

Estudos de palinofácies e fácies orgânica de uma sequência sedimentar do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica

Organic facies and palinofacies study of the Early Jurassic sedimentary sequence in the Lusitanian Basin

Vasco Gonçalo Alves Esteves de Matos | João Graciano Mendonça Filho | Rui Paulo Bento Pena dos Reis | Nuno Lamas Pimentel | André Luiz Durante Spigolon

resumo

O Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica (BL) possui uma expressão aflorante em vários locais, principalmente no sector norte, onde os seus sedimentos representam a fase inicial do preenchimento carbonático da bacia.

O presente trabalho incide no estudo da matéria orgânica (MO) preservada nos sedimentos da Formação Água de Madeiros (Sinemuriano Superior), na região de S. Pedro de Moel e da Formação Vale das Fontes (Pliensbaquiano), nas regiões de Coimbra, S. Pedro de Moel e Peniche.

Foram aplicadas e integradas análises de palinofácies e geoquímica orgânica (fácies orgânica) no estudo da matéria orgânica.

A integração dos dados organogeoquímicos e palinofaciológicos permitiu caracterizar as condições paleoambientais, influência continental na

sedimentação, condições redox da bacia e, também, determinar subambientes.

No âmbito deste trabalho, foi proposto um modelo para a deposição da Formação Vale das Fontes, que apresenta a posição paleogeográfica provável das áreas-fonte do material orgânico terrestre. Este modelo sugere que a área de suprimento orgânico continental dos sedimentos da Formação Vale das Fontes que afloram em Peniche e S. Pedro de Moel se situava na borda ocidental da BL, onde a deposição orgânica era, provavelmente, já condicionada pelos blocos do embasamento, que actualmente representam as Ilhas Berlenga-Farilhões. Relativamente à MO continental dos sedimentos da Formação Vale das Fontes que afloram em Coimbra, propõe-se que esta seja proveniente da borda oriental da bacia.

Palavras-chave: Bacia Lusitânica | Jurássico Inferior | matéria orgânica | fácies orgânica | paleoambiente

abstract

The Lower Jurassic in the Lusitanian Basin is known for its several outcrops, especially in its northernmost part and they represent the initial phase of the basin carbonate infilling.

The present work focuses on the study of the organic matter preserved in the sediments of the Água de Madeiros Formation (Upper Sinemurian) at the S. Pedro de Moel region and the Vale das Fontes Formation (Pliensbachian) at the Coimbra, S. Pedro de Moel and Peniche regions. Palynofacies and organic geochemistry (organic facies) were applied and put together in the study of the organic matter.

The integration of the organic-geochemical and palynofacies analysis enabled the characterization of the paleoenvironmental conditions, terrestrial influence and redox conditions during sedimentation as well as the determination of the subenvironments.

In this work, a hypothetical model is proposed to explain the deposition of the Vale das Fontes Formation. It is suggested that the source area for the continental organic supply at Peniche and S. Pedro de Moel outcrops was located at the westernmost margin of the Lusitanian Basin, where organic deposition was probably conditioned by the basement blocks that nowadays represent the Berlenga-Farilhões Islands. On the other hand, for the Coimbra outcrop the continental organic matter was derived from the eastern margin of the basin.

(Expanded abstract available at the end of the paper).

Keywords: Lusitanian Basin | Early Jurassic | organic matter | organic facies | paleoenvironmental

palinofácies e fácies orgânica - conceitos

O estudo da matéria orgânica (MO) preservada nos sedimentos permite compreender a interação entre a biosfera e a geosfera. Para levar a cabo esta tarefa, é necessário entender os controles ambientais que regem a produção da MO na biosfera, os processos ecológicos e sedimentológicos que controlam a sua deposição, distribuição e decomposição, os processos biogeoquímicos e geomicrobiológicos que influenciam a sua preservação e os processos geoquímicos e físicos que determinam a modificação da MO durante a sua incorporação na geosfera (Tyson, 1995; Mendonça Filho, 1999; Mendonça Filho *et al.*, 2009). Todos estes fatores resultam de uma complexa interação entre a origem, transporte e deposição das partículas orgânicas (Traverse, 1994).

A caracterização da MO inserida no sedimento é importante para diversas áreas do conhecimento como a biologia, a geologia e outras ciências relativas ao meio ambiente, entre outras. São vários os métodos aplicados no estudo da MO mas é, sobretudo, a integração de técnicas de microscopia e geoquímica orgânica que tem sido usada para o conhecimento de todos os fatores que regem a produção, distribuição, decomposição, preservação, modificação e incorporação da MO sedimentar (Tyson, 1995; Mendonça Filho, 1999; Mendonça Filho, 2001).

A palinofácies representa o aspecto da fácies orgânica que pode ser determinada por estudos palinológicos da MO. O conceito de fácies orgânica abrange todo o conteúdo orgânico de uma rocha sedimentar (Mendonça Filho, 1999; Mendonça Filho, 2001).

O conceito de palinofácies foi introduzido por Combaz (1964) como o estudo palinológico de toda a associação de constituintes orgânicos contidos em um sedimento após a remoção da matriz sedimentar mineral, por meio de processos de acidificação com ácido clorídrico (HCl) e fluorídrico (HF) (Mendonça Filho *et al.*, 2009).

Para Tyson (1995), palinofácies é definida como “um corpo de sedimento contendo uma associação distinta de MO palinológica que reflecte um grupo específico de condições ambientais, podendo ser associada ao potencial de geração de hidrocarbonetos característico”.

Em 1970, a integração de métodos de microscopia e geoquímica orgânica resultou no conceito de fácies

orgânica, o que permitiu um rápido desenvolvimento nos estudos sobre a MO sedimentar, por sua vez potencializado pela avaliação de rochas geradoras de hidrocarbonetos na indústria petrolífera (Mendonça Filho *et al.*, 2009).

Segundo Tyson (1995), o conceito de fácies orgânica se refere a “grupo de sedimentos contendo uma associação distinta de constituintes orgânicos que podem ser reconhecidos por microscopia ou estar associados a uma composição organogeoquímica característica”.

objectivos

Este trabalho deriva da dissertação de mestrado em Geociências (área de especialização em Geologia do Petróleo) realizada na Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra (Matos, 2009), tendo como objectivo principal a análise do comportamento dos parâmetros palinofaciológicos e organogeoquímicos em amostras de afloramentos que representam a série margo-calcária da Formação Água de Madeiros e da Formação Vale das Fontes do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica. Foram realizadas análises específicas de palinofácies e carbono orgânico total (COT) para determinar a origem e o conteúdo em MO, além do estado e dos processos de preservação dos componentes orgânicos particulados. O estudo de fácies orgânica será utilizado para identificar tendências de distribuição do conteúdo orgânico particulado, determinar a ocorrência de influxos terrígenos (relação proximal-distal, ou seja, proximalidade), distinguir e caracterizar os paleoambientes deposicionais e propor uma interpretação paleoambiental dos sedimentos que constituem a Formação de Água Madeiros e a Formação Vale das Fontes.

contexto geológico

A Bacia Lusitânica pertence a uma família de bacias sedimentares localizadas nas margens do Oceano Atlântico Norte, que são denominadas bacias marginais atlânticas ou bacias de *rifting*. Estas bacias desenvolveram-se durante os episódios de estiramento crustal e posterior fase de rifte, associados à abertura do Oceano Atlântico Norte, que

tiveram lugar entre o final do Triásico e o início do Eojurássico (Wilson, 1975; Ribeiro *et al.*, 1979; Pena dos Reis *et al.*, 2008). Assim, o nascimento da BL foi consequência da ruptura e fragmentação do supercontinente Pangea e do respectivo afastamento dos continentes Europeu e Norte-Americano. A BL situa-se na margem ocidental da Placa Ibérica e alonga-se segundo a direcção N-S (figs. 1 e 2). Apresenta uma área aproximada de 22.000km² e uma extensão de cerca de 300km na direcção norte-sul e de 150km na direcção leste-oeste, incluindo a sua parte emersa (Azerêdo *et al.*, 2003; Pena dos Reis *et al.*, 2007). É delimitada, a leste, pelo fragmento levantado do embasamento hercínico que se designa por Maciço Hespérico e, a oeste, o limite físico da BL é representado pelos *horsts* do embasamento aflorante na Berlenga e Farilhões (Azerêdo *et al.*, 2003).

Os sedimentos de preenchimento da bacia depositaram-se sobre o embasamento varisco do Maciço Hespérico e estima-se que atinjam uma espessura máxima de cerca de 5km (Ribeiro *et al.*, 1979; Wilson, 1988; Azerêdo *et al.*, 2003). Estes sedimentos são, sobretudo, de idade jurássica, mas foram depositados durante o Neotriásico e o Neocretáceo (fig. 3).

coluna litoestratigráfica estudada

O Jurássico Inferior da Orla Mesocenozoica de Portugal é representado pela fase inicial do preenchimento carbonático da BL. Os depósitos sedimentares são caracterizados por uma espessa sucessão margo-calcária (fig. 2). A expressão aflorante do Jurássico Inferior é bastante vasta, ocupando diversas áreas do território português, principalmente no sector norte da BL (fig. 3) (Duarte e Soares, 2002).

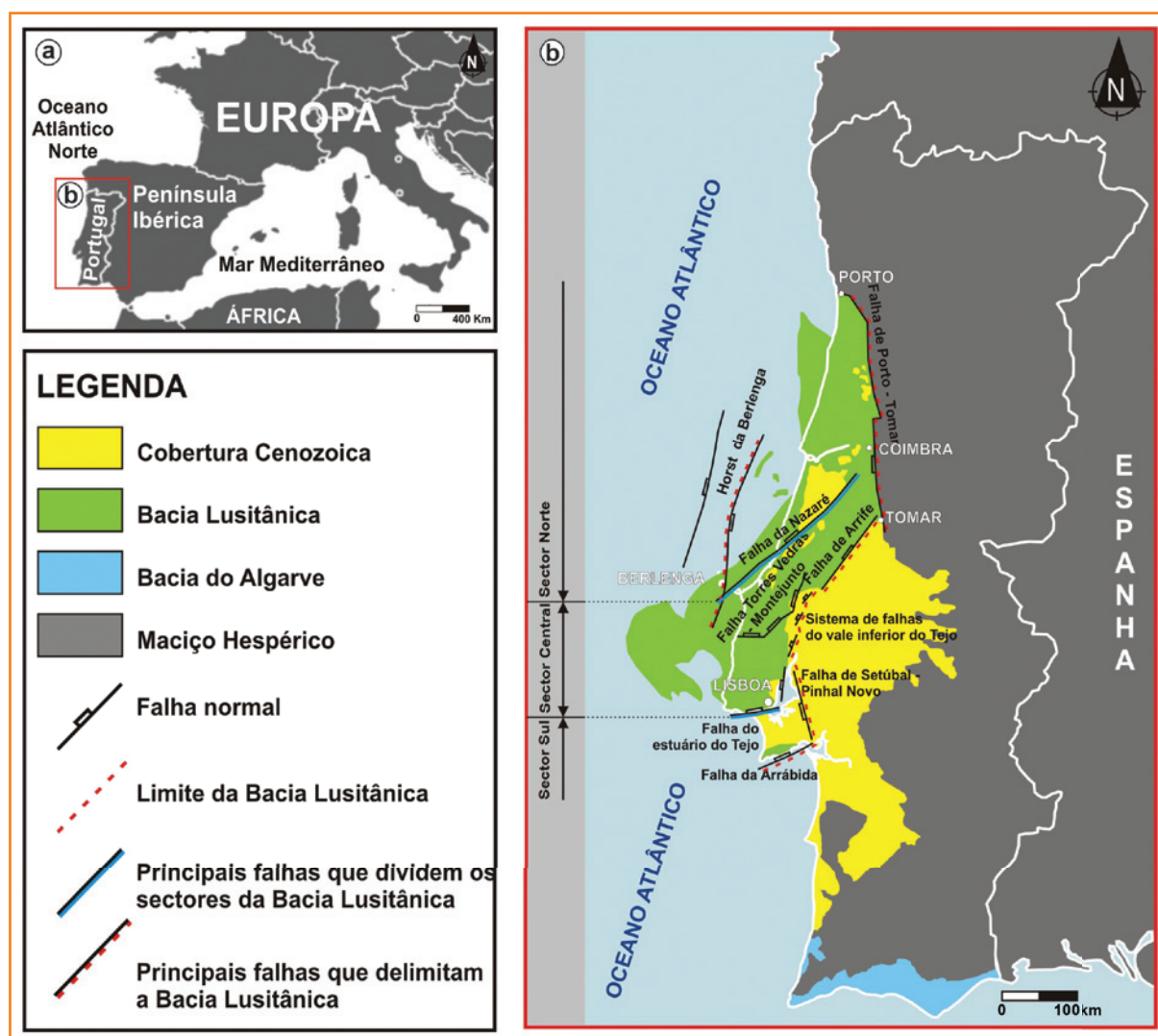
O intervalo estratigráfico, que foi objecto de estudo neste trabalho, está compreendido entre o Sinemuriano Superior (Lotaringiano) e Pliensbaquiano e está representado por uma sedimentação margo-calcária (fig. 3), correspondente ao intervalo bioestratigráfico de amonites à escala da subzona (Duarte e Soares, 2002). Dentro deste intervalo temporal, foram estudadas a Formação Água de Madeiros e a Formação Vale das Fontes, que, pelas suas características litológicas e pelas condições paleoambientais reconhecidas no contexto evolutivo

Figura 1

a) Localização geográfica da Bacia Lusitânica no contexto regional (Wikipedia, 2008) e b) mapa geológico simplificado de Portugal, com as principais estruturas da Bacia Lusitânica e da sua compartimentação interna (modificado de Kullberg, 2000; Silva, 2003).

Figure 1

a) Geographical location of the Lusitanian Basin in the regional context (Wikipedia, 2008) and b) simplified geological map of Portugal, with the main structures of the Lusitanian Basin and its internal partitioning (modified after Kullberg, 2000; Silva, 2003).



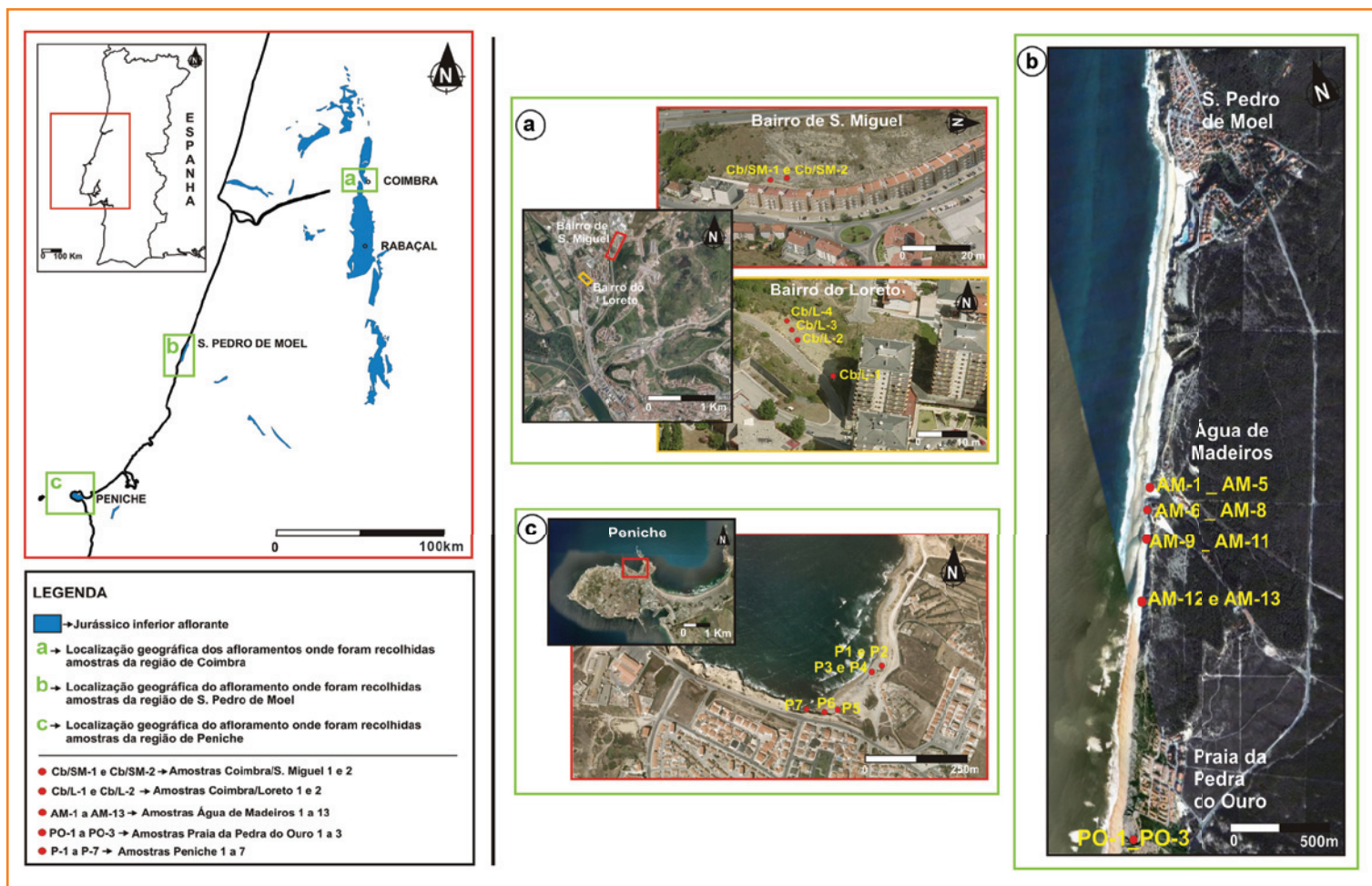
da BL, propiciam a presença notável de MO nos sedimentos (Duarte *et al.*, 2005; Oliveira *et al.* 2005, 2006, 2007; Oliveira, 2007; Silva 2007, Silva *et al.*, 2006). Em toda a sequência sedimentar, estão presentes diversos níveis betuminosos, localizados preferencialmente no topo do Sinemuriano (Zona *Raricostatum*) e na generalidade do Pliensbaquiano (principalmente na Zona *Margaritatus*), com excepção da Formação Lemedé (Zona *Spinatum*) (Duarte e Soares, 2002).

O estudo incidiu na Formação Água de Madeiros sobre o topo do Membro Polvoeira e o topo do Membro Praia da Pedra Lisa, ambos correspondentes à Biozona *Raricostatum*. Na Formação Vale das Fontes, foi estudada a transição entre o Membro Margas e Calcários com *Uptonia* e *Pentacrinus* (MCUP) e o Membro Margas e Calcários Grumosos (MCG), ambos inseridos na Biozona *Jamesoni* e também o topo do Membro Margo-Calcários com Níveis Betuminosos

(MCNB), incluído na Biozona *Margaritatus*. As regiões investigadas estão localizadas nos sectores norte e central da BL, nomeadamente na zona norte de Coimbra (bairros do Loreto e de S. Miguel), onde se estudou a Formação Vale das Fontes; S. Pedro de Moel (estudou-se a Formação Água de Madeiros e Formação Vale das Fontes) e Peniche (estudou-se a Formação Vale das Fontes) (figs. 2 e 4).

metodologias

Vinte e nove amostras de afloramento foram recolhidas e processadas laboratorialmente com o objetivo de preparar o material para as análises palinofaciológicas (elaboração de lâminas organopalinológicas) e organogeoquímicas (figs. 2 e 4). A preparação das amostras foi realizada



no Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânica (LAFO), setor de paleontologia e estratigrafia do Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Visando as análises de palinofácies, foram utilizados na preparação de lâminas organopalinológicas os procedimentos palinológicos padrão, não oxidativos descritos por Tyson (1995), Mendonça Filho (1999), Mendonça Filho *et al.* (2002, 2009), Oliveira (2003) e Oliveira *et al.* (2006). Estes procedimentos objetivaram separar a MO contida na rocha da sua fração sedimentar mineral.

Na análise de palinofácies, foram aplicadas técnicas de microscopia (luz branca transmitida e luz azul incidente - fluorescência) no microscópio da Zeiss (modelo AXIOSKOP 2 PLUS), com oculares de 10X e objetivas de 10X, 20X e 40X de aumento. Foram contabilizadas 300 partículas orgânicas por amostra, associando um segundo método de contagem (contagem associada) que compreendia apenas a contabilização da fracção palinomorfo da MO total que se observava no campo de visão da objetiva.

As análises organogeoquímicas que foram efetuadas tiveram como finalidade quantificar o conteúdo em carbono orgânico total (COT), resíduo insolúvel (RI) e teor em carbonato (CaCO_3) das amostras.

O estudo de palinofácies efetuado sobre as lâminas delgadas revelou uma grande variação nas proporções e diversidade dos componentes orgânicos do querogênio. A classificação dos componentes orgânicos usada foi baseada em Tyson (1995), Mendonça Filho (1999, 2001) e Mendonça Filho *et al.* (2002, 2009).

Após a contagem das partículas orgânicas, foi realizado o tratamento estatístico dos dados obtidos. Os valores foram recalculados para percentagens relativas aos grupos e subgrupos da MO e foram calculadas as médias e o desvio padrão dos grupos e subgrupos encontrados. Os resultados foram submetidos a análises de agrupamento para conhecer o grau de similaridade entre os grupos e subgrupos de componentes da MO, permitindo, assim, reuni-los em grupos com maior similaridade. Foram realizadas análises de agrupamento *modo-Q*

Figura 2
Mapa com a localização geográfica dos afloramentos estudados e dos pontos de amostragem. a) Coimbra (afloramentos do Bairro do Loreto e Bairro de S. Miguel); b) afloramento de S. Pedro de Moel e c) afloramento de Peniche (modificado de Duarte e Soares, 2002; Google Earth, 2008; Virtual Earth, 2008).

Figure 2
Map showing the location of outcrops and sampling points. a) Coimbra (outcrops and Loreto district of bairro de S. Miguel); b) outcrop of S. de Moel and c) Peniche outcrop (modified from Duarte and Soares, 2002; Google Earth, 2008; Virtual Earth, 2008).

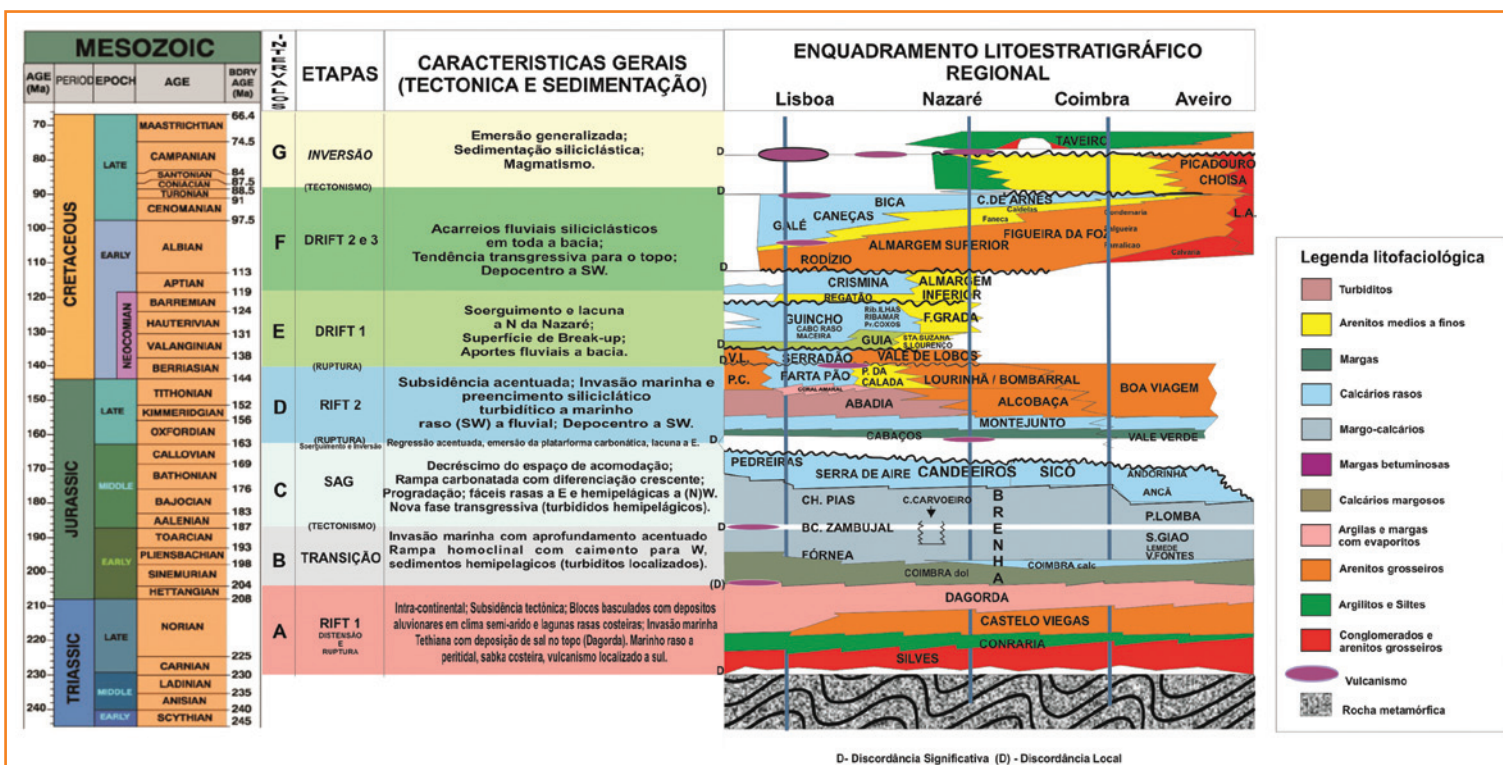


Figura 3
 Quadro estratigráfico geral do enchimento mesozoico da Bacia Lusitânica segundo o eixo longitudinal (NE-SW), com a indicação das principais descontinuidades, etapas, características da tectónica e sedimentação (modificado de Pena dos Reis et al., 2008).

Figure 3
 General stratigraphic chart of the filling of the Mesozoic Lusitanian Basin in the longitudinal axis (NE-SW), indicating major discontinuities, steps, characteristics of tectonics and sedimentation (modified from Pena dos Reis et al., 2008).

para a observação de similaridades entre as amostras e *modo-R* para verificar similaridades entre os componentes orgânicos, auxiliando a identificação e delimitação de intervalos que englobam os subgrupos dos componentes orgânicos particulados com maior afinidade entre si. Além disso, foi aplicado o coeficiente de correlação linear Pearson (*r-Pearson*) para determinar a matriz de correlação e identificar a relação entre os componentes orgânicos e as tendências de proximidade.

resultados e interpretações

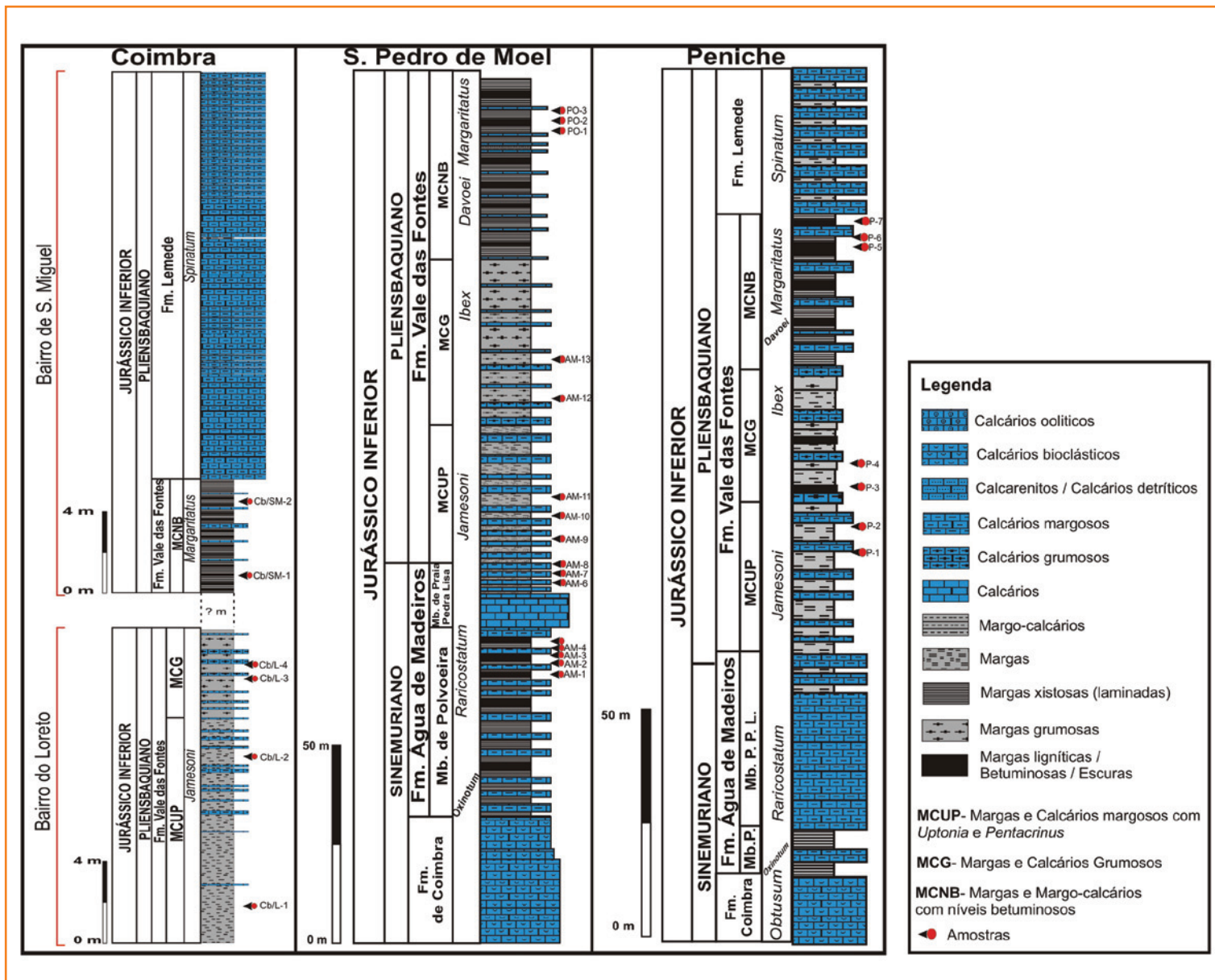
Da contagem de partículas realizada com as técnicas de microscopia mencionadas, verificou-se que os fitoclastos opacos (figs. 14a e 14b) são os componentes predominantes dentro do grupo fitoclasto. No entanto, todos os outros subgrupos também estão bem representados. Os palinómorfs são representados principalmente por esporómorfs (figs. 14j e 14k) e, em menor número, por microplâncton marinho de parede orgânica, como os acritarcos (figs. 14j e 14k) e as prasinofíceas (fig. 14k), algas de água doce (*Botryococcus*; figs. 14l e 14m) e palinoforaminíferos (fig. 14e). A presença

de matéria orgânica amorfa (MOA) (figs. 14c, 14d, 14f e 14g) é assídua e afigura-se geralmente heterogênea e homogênea, com fluorescência intensa. Embora menos frequente, também foi observada MOA hialina (resina) (figs. 14p e 14q).

Na Formação Água de Madeiros, o grupo da MOA é predominante seguido dos grupos de fitoclasto e palinomorfo. Na Formação Vale das Fontes, o grupo fitoclasto é dominante em relação ao grupo palinomorfo e MOA.

Tyson (1989) empregou um diagrama ternário que utiliza a frequência relativa (percentagem) das partículas de MOA-Fitoclastos-Palinómorfs para caracterizar a associação de querogênio presente em folhelhos de fácies marinha. A aplicação deste tipo de diagrama permite distinguir as diferenças na proximidade relativa de fontes de MO terrestre e o *status* redox dos subambientes deposicionais que controlavam a preservação da MO. Os dados das percentagens dos três grupos do querogênio de cada uma das amostras por afloramento foram projectados nos diagramas referidos e estão representados na figuras 5a, 5b e 5c.

Foi observado grande número de grãos de pólen do gênero *Classopollis* (figs. 14c, 14d, 14f, 14g e 14t). A distribuição de grãos de pólen do gênero *Classopollis* é claramente influenciada por factores climáticos e a sua abundância decresce em direcção



aos pólos: valores de 1-10% (do total da população de esporomorfos) indicam, aparentemente, condições temperadas; valores de 20-50% indicam condições quentes subtropicais; valores de 60-90% estão associados a condições climáticas semiáridas a áridas (Vakhrameev, 1981 *apud* Tyson, 1995). Verificou-se que a Formação Água de Madeiros apresenta maiores percentagens de grãos de pólen deste gênero dentro da população total de esporomorfos que a Formação Vale das Fontes. Assim, propõem-se que a deposição dos sedimentos da Formação Água de Madeiros foi controlada por condições paleoclimáticas quentes e semiáridas a áridas. Já na Formação Vale das Fontes, a deposição se processou em um clima que variou entre quente e semiárido a temperado e subtropical.

O fato de ocorrerem percentagens mais elevadas de esporos (figs. 14u e 14v) na Formação Vale das Fontes que na Formação Água de Madeiros apoia esta interpretação, pois subentende-se que a presença de esporos nas associações de esporomorfos é devido a existência de condições climáticas mais temperadas de maior humidade. Constatou-se ainda que nos sedimentos que continham percentagens relativas mais elevadas de grãos de pólen do gênero *Classopollis* na sua fração de esporomorfos ocorria um aumento no suprimento lutítico, evidenciado por valores de RI mais elevados (tabela 1). Este facto aponta que nas situações de aridez os sedimentos tenham se depositado mais perto da área-fonte, o que sugere tendências regressivas (Habib, 1982 *in* Tyson, 1995).

Figura 4
Perfis litoestratigráficos dos afloramentos estudados (perfil de Coimbra, S. Pedro de Moel e Peniche modificado de Duarte e Soares, 2002).

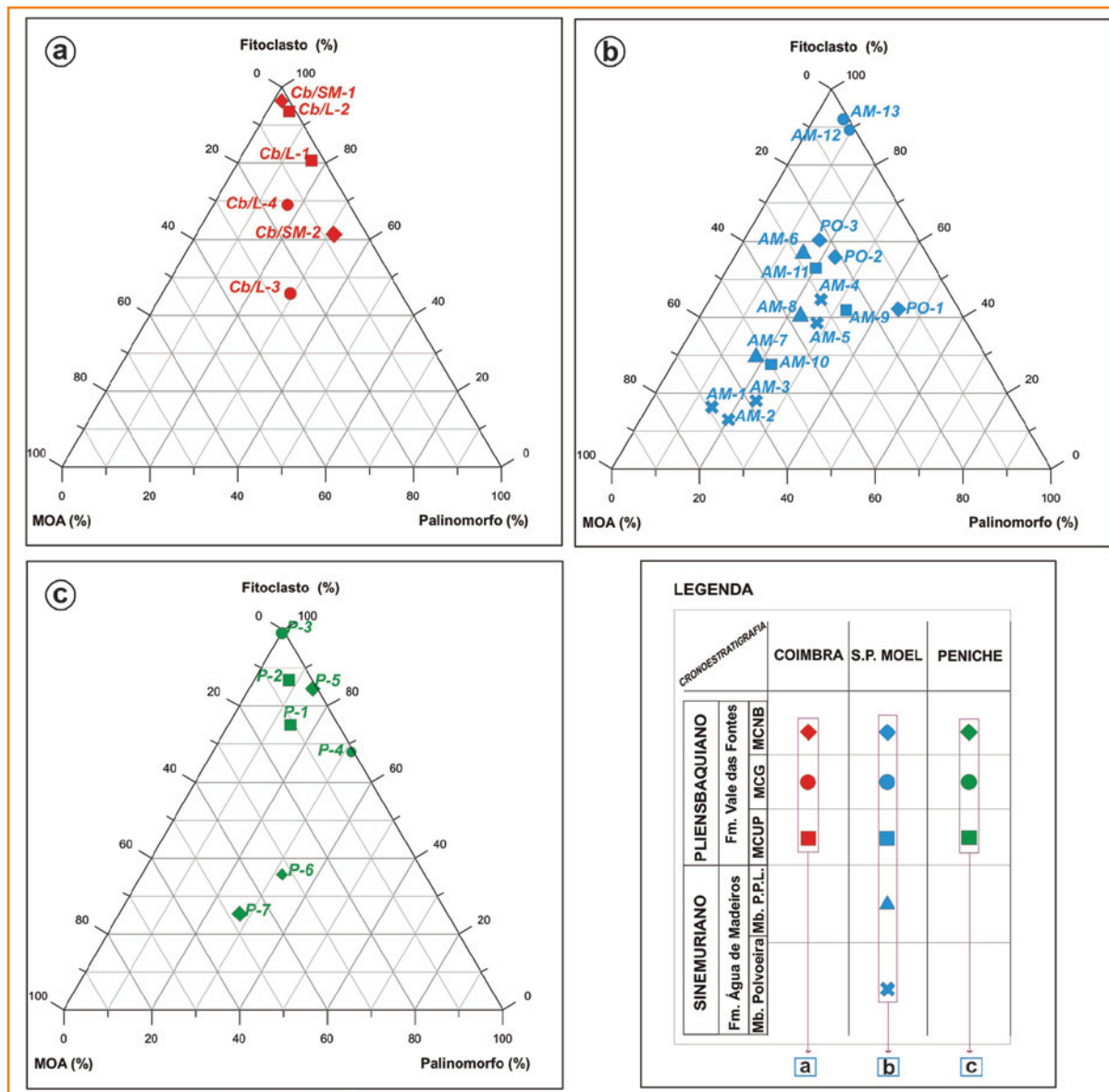
Figure 4
Lithostratigraphic profiles of the studied outcrops (S. Pedro de Moel and Peniche logs; modified from Duarte e Soares, 2002).

Figura 5

Diagrama ternário com a projecção das amostras dos afloramentos estudados, baseado nos grupos do querogênio. a) afloramentos de Coimbra; b) afloramento de S. Pedro de Moel e c) afloramento de Peniche.

Figure 5

Ternary diagram with the projection of the samples from the outcrops studied, based on groups of kerogen. a) Coimbra outcrop; b) S. Pedro de Moel outcrop and c) Peniche outcrop.

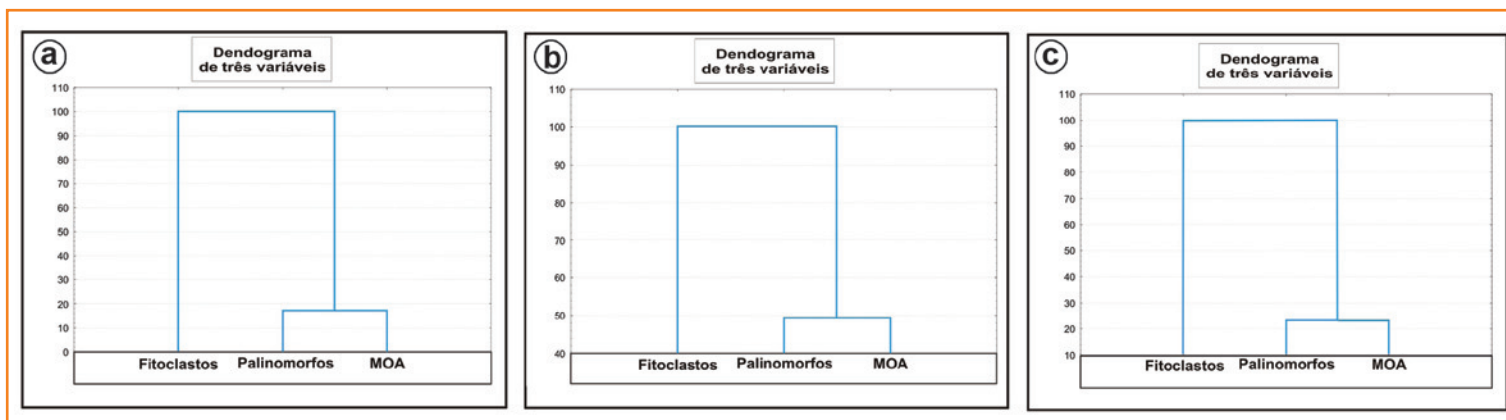


Inicialmente, a análise de agrupamentos *modo-R* foi aplicada para conhecer as associações preferenciais entre os três principais grupos do querogênio reconhecidos nas amostras, ou seja, os fitoclastos, os palinomorfos e a MOA. Esta análise mostrou que o grupo dos fitoclastos é dominante em relação aos grupos dos palinomorfos e da MOA nas três secções estudadas, caracterizando a influência continental na sedimentação (fig. 6).

Foi também aplicada a análise de agrupamentos *modo-R* e *modo-Q* para aferir quais as relações preferenciais entre os subgrupos dos componentes orgânicos dos afloramentos estudados, bem como conhecer os agrupamentos preferenciais entre as amostras com base nas percentagens relativas dos subgrupos da MO. De um modo geral, as análises de agrupamentos

evidenciam dois conjuntos: um com maior presença de componentes de origem continental, indicando tendências mais proximais (fitoclastos não-opacos bioestruturados, não-bioestruturados e opacos, esporomorfos, *Botryococcus*, entre outros) e outro com a presença mais frequente de componentes de origem marinha com tendências mais distais (prasinofíceas, acritarcos, zoomorfos, MOA, entre outros). Apurou-se também que para componentes com a mesma tendência de proximalidade, a correlação calculada com o coeficiente *r-Pearson* é positiva, porém, quando consideradas duas componentes com tendência oposta, essa correlação é negativa.

Depois da análise destas variáveis (componentes orgânicos particulados), foi realizado o estudo dos agrupamentos de amostras. Uma vez que os grupos



obtidos tinham em conta apenas as abundâncias dos subgrupos do querogênio (palinofácies), foram criados grupos que levavam em consideração os resultados das análises organogeoquímicas. Assim, foi possível determinar intervalos que abrangessem amostras com iguais características orgânicas, de forma a dividir as secções sedimentares em intervalos palinofaciológicos (Coimbra: Ic-1 a Ic-4; S. Pedro de Moel: Ispm-1 a Ispm-6; Peniche: Ip-1 a Ip-3) (figs. 7, 8, 9). Nos intervalos determinados em cada um dos afloramentos, foi interpretado que as variações nas médias dos percentuais dos subgrupos dos componentes da MO estavam directamente relacionadas às oscilações do nível relativo do mar, as quais promoviam maior ou menor influência de aporte de material orgânico de origem continental para o ambiente deposicional.

A razão fitoclasto OP/NOP (opaco/não-opaco) foi calculada para os subgrupos dos fitoclastos de todos os afloramentos estudados.

Para o afloramento de Coimbra, os valores da razão OP/NOP variam entre 0,27 e 2,56, com média de 1,13 e desvio padrão de 0,84 (tabela 1). Estes valores indicam que existe predomínio dos fitoclastos opacos, o que pode ser explicado por: a) sedimentação associada a um transporte de alta energia (oxidante); b) local de deposição distante da área-fonte do material lenhoso e c) ocorrência de processos oxidantes sobre as partículas fitoclasticas antes destas entrarem no sistema deposicional.

No afloramento de S. Pedro de Moel, os valores da razão OP/NOP para a Formação Água de Madeiros variam de 0,5 a 1,67, com média de 0,87 e desvio padrão de 0,41 (tabela 1). A média mostra que a quantidade de fitoclastos opacos e não-opacos é equilibrada, havendo, no entanto, maior predomínio dos fitoclastos não-opacos, o que pode indicar: a) proximidade da área-fonte dos componentes lenhosos e b) fraca energia no transporte, atenuando, de certa forma, os processos

degradativos por oxidação. Para a Formação Vale das Fontes, os valores desta razão variam entre 0,59 e 1,75, com média de 1,06 e desvio padrão de 0,40 (tabela 1), reflectindo equilíbrio entre os dois subgrupos.

Para o afloramento de Peniche, os valores obtidos estão compreendidos entre 0,41 e 2,05, com média de 1,10 e desvio padrão de 0,55 (tabela 1). À semelhança do que ocorre em Coimbra, o material lenhoso mais refractário é dominante, o que pode ser explicado pelos mesmos controles deposicionais indicados para o afloramento de Coimbra.

Os valores de IPF (índice de preservação de fitoclastos) calculados para as amostras dos três afloramentos estudados são altos e têm pouca variação (baixo valor de desvio padrão) (tabela 1). No cômputo geral, este facto deve-se pelo material orgânico lenhoso ser dominado por fitoclastos mais refractários em ambas as formações. O valor médio de IPF para a Formação Vale das Fontes no afloramento de Coimbra é de 7; para o afloramento de S. Pedro de Moel é 7,6 (Formação Água de Madeiros 7,1 e Formação Vale das Fontes 7,4) e para Peniche é 7,1. Geralmente, a variação dos valores de IPF está acompanhada pelos valores da razão fitoclasto OP/NOP, ou seja, quando ocorrem valores altos de IPF, o que indica material lenhoso progressivamente mais refractário, os valores da razão fitoclastos OP/NOP aproximam-se ou são maiores que 1, indicando predominância nos fitoclastos opacos.

Os valores de COT apresentam grande variabilidade no conjunto dos três afloramentos, variando de 0,55% a 9,89% (tabela 1).

O parâmetro Fi-COT também apresentou elevada variação (0,52 a 1,72; tabela 1) e, geralmente, os valores mais elevados acompanham as situações de maior aporte de material continental. Os valores obtidos nas análises de teor de carbonato (CaCO_3) e resíduo insolúvel (RI) mostram constante variação de

Figura 6
Dendrogramas de três variáveis produzidos pela análise de agrupamento *modo-R* para os três principais grupos da MO, para o conjunto de amostras dos afloramentos analisados. a) Coimbra; b) S. Pedro de Moel e c) Peniche.

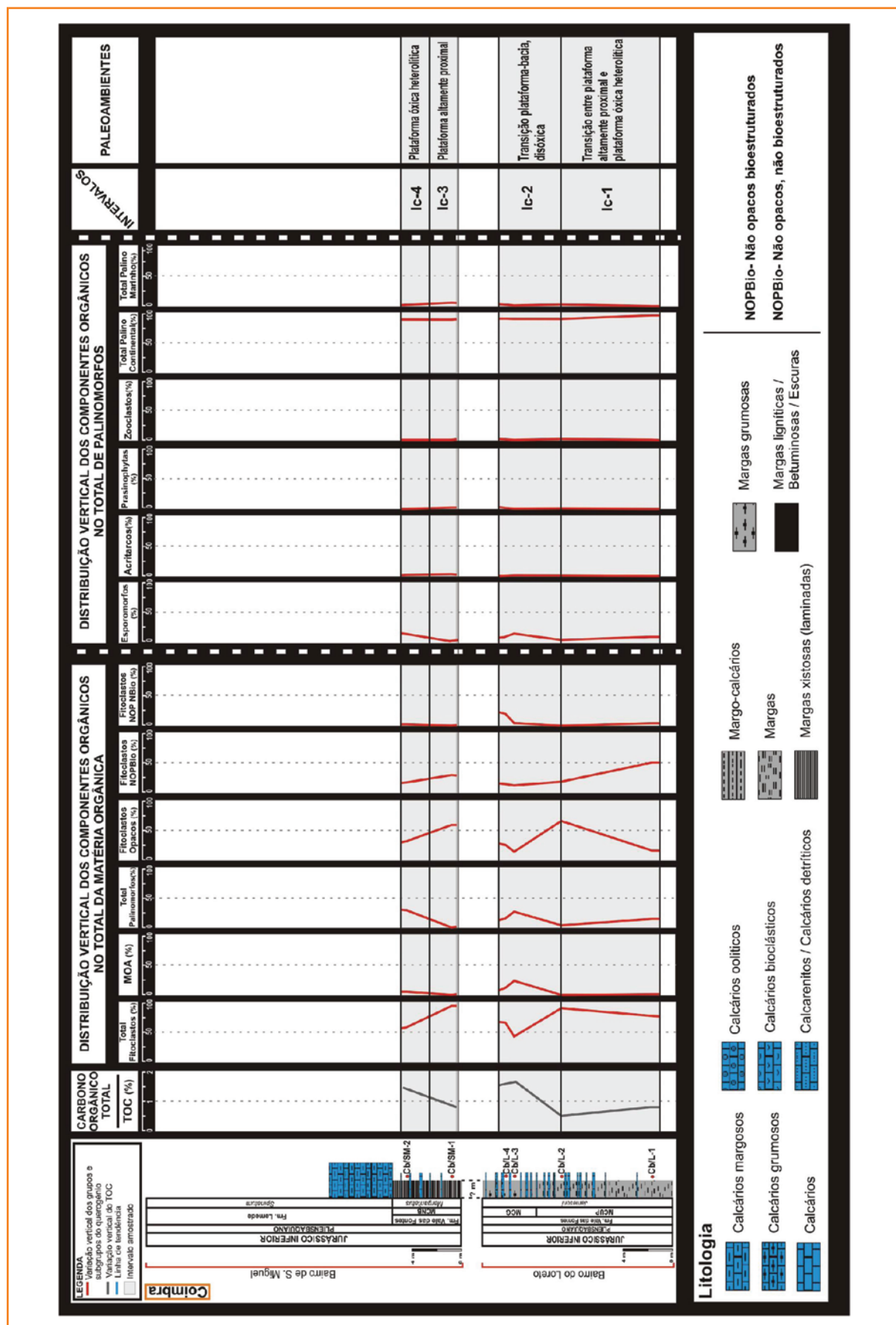
Figure 6
Three variables dendrograms produced by cluster analysis *R-mode* for the three main groups of organic matter, to the set of samples from outcrops examined. a) Coimbra; b) S. Pedro de Moel and c) Peniche.

Figura 7

Diagramas binários mostrando a variação vertical das percentagens dos grupos e subgrupos em relação ao total de MO, com as subdivisões dos intervalos ao longo dos perfis litoestratigráficos de Coimbra.

Figure 7

Binary diagrams showing the vertical variation of the of groups and sub-groups percentage in the total organic matter, with the subdivisions of the intervals along the lithostratigraphic profiles of Coimbra.



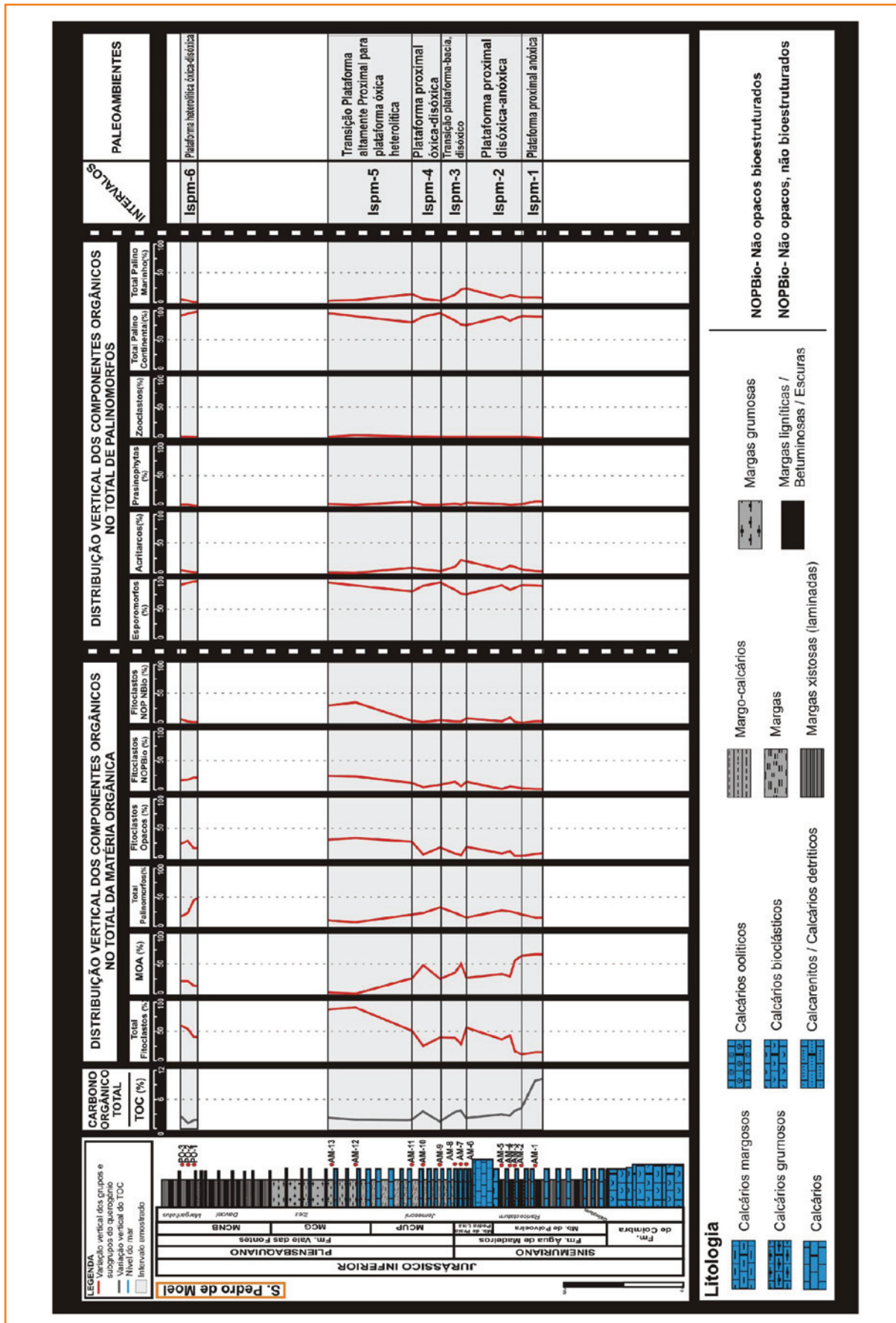


Figura 8 Diagramas binários mostrando a variação vertical das porcentagens dos grupos e subgrupos em relação ao total de MO, com as subdivisões dos intervalos ao longo dos perfis litoestratigráficos de S. Pedro de Moel.

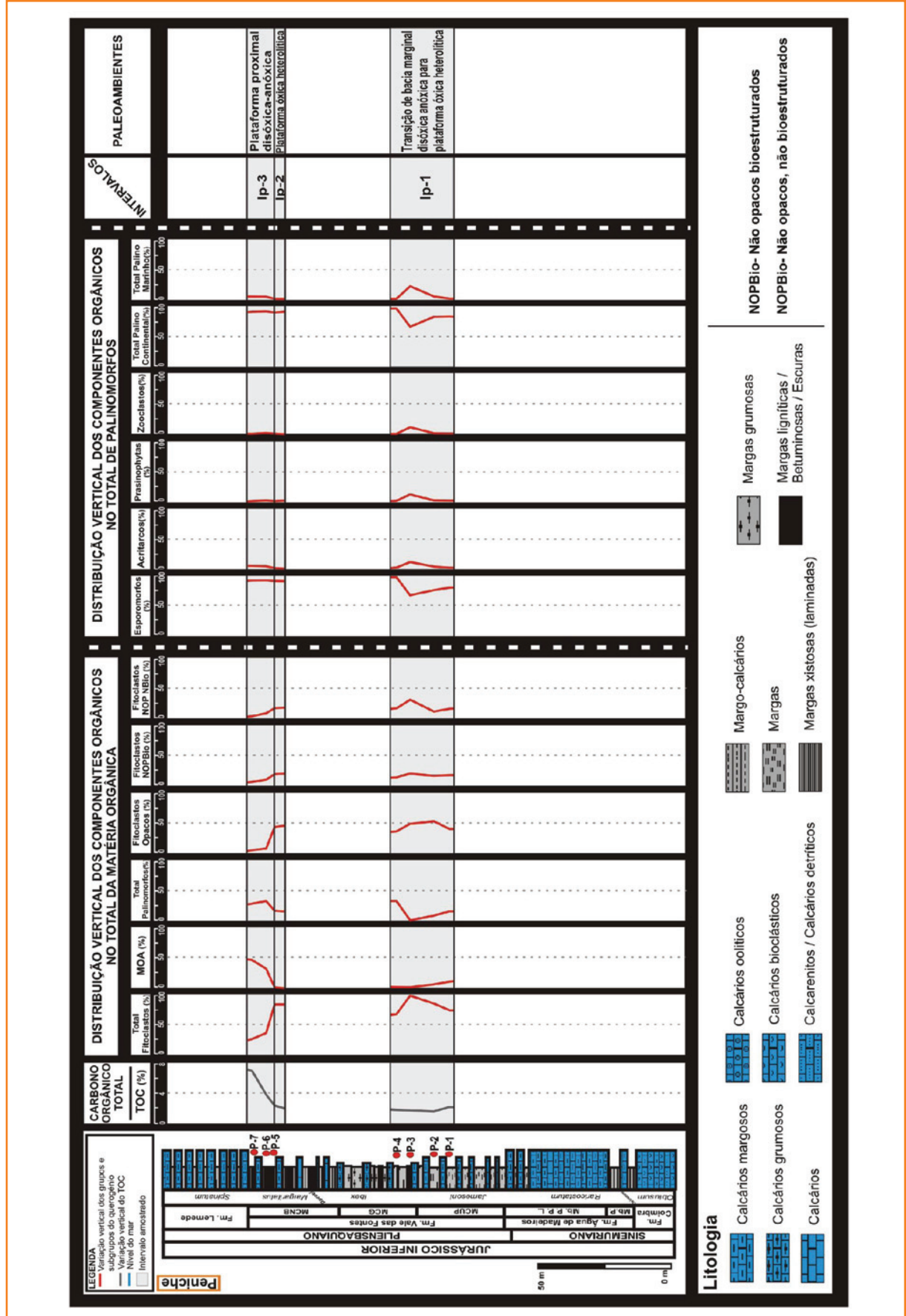
Figure 8 Binary diagrams showing the vertical variation of the of groups and sub-groups percentage in the total organic matter, with the subdivisions of the intervals along the lithostratigraphic profiles of S. Pedro de Moel.

Figura 9

Diagramas binários mostrando a variação vertical das percentagens dos grupos e subgrupos em relação ao total de MO, com as subdivisões dos intervalos ao longo dos perfis litoestratigráficos de Peniche.

Figure 9

Binary diagrams showing the vertical variation of the of groups and sub-groups percentage in the total organic matter, with the subdivisions of the intervals along the lithostratigraphic profiles of Peniche.



uma amostra para outra, indicando que ocorreriam frequentes entradas de materiais lutíticos nos sistemas deposicionais carbonatados por aportes fluviais e/ou que essas variações litológicas eram reflexo de flutuações do nível do mar.

Em Coimbra, o COT da Formação Vale das Fontes varia de 0,55% a 1,7% e apresenta uma média de 1,18% e desvio padrão de 0,47%. O Fi-COT acompanha este aumento e varia de 0,52 a 1,12 e apresenta média de 0,81 e desvio padrão de 0,21 (tabela 1), reflectindo a abundância de fitoclastos, que contribuem para o teor de carbono. Os teores de CaCO_3 e RI mostram que a sedimentação é carbonática (média de $\text{CaCO}_3 = 57\%$; tabela 1) e que apenas a amostra CBR/SM-1 é mais lutítica.

No afloramento de S. Pedro de Moel, a Formação Água de Madeiros apresenta valores de COT com a maior variação, de 2,22% a 9,89% (média de 4,08% e desvio padrão de 2,43%). Esta formação litológica regista os maiores valores de COT quando comparada à Formação Vale das Fontes nos três afloramentos. Os valores de Fi-COT (relação entre % de fitoclastos e COT) da Formação Água de Madeiros variam de 0,56 a 1,65 (média de 1,12 e desvio padrão de 0,36), indicando a existência de fitoclastos em quantidades consideráveis e que contribuem de alguma forma para as variações dos teores de COT. Relativamente aos teores de CaCO_3 e RI, verifica-se que a sedimentação é predominantemente lutítica, com forte influência continental e valores de carbonato baixos (média de 37,13% e desvio padrão de 17,41% (tabela 1). A Formação Vale das Fontes (S. Pedro de Moel) apresenta valores de COT que variam de 1,09% a 3,48% (média de 1,95% e desvio padrão 0,71%,). Os valores de Fi-COT variam de 0,61 a 1,74, com média de 1,08 e desvio padrão de 0,45 (tabela 1), reflectindo a presença abundante de fitoclastos que contribuem para a variação do COT. Geralmente, os teores de CaCO_3 e RI mostram uma grande alternância entre sedimentos carbonáticos e lutíticos, ou seja, maior influência continental quando os valores de RI aumentam e maior influência marinha quando diminuem. A variação destes parâmetros (RI e CaCO_3) está associada a flutuações do nível do mar.

No afloramento de Peniche, a Formação Vale das Fontes apresenta grande variação de COT (de 1,39% a 6,15%), com uma média de 2,55% e desvio padrão de 1,72%. Os valores de Fi-COT não manifestam muita variação (média de 1,37 e desvio padrão de 0,24), mostrando que a presença do grupo fitoclasto é constante e expressiva e que contribui, de certa forma, para a variação do COT. Quanto aos valores de CaCO_3 e RI,

pode inferir-se que a sedimentação era essencialmente carbonática, com algumas situações de predomínio lutítico (média de 51,43% e desvio padrão de 4,28% de CaCO_3), reflectindo a forte influência continental no sistema deposicional (tabela 1).

As fácies orgânicas, *sensu* Jones (1987), foram determinadas para os intervalos estabelecidos nos afloramentos, segundo os parâmetros descritos por Tyson (1995). O conceito de fácies orgânicas enfatiza a distinção entre fácies anóxicas-disóxicas (fácies orgânicas A, AB, B e BC), fácies proximais flúvio-deltaicas a pró-delta e fácies de plataforma óxica (C e CD). As fácies BC representam fácies desóxicas-anóxicas com um elevado conteúdo de fitoclastos (Tyson, 1995). Neste trabalho, não foram realizadas análises de Pirólise Rock-Eval. Por isso, foram usados apenas os dados provenientes da análise de palinofácies e COT para determinar as fácies orgânicas.

Verificou-se que para a Formação Água de Madeiros as fácies predominantes variam de B a BC, as quais se desenvolvem em climas quentes e áridos, potenciando maior preservação da MO em condições disóxicas-anóxicas e de baixa energia, com ausência de bioturbação nos sedimentos e com menor presença de fitoclastos (fig. 10). Por outro lado, na Formação Vale das Fontes, as fácies orgânicas predominantes variam de C a CD, as quais se desenvolvem em climas mais temperados e subtropicais e com precipitação, resultando em ambientes de maior energia e oxigenação (óxicos), com incremento no aporte de material lenhoso e diminuição na preservação da MO (fig. 10).

Para a reconstrução paleoambiental, foi utilizado o diagrama ternário de Tyson (1993, modificado por Mendonça Filho *et al.*, 2009), dividido em nove campos de palinofácies e respectivos paleoambientes. Assim, foram projectados por afloramento os dados percentuais dos três principais grupos de componentes da MO de cada intervalo para determinar o paleoambiente correspondente.

Federova (1977) e Durringer e Doubinger (1985) aplicaram um diagrama microplâncton – esporos – grãos de pólen para indicar ambientes deposicionais e tendências transgressivas-regressivas (Tyson, 1995). Neste diagrama (fig. 11), é possível observar que todas as amostras foram projectadas no campo *nearshore* intermediário. Isto deve-se ao fato de, dentro da população palinomorfo, os grãos de pólen serem sempre dominantes em relação aos esporos, que raramente ocorrem (as percentagens ínfimas projectadas no

AFLORAMENTO		AMOSTRA	OP/NOP	IPF	FLUORESCÊNCIA	COT (%)	Fi-COT	RESÍDUO INSOLUVEL (RI) (%)	CaCO3 (%)
S. Pedro de Muel	Fm. Água de Madeiros	AM-1	1,19	6,9	5	9,89	1,65	72	28
		AM-2	1,00	7,4	6	4,21	0,56	42	58
		AM-3	0,48	6,8	5	3,6	0,66	65	35
		AM-4	0,77	6,8	4	2,68	1,20	52	48
		AM-5	1,67	7,6	4	2,94	1,14	56	44
		AM-6	0,85	7,4	5/6	2,22	1,28	84	16
		AM-7	0,50	6,7	5	3,72	1,12	44	56
		AM-8	0,50	6,8	5	3,37	1,37	88	12
		Média	0,87	7,05	Sem média	4,08	1,12	62,88	37,13
		Desv. Padrão	0,41	0,34	Sem média	2,43	0,36	17,41	17,41
	Fm. Vale das Fontes (MCUP, MCG, MCN)	AM-9	1,22	7,8	4	1,45	0,61	44	56
		AM-10	1,05	7,7	4	3,48	0,96	62	38
		AM-11	1,75	8,3	4	1,75	0,93	69	31
		AM-12	0,59	6,5	1	1,8	1,65	40	60
		AM-13	0,59	6,6	1	1,95	1,74	49	51
		PO-1	0,75	7,8	4	1,78	0,75	56	44
		PO-2	1,35	8,3	5	1,09	0,61	38	62
		PO-3	1,16	7,9	5	2,29	1,39	60	40
		Média	1,06	7,6	Sem média	1,95	1,08	52,25	47,75
		Desv. Padrão	0,40	0,7	Sem média	0,71	0,45	11,22	11,22
Coimbra	Fm. Vale das Fontes (MCUP, MCG, MCNB)	CBR/L-1	0,27	4,5	1	0,83	0,67	32	68
		CBR/L-2	2,56	8,8	1	0,55	0,52	36	64
		CBR/L-3	0,58	6,6	5	1,7	0,78	41	59
		CBR/L-4	0,62	6,2	5	1,62	1,12	45	55
		CBR/SM-1	1,60	8,3	5	0,92	0,89	56	44
		CBR/SM-2	1,15	7,7	5	1,44	0,89	48	52
		Média	1,13	7,0	Sem média	1,18	0,81	43,00	57,00
		Desv. Padrão	0,84	1,6	Sem média	0,47	0,21	8,63	8,63
		Peniche	Fm. Vale das Fontes (MCUP, MCG, MCNB)	P-1	1,27	7,6	3/4	1,85	1,39
P-2	2,05			8,2	3	1,39	1,20	45	55
P-3	0,99			7,0	1	1,5	1,50	43	57
P-4	1,22			7,4	1	1,55	1,05	50	50
P-5	1,27			7,6	1	2,05	1,72	53	47
P-6	0,41			6,1	4	3,35	1,20	54	46
P-7	0,48			6,1	5	6,15	1,56	45	55
Média	1,10			7,1	Sem média	2,55	1,37	48,57	51,43
Desv. Padrão	0,55			0,8	Sem média	1,72	0,24	4,28	4,28

Tabela 1- Parâmetros palinofaciológicos das amostras dos afloramentos estudados.

Table 1- Palynofacies parameters of the studied outcrops samples.

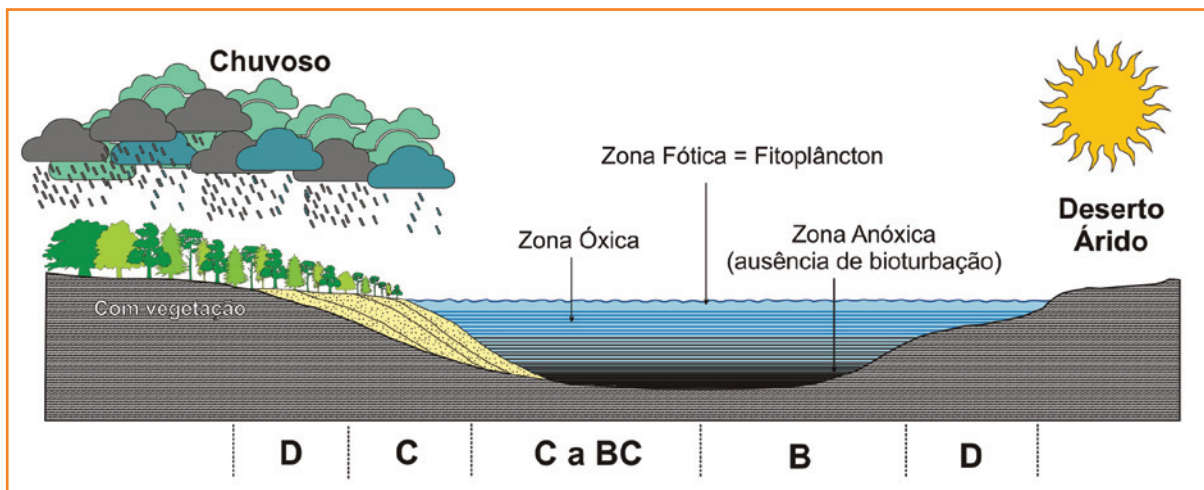


Figura 10 Esquema que mostra a relação entre as fácies orgânicas e os ambientes sedimentares, nomeadamente oxigenação bentônica, proximidade a fontes flúvio-deltaicas e clima (Tyson, 1995).

Figure 10 Graphic showing the relationship between organic facies and sedimentary environments, including benthic oxygenation, proximity to sources tidal delta and climate (Tyson, 1995).

diagrama não têm representatividade), pois o microplâncton, apesar de geralmente presente, apresenta percentagens relativamente baixas, que não remetem para áreas muito distais (figs. 7, 8 e 9). Assim, verifica-se que toda a sedimentação da Formação Água de Madeiros e Formação Vale das Fontes tem uma tendência intermédia. De acordo com a variação das percentagens dos palinomorfos supracitados, a deposição fez-se em meio marinho, porém, perto da costa e com forte influência continental (fig. 11).

Através da integração dos dados organogeoquímicos e palinofaciológicos, foi possível determinar paleoambientes ao longo das três sucessões sedimentares analisadas: a) para Coimbra, verificaram-se alternâncias entre ambientes de plataforma altamente proximal e ambientes de transição de plataforma-bacia (figs. 7 e 10); b) para S. Pedro de Moel, os paleoambientes determinados são de plataforma proximal com grandes variações na disponibilidade de oxigênio e que evoluíram da base para o topo da seguinte forma: plataforma proximal anóxica → subóxica-anóxica → óxica-disóxica → óxica → óxica-disóxica (figs. 7 e 10) e c) para Peniche, verificou-se a existência de paleoambientes que variam de plataforma óxica a transição plataforma-bacia e plataforma proximal com condições disóxicas-anóxicas (figs. 8 e 10).

Através da integração dos dados organogeoquímicos e palinofaciológicos, foi possível determinar paleoambientes ao longo das três sucessões sedimentares analisadas: a) para Coimbra, verificou-se alternâncias entre ambientes de plataforma proximal e ambientes de transição de plataforma-bacia (figs. 7 e 12); b) para S. Pedro de Moel, os paleoambientes determinados são de plataforma proximal com grandes variações na disponibilidade de oxigênio e que evoluíram da base para o topo da seguinte forma:

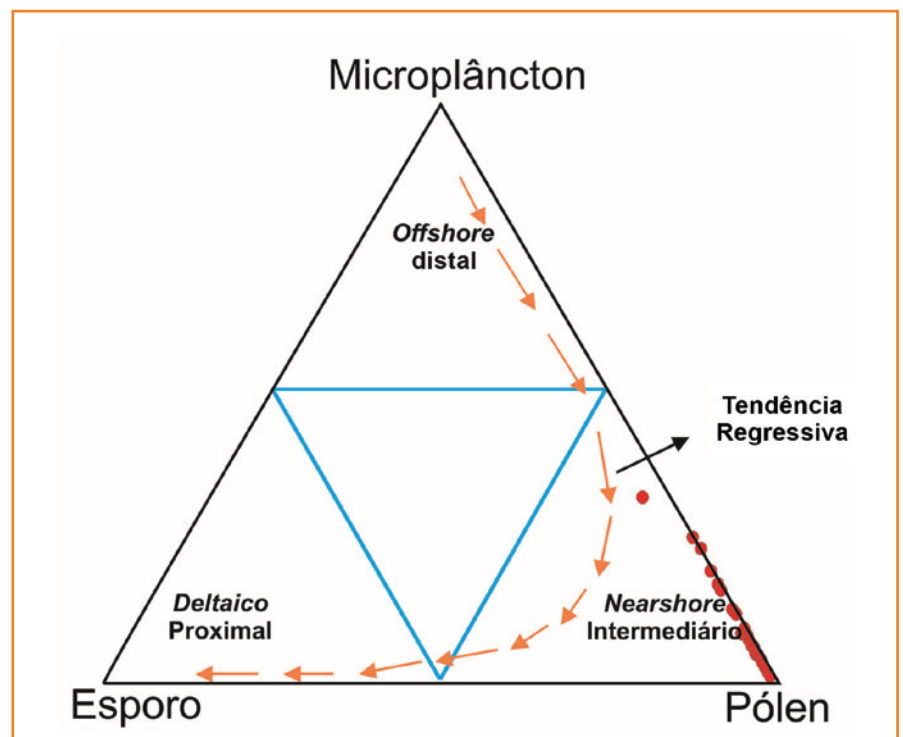


Figura 11 - Diagrama ternário com os campos de tendências transgressivas-regressivas definidos pelos valores percentuais do microplâncton marinho, esporos e grãos de pólen (Tyson, 1995). Os círculos vermelhos indicam as amostras projectadas.

Figure 11 - Ternary diagram with the fields of transgressive-regressive trends defined by the percentage values of marine microplankton, spores and pollen grains (Tyson, 1995). The red circles indicate the projected samples.

plataforma proximal anóxica → subóxica-anóxica → óxica-disóxica → óxica → óxica-disóxica (figs. 8 e 12) e c) para Peniche, verificou-se a existência de paleoambientes que variam de plataforma óxica a transição plataforma-bacia e plataforma proximal com condições disóxicas-anóxicas (figs. 9 e 12).

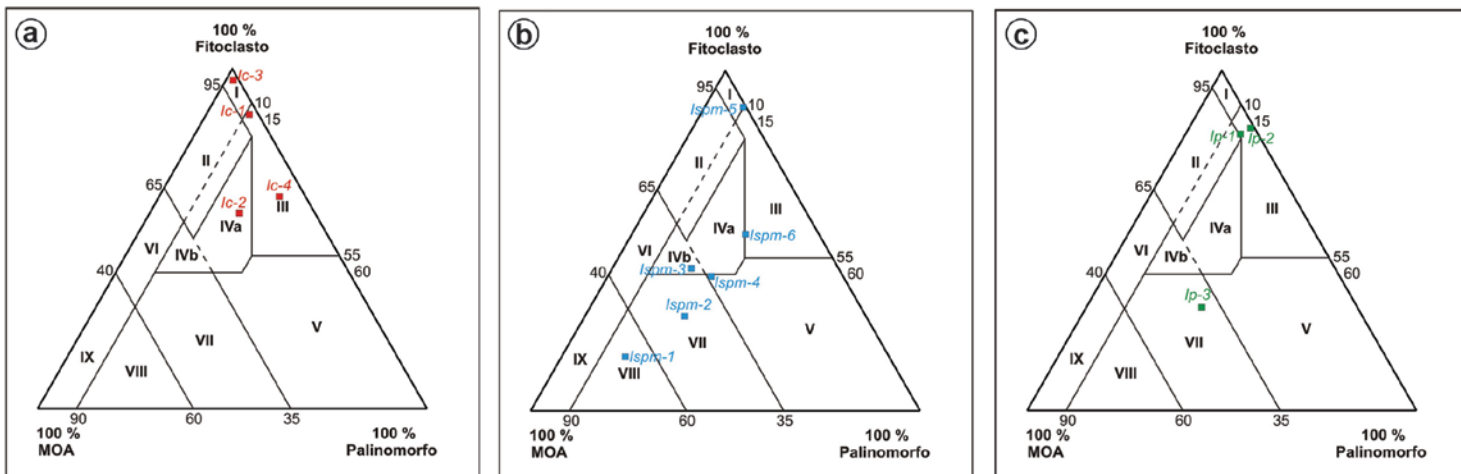


Figura 12 - Caracterização paleoambiental dos intervalos determinados para os afloramentos estudados com o diagrama ternário (Fitoclasto-MOA-Palinomorfo). a) afloramento de Coimbra; b) afloramento de S. Pedro de Moel e c) afloramento de Peniche (Tyson, 1993; modificado por Mendonça Filho et al., 2009).

Figure 12 - Characterization of paleoenvironmental intervals determined for the outcrops with the ternary diagram (phytoclasts-Amorphous organic matter-palynomorphs). a) Coimbra outcrop; b) S. Pedro de Moel outcrop and c) Peniche outcrop, (Tyson, 1993; modified from Mendonça Filho et al. 2009).

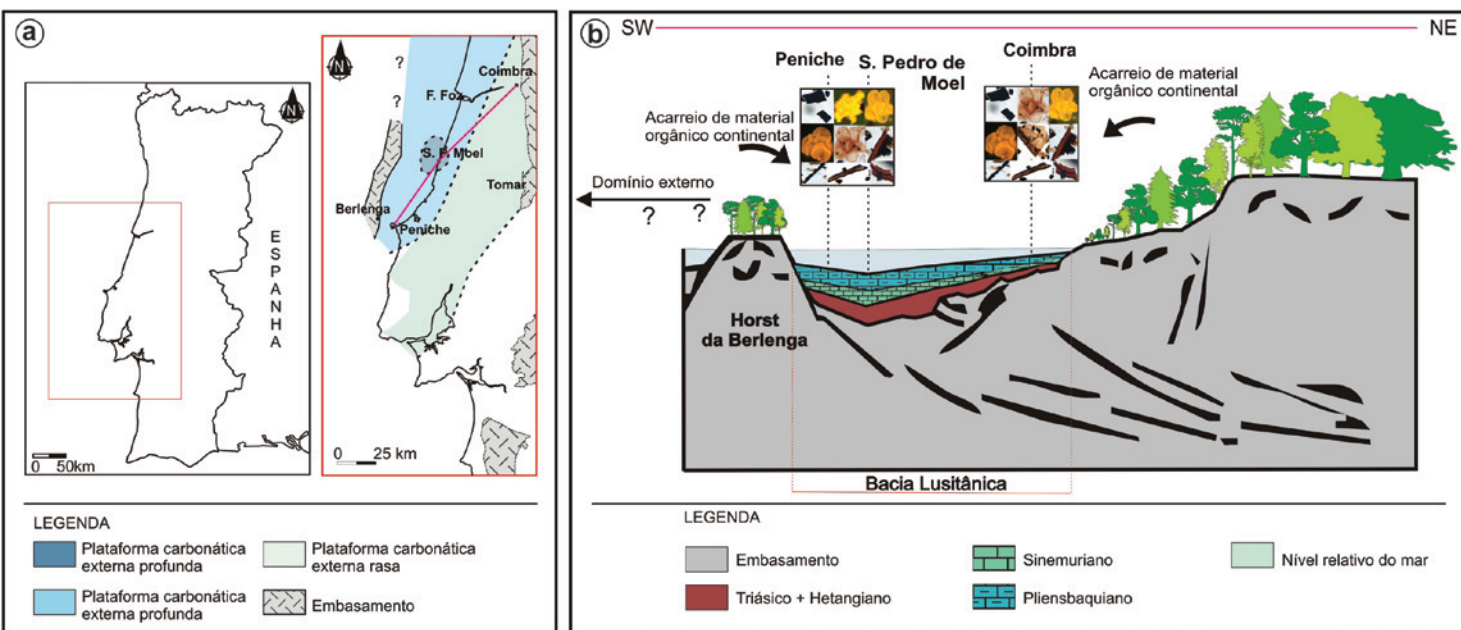


Figura 13 - a) Mapa de paleoambientes do Pliensbaquiano (modificado de Ribeiro et al., 1996). b) modelo especulativo das áreas-fonte e do aporte de material orgânico continental para o ambiente deposicional durante a sedimentação da Formação Vale das Fontes (Pliensbaquiano) nas regiões de Coimbra, S. Pedro de Moel e Peniche (esquema do embasamento modificado de Rocha et al., 1990).

Figure 13 - a) paleoenvironmental map of the Pliensbachian (modified from Ribeiro et al., 1996). b) speculative model of the source areas and inputs of continental organic material to the depositional environment during the sedimentation of the Vale das Fontes Formation (Pliensbachian) in the region of Coimbra, S. Pedro de Moel and Peniche (basement scheme modified from Rocha et al., 1990).

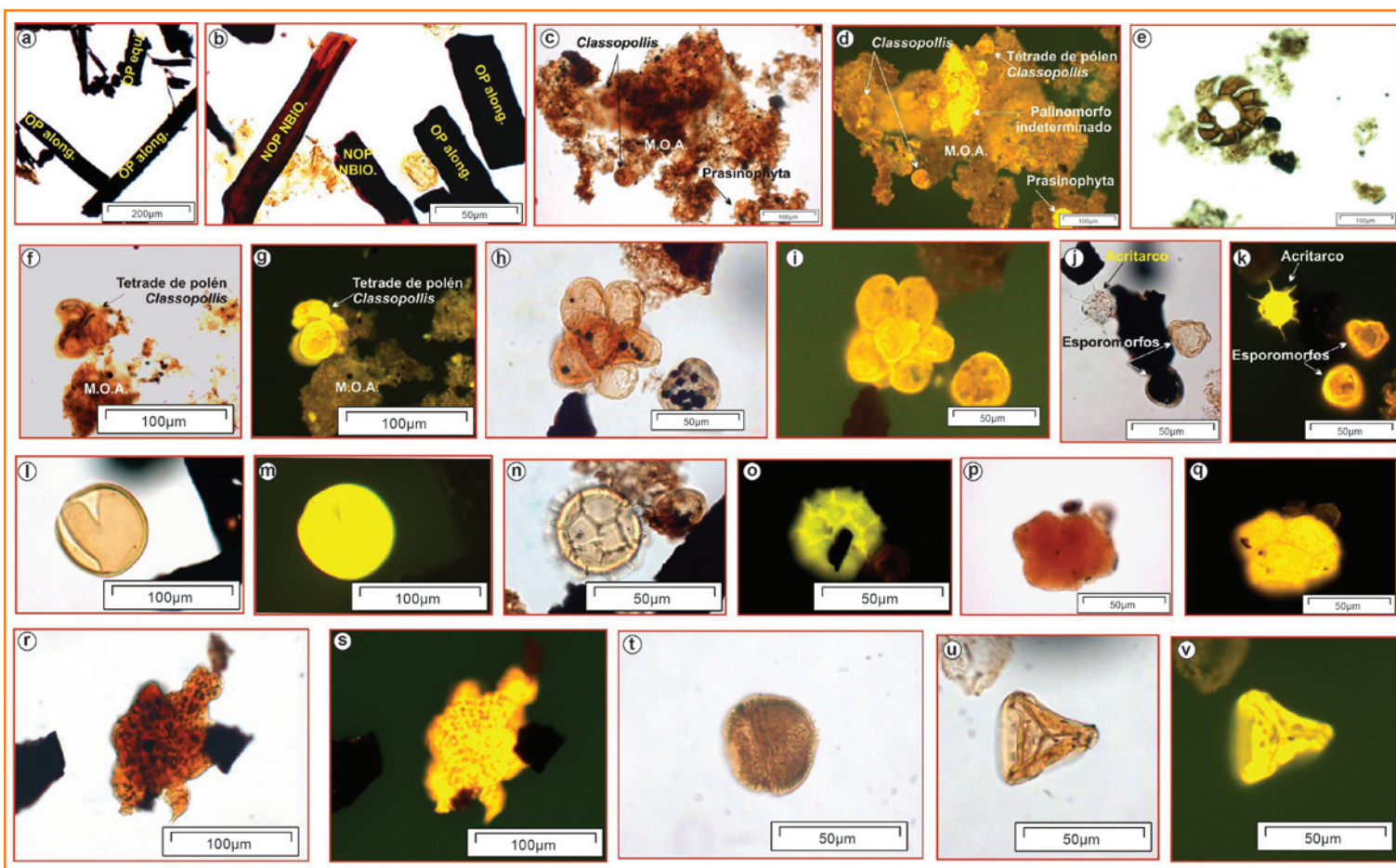


Figura 14 - Fotomicrografias dos componentes orgânicos particulados observados nas lâminas organopalinológicas. a) associação de fitoclastos opacos alongados (OP. along.) e equidimensionais (OP equi.), Luz branca transmitida, (100x), Amostra P-5. b) associação de fitoclastos opacos alongados e não-opacos não-bioestruturados (NOP NBIO), Luz branca transmitida, (400x), Amostra Cb/L-3. c e d) associação de M.O.A. homogênea fluorescente, grãos de pólen e tétrades de grãos de pólen do gênero *Classopollis* e de prasinofíceas (*Tasmanites*). Luz branca transmitida e Luz azul incidente, (200x), amostra AM-1. e) palynoforaminífero. Luz branca transmitida, (200x), Amostra AM-5. f e g) associação de M.O.A. com tetrade de grãos de pólen do gênero *Classopollis*. Luz branca transmitida e Luz azul incidente, (200x), amostra AM-1. h e i) políade de grãos de pólen do gênero *Classopollis*. Luz branca transmitida e Luz azul incidente, (400x), amostra P-4. j e k) associação de acritarco com esporomofos e fitoclastos opacos equidimensionais. Luz branca transmitida e luz azul incidente, (400x), amostra Cb/SM-2. l e m) alga marinha do grupo prasinofíceas do gênero *Tasmanites*. Luz branca transmitida e luz azul incidente, (200x), amostra AM-13. n e o) alga marinha do grupo prasinofíceas do gênero *Cymatiosphaera*. Luz branca transmitida e luz azul incidente, (400x), amostra PO-1. p e q) M.O.A. hialina (resina). Luz branca transmitida e luz azul incidente, (400x), amostra Cb/L-1. r e s) alga de água doce do gênero *Botryococcus*. Luz branca transmitida e luz azul incidente, (200x), amostra P-1. t) grão de pólen do gênero *Classopollis*. Luz branca transmitida, (400x), amostra AM-10. u e v) esporo com marca de união típica do tipo trilete. Luz branca transmitida e luz azul incidente, (400x), amostra P-5.

Figure 14 - Photomicrographs of particulate organic compounds observed in the organopalinological blades. a) association of the opaque equidimensional (OP equi.) and elongated phytoclasts (OP along.), white light transmitted, (100X), sample P-5. b) association of the elongated opaque and non-opaque non-biostructured phytoclasts (NOP NBIO), white light transmitted, (400X), sample Cb/L-3. c and d) homogeneous fluorescent Amorphous Organic Matter (AOM) association, pollen grains and tetrads of pollen grains belonging to genus *Classopollis* genera, Prasinophyta genus *Tasmanites* Transmitted white light and incident blue light (200X), sample AM-1. e) palynoforaminifera. Transmitted white light (200X), sample AM-5. f and g) association of AOM with tetrad of pollen grains of the *Classopollis* genera. Transmitted white light and incident blue light (200X), sample AM-1. h and i) pollen grains agglomerate of *Classopollis* genera. Transmitted white light and incident blue light (400X), sample P-4. j and k) association of acritarch with sporomorphs and opaque equidimensional phytoclasts. Transmitted white light and incident blue light (400X), sample Cb/SM-2. l and m) marine algae, Prasinophyta group, genus *Tasmanites*. Transmitted white light and incident blue light (200X), Sample AM-13. n and o) marine algae, Prasinophyta group, genus *Cymatiosphaera*. Transmitted white light and incident blue light (400X), sample PO-1. p and q) Hyaline AOM (resin). Transmitted white light and incident blue light (400X), sample Cb/L-1. r and s) freshwater algae genus *Botryococcus*. Transmitted white light and incident blue light (200X), sample P-1. t) pollen grain of *Classopollis* genera. Transmitted white light (400X), sample AM-10. u and v) spore with label union typical trilete type. Transmitted white light and incident blue light (400X), sample P-5.

Observou-se que no afloramento de Peniche e, principalmente, em S. Pedro de Moel, encontram-se fácies com características mais profundas, pois esta seria uma provável região depocêntrica no Sinemuriano terminal e praticamente todo o Pliensbaquiano.

As características palinofaciológicas proximais, como a presença de tétrades e políades de esporomorfos (figs. 14f, 14g, 14h e 14i), a excelente preservação das partículas orgânicas e os fitoclastos de grandes dimensões (fig. 14a e fig. 14b), associadas ao modelo de rampa carbonatada homoclinal inclinada para oeste (já proposto para o Pliensbaquiano na B.L.; Azerêdo *et al.*, 2003; Duarte e Soares, 2002), levaram a sugerir um modelo especulativo que justifique as características proximais da MO em sedimentos de posições paleogeográficas distais (fig. 13).

Provavelmente, a MO continental preservada nos sedimentos da Formação Vale das Fontes dos afloramentos de S. Pedro de Moel e de Peniche provém do bordo ocidental da bacia e a sua deposição foi supostamente controlada pela presença dos blocos (Berlengas-Farilhões) situados a oeste, contrastando com a MO continental dos sedimentos do afloramento de Coimbra que derivam do bordo oriental (fig. 13).

Segundo Wright e Wilson (1984), na região de Peniche a instalação da sequência toarciana está associada a ambientes deposicionais gravitacionais e todo este esquema deposicional se deveria a uma fase de tectônica ativa, que provocou o levantamento de blocos a ocidente (Berlengas-Farilhões) e que teve início no Toarciano Inferior.

Montenat *et al.* (1988) mostram que, na evolução mesozoica da Bacia Lusitânica, a sedimentação durante o Triássico terminal e todo o Jurássico é influenciada pelo bloco da Berlenga, que fornece material siliciclástico com episódios mais intensos sempre associados a eventos tectônicos, sendo possível verificar no trabalho destes autores que após uma pausa no suprimento siliciclástico do Sinemuriano ao Carixiano, torna a ocorrer entrada desse material, que se vai acentuando para o topo do Carixiano até atingir um máximo de influxo no Toarciano.

Geralmente, os valores de RI aumentam para o topo da Formação Vale das Fontes (tabela 1). Estes factos sustentam o modelo proposto, ao considerar-se que as variações na distribuição e deposição da MO são muito mais sensíveis e bruscas que as litológicas. Assim, a presença dos blocos situados a oeste condicionaram a sedimentação da MO durante o Pliensbaquiano e, apenas mais tarde (Toarciano), a presença e influência destes blocos ficou claramente registada litologicamente.

conclusões

Os resultados obtidos através da aplicação de palinofácies e de fácies orgânica nos sedimentos da Formação Água de Madeiros do Sinemuriano e Formação Vale das Fontes do Pliensbaquiano, mostraram que este tipo de estudo constitui uma valiosa e eficaz ferramenta na interpretação de paleoambientes e na determinação das condições deposicionais da MO sedimentar.

O grupo do querogênio predominante são os fitoclastos. Apurou-se que os fitoclastos opacos são, geralmente, o subgrupo mais presente dentro da população dos fitoclastos. Os palinomorfos são representados principalmente por esporomorfos e, em menor número, por microplâncton de parede orgânica marinho, algas de água doce e palinoforaminíferos. A presença de MOA é assídua e esta afigura-se geralmente heterogênea e homogênea e com fluorescência intensa. Dentro da população de esporomorfos foi observada a presença de um grande número de grãos de pólen do gênero *Classopollis*, que apontam que a Formação Água de Madeiros se depositou em condições paleoclimáticas quentes e semiáridas a áridas, enquanto a sedimentação da Formação Vale das Fontes se processou em clima variando de quente e semiárido a temperado e subtropical.

Os valores de COT apresentam grande variabilidade, sendo que os maiores valores se encontram no topo do Membro Polvoeira da Formação Água de Madeiros e no topo do Membro MCNB da Formação Vale das Fontes. Verificou-se que os baixos valores de COT reflectem baixos graus de preservação da MO, que podem estar directamente relacionados ao clima e com níveis de energia e oxigenação das águas, comprometendo directamente as condições *redox* da bacia. Foi também assinalado que o aumento significativo de MOA geralmente controla as variações do conteúdo de COT nos sedimentos.

As análises de agrupamentos realizadas sublinharam que o grupo dos fitoclastos é dominante em relação aos grupos dos palinomorfos e da MOA nas três secções.

As fácies orgânicas determinadas para a Formação Água de Madeiros estão associadas a climas quentes e áridos, com maior preservação da MO e em condições disóxicas-anóxicas e de baixa energia, com ausência de bioturbação nos sedimentos e com menor presença de fitoclastos. As fácies orgânicas determinadas para a Formação Vale das Fontes estão associadas a climas mais temperados e subtropicais com precipitação, resultando em ambientes de maior energia e oxigenação (óxicos), com incremento no

aporte de material lenhoso e diminuição na preservação da MO. A região de Peniche e, principalmente, a de S. Pedro de Moel são uma provável região depocêntrica no Sinemuriano terminal e praticamente todo o Pliensbaquiano.

Os paleoambientes determinados ao longo das três sucessões sedimentares analisadas são bastante variáveis, podendo mudar de ambientes de plataforma altamente proximal para ambientes de transição de plataforma-bacia. Para S. Pedro de Moel e Peniche, os paleoambientes mostraram grandes variações na disponibilidade de oxigênio.

O modelo proposto neste trabalho indica que, provavelmente, a MO continental preservada nos sedimentos da Formação Vale das Fontes dos afloramentos de S. Pedro de Moel e de Peniche provém do bordo ocidental da bacia e a sua deposição foi supostamente controlada pela presença dos blocos (Berlengas-Farilhões) situados a oeste, contrastando com a MO continental dos sedimentos do afloramento de Coimbra que derivam da borda oriental.

referências bibliográficas

- AZERÊDO, A. C.; DUARTE, L. V.; HENRIQUES, M. H.; MANUPELLA, G. Da dinâmica continental no Triásico aos mares do Jurássico Inferior e médio. **Cadernos de Geologia de Portugal**. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 2003. p. 8-22.
- COMBAZ, A. Les palynofaciès. **Revue de Micropaléontologie**, v. 7, p. 205-218, 1964.
- DUARTE, L. V.; RODRIGUES, R.; OLIVEIRA, L. C.; SILVA, F. Avaliação preliminar das variações do carbono orgânico total nos sedimentos do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica (Portugal). In: SEMANA DE GEOQUIMICA, 14.; CONGRESSO DE GEOQUIMICA DOS PAÍSES DE LINGUA PORTUGUESA, 8., 2005. **Actas...** Aveiro, 2005. v. 1. p. 39-42.
- DUARTE, L. V.; SOARES A. F. Litoestratigrafia das séries margo-calcárias do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica (Portugal). **Comunicação do instituto Geológico e Mineiro**, Lisboa, v. 89, p. 115-134, 2002.
- DURINGER, P. E.; DOUBINGER, J. La palynologie: un outil de caractérisation des facies marins et continentaux a la limite Muschelkalk Supérieur-Lettenkohle. **Science Géologie Bulletin**, Strasbourg, v. 38, p. 19-34, 1985.
- FEDEROVA, V. A. The significance of the combined use of microphytoplankton, spores and pollen for differentiation of multi-facies sediments. In: SAMOILOVICH, S. R.; TIMOSHINA, N. A. (Eds.) **Questions of Phytostratigraphy**: Trudy Neftyanoi Nauchno-issledovatel'skii geologo-razvedochnyi Institut (VNIGRI), Leningrad, v. 398, p. 70-88, 1977.
- HABIB, D. Sedimentary supply origin of cretaceous black shales. In: SCHLANGER, S. O.; CITA, M. B. (Eds.) **Nature and origin of Cretaceous Carbon-rich Facies**. London: Academic Press, 1982. p. 113-27.
- JONES, R. W. Organic Facies. In: BROOKS, J.; WELTE, D. (Eds.) **Advances in Petroleum Geochemistry 2**, London: Academic Press, p. 1-90, 1987.
- KULLBERG, J. C. R. **Evolução Tectônica Mesozoica da Bacia Lusitaniana**. 2000. 280 f. Tese (Doutorado) – Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2000.
- MATOS, V. Estudo de Palinofácies e de Fácies Orgânica de ma Sequência Sedimentar do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica. 2009. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Coimbra, Portugal, 2009.
- MENDONÇA FILHO, J. G. **Aplicação de estudos de palinofácies e fácies orgânica em rochas do Paleozoico da Bacia do Paraná, Sul do Brasil**. 1999. 388 f. 2 v. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 1999.
- MENDONÇA FILHO, J. G. **Curso de Palinofácies e Fácies Orgânica**. Rio de Janeiro: UFRJ/IGEO, 112 p.
- MENDONÇA FILHO, J. G.; CARVALHO, M. A.; MENEZES, T. R. **Palinofácies**. In: Técnicas e procedimentos de trabalho com fósseis e formas modernas comparativas. São Leopoldo: UNISINOS, 2002. p. 20-24.
- MENDONÇA FILHO, J. G.; MENEZES, T. R.; MENDONÇA, J. O.; OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, M. A.; SANTANNA, A. J.; SOUZA, J. T. **Palinofácies**. In: CARVALHO, I. S. (Ed.). No prelo. (Org.). Paleontologia. Rio de Janeiro, 2009. v. 3.
- MONTENAT, C.; GUERRY, F.; JAMET, M.; BERTHOU, P. Y. Mesozoic evolution of the Lusitanian Basin: comparison

with the adjacent margin. **Proceedings of the Drilling Program, Scientific Results**, v. 103, p. 757-775, 1988.

OLIVEIRA, A. D. **Reconstrução Paleoambiental com base nas associações de dinoflagelados presentes nos sedimentos do Holoceno e Pleistoceno do talude continental Brasileiro da Bacia de Campos, RJ, Brasil**. 2003. 188 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

OLIVEIRA, A. D.; MENDONÇA FILHO, J. G.; SANT'ANNA, A. J.; SOUZA, J. T.; FREITAS, A. G.; MENEZES, T. R. Inovação no processamento químico para isolamento da M. O. Sedimentar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43., 2006. **Anais...** Sergipe: Sociedade Brasileira de Geologia / Núcleo Bahia-Sergipe Aracaju, 2006. 324 p.

OLIVEIRA, L. C. **Bioestratigrafia de Nanofóssies e estratigrafia química do Pliensbaquiano – Toarciano inferior (Jurássico Inferior) da Região de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal)**. 2007. 234 f. v. 1. Tese (Doutorado) – Universidade do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, Brasil, 2007.

OLIVEIRA, L. C.; DUARTE, L. V.; DINO, R.; DUARTE, L. V.; PERILLI, N. Calcerous nanofossils and palynomorphs from Pliensbaquian-Toarcian Boundary in Peniche (Lusitanian Basin, Portugal). **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 10, n. 1, p. 5-16, 2007.

OLIVEIRA, L. C.; DUARTE, L. V.; PERILLI, N.; RODRIGUES, R.; LEMOS, V. B. Estratigrafia Química (COT, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) e nanofóssies calcários na passagem Pliensbaquiano-Toarciano no perfil de Peniche (Portugal). Resultados preliminares. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 32, n. 2, 2005.

OLIVEIRA, L. C. V.; RODRIGUES, R.; DUARTE, L. V.; LEMOS, V. B. Avaliação do Potencial Gerador de Petróleo e Interpretação Paleoambiental com base em Biomarcadores e Isótopos Estáveis do Carbono da Secção Pliensbaquiano-Toarciano inferior (Jurássico Inferior) da Região de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal). **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 14, n. 2, p. 207-234, maio/nov. 2006.

PENA DOS REIS, R.; PIMENTEL, N.; GARCIA, A. **Curso de Campo na Bacia Lusitânica (Portugal)**: Roteiro Coimbra, 2007. 154 p.

PENA DOS REIS, R.; PIMENTEL, N.; BUENO, G. **Curso de Campo na Bacia Lusitânica (Portugal)**: roteiro. 3 ed. Coimbra, 2008. 135 p.

RIBEIRO, A.; ANTUNES, M. T.; FERREIRA, M. P.; ROCHA, R. B.; SOARES, A. F.; ZBYSZEWSKI, G.; MOITINHO DE ALMEIDA, F.; D. DE CARVALHO; MONTEIRO, J. H. **Introduction à la géologie générale du Portugal**. Lisboa: Serviço Geológico de Portugal, 1979. 114 p.

RIBEIRO, A.; SILVA, J. B.; CABRAL, J.; TERRINHA, P.; KULLBERG, M. C.; KULLBERG, J. C.; PHIPPS, S. **Tectonics of the lusitanian basin**. Lisboa, 1996. Final Report. Project Milupobas.

ROCHA, R. B.; MARQUES, J.; SOARES, A. F. Les unités lithostratigraphiques du Bassin Lusitanien au Nord de l'accident de Nazaré (Trias-Aalénien). **Série Science Lyon**, Cahiers University Catholic Lyon, v. 4, p. 121-126, 1990.

SILVA, F. J. C. **A Formação de Vale das Fontes no sector norte da Bacia Lusitânica. Caracterização, avaliação espacial e distribuição do conteúdo em M. O.** 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de Coimbra, Portugal, 2007.

SILVA, L. T. **A Formação Abadia no contexto evolutivo tectonossedimentar da Bacia Lusitânica (Portugal)**: considerações sobre o potencial como rocha reservatório de hidrocarbonetos. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SILVA, F.; DUARTE, L. V.; OLIVEIRA, L. C.; COMAS-REGIFO, M. J. E RODRIGUES, R. A Formação de Vale das Fontes no sector da Bacia Lusitânica (Portugal): caracterização e avaliação preliminar de Carbono Orgânico Total. In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOLOGIA, 7., 2006. **Livro de resumos**, v. 2, Évora, p. 669-672, 2006.

TRAVERSE, A. **Sedimentation of Organic Particles**. Cambridge University Press, 1994. 647 p.

TYSON, R. V. Palynofacies Analysis. In: JENKINS, D. J. (Eds.) **Applied Micropaleontology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. p. 153-191.

TYSON, R. V. **Sedimentary Organic Matter, Organic facies and palynofacies**. London: Chapman e Hall, 1995. 615 p.

WILSON, R. C. L. Atlantic opening and Mesozoic continental basins of Iberia. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 25, p. 33-43, 1975.

WILSON, R. C. L. Mesozoic development of the Lusitanian Basin, Portugal. **Revista de la Sociedad Geologica de España**, v. 1, n. 3-4, p. 393-407, 1988.

WRIGHT, V. P.; WILSON, R. C. L. A carbonate submarine-fan sequence from the Jurassic of Portugal. **Journal of Sedimentary Petrology**, Tulsa, v. 54, p. 394-412, 1984.

webgrafia

GOOGLE EARTH. **Imagens de fotos aéreas utilizadas no trabalho**. Disponível em: <<http://www.googleearth.com>>. Acesso em: 28 nov. 2008.

VIRTUAL EARTH. **Imagens de fotos aéreas utilizadas no trabalho**. Disponível em: <<http://www.bing.com/maps/>>. Acesso em: 28 nov. 2008.

expanded abstract

The Early Jurassic in the Lusitanian Basin is known for its several outcrops, especially in its northernmost part, and they represent the initial phase of the basin carbonate infilling (figs. 1, 2, and 3). The present work is focused on the study of the Água de Madeiros (upper Sinemurian) and the Vale das Fontes (Pliensbaquian) Formations (figs. 2 and 3). This stratigraphic range is characterized by a marly-calcareous sedimentation that resulted from a paleoenvironmental setting recognized in the evolution of the Lusitanian Basin, which is consistent with organic matter accumulation (figs. 3 and 4).

This work aims to reinforce the understanding about organic matter origin, decomposition, preservation, modification, distribution and incorporation in sediment. It also intends to identify the depositional trends of the particulate organic content and to analyze the palynofacies parameters, behavior as well as the depositional settings related to the sediments that make up these lithostratigraphic units. In order to do so, techniques were applied and put together for the first time in what concerns the sediments of the Early Jurassic of the Lusitanian Basin. These techniques comprise palynofacies analysis and organic-geochemical organic-chemical analysis (Total Organic Carbon – TOC).

Twenty nine outcrop samples were collected and laboratory processed for the palynofacies (thin sections) and organic-chemical organic-geochemical analysis. For the palynofacies analysis, microscopic techniques were applied (transmitted white light microscopy and fluorescence microscopy), in which 300 organic particles were counted and a second counting method was associated that only comprised the palynomorph fraction of the total organic matter (associated counting). The organic-chemical organic-geochemical analyses were used to quantify the total organic carbon (COT) present in the samples.

The percentage data obtained from counting of the kerogen groups and subgroups was statistically treated by cluster analysis, using Q-mode to determine groups of similar samples and R-mode to assess similarities between organic components. Furthermore, correlation matrices were calculated using the Pearson's correlation coefficient r , which showed the links between organic components.

The results showed that the amorphous organic matter group (A.O.M.; figs. 14c, d, f and g) was predominant in the Água de Madeiros Formation (S. Pedro de Moel outcrop), followed by the phytoclast (figs. 12a

and 12b) and the palynomorph groups, while in Vale das Fontes Formation (Coimbra, S. Pedro de Moel and Peniche outcrops) the phytoclast group was the most abundant of all three groups (Fig 5). It also showed that organic components with the same proximal-distal tendency had a positive correlation, while those with such an opposite trend had a negative or inverse correlation.

The abundance of pollen particles of the *Classopollis* genera (figs. 14c, d, f, g, h and i) identified in the data leads to the suggestion that the Água de Madeiros Formation was deposited in a climate that changed from warm to semi-arid to an arid climate, whereas the Vale das Fontes Formation was deposited in a setting that switched from a warm to semiarid climate to a mild to subtropical climate.

The organic-geochemical analysis indicate that there is great variability in the COT content, which is directly related to relative sea level changes, continental influence, basin redox conditions and organic matter preservation (Table 1). The high content of insoluble residue and the type of organic matter found show that there was a strong continental influence during deposition (table 1).

The information acquired from the palynofacies and organic-geochemical analysis and the cluster analysis (fig. 6) allowed the compartmentalization of the studied sedimentary sections into palynofacies intervals, in other words, intervals with the same organic features and similar patterns of organic material supply (fig 7).

The organic facies of these intervals were determined and these results suggest that the Água de Madeiros Formation (predominant organic facies B-BC) developed in a warm to arid climate with higher organic matter preservation, in an anoxic and low energy setting, while the Vale das Fontes Formation (predominant organic facies C-CD) deposited in a more temperate to subtropical climate, in a higher energy oxic setting, with an increased supply of organic continental material and lower preservation of the organic matter (fig. 8).

The sedimentation of Água de Madeiros and Vale das Fontes Formations has an intermediate trend. According to the variation of percentage of palynomorphs the deposition was made in the marine environment (Federova, 1977 and Düringer e Döbinger, 1985), but near the coast and with a strong continental influence (fig. 9).

Integrating organic-geochemical and palynofacies data has led to the characterization of subenvironments and it shows that the identified paleoenvironments had changed from an oxic, highly

proximal platform setting to a disoxic, proximal platform setting (deeper facies). This indicates that the S. Pedro de Moel region acted as a depocentric area throughout the latest Sinemurian and almost the entire Pliensbaquian (figs. 8 and 10).

In this work, a hypothetical model is proposed to explain the deposition of the Vale das Fontes Formation. It presents a probable paleogeographic position for the source of the terrestrial organic material (fig. 11). This was essential to justify the proximal features of the organic matter found in sediments that in previous works were ascribed to

distal settings. It is also proposed that the source area for the continental organic supply found in the Vale das Fontes Formation at the Peniche and the S. Pedro de Moel outcrops was located at the westernmost margin of the Lusitanian Basin, where organic deposition probably was already conditioned by the basement blocks that nowadays represent the Berlenga-Farilhões. On the other hand, it is suggested that the continental organic matter found in the Vale das Fontes Formation of the Coimbra outcrop derived from the eastern margin of the basin.

autores



Vasco Gonçalo Alves Esteves de Matos
Universidade de Coimbra
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Ciências da Terra

v.estevesmatos@gmail.com



João Graciano Mendonça Filho
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia

graciano@geologia.ufrj.br

Vasco Gonçalo Alves Esteves de Matos nasceu no dia 12 de novembro de 1979 em Coimbra. Graduou-se em Geologia em 2006 pela Universidade de Coimbra. Mestre em Geociências, especialidade em Geologia do Petróleo, pela Universidade de Coimbra em 2009. Entre 2007 e 2009 foi bolsista de investigação do Projeto: Modelo Geológico Evolutivo de Rifts Marinhos no Jurássico da Bacia Lusitânica (Portugal). Projeto de investigação ATLANTIS – FAPESP (Brasil) e PTDC/CTE-GEX/64966/2006, da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (Portugal) da instituição Fundação da Faculdade de Ciências de Lisboa, onde foi responsável pela área de Investigação da Geoquímica Orgânica. Desde de 2010 atua como bolsista de investigação do Projeto: PTDC/CTE-GEX/72694/2006 - "Hydrocarbon Source-Rock Potential of the Algarve Basin – Southern Portugal", realizado em todos os domínios da Fundação para a Ciência e a Tecnologia na Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências do Mar e Ambiente, Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA), onde exerceu atividades nas áreas de petrografia orgânica, maturação orgânica, palinofácies, estratigrafia, sedimentologia e argilas.

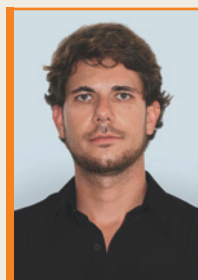
João Graciano Mendonça Filho é graduado em Geologia pela Universidade Federal do Paraná (1989), mestre em Geoquímica Orgânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1993) e doutor em Faciologia Orgânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1999). É Professor Associado II da Universidade Federal do Rio de Janeiro e atualmente ocupa o cargo de Decano do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da UFRJ. Atua na área de Geociências, com ênfase em Geoquímica do Petróleo, Geoquímica Orgânica Ambiental, Petrografia Orgânica, Palinofácies e Fácies Orgânica.



Rui Paulo Bento Pena Dos Reis
Universidade de Coimbra
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Ciências da Terra

penareis@dct.uc.pt

Rui Paulo Bento Pena dos Reis nasceu em Assentis-Torres Novas em 15 de junho de 1952. Pela Universidade de Coimbra licenciou-se em Geologia em 1976, doutorou-se em Estratigrafia em 1984 e fez a agregação em 2001. Desde 1977 lecciona e desde 1984 supervisiona projetos de mestrado, de doutoramento e de pós-doutoramento em Estratigrafia, Sedimentologia e Geologia de Petróleo no Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Especialista em estratigrafia e análise de bacias, é autor ou coautor de um grande número de capítulos de livros e artigos científicos, fundamentalmente relacionados à Estratigrafia de Sequências e Análise de Sistemas Petrolíferos em Bacias Atlânticas. Desde 1992, coordena projectos exploratórios de I&D com a indústria.



André Luiz Durante Spigolon
Centro de Pesquisas da Petrobras - Cenpes
Gerência de Geoquímica

andrespigolon@petrobras.com.br

André Luiz Durante Spigolon nasceu no dia 12 de abril de 1978, em Jaú, São Paulo. Graduiu-se pela Universidade de Brasília em 2000 e obteve o título de mestre pela mesma universidade em 2003, com foco em geologia do petróleo e caracterização de fácies orgânicas do intervalo Alagoas (Aptiano) da Bacia Potiguar. Ingressou na Petrobras em 2003 como geofísico, porém, desde 2004, atua pela Gerência de Geoquímica do Cenpes na avaliação e caracterização de sistemas petrolíferos. Atualmente, está desenvolvendo sua tese de doutorado na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em cooperação com o *United States of Geological Survey* (USGS) utilizando métodos de maturação artificial (hidropirólise e pirólise Rock-Eval) para obtenção de modelos cinéticos de geração de petróleo, bem como, avaliação e predição da qualidade do fluido.



Nuno Lamas Pimentel
Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências
Departamento de Geologia

Pimentel@fc.ul.pt

Nuno Lamas Pimentel é nascido em Lisboa em 1963. Obteve a Graduação em Geologia e Doutorado em Estratigrafia e Sedimentologia pela Universidade de Lisboa em 1997, sendo docente desta universidade desde 1987. Colaborou em diversos projetos de pesquisa na área sedimentar em Portugal e no Brasil desde 2000. Foi membro coordenador do Projeto Atlantis (2007-2010) e actualmente do Projeto Sagres (2011-2013), ambos para o Centro de Pesquisas da Petrobras. Co-organizou a “II Conjugate Margins Conference, Lisbon-2010” e diversos Cursos de Campo na Bacia Lusitânica para a Petrobras a partir de 2006.