimada a subida do nível médio do mar (a comparação entre as observações recentes do marégrafo de Cascais e os registos da variação da Temperatura Superficial do Atlântico Norte mostram forte concordância (Dias & Taborda, 1992, *in Cruces*, em publicação). No entanto, se assumirmos que a temperatura terá um comportamento distinto, o nível médio do mar pode seguir esse padrão e poderá vir a ser substancialmente superior ao esperado (Figura 8).

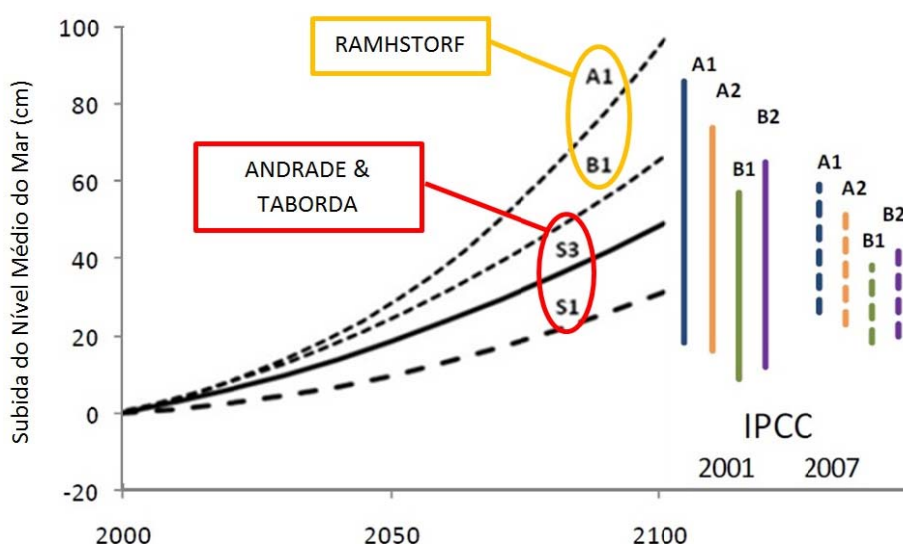


Figura 8 - Projeções do NMM obtidas com as soluções S1 e S3, para o marégrafo de Cascais (Taborda *et al.*, 2010), comparadas com as de Ramhstorf (A1 e B1) (2007) e as do IPCC (2001 e 2007) (adaptado de Taborda *et al.*, 2010, *in Cruces*, em publicação).

2.3- Que impactos se podem observar na linha de costa?

- No quadro atual, pode afirmar-se que, o litoral português é já fortemente afetado por erosão costeira, causada principalmente por deficiência de afluência de sedimentos ao litoral.
 - Estima-se que apenas 10 – 20% da erosão costeira resulta da subida do nível do mar, enquanto os restantes 80 – 90% são consequência do défice sedimentar ao litoral.
 - Embora com um peso menor na erosão costeira, a subida do nível médio do mar irá ver aumentar os fenómenos erosivos.

Susana Fernandes

- São várias as **implicações da subida do nível do mar** nas **regiões costeiras**:
 - Regressão da linha de costa;
 - Erosão costeira;
 - Ocorrência de inundações;
 - Destruição das estruturas costeiras;
 - Intrusão salina (aquíferos, rios).
- A avaliação/quantificação diferenciada do grau de influência de cada fator forçador global/regional na variação do nível do mar reveste-se de extrema importância para cada região costeira, que em consequência apresentará uma curva própria de variação relativa do nível médio do mar.
- Desde a proposta de DIAS (*in Cruces*, em publicação) na década de oitenta, os estudos no litoral de Portugal e a procura da variação do nível médio do mar e consequentemente a identificação das modificações que o litoral sofreu para entrar progressivamente em equilíbrio face às constantes pressões da subida eustática do mar desde o tardiglaciário (fator global), tem sido tema de contínua investigação, avolumando-se as contribuições da comunidade científica.

3. APRESENTAÇÃO DE UM CASO DE ESTUDO

- Na tabela seguinte apresentam-se a título de curiosidade os trabalhos publicados de lagoas situadas a Oeste da Serra dos Candeeiros (Lagoas da Pederneira, Alfeizerão e Óbidos).

Tabela 2 – Trabalhos com contribuições para a avaliação da variação do nível médio do mar e evolução dos ambientes costeiros em Portugal durante o Plistocénico e o Holocénico (macro escala temporal) (Cruces, em publicação).

Área de influência do estudo	Trabalhos publicados por ordem cronológica (Data – Autores)
Paleolaguna da Pederneira	2005 – HENRIQUES & Dinis 2010 – ANDRADE <i>et al.</i> 2010 – FREITAS <i>et al.</i> 2010 – HENRIQUES <i>et al.</i> 2010 – MOREIRA <i>et al.</i> 2013 – HENRIQUES 2013 – LOPES <i>et al.</i> (em publicação) – LOPES, V.
Paleolaguna da Pederneira, de Alfeizerão e Lagoa de Óbidos	1996 – HENRIQUES <i>et al.</i> 2002 – HENRIQUES <i>et al.</i> 2005 – DINIS <i>et al.</i> 2006 – DINIS <i>et al.</i>

3.1- Como se modifica a linha de costa com a subida do nível médio do mar?

3.1.1- O exemplo da Lagoa da Pederneira

O exemplo que agora aqui se apresenta resulta do trabalho apresentado por Freitas e seus co-autores (2010).

- No intervalo de tempo correspondente ao Pliocénico (5 a 1,8 milhões de anos antes do presente, em contexto climático mais quente e húmido, de feição tropical), a parte emersa da Bacia Lusitânica foi um local essencialmente de sedimentação continental e de erosão subaérea.
- Contudo, o mar invadiu esporadicamente a bacia, alcançado cotas mais elevadas do que a atual e inundou, deslocando a linha de costa até à Serra dos Candeeiros, modelando na aba ocidental uma imponente vertente litoral (**Figura 9**).

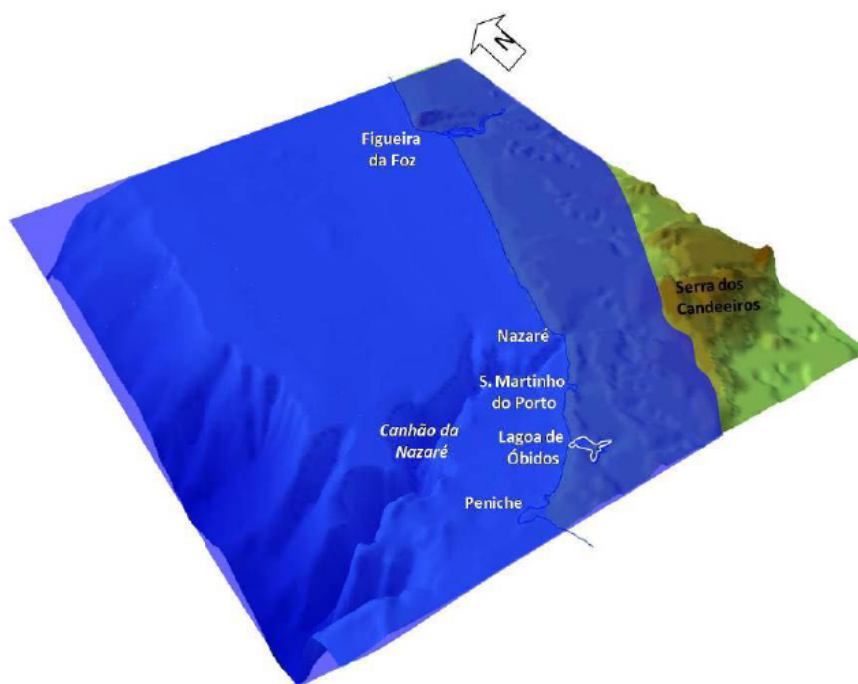


Figura 9 - Reconstituição esquemática da inundação marinha ocorrida no Pliocénico (Freitas *et al.*, 2010).

- Em contraste, o nível do mar plistocénico oscilou com amplitude apreciável ao longo do tempo em resultado de variações climáticas globais que determinaram diversas épocas glaciais e interglaciais. Durante as épocas mais frias, a retenção de quantidades significativas de água sob a forma de gelo nas regiões circumpolares e em glaciares de montanha conduziu a rebaixamento geral do nível dos oceanos e favoreceu o entalhe ou re-encaixe da rede

hidrográfica condicionando-lhe os traços e organização essenciais que perduram no presente. Os interglaciares correspondem a intervalos temporais de melhoramento climático, fusão dos gelos, devolução de água aos oceanos e expansão térmica daquele reservatório, conduzindo a elevação do nível do mar que, porém, não atingiu cotas tão altas, nesta região, como no Pliocénico.

- A glaciação mais recente (Würm) atingiu o seu máximo há cerca de 18 000 anos (Último Máximo Glaciar – UMG), estimando-se que a temperatura média global fosse cerca de 11° C (4°C inferior à do início do século XX); o nível do mar desceu a cota próxima da do bordo da atual plataforma continental portuguesa, isto é, cerca de 120 m abaixo da cota atual, e a linha de costa situava-se substancialmente mais para oeste (**Figura 10**).
- O rebaixamento do NMM originou uma última reorganização da rede de drenagem que (re-)escavou vales bastante profundos e encaixados nos locais onde hoje se encontram as Lagoa de Óbidos, São Martinho do Porto e a Várzea da Nazaré.

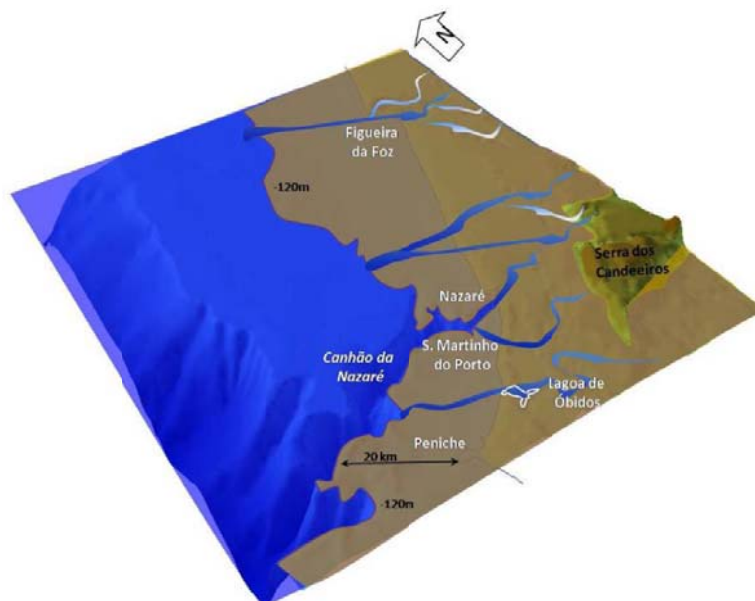


Figura 10 - Reconstituição esquemática do litoral entre Peniche e Nazaré há 18 000 anos durante o ultimo Máximo Glaciar (Würm) (Freitas *et al.*, 2010).

- A fase final do Plistocénico (posterior a 18000 BP) caracteriza-se por uma subida da temperatura e concomitante elevação do nível médio do mar. O aumento do volume dos oceanos conduziu a uma progressiva retrogradação da linha de costa que ainda se situaria para ocidente da atual; no entanto, devido ao seu profundo entalhe, a frente de inundação marinha avançou preferencialmente para o interior do continente nos vales previamente escavados, que se transformaram em braços de mar.

- A tendência transgressiva foi perturbada por um episódio frio ocorrido no Atlântico N entre 11000 e 10000 BP, o Dryas Recente, marcando a transição para o Holocénico. Embora (Dias *et al.*, 1997, *in* Freitas *et al.*, 2010) proponham para este intervalo uma descida pronunciada do nível do mar, dados mais recentes relativos ao litoral português sugerem que àquela perturbação térmica correspondeu apenas uma estabilização efémera do nível de base, próximo da cota -30 m, com duração milenar.
- O melhoramento climático do início do Holocénico favoreceu o retomar de um regime transgressivo intenso (com taxas de elevação médias da ordem de 1×10^0 cm/ano), interrompido no milénio anterior, que se prolongou até há aproximadamente 7000 anos. Nos dois milénios seguintes, observa-se diminuição acentuada da taxa de elevação do nível do mar (para valores de 0,8 a 1×10^{-1} cm/ano) e cerca de 5 000 anos antes do presente o nível do mar terá alcançado cota muito próxima da atual, correspondendo ao máximo da transgressão holocénica.
- Em resposta a este forçamento, desenvolveram-se ao longo deste litoral ambientes de ria/estuário aberto que, há 5000 anos desenvolveram perímetros de inundação marinha com máxima expressão, quer em superfície, quer em penetração para o interior.
- Na planície aluvial podiam-se identificar 3 alvéolos ou sectores: Valado de Frades-Maiorga (interior); Ponte das Barcas-Valado de Frades (intermédio); Nazaré-S.Gião (litoral). As áreas baixas (2-10m) e aplanadas (declive cerca de 0,9%) destes alvéolos correspondiam, no geral, à extensão máxima atingida pela Lagoa da Pederneira no Último Máximo Transgressivo (**Figura 11**) (Henriques, 2013).
- Após os 5000 anos a estabilização do nível médio do mar próximo da cota atual permitiu a diferenciação e o desenvolvimento de barreiras arenosas na região da Nazaré (**Figura 12**), que isolaram os ambientes de ria/estuário aberto e os transformaram em lagoas (Lagoa da Pederneira).
- Quando o nível médio do mar atingiu aproximadamente a cota atual, há 3000 a 5000 anos atrás, o litoral era muito recortado e predominantemente rochoso (Dias, 2009).
- Após uma fase caracterizada principalmente por assoreamento estuarino, os estuários começaram a debitar para o litoral grandes quantidades de sedimentos grosseiros. Estes, pouco a pouco, foram sendo transportados em deriva litoral modificando assim progressivamente a configuração de muitas zonas costeiras. Verificou-se uma forte tendência para o alinhamento do litoral, no entanto continuava o processo de erosão nas zonas mais salientes e o preenchimento das zonas mais reentrantes (Dias, 2009).

- A evolução do litoral foi forçada principalmente por fatores naturais, onde sobressaem os de ordem climática. No final do primeiro milénio, a evolução do litoral começou a ser forçada também pelos impactes das atividades antrópicas. A conjugação destes dois fatores, climáticos e antrópicos, intensificaram a retificação do litoral, verificando-se nalguns casos, uma evolução bastante rápida. São exemplo desta rápida evolução as três lagoas presentes entre a Nazaré e Peniche (Lagoas da Pederneira, de Alfeizerão e de Óbidos) (Dias, 2009).

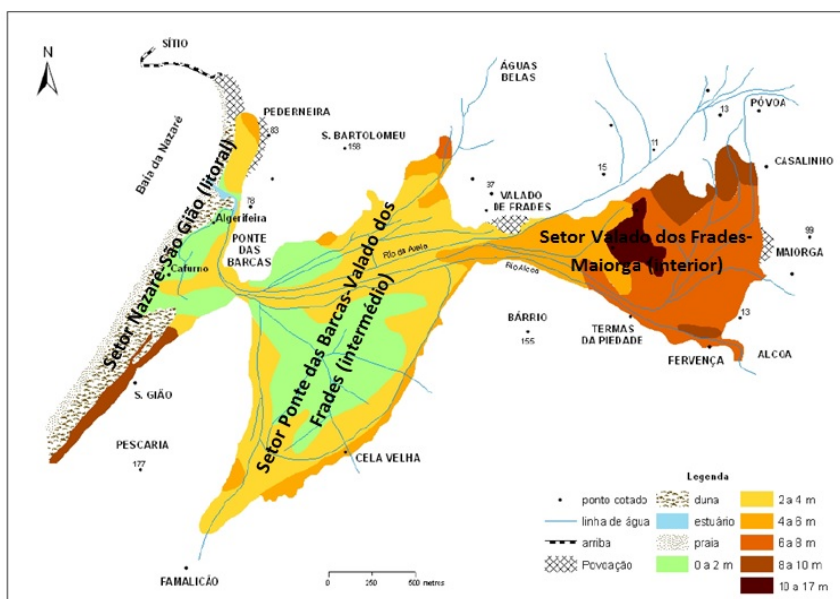


Figura 11 - Esboço morfológico da planície aluvial da Nazaré (elaborado a partir de plantas topográficas 1:2000, 1974 e 1977) (Adaptado de Henriques & Dinis, 2005).

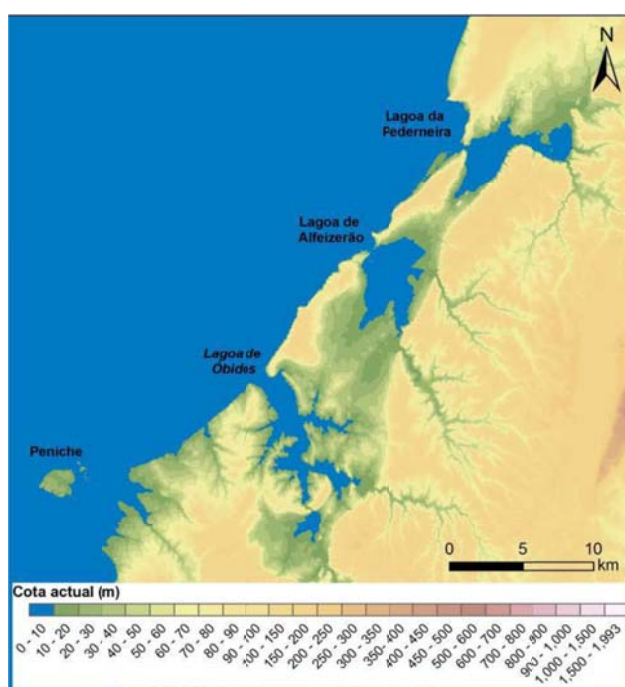


Figura 12 - Modelo esquemático do litoral entre Peniche e Nazaré há 5 000 anos durante o máximo de transgressão holocénica (Freitas *et al.*, 2010).

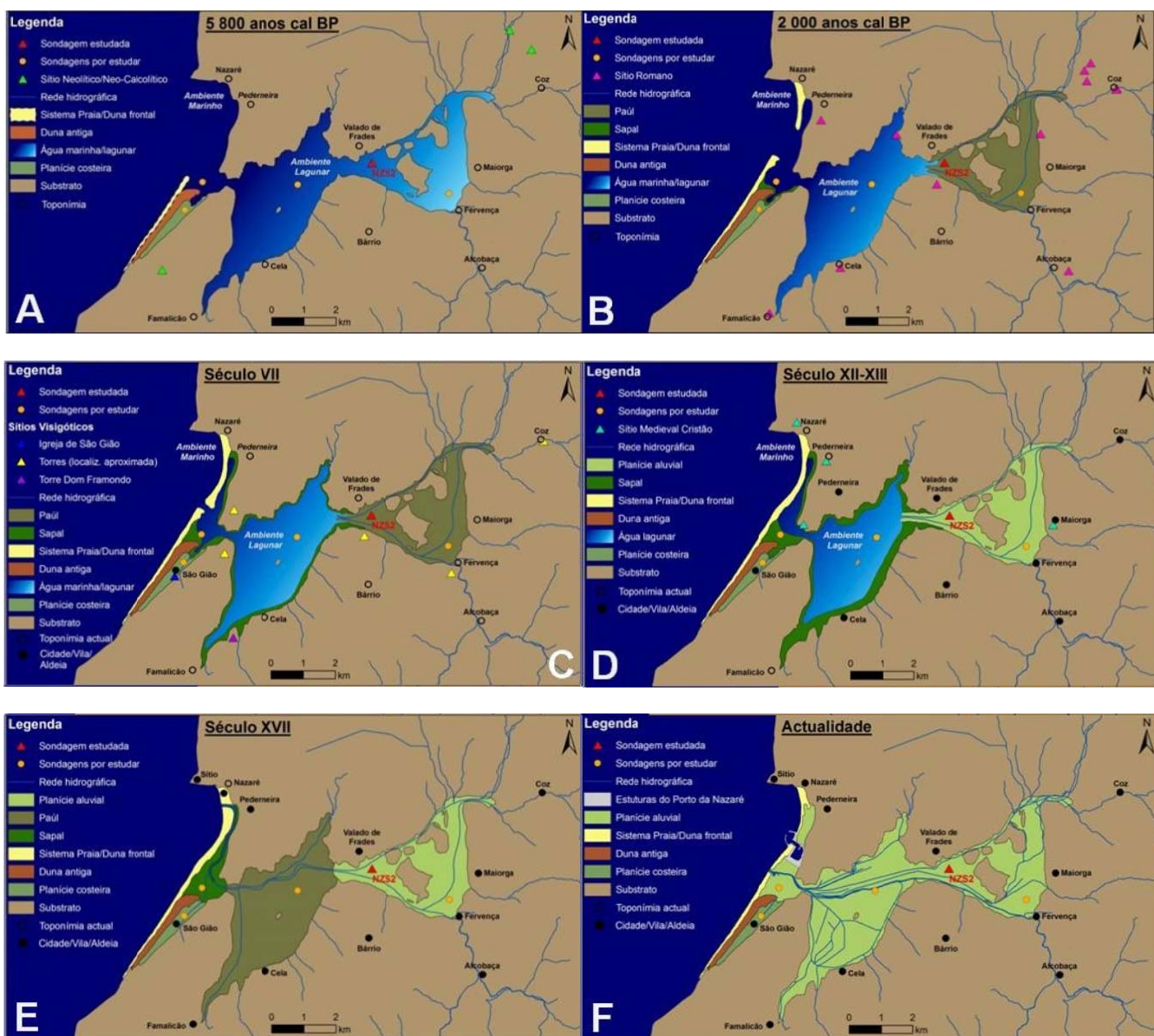


Figura 13 - Modelo evolutivo da Lagoa da Pederneira desde o Último Máximo Transgressivo (Freitas et al., 2010).

- Para compreender melhor as causas da evolução mais recente deste paleoambiente lagunar, é importante ter em conta a evolução em contexto climático, demográfico e sociopolítico (Dias, 2009).
 - De uma forma muito resumida, por volta do século X começou a verificar-se a alteração das características climáticas, o período de forte degradação climática (Péssimo climático - Idade das Trevas), depois começou a transitar para outro período com condições mais amenas (Período Quente Medieval ou Pequeno Ótimo Climático), o que levou a um forte crescimento demográfico e como consequência ocorreu a expansão da agricultura, muitas das áreas sofreram uma elevada modificação na paisagem devido às desmatagens e desflorestações necessárias à constituição de novos campos agrícolas, bem como à crescente necessidade de uso de

Susana Fernandes

- madeira e lenha. Tal veio a refletir-se no forte incremento de fornecimento sedimentar às zonas costeiras e como consequência o fortalecimento da deriva litoral (Dias, 2009).
- Nesta altura, a Península Ibérica estava, na sua maior parte, dominada pelos muçulmanos encontrando-se a Reconquista Cristã em progresso. No território que hoje é Portugal, a fronteira a sul do Douro tanto sofria avanços dos Cristãos para sul, como recuos para norte, este recuo deveu-se ao facto deste território ser inseguro, logo como consequência verificou-se uma acumulação da população a norte do Douro. Nesta região deu-se uma rápida expansão da agricultura e, conseqüentemente, um forte abastecimento sedimentar ao litoral através dos rios minhotos e do Douro. As areias transportadas para sul da direção dominante NW, foram progressivamente modificando a configuração do litoral (Dias, 2009).
- A zona costeira entre Peniche e a Nazaré, possuía três zonas deprimidas onde afluem pequenos rios. Quando o nível médio do mar atingiu a cota atual, transformaram-se em vastos estuários que derivaram para corpos lagunares. São, de norte para sul, as lagoas da Pederneira, de Alfeizerão e de Óbidos (Dias, 2009).
 - A reconquista cristã nesta zona costeira foi mais tardia. A conquista de Leiria verificou-se apenas em 1142 e a de Óbidos em 1148 (a de Coimbra foi em 1064). A estrutura fundiária das áreas drenantes para estas lagoas costeiras era diferenciada devido aos diferentes processos de ocupação (Dias, 2009).
 - A norte, uma grande área, principalmente a das bacias hidrográficas da Pederneira e Alfeizerão, foi doada em 1153, por D. Afonso Henriques aos monges de Cister (Alcobaça), para os quais desarborear para a agricultura representava “trabalhar para o triunfo da verdadeira fé”. Revelaram-se grandes impulsionadores da drenagem nos campos agrícolas e da sua adaptação à agricultura (Dias, 2009).
 - A presença da Ordem de Cister determinou um período de prosperidade económica e demográfica, acompanhado de forte desenvolvimento da agricultura, exploração e transformação de minérios (ferro). A prática destas atividades contribuiu para a destruição do coberto vegetal primitivo, devido ao arroteamento de novas terras e à utilização de madeira. A alteração do uso solo terá contribuído para o incremento do assoreamento da laguna, reduzindo significativamente a área imersa (**Figura 13D**), ao mesmo tempo que as necessidades de uso do porto e da extração de sal aumentavam (Henriques, 2013).
 - Na documentação do século XII e seguintes é referido o fecho da barra da laguna e o esforço exigido para a abrir e manter aberta, assim como as consequências nefastas que o isolamento do mar provocava no interior do corpo lagunar e na qualidade de vida das populações. Apesar da área inundada se restringir parcialmente ao alvéolo central e a comunicação com o mar ser esporádica, a crescente necessidade de circulação de pessoas e bens por via marítima, à época a mais fácil e rápida, constituía, em conjunto com a pesca e a salicultura, importante fonte de rendimentos para o Mosteiro de Alcobaça e para a Coroa, estimulando a manutenção artificial de condições para a navegação na Lagoa. Assim, o “porto” não teria, nesta época, uma estrutura física definida, localizando-se os principais pontos de acostagem em posição interior, na margem norte e junto às principais linhas de água. A vila da Pederneira

Susana Fernandes

desenvolveu-se a SE da sua atual localização, acima da Ponte das Barcas onde se situaria o “porto” e os estaleiros (**Figuras 13B, 13D**) (Henriques, 2013).

- Muitos documentos do século XVI aludem às dificuldades em manter a barra aberta e em drenar os pântanos e sapais existentes nas imediações. O crescimento dos cordões litorais, o avanço das dunas, a constante migração da foz do rio Alcoa e o aumento de calado das embarcações, obrigaram à mudança do “porto” e dos estaleiros para fora da Ponte das Barcas, instalando-se na “Ribeira”, situada na região da atual vila da Nazaré, abaixo do Promontório do Sítio. Neste amplo espaço são retomadas as atividades de construção naval, comércio marítimo e pesca (Henriques, 2013).
- A cartografia de pormenor dos séculos XVI e XVII representa a área a jusante da Ponte das barcas como um extenso areal, onde serpenteia o rio Alcoa (ou de Alcobaça) que comunica com o mar por uma barra estreita. Esta configuração sugere que a Lagoa já tivesse desaparecido e apenas as superfícies baixas fossem inundadas nos períodos mais chuvosos. Contudo, a circulação de pequenos barcos ao longo dos rios e dos canais, é documentada ainda neste período. A decadência do porto interior foi acompanhada pelo progressivo abandono do espaço “medieval” da Pederneira que se transferiu para o local da atual vila. O topónimo “Lagoa da Pederneira” terá permanecido para designar o antigo espaço inundado, mesmo depois do desaparecimento do ambiente lagunar (Henriques, 2013). Sabe-se, com base em documentação histórica (**Figura 14**), que no século XVII a antiga laguna da Pederneira já estava totalmente colmatada, sendo atravessada por um rio que corria sobre os seus depósitos aluviais.
- Nos séculos XVII e XVIII, a atração da população pelas atividades da pesca, dos estaleiros, do armazenamento e transporte das madeiras provenientes do Pinhal de Leiria com destino à Ribeira das Naus em Lisboa, deu origem a um novo aglomerado populacional que se estabeleceu junto ao porto: a “Praia” ou “Ribeira” (primórdios da atual Nazaré). O povoamento deste lugar foi lento devido às frequentes inundações causadas pela erosão do cordão litoral e pela constante migração da foz do rio, apenas estabilizada artificialmente em 1837. Em simultâneo, no cimo do promontório, desenvolveu-se o Sítio, associado à expansão do culto de Nossa Senhora da Nazaré, que acolheu muitos dos moradores da Pederneira, já em decadência. Na Praia, as más condições de acostagem e a migração dos bancos arenosos só permitiam embarque de mercadorias no verão, mantendo-se apenas atividades relacionadas com a pesca (Henriques, 2013).
- Ao longo do século XVIII as zonas húmidas adjacentes à Lagoa foram drenadas e transformadas em terrenos agrícolas (várzeas e campos). Razões sociopolíticas (Invasões Francesas, diminuição da população, declínio e expulsão da Ordem de Cister em 1834) impediram a manutenção das estruturas hidráulicas, e parte da várzea foi inundada, retomando a anterior condição de paul (Cela, Campinho, Valado, Maiorga) (Henriques, 2013).
- O posterior crescimento populacional e a expansão da agricultura contribuíram para o aumento da erosão e conseqüente sedimentação e desorganização da rede de drenagem, agravada pela falta de manutenção das estruturas hidráulicas construídas. Esta situação foi modificada em meados do século XX com a execução de importantes obras de enxugo e correção torrencial e, mais tarde (década de 80), com o desvio para

sul e fixação da foz do rio Alcoa e a construção do Porto de Abrigo da Nazaré (Henriques, 2013).



Figura 14 - Representação do litoral adjacente aos Portos de Peniche (A), de Alfeizerão (B) e da Pederneira (C) no século XVII (Teixeira, 1634, in Freitas et al., 2010).

Fontes bibliográficas

Andrade, R. R., Cruces, A., Henriques, V. (2010). Evolução paleoambiental da planície litoral a sul da Nazaré desde o tardiglaciário. Integração no modelo de evolução do litoral ocidental português. M.C. Freitas, 48 (Coastal Hope).

Cruces, A. G. (em publicação). *Caracterização de Ambientes de Transição do SW Alentejano a Distintas Escalas Temporais*. Dissertação apresentada ao Departamento de Geologia da Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geologia, na especialidade de Geologia Económica e do Ambiente, orientada por Conceição Freitas, Lisboa.

Dias, J. (2009). *Alguns exemplos de rápida evolução costeira em Portugal*. VII Reunião do Quaternário Ibérico. Centro de Investigação Marinha e Ambiental. Faro, http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/papers/CI/09%20VIIQuatIb_JAD.pdf. Acedido em 23 de abril de 2013.

Dinis, J., Henriques, V., Freitas, M. C. & Andrade C. (2005)- The holocene evolution of the Óbidos, Alfeizerão and Pederneira lagoons (western Portugal). Natural and anthropic forcing (TALK). In: Freitas, M.C. & Drago, T. (eds), *Proceedings, Iberian Coastal Holocene Paleoenvironmental evolution*, Coastal Hope, Lisbon, pp. 42-43. Disponível em: <http://coastal.fc.ul.pt/Proceedings.pdf>. Acedido em 23 de abril de 2013.

Dinis, J.L., Henriques, V., Freitas, M.C., Andrade, C. & Costa, P. (2006) – Natural to anthropogenic forcing in the holocene evolution of three coastal lagoons (Caldas da Rainha valley, western Portugal). *Quaternary international*, 150, Elsevier, pp. 41-51.

Freitas, M. C., Ramos, R., Henriques, V., Andrade, C. & Dinis, J. (2010). *O Litoral entre Peniche e a Nazaré, Guia de excursão*. Iberian Coastal Holocene Paleoenvironmental.

Henriques, M.V. (1996). A Faixa litoral entre a Nazaré e Peniche. Unidades geomorfológicas e dinâmica actual dos sistemas litorais. Dissertação de doutoramento, Universidade de Évora, 575p. Inédito.

Henriques, M. V., Freitas, M. C., Andrade, C. & Cruces, A. (2002) Alterações morfológicas em ambientes litorais desde o último máximo transgressivo - exemplos da Estremadura e do Alentejo. *In: Contribuições para a Dinâmica Geomorfológica*. Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Vol. 1, APGeom, Lisboa, p. 103-113. Disponível em: http://www.geoescola.org/dossiers/publicacoes/Pub_AP_GeomVol1.pdf Acedido em 23 de abril de 2013.

Henriques, M.V. & Dinis, J. L., (2005). Avaliação do enchimento sedimentar holocénico na planície aluvial da Nazaré (Estremadura Portuguesa). *Actas X Colóquio Ibérico de Geografia* (Évora, Portugal), 16p. Disponível em: http://www.apgeo.pt/files/docs/CD_X_Coloquio_Iberico_Geografia/pdfs/079.pdf. Acedido em 3 de abril de 2013.

Henriques, M.V., Freitas, M.C., Ramos R., Andrade, C. (2010) - A Lagoa da Pederneira – Evolução Geomorfológica e Contexto Socio-Economico Regional. 67 (Coastal Hope).

Henriques, V. (2013) - O Litoral dos Coutos de Alcobaça. A evolução morfológica da Lagoa da Pederneira (Nazaré). *in "Mosteiros Cistercienses. História, Arte, Espiritualidade e Património"*. Tomo III, Alcobaça. (pp.423-442).

Lopes, V., Freitas, M.C., Andrade, C., Taborda, R., Ramos, R. & Oliveira, M.A. (2013). *A GIS-assisted reconstruction of the Holocene transgressive paleosurface of Pederneira lowland (W Portugal)*. Proceedings 12th International Coastal Symposium – ICS 2013 (Plymouth, England), Journal of Coastal Research, Special Issue No. 65, pp. 547-551, ISSN 0749-0208.

Lopes, V. (em publicação). *Modelação geológica tridimensional: aplicação à evolução paleoambiental da Várzea da Pederneira (Nazaré)*. Dissertação apresentada ao Departamento de Geologia da Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Mestre, orientada por Conceição Freitas, Lisboa.

Moreira, S., Freitas, M.C., Araújo, A., Cruces, A., Andrade, C., Regala, R. & Lopes, V. (2010) – Paleoenvironmental evolution of Pederneira lagoon (Nazaré, Portugal) using sedimentological and geochemical proxies. *In: Freitas, M.C. & Andrade, C. (eds), Proceedings, Iberian Coastal Holocene Paleoenvironmental evolution, Coastal Hope 2010, Lisbon, pp. 76-77.*

Créditos das imagens

Figura 1



(Adaptado)

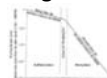
Figura 2



(Adaptado)

Fonte: <http://w3.ualg.pt/~jdiarias/GESTLIT/Apresentacoes/Evolucao.pdf>, acedido em 2013-02-20.

Figura 3



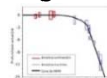
(Adaptado)

Figura 4



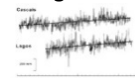
(Adaptado)

Figura 5



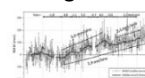
(Adaptado)

Figura 6



(Adaptado)

Figura 7

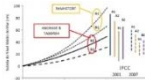


(Adaptado)

Fonte: Cruces, A. (em publicação). Caracterização de Ambientes de Transição do SW Alentejano a Distintas Escalas Temporais. Dissertação apresentada ao Departamento de Geologia da Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Doutor, orientada por Conceição Freitas, Lisboa.

Susana Fernandes

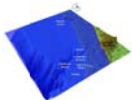
Figura 8



(Adaptado)

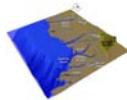
Fonte: Taborda, R., Andrade, C., Marques, F., Freitas C., Rodrigues, R., Antunes, C., & Pólvora, C., (2010). Plano Estratégico de Cascais face às Alterações Climáticas. Sector Zonas Costeiras. Universidade de Lisboa.

Figura 9



(Adaptado)

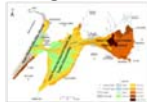
Figura 10



(Adaptado)

Fonte: Freitas, M. C., Ramos, R., Henriques, V., Andrade, C., Dinis, J. (2010). O Litoral entre Peniche e a Nazaré, Guia de excursão. Iberian Coastal Holocene Paleoenvirenmental.

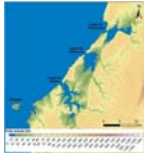
Figura 11



(Adaptado)

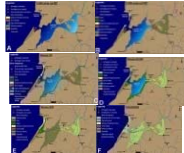
Fonte: Henriques, M.V., Dinis, J. (s/d). Avaliação do enchimento sedimentar holocénico na planície aluvial da Nazaré (Estremadura Portuguesa). Departamento de Geociências, Universidade de Évora. Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra.

Figura 12



(Adaptado)

Figura 13



(Adaptado)

Figura 14



(Adaptado)

Fonte: Freitas, M. C., Ramos, R., Henriques, V., Andrade, C., Dinis, J. (2010). O Litoral entre Peniche e a Nazaré, Guia de excursão. Iberian Coastal Holocene Paleoenvirenmental.