

## A sedimentação margo-calcária rica em matéria orgânica do Pliensbaquiano da Bacia Lusitânica: estratigrafia integrada e evolução paleoambiental

### The Pliensbachian organic-rich marl-limestone sedimentation of the Lusitanian Basin (Portugal): integrated stratigraphy and palaeoenvironmental evolution

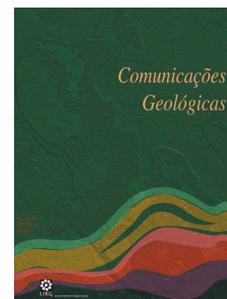
R.L. Silva<sup>1\*</sup>, L.V. Duarte<sup>1,2</sup>, M.J. Comas-Rengifo<sup>3</sup>, J.G. Mendonça Filho<sup>4</sup>, A.C. Azerêdo<sup>5</sup>

Recebido em 15/01/2013 / Aceite em 10/05/2013

Disponível online em Junho de 2013 / Publicado em Junho de 2013

© 2013 LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP

Artigo original  
Original article



**Resumo:** A elaboração de modelos sedimentológicos preditivos é uma das principais ferramentas na prospeção de petróleo. O objectivo deste trabalho é o de apresentar uma caracterização sedimentológica, estratigráfica, palinofaciológica e geoquímica sumária de um dos mais importantes intervalos ricos em matéria orgânica e potencialmente gerador de petróleo da Bacia Lusitânica: o membro Margo-calcários com níveis betuminosos da Formação de Vale das Fontes (Pliensbaquiano, Jurássico Inferior).

Os estudos em progresso, em especial os que abordam a matéria orgânica, têm como objectivo aperfeiçoar o conhecimento acerca da evolução lateral e temporal dos meios deposicionais e das condições paleoambientais contemporâneas da sedimentação, não só na Bacia Lusitânica, mas também a uma escala regional e, por meio de comparação e correlação, global.

**Palavras-chave:** Fácies ricas em matéria orgânica, Sedimentação margo-calcária, Pliensbaquiano, Bacia Lusitânica, Portugal

**Abstract:** The elaboration of predictive sedimentological models is one of the main tools used in petroleum exploration. The objective of this work is to present a brief sedimentological, stratigraphical, palynofaciological and geochemical characterization of one of the main organic-rich interval and potential source-rock of the Lusitanian Basin: the Marl-limestone with organic-rich facies member of the Vale das Fontes Formation (Pliensbachian, Lower Jurassic).

The ongoing studies, especially those concerning organic matter aim at increasing the knowledge about the lateral and temporal variation of the depositional environments and the palaeoenvironmental conditions contemporaneous with the sedimentation, not only in the Lusitanian Basin, but also at a regional and, through comparison and correlation, global scale.

**Keywords:** Organic-rich facies, Marl-limestone sedimentation, Pliensbachian, Lusitanian Basin, Portugal

<sup>1</sup>IMAR-Centro do Mar e Ambiente. Universidade de Coimbra, Largo Marquês de Pombal, 3000-272 Coimbra, Portugal.

<sup>2</sup>Departamento de Ciências da Terra. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra, Largo Marquês de Pombal, 3000-272 Coimbra, Portugal.

<sup>3</sup>Departamento de Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid, C/ Antonio Novais, 28040 Madrid, España.

<sup>4</sup>Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Cidade Universitária, CEP: 21949-900, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>5</sup>Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento e Centro de Geologia, Campo Grande, C6, 4º, 1749-016 Lisboa, Portugal.

\*Autor correspondente / Corresponding author: [ricardo.cdv@gmail.com](mailto:ricardo.cdv@gmail.com)

## 1. Introdução

No registo sedimentar da Bacia Lusitânica, grande parte do período de tempo correspondente ao Jurássico Inferior (nomeadamente Sinemuriano superior, Pliensbaquiano e Toarciano) é representado por alternâncias margo-calcárias. Neste intervalo de tempo são observados dois intervalos ricos em matéria orgânica, correspondendo ao Membro da Polvoeira da Formação de Água de Madeiros (Sinemuriano superior-base do Pliensbaquiano) e ao membro Margo-calcários com níveis betuminosos da Formação de Vale das Fontes (Pliensbaquiano) (Duarte & Soares, 2002; Duarte *et al.*, 2010, 2012). O bom controlo biostratigráfico destas séries permite que, em alguns locais e através da determinação de diversos parâmetros sedimentológicos e geoquímicos como Carbono Orgânico Total (COT),  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ , biomarcadores e palinofácies, seja possível decifrar variados parâmetros paleoceanográficos contemporâneos da sedimentação, fundamentais na compreensão dos mecanismos paleoambientais que condicionaram os sistemas marinhos e terrestres no passado geológico.

Neste trabalho, baseado na integração de dados sedimentológicos, biostratigráficos, palinofaciológicos e geoquímicos, são apresentadas as principais características sedimentológicas e uma visão estratigráfica integrada do membro Margo-calcários com níveis betuminosos (mb MCNB) com base nos dados obtidos nas secções estratigráficas de referência de Tomar, Rabaçal, Peniche e S. Pedro de Moel da Bacia Lusitânica, Portugal.

## 2. Enquadramento geológico e estratigráfico

A Bacia Lusitânica é uma pequena bacia sedimentar, de direção geral Norte-Sul e situada no lado ocidental do Maciço Ibérico (Fig. 1). A sua origem está relacionada com a abertura do Oceano Atlântico e apresenta várias semelhanças com outras bacias vizinhas (por exemplo, Wilson *et al.*, 1989; Duarte *et al.*, 2010 e referências contidas nestes trabalhos).

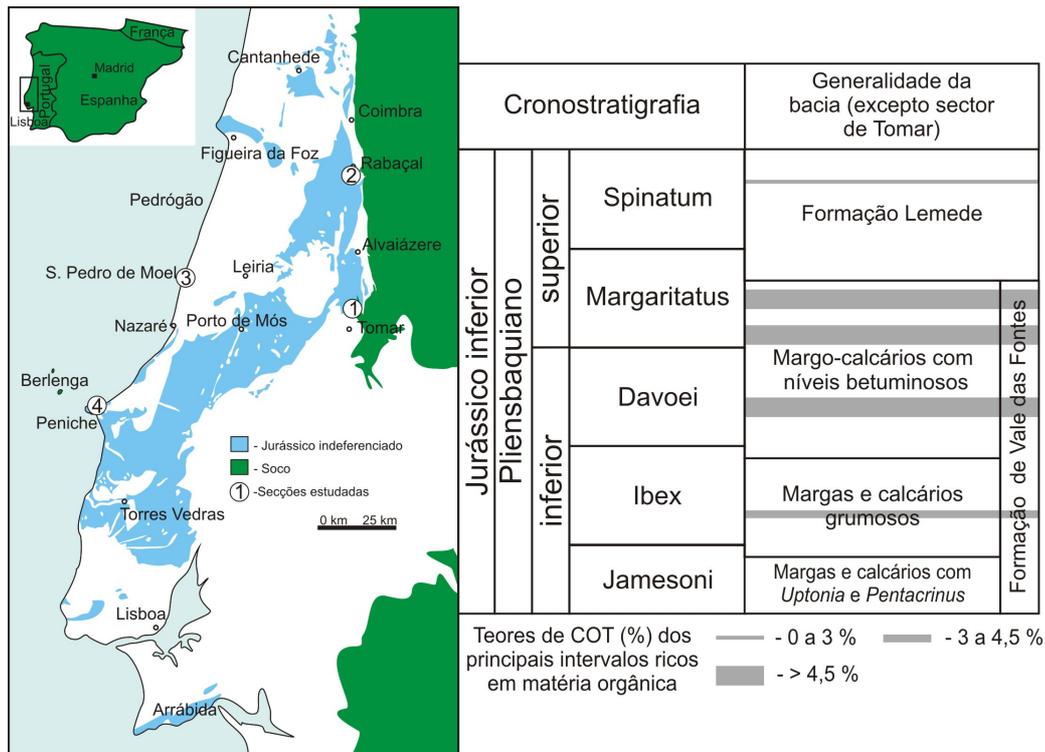


Fig.1. Mapa geológico simplificado e localização dos afloramentos estudados do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica e esquema litostratigráfico genérico para o Pliensbaquiano (modificado de Duarte & Soares, 2002; Duarte *et al.*, 2010).

Fig.1. Simplified geological map and location of the studied outcrops of the Lower Jurassic of the Lusitanian Basin and generic lithostratigraphic scheme for the Pliensbachian (modified from Duarte & Soares, 2002; Duarte *et al.*, 2010).

A evolução triásico–jurássica da Bacia Lusitânica consiste em duas grandes etapas de sedimentação limitadas por descontinuidades, correspondendo aos períodos de tempo Triásico Superior–Jurássico Médio e Jurássico Superior–Cretácico Inferior (Wilson *et al.*, 1989). Este intervalo de tempo inclui as unidades de Silves e de Dagorda (Triásico–Sinemuriano), que marcam o início da sedimentação na bacia, e são sobrepostas pela Formação de Coimbra (Sinemuriano–Pliensbaquiano) e os grupos informais Brenha e Candeeiros (Sinemuriano–Caloviano) (*e.g.* Azerêdo *et al.*, 2003).

Do ponto de vista litostratigráfico, e tal como o preconizado em Duarte & Soares (2002), a Formação de Vale das Fontes (Pliensbaquiano) é incluída no Grupo Brenha e é subdividida em três membros (Fig. 1): membro Margas e calcários com *Uptonia* e *Pentacrinus* (Zona Jamesoni), que consiste na alternância decimétrica a métrica destes litótipos, com abundante macrofauna bentónica (braquiópodes, bivalves, crinóides e espículas de equinóides) e nectónica (belemnites e amonóides); membro Margas e calcários grumosos (topo Zona Jamesoni–Zona Ibex), formada pela alternância destes litótipos com margas ricas em matéria orgânica (ver Fernández-López *et al.*, 2000); mb MCNB (topo da Zona Ibex–topo da Zona Margaritatus), que consiste na alternância de margas laminadas, por vezes betuminosas, com calcários margosos de espessura centimétrica com abundantes amonites e belemnites (Duarte & Soares, 2002). Neste membro,

segundo Duarte *et al.* (2010), as fácies ricas em matéria orgânica ocorrem principalmente em três intervalos (Fig. 1). O primeiro intervalo ocorre na Zona Davoei, enquanto o segundo e o terceiro existem na base e meio da Zona Margaritatus (Fig. 1). Estas unidades depositaram-se num ambiente deposicional de rampa carbonatada com pendor geral para noroeste (*e.g.* Duarte & Soares, 2002).

A Formação de Vale das Fontes é sobreposta pela Formação de Lemedé (Zona Spinatum–extrema base da Zona Polymorphum, Toarciano inferior) e consiste num conjunto de alternâncias margo-calcárias decimétricas em que a abundância da macrofauna é uma característica permanente. Nos sectores distais (Figueira da Foz–Peniche) a sedimentação é mais argilosa, enquanto nos sectores mais proximais (ex. Tomar) as margas desaparecem, dando lugar a sedimentos bioclásticos (Duarte & Soares, 2002).

### 3. Resultados e discussão

Com base em diversos critérios, e embora a variação litológica seja reduzida, é possível distinguir três grandes domínios sedimentares no sector norte da Bacia Lusitânica (Silva *et al.*, 2012). A oeste (Peniche e S. Pedro de Moel) e correspondendo ao sector mais distal, a principal característica do mb MCNB é a abundância de fácies ricas em matéria orgânica e os seus elevados valores de COT (cerca de 15-20% e atingindo o máximo de 26%), incluindo vários níveis de *black shales* (Duarte *et al.*, 2010; Silva *et*

al., 2011b). São também abundantes os macrofósseis nectônicos (amonites e belemnites) e bentônicos (braquiópodes, bivalves, equinodermes e gastrópodes). No domínio centro-leste (Rabaçal), o mb MCNB distingue-se pela ocorrência significativa de nautilóides, pela presença de pequenos montículos *mud-wacke-packstone* (associados com nautilóides na base ou com grandes Litoceratídeos no topo da secção) e restos de animais de maior porte (ictiossáurios?). Localmente são observadas fácies ricas em matéria orgânica, com valores de COT atingindo os 5% (Duarte *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2011a). O sector sudeste (Tomar) representa o paleoambiente de menor profundidade

entre os estudados. As suas principais características são a ausência das fácies ricas em matéria orgânica, o aumento da expressão dos macrofósseis bentônicos (nomeadamente dos braquiópodes e bivalves) e de fácies bioclásticas (Duarte & Soares, 2002; Silva *et al.*, 2011a, 2012).

A análise da Palinofácies e o estudo dos biomarcadores relacionados com proveniência mostram que a matéria orgânica particulada consiste numa mistura variável de componentes marinhos e continentais (Figs. 2 e 3) preservados num ambiente deposicional marinho com condições *redox* variáveis (ver Ferreira *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2012).

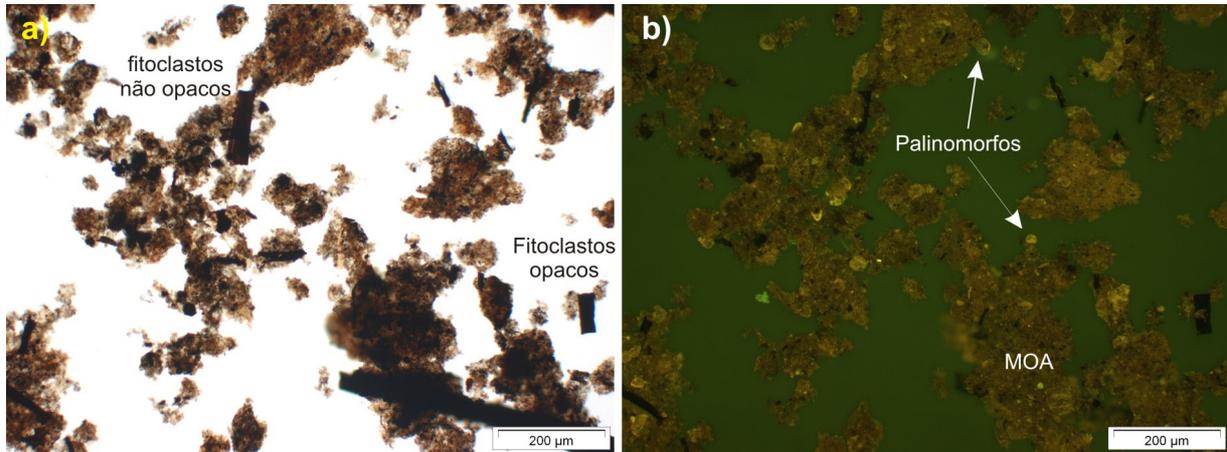


Fig.2. Exemplo de uma das Palinofácies do mb MCNB em Peniche (modificado de Duarte *et al.*, 2011).

Fig.2. Example of a Palynofacies from the MCNB member at Peniche (modified from Duarte *et al.*, 2011).

Os dados de isótopos estáveis de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ), obtidos na secção de Peniche (Silva *et al.*, 2011b) em carbonatos e querogénio, permitiram demonstrar que existe uma relação entre a acumulação e preservação de matéria orgânica observada na Bacia Lusitânica e uma perturbação global do ciclo do carbono (Fig. 4). Silva *et al.* (2011b), comparando o registo isotópico da Bacia Lusitânica com o de outras bacias sedimentares dispersas por todo o globo, sugeriram que o Pliensbaquiano foi caracterizado por diversos episódios (pelo menos de extensão regional) de deposição e preservação de matéria orgânica (*Late Pliensbachian Organic Matter Preservation Interval* em Silva *et al.*, 2011b) e que precede um importante evento de anoxia oceânica observado no Toarciano inferior (*Toarcian Oceanic Anoxic Event*) (e.g. Hesselbo *et al.*, 2007).

A caracterização biogeoquímica (determinação das quantidades de lípidos, hidratos de carbono e proteínas) dos principais intervalos de *black shales* do mb MCNB permitiu demonstrar que as quantidades de lípidos e a sua evolução ao longo dos perfis estão relacionadas com a variação da  $[\text{O}_2]$  na água do mar ou na camada superior dos sedimentos (Silva *et al.*, 2012). Lateralmente observa-se uma tendência genérica de aumento das quantidades de lípidos da secção do Rabaçal para a secção de S. Pedro de Moel, sugerindo condições mais deficitárias em  $\text{O}_2$  na última localidade (Fig. 5). As quantidades de lípidos também variam de uma forma sistemática quando

analisadas verticalmente, o que está de acordo com os dados sedimentológicos e micropaleontológicos disponíveis para estas secções (e.g. N'zaba-Makaya *et al.*, 2003) (Fig. 5). Na secção do Rabaçal não é observada a preservação seletiva de lípidos, sugerindo que aqui as  $[\text{O}_2]$  seriam mais elevadas do que nas outras posições estudadas da bacia (Fig. 5). Os dados sedimentológicos e paleontológicos também indicam que as taxas de sedimentação seriam baixas, resultando numa maior exposição da matéria orgânica ao consumo bêntico e ao oxigénio disponível (Silva *et al.*, 2012).

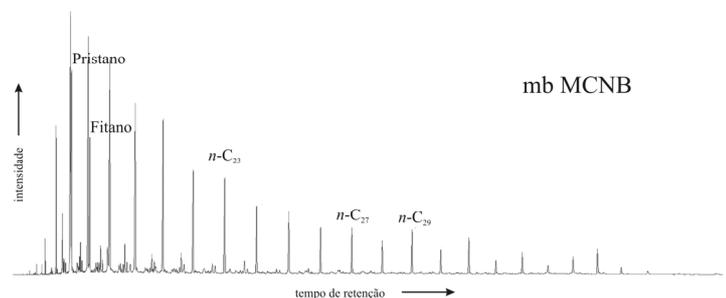


Fig.3. Cromatograma (m/z 85) de uma amostra do mb MCNB (modificado de Silva *et al.*, 2011a).

Fig.3. Chromatogram (m/z 85) of a sample from the mb MCNB (modified from Silva *et al.*, 2011a).

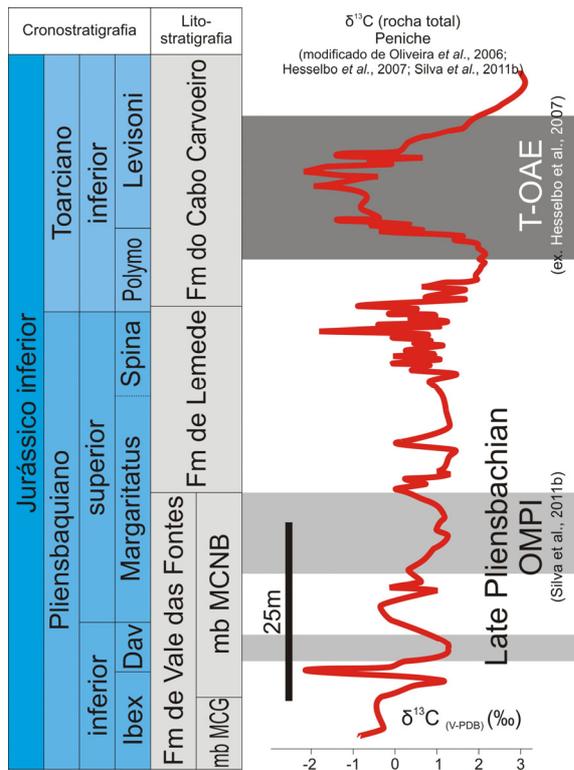


Fig.4. Variação do  $\delta^{13}\text{C}$  no perfil estratigráfico de Peniche no intervalo Pliensbaquiano-Toarciano (Oliveira *et al.*, 2006; Hesselbo *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2011b). Os intervalos cinza claro representam os períodos caracterizados pela riqueza em matéria orgânica. Dav-Davoei; Spina-Spinatum; Polymo-Polymorphum; Fm-Formação; mb. MCG-membro Margas e calcários grumosos; mb. MCNB-membro Margo-calcários com níveis betuminosos; OMPI-Organic Matter Preservation Interval; T-OAE-Early Toarcian Oceanic Anoxic Event.

Fig.4.  $\delta^{13}\text{C}$  variation in the stratigraphic section of Peniche (Oliveira *et al.*, 2006; Hesselbo *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2011b). The light grey intervals represent periods characterized by its richness in organic matter. Dav-Davoei; Polymo-Polymorphum; Fm-Formation; mb. MCG-member Margas and calcários grumosos; mb. MCNB- member Margo-calcários com níveis betuminosos; OMPI-Organic Matter Preservation Interval; T-OAE-Early Toarcian Oceanic Anoxic Event.

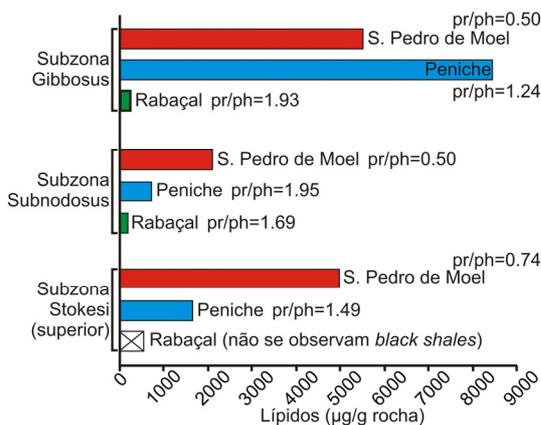


Fig.5. Variação lateral e temporal das quantidades de lípidos determinadas do Pliensbaquiano Superior do mb MCNB nas secções de S. Pedro de Moel, Peniche e Rabaçal (modificado de Silva *et al.*, 2012).

Fig.5. Lateral and temporal variation of lipid contents in the Upper Pliensbachian MCNB mb of the S. Pedro de Moel, Peniche and Rabaçal sections (modified from Silva *et al.*, 2012).

#### 4. Considerações finais

Na Bacia Lusitânica, o mb MCNB da Formação de Vale das Fontes corresponde a um dos principais intervalos estratigráficos ricos em matéria orgânica com extensão bacinal e potencialmente geradores de petróleo. A intersecção dos diversos parâmetros sedimentológicos e geoquímicos em estudo, com o recurso paralelo a quadros biostratigráficos detalhados e/ou a observações de campo de alta resolução têm permitido uma reconstituição bastante fina das condições paleoceanográficas vigentes durante a sedimentação daquelas unidades e o aperfeiçoamento dos respetivos modelos sedimentares.

#### Agradecimentos

Ricardo L. Silva agradece à FCT-MCTES pela sua bolsa de doutoramento SFRH/BD/47362/2008. Este trabalho é uma contribuição para o projecto, PTDC/CTE-GIX/098968/2008 (FCT-Portugal e COMPETE-FEDER).

#### Referências

- Azerêdo, A. C., Duarte, L. V., Henriques, M. H., Manuppella, G., 2003. Da dinâmica continental no Triásico aos mares do Jurássico Inferior e Médio. *Cadernos de Geologia de Portugal*. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 43.
- Duarte, L. V., Silva, R. L., Mendonça Filho, J. G., Poças Ribeiro, N., Chagas, R. B. A., 2012. High-resolution stratigraphy, Palynofacies and source rock potential of the Água de Madeiros Formation (Upper Sinemurian) of the Lusitanian Basin, Portugal. *Journal of Petroleum Geology*, **35**, 105-126.
- Duarte, L.V., Silva, R.L., Mendonça Filho, J.G., Poças Ribeiro, N., Ferreira, F., 2011. Case Studies (Dispersed Organic Matter). Lusitanian Basin: Geological setting, stratigraphy and organic matter record in the Lower Jurassic hemipelagic deposits of the Lusitanian Basin. In: Flores, D., Marques, M. (Eds), *ICCP Training Course on Dispersed Organic Matter*, ICPP Training Program Commission I, Porto, 107-118.
- Duarte, L. V., Silva, R. L., Oliveira, L. C. V., Comas-Rengifo, M. J., Silva, F., 2010. Organic-rich facies in the Sinemurian and Pliensbachian of the Lusitanian Basin, Portugal: Total Organic Carbon distribution and relation to transgressive-regressive facies cycles. *Geologica Acta*, **8**, 325-340.
- Duarte, L. V., Soares, A. F., 2002. Litostratigrafia das séries margo-calcárias do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica (Portugal). *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, **89**, 135-154.
- Fernández-López, S. R., Duarte, L. V., Henriques, M. H. P., 2000. Ammonites from lumpy limestones in the Lower Pliensbachian of Portugal: taphonomic analysis and paleoenvironmental implications. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, **13**, 3-15.
- Ferreira, R., Mendonça Filho, J. G., Duarte, L. V., Silva, R. L., Mendonça, J. O., 2010. Variação organofaciológica na sucessão rica em matéria orgânica do Pliensbaquiano de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal). *Actas X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa/XVI Semana de Geoquímica*, Porto. *Memórias*, **14**, 301-308.
- Hesselbo, S. P., Jenkyns, H. C., Duarte, L. V., Oliveira, L. C. V., 2007. Carbon-isotope record of the Early Jurassic (Toarcian) Oceanic Anoxic Event from fossil wood and marine carbonate (Lusitanian Basin, Portugal). *Earth and Planetary Science Letters*, **253**, 455-470.
- N'zaba-Makaya, O., Andreu, B., Brunel, F., Mouterde, R., Rey, J., Rocha, R. B. 2003. Biostratigraphie et paléocéologie des peuplements d'ostracodes dans le Domérien du Bassin Lusitanien, Portugal. *Ciências da Terra*, **15**, 21-44.

- Oliveira, L. C. V., Rodrigues, R., Duarte, L. V., Lemos, V., 2006. Avaliação do potencial gerador de petróleo e interpretação paleoambiental com base em biomarcadores e isótopos estáveis do carbono da seção Pliensbaquiano–Toarciano inferior (Jurássico inferior) da região de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal). *Boletim de Geociências da Petrobras*, **14**, 207-234.
- Silva, R. L., Duarte, L. V., Azerêdo, A. C., Mendonça Filho, J. G., 2011a. Contributos sedimentológicos e geoquímicos para a modelação dos sistemas petrolíferos portugueses: as séries jurássicas ricas em matéria orgânica da Bacia Lusitânica (Portugal). *Modelação de Sistemas Geológicos, Laboratório de Radioactividade Natural da Universidade de Coimbra, Coimbra*, 383-391.
- Silva, R. L., Duarte, L. V., Comas-Rengifo, M. J., Mendonça Filho, J. G., Azerêdo, A. C., 2011b. Update of the carbon and oxygen isotopic records of the Early–Late Pliensbachian (Early Jurassic, ~187 Ma): Insights from the organic-rich hemipelagic series of the Lusitanian Basin (Portugal). *Chemical Geology*, **283**, 177-184.
- Silva, R. L., Mendonça Filho, J. G., da Silva, F. S., Duarte, L. V., Silva, T. F., Ferreira, R., Azerêdo, A. C., 2012. Can biogeochemistry aid in the palaeoenvironmental/early diagenesis reconstruction of the ~187 Ma (Pliensbachian) organic-rich hemipelagic series of the Lusitanian Basin (Portugal)? *Bulletin of Geosciences*, **87**, 373-382.
- Wilson, R. C. L., Hiscott, R. N., Willis, M. G., Gradstein, F. M., 1989. The Lusitanian Basin of west-central Portugal: Mesozoic and Tertiary tectonic, stratigraphy, and subsidence history. *American Association Petroleum Geologists Memoir*, **46**, 341-361.