

# A utilização de electrofácies na ampliação do conhecimento da estratigrafia do Jurássico Inferior e Médio na Bacia Lusitânica

*The use of electrofacies in expanding the knowledge of the stratigraphy of the Lower and Middle Jurassic of the Lusitanian Basin*

Ana Marisa Gomes de Almeida Santos Calhã | Rui Paulo Bento Pena dos Reis | Almério Barros França

## resumo

O presente trabalho consiste na interpretação litostratigráfica, a partir do estudo de diagrfias (perfis elétricos), de quatro sondagens localizadas no sector central e setentrional da Bacia Lusitânica, que atravessam materiais de idade Jurássico Inferior e Médio.

Através da análise do perfil de raios gama, foram definidas doze electrofácies, que permitiram reconhecer, em sub-superfície, as características litológicas das diferentes unidades litostratigráficas que integram o “Grupo Brenha”. A caracterização das electrofácies, definidas a partir da análise do padrão de intensidade dos perfis de raios gama, em articulação com dados relativos aos testemunhos da sondagem, permitiu correlacioná-las com as formações de Vale das Fontes, de Lemedé, de S. Gião, de Póvoa da Lomba, de Degracias, do Cabo Carvoeiro, de Fórnea, de Barranco do Zambujal e de Chão das Pias, estabelecidas para o sector setentrional e central da Bacia, e compreender a expressão bacinal das electrofácies do Jurássico Inferior e Médio da Bacia Lusitânica.

Foram igualmente definidas, para as quatro sondagens estudadas, cinco associações de electrofácies, que permitiram reconhecer duas electro-sequências de 2ª ordem, que se correlacionam com as sequências de 2ª ordem definidas para as unidades estratigráficas que integram o “Grupo Brenha”.

As correlações realizadas – entre electrofácies e unidades estratigráficas e entre electro-sequências,

definidas a partir de associações de electrofácies, com sequências sedimentares de 2ª ordem -, permitem verificar que as sondagens em posições mais distais (NW) apresentam valores de raios gama elevados, indicadores de condições de sedimentação de domínio margoso, contrastando com as sondagens localizadas em posições mais proximais (SE), que apresentam valores de raios gama baixos, refletindo uma sedimentação com carácter mais calcário, o que confirma a existência da rampa homoclinal de pendur para NW, que caracteriza a geometria deposicional da Bacia Lusitânica durante o Jurássico Inferior e Médio.

O presente trabalho põe em evidência o valor das diagrfias na interpretação de ambientes deposicionais e na análise vertical de fácies, ao permitir a correlação entre dados de afloramento e dados de sub-superfície, recorrendo à definição de padrões de electrofácies, tal como se efetuou para as sondagens estudadas do “Grupo Brenha”. Os dados obtidos, se forem utilizados na análise de diagrfias de outras sondagens, permitirão correlacionar, de forma mais fiável e completa, as electrofácies já reconhecidas, e contribuir para alargar os estudos de sub-superfície da Bacia Lusitânica, designadamente para intervalos estratigráficos cujo conhecimento é relevante no âmbito da pesquisa de hidrocarbonetos.

**Palavras-chave:** Diagrfias | Raios Gama | Electrofácies | “Grupo Brenha” | Jurássico Inferior e Médio | Bacia Lusitânica

## abstract

The present work consists on the lithostratigraphic interpretation of four wells from Lower and Middle Jurassic sediments, located in the Central and Northern sector of the Lusitanian Basin, based on the study of its petrophysical logs.

By analysing the gamma ray log, twelve electrofacies were defined, that provided the subsurface recognition of the lithological characteristics of the different lithostratigraphic units integrating the "Brenha Group". The electrofacies characterization, defined through the intensity pattern analysis of the gamma ray, in association with the well logs, enabled the correlation of the studied wells with Vale das Fontes, Lemedo, S. Gião, Póvoa da Lomba, Degracias, Cabo Carvoeiro, Fórnea, Barranco de Zambujal and Chão-de-Pias Formations, formerly established for the Central and Northern Sector of the Lusitanian Basin, as well as the recognition of the basinal expression of the electrofacies from the Lower-Middle Jurassic in the Lusitanian Basin.

Five electrofacies associations were also defined for the studied wells that allowed the recognition of two second order electro-sequences which were correlated with the sedimentological second order sequences defined for the stratigraphic units that integrate the "Brenha Group".

Both correlations – between electrofacies and stratigraphic units, and between electro-sequences, based on a electrofacies' associations, and 2<sup>nd</sup> order sequences – stress that wells located in distal positions of the basin (NW), present high gamma ray values, indicating marly sedimentation conditions, in contrast with those wells located in proximal positions of the basin (SE) that present low gamma ray values, reflecting carbonate sedimentation, thus confirming the existence of a homocline ramp, deepening to NW, that characterizes the depositional geometry of the Lusitanian Basin during the Lower – Middle Jurassic.

The present work emphasizes the role of gamma ray logs in the interpretation of depositional environments and in vertical analysis of facies, by allowing the correlation between outcrop data and subsurface data, through the definition of electrofacies patterns, as it has been developed in the studied logs from "Brenha Group". The resulting data, if used in the future in other gamma ray log analysis will enable a more accurate correlation of the electrofacies recognized in this work, thus contributing to enlarge subsurface studies on the Lusitanian Basin, namely on stratigraphic intervals with special relevance for oil exploration.

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

**Keywords:** *Petrophysical Logs | Gamma Ray | Electrofacies | "Brenha Group" | Lower and Middle Jurassic | Lusitanian Basin*

# introdução

O presente trabalho visa ampliar o conhecimento da estratigrafia do “Grupo Brenha”, uma unidade litostratigráfica informal do Jurássico Inferior e Médio da Bacia Lusitânica. Esta unidade é de grande relevância na prospeção de hidrocarbonetos, e corresponde a uma acumulação de sedimentos margo-calcários, interpretada como depósitos do tipo *Sag* (Pena dos Reis *et al.*, 2007).

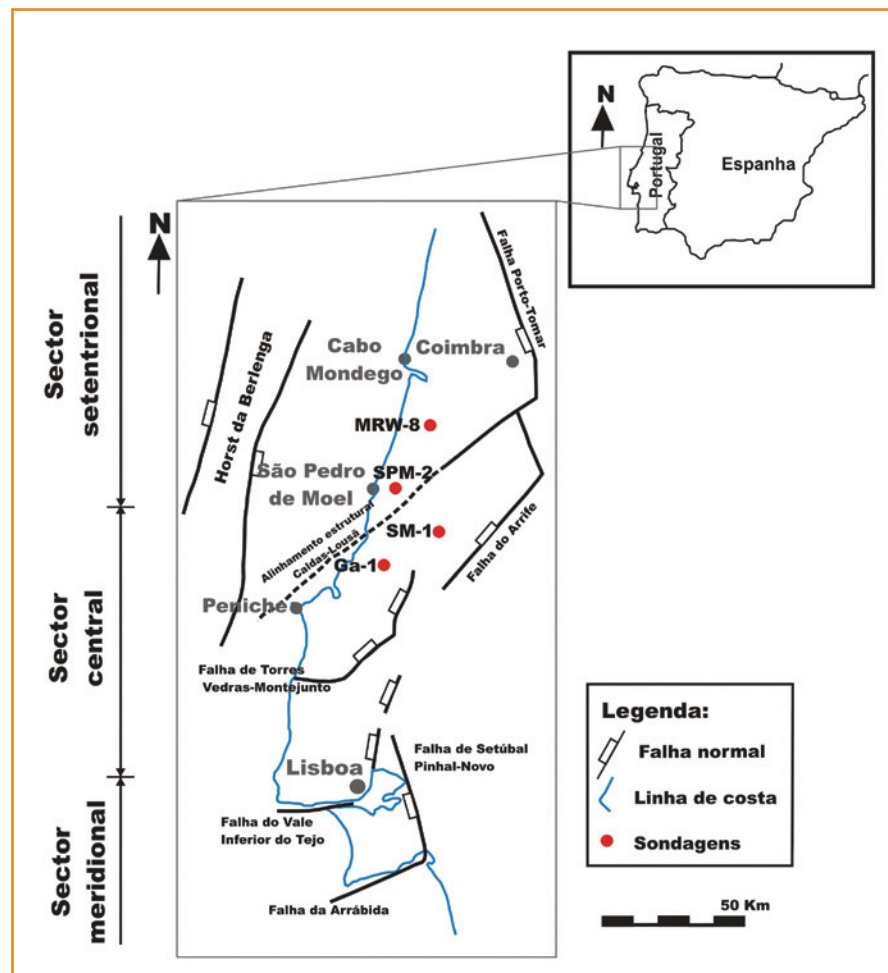
Tendo em conta as litofácies do “Grupo Brenha”, observáveis em afloramento, procurou-se reconhecê-las em sub-superfície, através da interpretação de dados provenientes de quatro sondagens, localizadas em vários pontos da Bacia Lusitânica, que atravessam as diferentes unidades litostratigráficas que integram o “Grupo Brenha”, designadamente a Formação de Vale das Fontes (Duarte & Soares, 2002), de idade pliensbaquiana, considerado o principal gerador de hidrocarbonetos da Bacia Lusitânica.

# objectivos e métodos

Na caracterização e definição destas electrofácies procedeu-se à interpretação da curva Raios Gama, registada em diagrfias, bem como à análise de testemunhos das referidas sondagens, e à correlação entre estes dados indiretos e os diretamente observáveis em afloramentos correlativos (correlação rocha-perfil).

Foram estudadas quatro sondagens *onshore* localizadas na Bacia Lusitânica, abrangendo uma espessura total de cerca de 1815 metros. As sondagens selecionadas para a realização deste trabalho foram (figura 1):

- São Pedro de Moel – 2 (SPM-2): localizada a cerca de 3,5km Oeste da Marinha Grande, e tem as coordenadas UTM Datum WGS84 (X=502483,88m E; Y=4400980,24m N);
- Monte Real Oeste – 8 (MRW-8): localizada a cerca de 6,5km a NNW de Monte Real, com as coordenadas UTM Datum WGS84 (X=508802,01m E; Y=4417081,11m N);
- São Mamede – 1 (SM-1): localizada a cerca de 6km WSW de Fátima, e tem as coordenadas



UTM Datum WGS84 (X=523562,25m E; Y=4382895,80m N);

- Gaiteiros – 1 (Ga-1): localizada a cerca de 8,9km SSW de Alcobaça, e tem as coordenadas UTM Datum WGS84 (X=499908,49m E; Y=4369093,84m N). Geograficamente, as sondagens selecionadas localizam-se, para um mesmo intervalo estratigráfico, ao longo da Bacia Lusitânica, de modo a abrangerem vários dos seus sectores e, conseqüentemente, representando diferentes posições paleoambientais.

O sector setentrional da bacia, localizado a norte do alinhamento estrutural Lousã-Caldas, está representado por duas sondagens. A sondagem MRW-8, localizada mais a norte e em posição mais proximal, e a sondagem SPM-2, localizada mais a SW deste sector, ocupando uma posição mais distal na bacia. No sector central, situado entre o alinhamento estrutural Lousã-Caldas e o Estuário

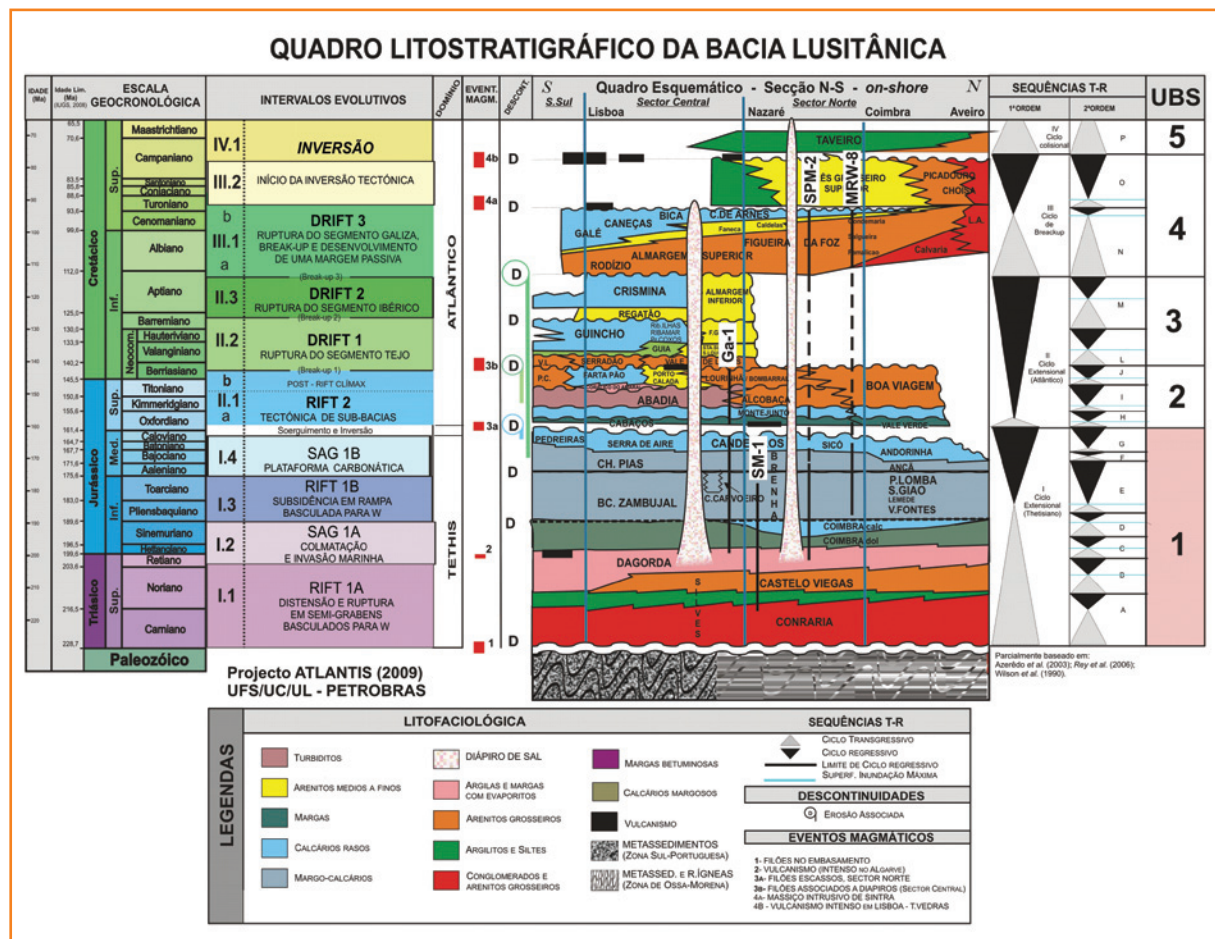
**Figura 1**  
Localização dos limites da Bacia Lusitânica e falhas controladoras da sua evolução durante o Jurássico. Divisão dos sectores, 1) segundo Soares & Rocha (1984) e 2) segundo Ribeiro *et al.*, (Adaptado de Kullberg, 2000), e localização geográfica das sondagens estudadas (Modificado de Kullberg, 2000).

**Figure 1**  
Location of the limits and faults of the Lusitanian Basin controlling its evolution during the Jurassic. Division of sectors, 1) according Smith & Richardson (1984) and 2) according to Ribeiro *et al.*, (Adapted from Kullberg, 2000), and geographic location of the studied wells (Modified from Kullberg, 2000).

Figura 2

Quadro estratigráfico geral do enchimento mesozóico da Bacia Lusitânica segundo o eixo longitudinal (NE-SW), com indicação das principais descontinuidades, etapas, características tectónicas e sedimentação. Identificam-se ainda as sequências limitadas por discordâncias (UBS) definidas em Wilson, 1988; Pena dos Reis *et al.*, 1992. Localização estratigráfica das sondagens estudadas (Adaptado de Pena dos Reis, R. & Pimentel, N., 2010).

Figure 2  
General stratigraphic framework of the Mesozoic Lusitanian Basin filling in the longitudinal axis (NE-SW) with indication of major discontinuities, steps, characteristics and tectonic sedimentation. Identification of the sequences limited by unconformities (UBS) defined in Wilson, 1988; Pena dos Reis *et al.*, 1992. Stratigraphic location of the studied wells (Adapted from Pena dos Reis, R. & Pimentel, N., 2010).



do Tejo, podemos encontrar as restantes duas sondagens estudadas, as sondagens SM-1 e Ga-1, localizadas mais a norte deste sector, em posições mais proximais na bacia.

Estratigraficamente, as sondagens selecionadas representam o “Grupo Brenha” da Bacia Lusitânica. Estas sondagens atravessam vários intervalos estratigráficos, incluídos no Jurássico Inferior e Médio, nomeadamente as diferentes unidades litostratigráficas incluídas neste grupo de fácies carbonatadas (figura 2).

Pretende-se, com o presente estudo, obter padrões de electrofácies, para o Jurássico Inferior e Médio da Bacia Lusitânica, que permitam identificar, em sub-superfície, as características litológicas que caracterizam as unidades litostratigráficas definidas em afloramento e as sequências de 2ª ordem. Esta ferramenta, que é regularmente aplicada na pesquisa e prospeção de hidrocarbonetos, é fundamental na interpretação dos sistemas deposicionais que caracterizam a Bacia Lusitânica, bem como no estabelecimento de correlações entre sondagens e sequências deposicionais nela definidas (Calhã *et al.*, 2008).

## enquadramento geológico

### bacia lusitânica: etapas e evolução do Mesozóico

A Bacia Lusitânica é uma bacia sedimentar que se desenvolveu na margem ocidental da placa Ibérica, durante o Mesozóico. Integra o grupo de bacias marginais atlânticas criadas durante a fase rifte do final do Triásico – início do Jurássico Inferior (Ribeiro *et al.*, 1979; Kullberg *et al.*, 2006), formadas durante os primeiros episódios de fragmentação da Pangeia, que conduziram à abertura do Atlântico Norte (Kullberg, 2000). Caracteriza-se por ser uma bacia distensiva, pertencente a uma margem continental não vulcânica do tipo atlântico (Azerêdo *et al.*, 2003; Pena dos Reis *et al.*, 2008).

Esta bacia ocupa cerca de 20.000km<sup>2</sup>, na parte central da margem ocidental ibérica, tendo-se desenvolvido segundo uma direcção NNW-SSE, com uma extensão *onshore* de aproximadamente 320km de

comprimento e 180km de largura. A sua espessura sedimentar máxima é cerca de 6km, e é constituída essencialmente por sedimentos de idade jurássica, abrangendo contudo o intervalo Triásico Superior – Cretácico Superior (Azerêdo *et al.*, 2003; Pena dos Reis *et al.*, 2008; Ribeiro *et al.*, 1979; Wilson, 1988). Encontra-se limitada a E pelo Maciço Hespérico e a W pelo *horst* da Berlenga (Ribeiro *et al.*, 1979; Wilson, 1988). Estes limites são materializados por um sistema complexo, composto pelas falhas de Porto-Tomar (NNW-SSE), Arriفة-Vale Inferior do Tejo (NE-SW), Setúbal-Pinhal Novo (NNW-SSE), e por uma falha sub-meridional que se situa entre a Berlenga e a península de Peniche. O limite meridional localiza-se na elevação de soco (embasamento) a sul da Arrábida (Falha da Arrábida), e o setentrional corresponde a uma transição *en échelon* para a Bacia do Porto (Soares e Rocha, 1984; Ribeiro *et al.*, 1996; Kullberg, 2000), tal como se pode observar na figura 1.

Durante a evolução Mesozóica da bacia distinguem-se cinco grandes etapas de enchimento (figura 2), que estão representadas pelas seguintes sequências limitadas por discordâncias: UBS1) Triásico Superior – Caloviano, UBS2) Oxfordiano – Berriasiano, UBS3) Valangiano – Aptiano Inferior, UBS4) Aptiano Superior – Campaniano Inferior e UBS5) Campaniano Superior – Maastrichtiano (Wilson, 1988; Pena dos Reis *et al.*, 1992, Pena dos Reis *et al.*, 2008). Estas etapas serão descritas sucintamente de seguida, sendo a primeira fase de rifte descrita com maior detalhe, para melhor enquadramento do presente trabalho.

A primeira fase de rifteamento, registada pela UBS1 (Pena dos Reis *et al.*, 1992), associada à fracturação da Pangeia no Hemisfério Norte, por um estiramento crustal e à formação do Atlântico, iniciou-se no Triásico Superior (Carniano), aproveitando fracturas e falhas antigas do final da Orogenia Varisca (Azerêdo *et al.*, 2003; Pena dos Reis *et al.*, 2008). Esta fase originou o preenchimento da bacia por sedimentos aluvio-fluviais (conglomerados, arenitos e pelitos vermelhos), com espessura muito variável em toda a bacia. Estes depósitos terrígenos passam lateralmente e superiormente a sedimentos pelítico-carbonatados e evaporíticos, que abrangem já a base do Jurássico Inferior (Palain, 1976; Azerêdo *et al.*, 2003). A sua sedimentação foi condicionada por um sistema de *grabens* e *semi-grabens* criados pelo movimento de blocos ao longo das falhas lístricas. A acumulação de espessos depósitos argilosos com gesso e halite, no teto traduz as condições lagunares em ambiente

pouco profundo, de tipo *sabkha*, durante o final do Hetangiano. Sobre estes materiais acumulam-se calcários dolomíticos com intercalações margosas, num ambiente marinho litoral de baixa profundidade, de idade Sinemuriana. Estas fácies estão associadas ao início da etapa pós-rifte (Azerêdo *et al.*, 2003). A pouco e pouco, a plataforma com subsidência regular, abre-se às influências marinhas, embora o ambiente de sedimentação, durante o Jurássico Inferior, permaneça submetido a influências continentais mais ou menos importantes (Ribeiro *et al.*, 1979).

Durante o Jurássico Inferior e Médio predominou um contexto de desaceleração da subsidência tectónica e instalação de um quadro geral com carácter distensivo em alguns episódios, predominando uma geometria de *sag* (Pena dos Reis *et al.*, 2008).

Durante o Jurássico Médio, a sedimentação teve lugar numa plataforma carbonatada, correspondente à rampa externa de águas relativamente profundas. Esta plataforma inclinava suavemente de E/SE para W/NW, e é caracterizada por fácies de meio marinho externo na generalidade da bacia, mas com um progressivo decréscimo do espaço de acomodação, onde predominam fácies de pequena/média profundidade a E/SE e fácies hemipelágicas com formação de turbiditos carbonatados a W/NW (Azerêdo, 1993; Azerêdo *et al.*, 2003; Duarte, 1995, 1997; Mousterde *et al.*, 1979). Estas fácies estavam organizadas em sedimentos margino-litorais, de planície de maré, de laguna marinha e de barreira oolítica-bioclástica (sugerindo um ambiente sedimentar de ilhas-barreira / laguna). Para além destas, também existem fácies de meio marinho aberto (rampa externa), mas só adquirem expansão regional no início do Jurássico Médio (Aaleniano – Bajociano Inferior), ocorrendo esporadicamente na restante série sedimentar deste período (Azerêdo *et al.*, 2003). Esta fase teve variadas influências nas faunas, uma com assinatura boreal, provavelmente veiculada através do norte da península, e outra proveniente de Sul, através da fossa mais ocidental do oceano Tétis, com características associadas a condições de temperaturas do mar mais elevadas.

Esta etapa (*Sag* 1B) de enchimento é limitada superiormente por uma importante descontinuidade, associada a uma lacuna estratigráfica desde Caloviano Superior até ao Oxfordiano Inferior associado a uma significativa descida do nível do mar, em resultado da elevação térmica que antecede a segunda fase de rifteamento e que expõe a plataforma (Azerêdo *et al.*, 2003; Pena dos Reis *et al.*,

1992; Pena dos Reis, 2003). A fase de *sag*, que engloba o Jurássico Inferior e Médio, é o objeto de estudo do presente trabalho.

Uma nova fase de rifteamento (Rifte 2), registada pela **UBS2** (Wilson *et al.*, 1989), é limitada na base por uma importante descontinuidade de âmbito bacinal (Soares *et al.*, 1993). Ao longo do Jurássico Superior, os sedimentos depositados foram influenciados por subsidência controlada por falhas e pela halocinese, resultando numa sedimentação mista carbonatada-siliciclástica (Rasmussen *et al.*, 1998). Inicialmente, a sedimentação é essencialmente de carbonatos lacustres e marinhos rasos, com uma geometria geral retrogradante. No final do Oxfordiano e início do Kimmeridgiano, produziram-se as condições de máxima subsidência, atingindo assim o clímax desta fase de rifte (Pena dos Reis *et al.*, 2008). A bacia aprofunda-se rapidamente e diferencia-se em várias sub-bacias, com uma subsidência tectónica elevada a sul e ligeiramente mais moderada a norte. A bacia foi então invadida por sedimentos terrígenos prográdantes do Jurássico Superior, onde se registam várias sequências maiores com episódios transgressivos. Estas condições prolongam-se até ao Berriasiano.

A base da UBS3 é marcada por uma descontinuidade Berriasiano superior associada a uma acentuada descida do nível do mar (Pena dos Reis *et al.*, 2008; Wilson, 1979) e interpretada como correspondendo ao primeiro episódio de *break up* (*break-up* 1). O registo da UBS3 observável apenas a Sul da Nazaré é caracterizado por sedimentos siliciclásticos, a Norte, passando a carbonatos marinhos a Sul (Pena dos Reis, 2003).

A descontinuidade Barremiana e a descontinuidade do Aptiano superior, sobrepostas por depósitos terrígenos prográdantes, registam respectivamente o segundo e terceiro *break up* (*break-up* 1 e 2) na Bacia Lusitânica, marcando a última, a instalação completa do contexto de margem passiva em toda a bacia.

Sobre a descontinuidade do Aptiano superior, atrás referida, depositaram-se sedimentos fluviais, que iniciam o registo da UBS4. No final do Cenomaniano, ocorre uma importante transgressão, originando a maior extensão marinha ocorrida na Bacia Lusitânica, durante os tempos cretácicos (Tonicher, 1998). A partir do Cenomaniano, os ambientes continentais vão ocupando áreas progressivamente maiores. O final desta etapa é registada por um silcreto bacinal (Dinis *et al.*, 2008; Rey *et al.*, 2006), marcando um grande intervalo de não sedimentação.

No início da sequência UBS5 dá-se a intrusão dos complexos sub-vulcânicos de Sintra, Sines e Monchique

e a extrusão dos basaltos da região de Lisboa. Esta sequência é marcada também pelo intenso diapirismo de sal e abatimento da região a NW do alinhamento estrutural Lousã-Caldas. Estes foram os primeiros indícios significativos da inversão tectónica da bacia (Pena dos Reis, 2003; Pena dos Reis *et al.*, 2008). O registo sedimentar da bacia é caracterizado por quartzarenitos e lutitos, depositados numa planície aluvial com uma rede de canais meandriformes com drenagem para NW, passando progressivamente a ambientes lagunares e marinhos.

No Terciário a inversão tectónica continua em episódios preponderantes no Eocénico superior e no Miocénico Superior de que resultam duas bacias terciárias: a bacia do Mondego a norte, e a Bacia do Tejo a sul.

## electrofácies do “Grupo Brenha”

### caracterização de electrofácies

O conceito de electrofácies foi introduzido por Serra (1972) e desenvolvido por Serra & Abbott (1980), tendo estes autores definido electrofácies como “um conjunto de respostas dos perfis geofísicos que caracterizam um estrato e permitem que este possa ser distinguido dos outros” (Vera Torres, 1994). As electrofácies permitem inferir uma configuração geológica em sub-superfície, através da análise de uma série de perfis geofísicos, particularmente na ausência de testemunho (Rider, 2000).

Os estudos relacionados com a caracterização de electrofácies através de perfis geofísicos de sondagem e de dados geológicos diretos (testemunho e amostras de calha) têm sido amplamente discutidos devido à sua importância e grande aplicabilidade nas rotinas que envolvem a modelagem geológica de reservatórios petrolíferos (*op. cit.*), que normalmente inclui a utilização de aplicativos que permitem a operação com dados de perfis geofísicos de poços.

A partir de diversos dados de sondagem realizadas na Bacia Lusitânica, procurou-se, através do estudo pormenorizado do perfil de Raios Gama (GR), identificar e caracterizar as respectivas electrofácies, com base nos padrões da curva elétrica, para o intervalo estratigráfico Jurássico Inferior e Médio, de modo a caracterizar as electrofácies do “Grupo Brenha”.

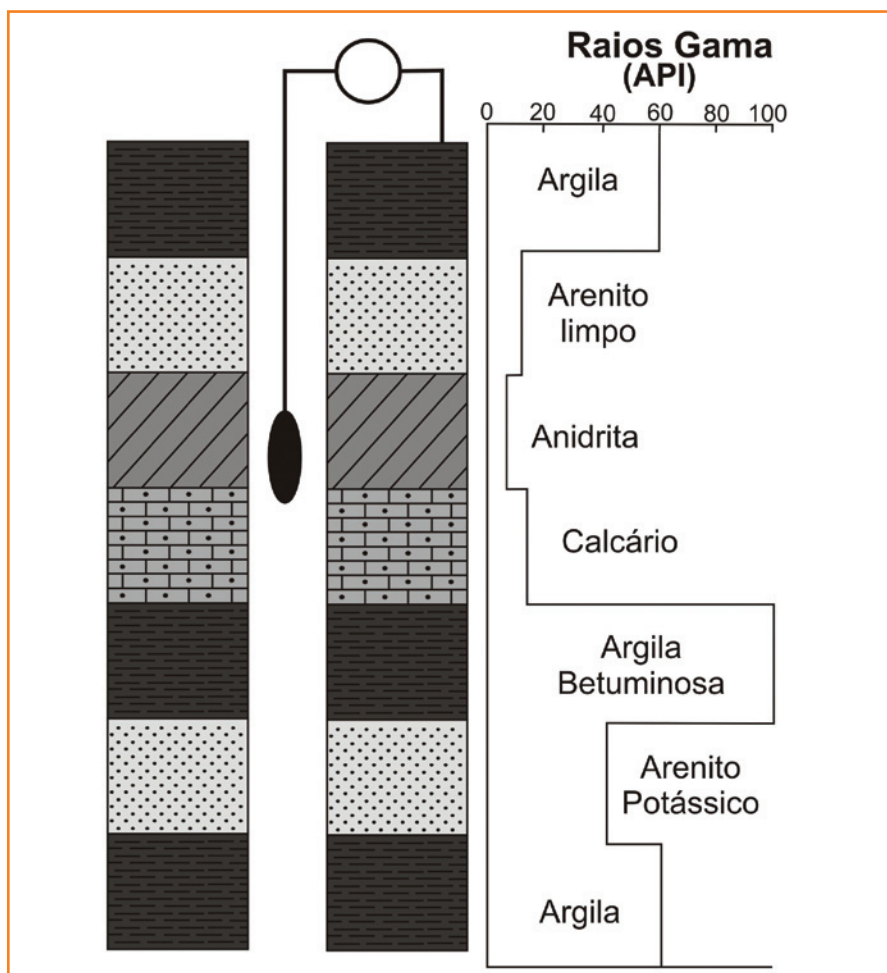
Para este trabalho, o perfil elétrico utilizado é apenas o de raios gama, pois é o que apresenta melhor potencial na identificação de litologias e, conseqüentemente, na interpretação das electrofácies. Entende-se que os valores mais baixos de raios gama têm uma maior tendência a corresponderem às rochas mais arenosas, enquanto os valores mais altos tendem a ser associados a rochas de granulometria mais fina (Nichols, 2001), (figura 3).

É importante ressaltar que o perfil raios gama utiliza uma escala própria, geralmente em API (*American Petroleum Institute*) ou em Ra eq/ton (microgramas de rádio equivalente por tonelada de rocha). Neste trabalho, serão utilizadas as duas unidades, uma vez que as sondagens analisadas são bastante antigas, e não se encontram todas com as mesmas unidades, tendo sido necessário normalizar os valores da curva GR.

A partir da interpretação de electrofácies, calibradas com os respectivos testemunhos, é possível ampliar as interpretações obtidas, para sondagens não testemunhadas, de modo a obter-se um estudo pormenorizado da estratigrafia de seqüências de uma bacia sedimentar, baseando-se apenas no estudo de diagrfias (Selley, 1978).

A principal técnica utilizada na interpretação e análise de ambientes deposicionais é a aplicação da curva raios gama para captar as suas tendências (figura 4). Um aumento da amplitude da curva GR para o topo de uma seqüência sedimentar, sugere que a formação é tendencialmente mais rica em argilas para o topo, e esta tendência pode ser interpretada como uma diminuição de granulometria para o topo, situação típica de enchimento de canal, de ambientes fluviais de maré e de leques submarinos. O aumento de granulometria para o topo da seqüência sedimentar, que é registado como um decréscimo da amplitude da curva GR, pode ser visto nas séries prográdantes das linhas costeiras clásticas, nas sucessões carbonatadas progressivamente menos profundas e nos lóbulos de leques submarinos. Uma das limitações desta ferramenta na interpretação de facies é evidente nestes exemplos de tendências. É provável que não seja possível distinguir entre, por exemplo, um ambiente de leque submarino e um ambiente de linha costeira, apenas com base nas diagrfias. A análise de fácies é, portanto, mais bem sucedida quando estas tendências identificadas nas diagrfias podem ser comparadas com informações de testemunhos (Nichols, 2001).

Através da análise de quatro perfis de raios gama relativos a quatro sondagens (SPM-2, MRW-8, SM-1



**Figura 3**  
Esquema representativo da medida do perfil raio gama, em diferentes tipos litológicos (Modificado de Nichols, 2001).

**Figure 3**  
Representative scheme of gamma ray log, in different lithological types (Modified from Nichols, 2001).

e Ga-1) efetuadas na Bacia Lusitânica, foi possível distinguir treze electrofácies. Porém, dessas treze electrofácies, uma foi descartada, por ser pouco representativa e ter sido considerada como possível erro de análise ou problema durante a perfilagem.

As doze electrofácies reconhecidas foram definidas com base nas suas propriedades físicas. Para esta interpretação, foram realizadas comparações entre os valores de cada uma das doze electrofácies definidas, e que se apresentam na tabela I.

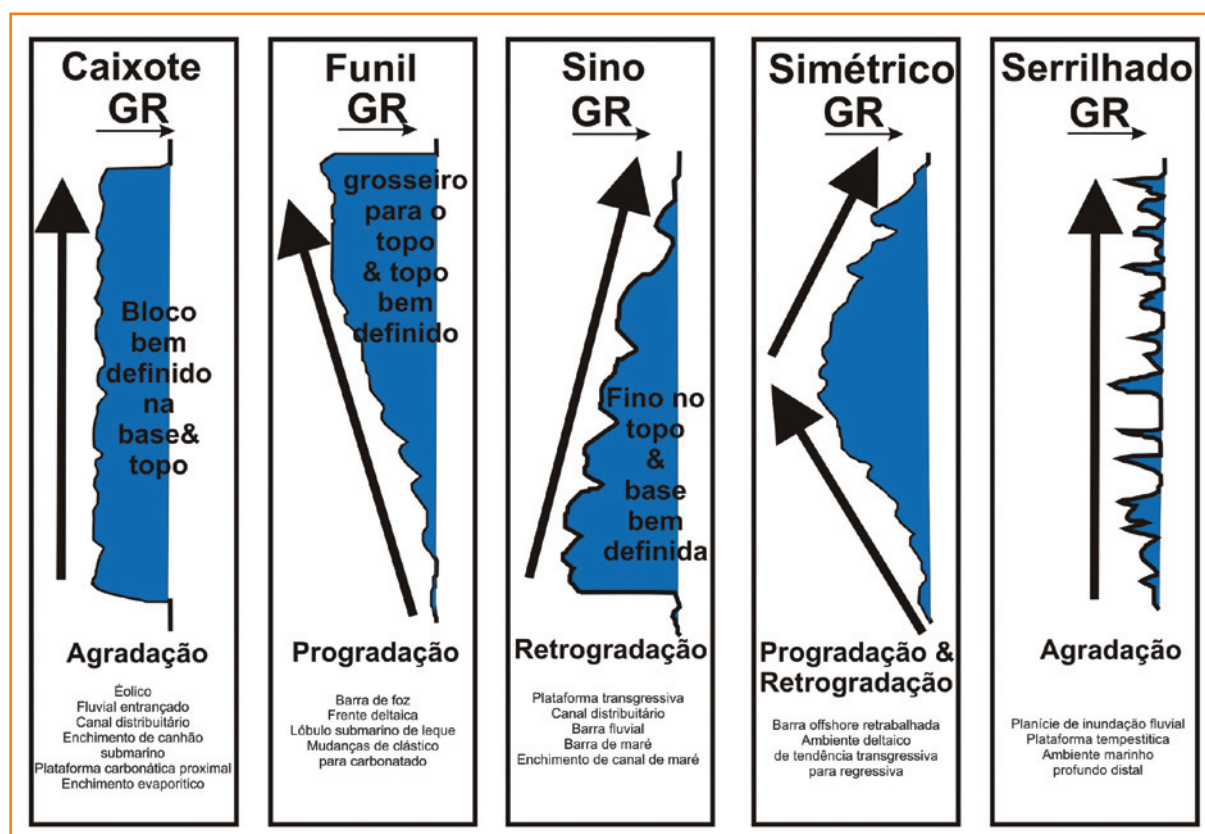
## interpretação das electrofácies definidas

Da análise do perfil raios gama das quatro sondagens estudadas, foram reconhecidas e interpretadas as seguintes doze electrofácies:

- 1. Electrofácies MAM:** os valores de radioatividade natural obtidos apresentam leituras elevadas e variações de GR de grande amplitude. São os valores mais elevados de GR

**Figura 4**  
Resposta geral dos raios gama a variações na granulometria (Adaptado de Kendall, 2005).

**Figure 4**  
Overall display of gamma ray logs to variation of grain size (Adapted from Kendall, 2005).




registados neste estudo, atingindo espessuras entre 5 a 15 metros e, por norma, aparecem pontualmente e isoladas. Podemos observar esta electrofacies nas sondagens MRW-8 e SM-1, onde fornece dados preciosos para o estabelecimento de limites entre formações e membros. Litologicamente, corresponde a camadas bastante argilosas, com finas intercalações de margas escuras.

**2. Electrofacies MMA:** os valores de radioatividade natural obtidos apresentam variações de GR de grande amplitude. Esta electrofacies é reconhecida em duas sondagens estudadas, estando estas localizadas mais a norte da bacia e numa posição mais distal. Reconhece-se na sondagem SPM-2, onde apresenta uma espessura entre os 5 e os 25 metros, e na sondagem MRW-8, onde chega a atingir 65 metros. Frequentemente, apresenta intercalações com as electrofacies MCM, CMM e MC. Correlaciona-se, em termos litológicos, com camadas de grande influência marinha, de composição maioritariamente margosa, sendo esta a principal característica que a distingue da electrofacies MAM.

**3. Electrofacies MCM:** nos valores de radioatividade natural obtidos regista-se a predominância de valores que definem um padrão de pequenas e constantes variações verticais, características de alternâncias entre margas e níveis finos de calcários margosos. Geralmente, esta electrofacies encontra-se associada em dois conjuntos distintos, por vezes apresenta intercalações com as electrofacies MMA e MAM, mas geralmente encontram-se intercaladas com as electrofacies MC e CMM, atingindo espessuras entre 5 e 20 metros. Esta electrofacies pode ser reconhecida nas sondagens SPM-2, MRW-8 e Ga-1, sendo mais representativa nas sondagens SPM-2 e MRW-8. Mais uma vez, estas estão localizadas mais a norte da bacia e em posições mais distais, caracterizando um ambiente marinho.

**4. Electrofacies MC:** caracterizada por valores de radioatividade natural média, que definem um padrão de pequenas variações, verticalmente bruscas, características de alternâncias regulares e bastante rítmicas, entre margas e calcários margosos. Mais uma vez, esta electrofacies é reconhecida nas sondagens



Electrofácies	Código	Definição	Valores de GR		Associações de Electrofacies
	MAM	Marga Argilosa com Marga cinzenta	7 a 15 Ra eq/ton	GR - elevado	
	MMA	Marga cinzenta com Marga Argilosa	5 a 9 Ra eq/ton	GR - elevado	
	MCM	Margas cinzentas com Calcário Margoso	4,5 a 7 Ra eq/ton	GR - médio/elevado	
	MC	Marga cinzenta com Calcário margoso	4 a 6 Ra eq/ton	GR - médio	
	CMM	Calcário Margoso com Margas cinzentas	4 a 5,5 Ra eq/ton	GR - médio	
	CCM	Calcário cinzento com Calcário Margoso	1,5 a 4 Ra eq/ton	GR - médio/baixo	
	CM	Calcário cinzento com Marga cinzenta	1,5 a 4 Ra eq/ton	GR - médio/baixo	
	CMC	Calcário Margoso com Calcário cinzento	1,5 a 4 Ra eq/ton	GR - médio/baixo	
	CMCD	Calcário Margoso com Calcário Dolomítico	2 a 4 Ra eq/ton	GR - médio/baixo	
	CDCM	Calcário Dolomítico com Calcário Margoso	2 a 4 Ra eq/ton	GR - médio/baixo	
	CCD	Calcário Cinzento com Calcário Dolomítico	1 a 3 Ra eq/ton	GR - baixo	
	CDC	Calcário Dolomítico com Calcário Cinzento	1 a 3 Ra eq/ton	GR - baixo	

mais distais da Bacia Lusitânica (SPM-2 e MRW-8), e é característica de ambientes marinhos, de rampa distal. A sua espessura é bastante constante, variando entre os 10 e os 15 metros.

**5. Electrofacies CMM:** os valores de radioatividade natural obtidos apresentam variações de GR de pequena amplitude, de carácter homogéneo, característicos de litologias maioritariamente calco-margosas, alternados com finos níveis de margas. A sua espessura é bastante variável, pois chega a atingir 50 metros, mas geralmente com valores de 5 a 20 metros. Esta electrofacies está bem

representada na bacia, e é reconhecível em todas as sondagens estudadas.

**6. Electrofacies CM:** os valores de radioatividade natural obtidos apresentam leituras baixas de GR, com variação vertical bastante brusca e de grande amplitude. Esta electrofacies é pouco representativa, pois raramente é reconhecida e apenas se regista nas sondagens SPM-2 e SM-1, atingindo uma espessura máxima de 5 metros. Litologicamente, representa alternância de calcário cinzento com margas.

**7. Electrofacies CCM:** esta electrofacies está bem representada na bacia, sendo

#### Tabela I

As electrofacies e associações de electrofacies definidas para o "Grupo Brenha".

#### Table I

The electrofacies and electrofacies associations defined for the "Brenha Group".

reconhecida em todas as sondagens estudadas, com espessuras variáveis. Nas sondagens SPM-2, MRW-8 e Ga-1, a sua espessura varia entre os 5 e os 10 metros. Apenas na sondagem SM-1 chega a atingir os 100 metros de espessura. Correlaciona-se, em termos litológicos, com alternância de calcários puros com calcários mais margosos, apesar da sua natureza ser essencialmente calcária.

**8. Electrofacies CMC:** os valores de radioatividade natural obtidos apresentam leituras médias a baixas de GR, com variações bruscas de grande amplitude. Esta electrofacies é reconhecida na sondagem Ga-1, onde tem uma espessura média de 10 metros, e na sondagem MRW-8, onde atinge uma espessura máxima de 40 metros. Litologicamente, representa uma alternância de calcários margosos com pequenos níveis de calcário cinzento, com domínio da componente calcária.

**9. Electrofacies CMCD:** nos valores de radioatividade obtidos regista-se a predominância de valores baixos de radioatividade natural, que definem um padrão de pequenas e rápidas variações, características de alternâncias de calcário margoso e calcário dolomítico, com domínio da componente de calcário mais margoso. Esta electrofacies aparece frequentemente, com grande variabilidade de espessuras que, nas sondagens MRW-8 e SPM-2, oscilam entre 5 a 40 metros.

**10. Electrofacies CDCM:** os valores de radioatividade natural obtidos apresentam leituras baixas de GR. Atinge espessuras bastante variadas, entre 5 e 40 metros nas sondagens MRW-8 e Ga-1. Correlaciona-se, em termos litológicos, com intercalações de calcário dolomítico com calcário margoso, dominando a componente mais dolomítica, e sendo esta a principal característica que diferencia as electrofacies CDCM e CMCD.

**11. Electrofacies CCD:** os valores de radioatividade natural obtidos apresentam leituras muito baixas de GR, que definem um padrão de pequenas variações verticais bastante constante. Atinge espessuras que vão

desde os 10 aos 270 metros. É reconhecível em todas as sondagens estudadas, apesar de ser mais representativa nos poços SM-1 e Ga-1, que ocupam posições mais proximais na bacia. Litologicamente, correspondem a alternâncias entre calcário cinzento e calcário dolomítico, sendo o calcário cinzento o mais dominante.

**12. Electrofacies CDC:** os valores de radioatividade natural obtidos um padrão de pequenas variações verticais. Atinge normalmente espessuras de 10 a 20 metros, com o máximo de 50 metros na sondagem SM-1. Esta electrofacies apenas foi identificada nas sondagens: SM-1 e Ga-1, sondagens que ocupam posições mais proximais na bacia. Litologicamente, corresponde a intercalações de calcário dolomítico com calcário cinzento, sendo o calcário dolomítico o mais dominante.

## a sucessão estratigráfica das electrofacies e a sua expressão bacinal

### introdução

Concluídas as interpretações electrofaciológicas, realizou-se um estudo das variações verticais entre as diferentes unidades litostratigráficas identificadas, a partir do qual se analisou as suas variações laterais, através da correlação das electrofacies definidas, para as sondagens estudadas. Pretende-se, deste modo, compreender a organização estratigráfica das unidades litostratigráficas do “Grupo Brenha” em sub-superfície, a uma escala bacinal.

### descrição e interpretação das sondagens

No presente sub-capítulo, descreve-se as interpretações das quatro sondagens estudadas no intervalo Jurássico Inferior e Médio da Bacia Lusitânica. Estas interpretações são ilustradas através de uma correlação entre os perfis de raios gama e os perfis estratigráficos

que representam as unidades litológicas que integram o “Grupo Brenha”.

### São Pedro de Moel (SPM-2)

A partir dos dados da sondagem SPM-2, procurou-se, através do estudo pormenorizado do perfil de raios gama, identificar as respectivas unidades atravessadas, para um intervalo estratigráfico em torno da passagem do Pliensbaquiano-Toarcião (Jurássico Inferior), num total de 205 metros de espessura (figura 5).

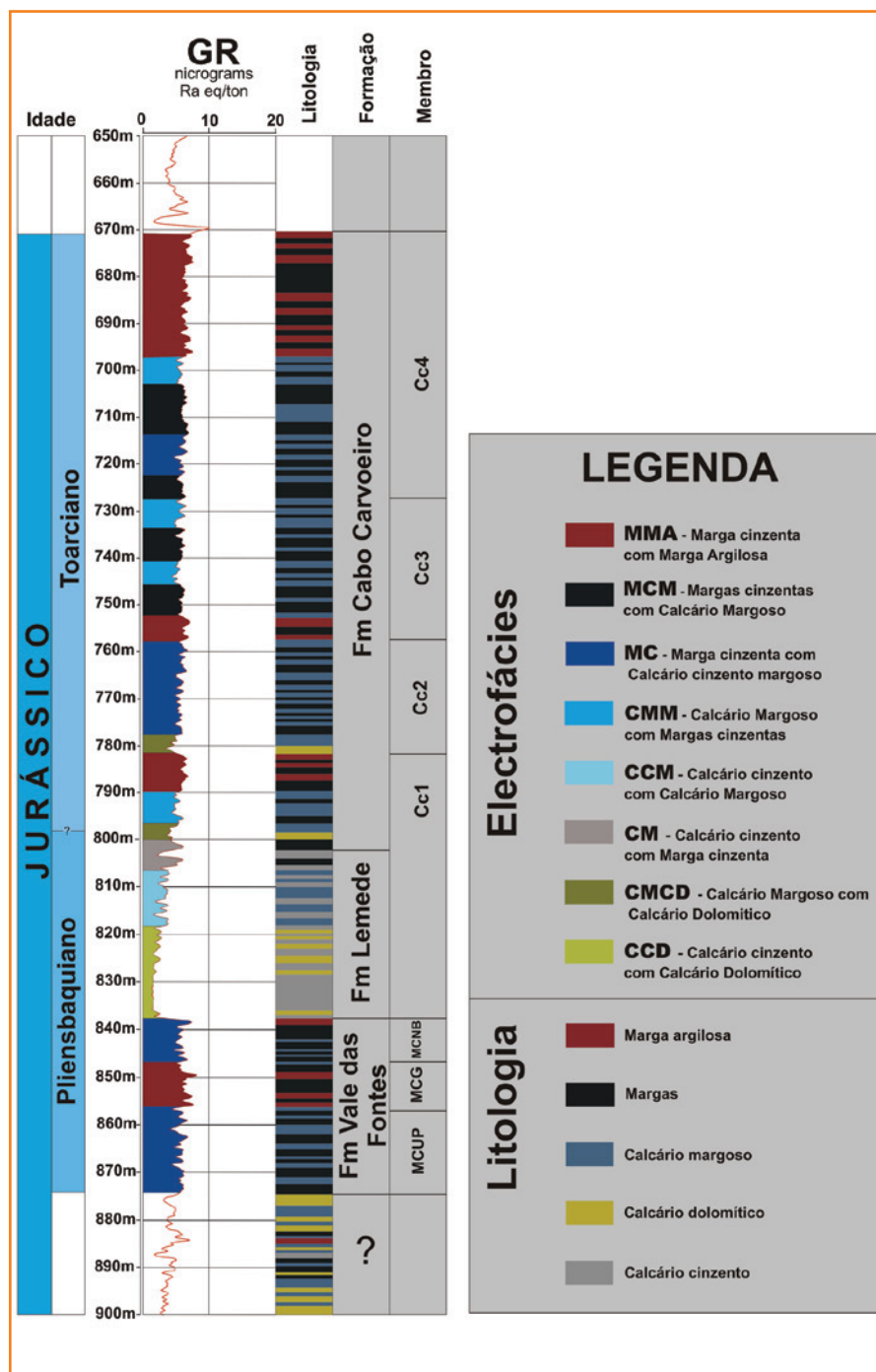
Da análise do perfil de raios gama, foi possível reconhecer as seguintes unidades estratigráficas, através das electrofácies previamente caracterizadas.

#### 1. Formação de Vale das Fontes:

Entre os níveis 874,5m e 838m da diagrafia, num total de 36,5m de espessura, regista-se uma alternância entre as electrofácies MC e MMA, com valores de radioactividade média a elevada, características de alternância entre margas/margas argilosas e calcários margosos. Nestes níveis reconhece-se a Formação Vale das Fontes, unidade representada por uma espessura de 90m (Veiga Oliveira, 2007), de margas e calcários margosos, com predominância de margas (Carixiano inferior, desde a Biozona *Jamesoni* até ao Domeriano inferior, base da Biozona *Margaritatus*). As suas características litológicas mantêm-se lateralmente, mas verticalmente esta formação diferencia-se em três membros (Duarte & Soares, 2002). No presente trabalho, através da interpretação da curva de raios gamas, foram reconhecidos os três membros incluídos na Formação de Vale das Fontes.

Entre os níveis 874,5m e 856m (18,5m de espessura), reconhece-se a electrofácies MC, que é caracterizada por apresentar valores médios de radioactividade natural (entre 4 a 6 Ra eq/ton), típicas de alternâncias regulares e bastante rítmicas entre margas e calcários margosos. Esta tendência é correlativa da parte inferior desta formação - (MCUP) Membro margas e calcários com uptonia e pentacrinus (Biozona *Jamesoni*) - constituída por alternâncias de margas e calcários margosos, numa sucessão bastante rítmica, apresentando uma espessura de cerca de 26m em Peniche e 33m em São Pedro de Moel (*op. cit.*).

Entre os níveis 856m e 847m (num total de 9m de espessura), reconhece-se a electrofácies MMA, caracterizada por apresentar valores elevados de radioactividade natural (entre 5 a 9 Ra eq/ton). Esta electrofácies corresponde a camadas margosas



a argilosas, predominantemente mais margosas. Estes dados são compatíveis com as características litológicas descritas para o Membro Margas e Calcários grumosos (MCG; parte terminal da Biozona *Jamesoni* até à Biozona *Ibex*), apresentando uma espessura de cerca de 29m em Peniche. Este membro é constituído por margas, margas calcárias, margas e calcários nodulares, com intercalações de margas laminadas, às vezes bem expressivas e levemente betuminosas (*op. cit.*).

Figura 5  
Interpretação litológica e caracterização das electrofácies da sondagem São Pedro de Moel-2, para o Jurássico Inferior.

Figure 5  
Lithological interpretation and electrofacies characterization of the São Pedro de Moel-2 well, for the Lower Jurassic.

Entre os níveis 847m e 838m (9m de espessura), reconhece-se novamente a electrofácies MC, correlativa da parte superior da Formação de Vale das Fontes – Membro Margo-Calcário com níveis Betuminosos (MCNB, parte terminal da Biozona Ibex até ao topo da Biozona *Margaritatus*). Este membro é composto por margas laminadas cinzentas, alternado com calcários margosos, e atinge uma espessura de 35m em Peniche (*op. cit.*).

### 2. Formação de Lemedo:

Entre os níveis 838m e 801m (num total de 37m), regista-se o conjunto das electrofácies CCD, CCM e CM, que correspondem à Formação de Lemedo. Estas electrofácies são caracterizadas por conterem valores de radioatividade baixos a médios (entre 1 e 4 Ra eq/ton), indicando um predomínio da componente calcária.

Esta formação inicia-se por níveis de calcário, por vezes um pouco dolomítico (electrofácies CCD), passando a níveis de alternância de calcário com calcário margoso, mas maioritariamente calcário (electrofácies CCM), e terminando em níveis calco-margosos (electrofácies CM). Esta tendência é correlativa das características litológicas definidas para a Formação de Lemedo (Pliensbaquiano Superior, desde a Biozona *Spinatum* até à base do Toarciano, equivalente à base da Biozona *Polymorphum*), que atinge espessuras que variam desde os 6m em Tomar, 16m em Peniche até aos 30m em Brenha. Ela é constituída por uma alternância de calcários margosos e micríticos em bancadas decimétricas, com margas calcárias cinzentas em bancadas centimétricas, mas de claro domínio calcário (Duarte & Soares 2002).

### 3. Formação do Cabo Carvoeiro:

Entre os níveis 801m e 670m (num total de 131m), reconhece-se uma grande variedade de electrofácies, tais como as electrofácies CMCD, CMM, MC, MCM e MMA. Estas apresentam valores de radioatividade de médios/baixos a elevados (entre 2 e 9 Ra eq/ton), característicos de uma alternância entre calcário margoso, por vezes dolomítico, e margas com níveis de margas mais argilosas, predominando a natureza mais margosa. Estes níveis são correlativos da Formação do Cabo Carvoeiro, unidade constituída por uma espessa série (354m, na região de Peniche) de margas e calcários margosos (Duarte & Soares 2002). Esta formação diferencia-se em cinco membros, entre o Toarciano inferior (Biozona *Polymorphum*) e o Aaleniano/Bajociano(?). No presente trabalho, os dados analisados referem-se apenas aos

quatro primeiros membros da formação, pois a sua parte superior (membro Cabo Carvoeiro 5) não se reconhece na diagrafia, devido a uma possível descontinuidade originada por erosão (Rocha *et al.*, 1996), à profundidade de 610m, sobre a qual assenta o Cretácico, que está igualmente registado na curva raios gama.

Entre os níveis 801m e 781,8m (num total de 19,2m), são reconhecidos três electrofácies (CMCD, CMM e MMA). Esta formação inicia-se com um nível de marga, passando a calcário margoso, por vezes dolomítico (electrofácies CMCD). Posteriormente, reconhece-se a electrofácies CMM, característica de uma alternância de calcário margoso com margas, terminando com a electrofácies MMA, resultante da sua natureza maioritariamente margosa, por vezes argilosa. Esta tendência é correlativa da parte inferior da Formação do Cabo Carvoeiro – Membro Cabo Carvoeiro 1 (Cc1, Toarciano Inferior, Biozona *Polymorphum*). Este membro é composto por margas cinzentas-esverdeadas, decimétricas, por vezes micáceas, que se alternam com calcários margosos (biocimitos argilosos), com cerca de 12 a 13m de espessura em Peniche (Duarte & Soares 2002).

Entre os níveis 781,8m e 757,3m (24,5m de espessura), são reconhecidas duas electrofácies (CMCD e MC), que apresentam valores médios a baixos de radioatividade natural (entre 2 a 6 Ra eq/ton). É reconhecida, na base destes níveis, a electrofácies CMCD, característica de calcários margosos, por vezes dolomíticos, que passa superiormente à electrofácies MC. Esta define um padrão de pequenas variações, verticalmente bruscas, características de alternâncias regulares e bastante rítmicas entre margas e calcários margosos, e corresponde à electrofácies mais dominante registada para estes níveis. Esta tendência é correlativa das características litológicas do Membro Cabo Carvoeiro 2 (Cc2, Toarciano Inferior, Biozona *Levisoni*), da Formação do Cabo Carvoeiro, constituída por margas cinzentas, betuminosas, siliciosas e arenosas, calcários margosos, micríticos e gresosos, grés e microconglomerados com cimento carbonatado, que atinge uma espessura com cerca de 30m em Peniche (*op. cit.*).

Entre os níveis 757,3m e 723m (30,3m de espessura), reconhecem-se três electrofácies (MMA, MCM e CMM), que apresentam valores médios a elevados de radioatividade natural (entre 4 a 9 Ra eq/ton), característicos de alternâncias de calcários margosos, margas e margas argilosas. Estes níveis iniciam-se com a electrofácies MMA, indicando uma componente margosa muito forte, passando para uma alternância

bastante rítmica entre as electrofácies MCM e CMM, estando estas representadas por uma alternância de calcário margoso e margas. Esta tendência é correlativa do Membro Cabo Carvoeiro 3 (Cc3, parte terminal do Toarciano inferior e a base do Toarciano médio, subzona *Brifons*), que é constituído, na base, por calcários margosos, finamente quartzoso e micáceos, que alternam, com margas cinzentas decimétricas, de forma regular; para o topo, regista-se um domínio de calcários, apresentando uma espessura com cerca de 30m em Peniche (*op. cit.*).

Entre os níveis 727m e 670m (57m de espessura), reconhecem-se quatro electrofácies distintas (MCM, MC, CMM e MMA), que são constituídas por valores médios a elevados de radioatividade natural (entre 4 a 9 Ra eq/ton), característicos de alternâncias de calcário margoso e margas, mas de natureza maioritariamente margosa, terminando, estes níveis, com uma espessura grande da electrofácies MMA,

característica de alternância de margas com margas mais argilosas. Esta tendência é correlativa do Membro Cabo Carvoeiro 4 (Cc4, Toarciano Superior, desde a parte terminal da Biozona Brifons até à Biozona *Bonarelli?*), de natureza essencialmente margosa, que se inicia com uma série espessa de calcários oolíticos e peloidais, progressivamente mais grosseiros, mais espessos e mais gresosos para o topo. As margas são cinzentas-esverdeadas, sendo nelas notória a presença de matéria orgânica carbonosa. Esta unidade perfaz cerca de 54m de espessura na região de Peniche (*op. cit.*).

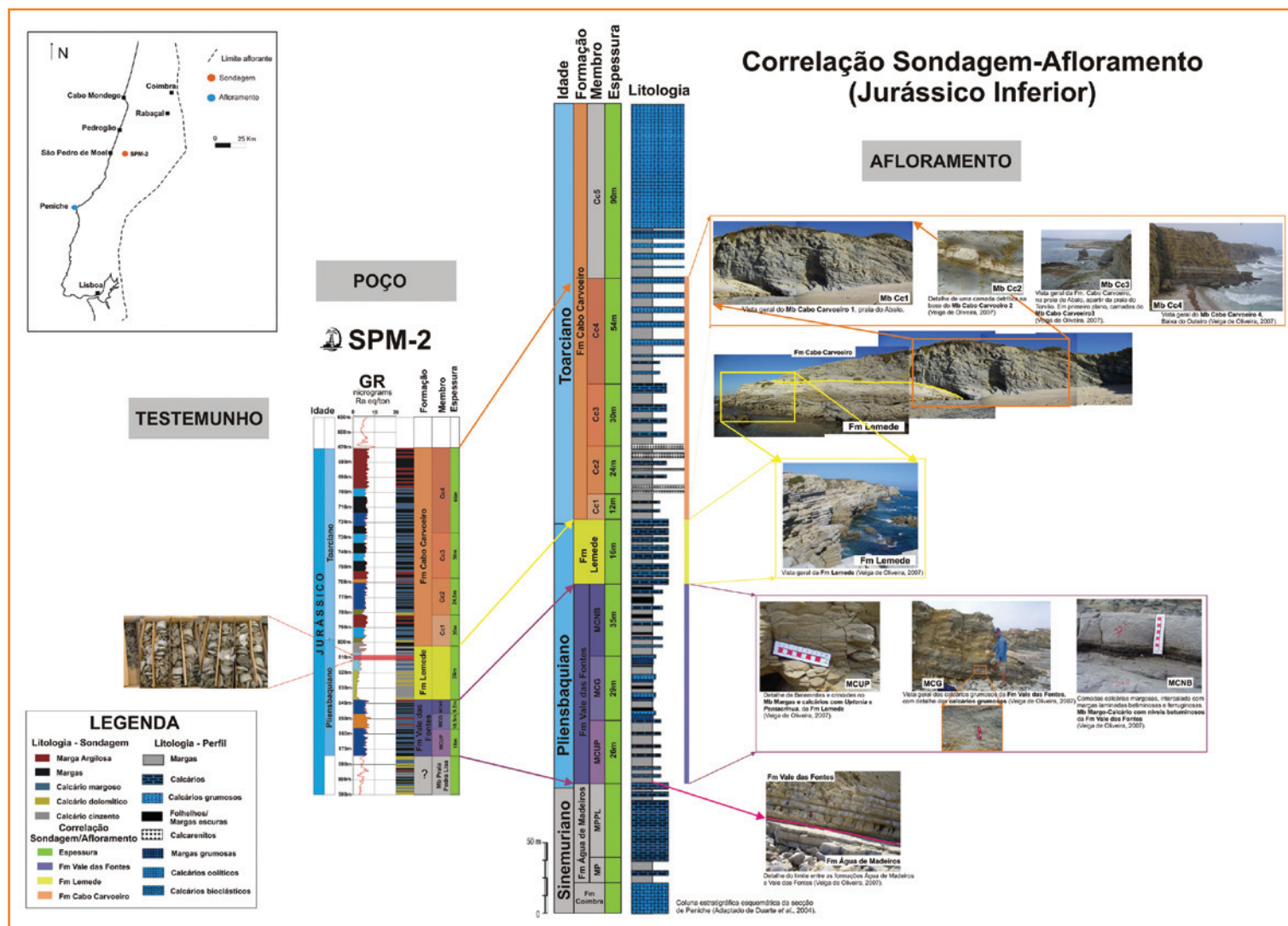
Nas figuras 6 e 7 apresenta-se a localização da sondagem SPM-2, a interpretação das electrofácies nela reconhecidas, a sua correlação com perfis estratigráficos que representam as unidades estratigráficas atravessadas pela sondagem, e ainda algumas imagens de campo onde tais unidades afloram.

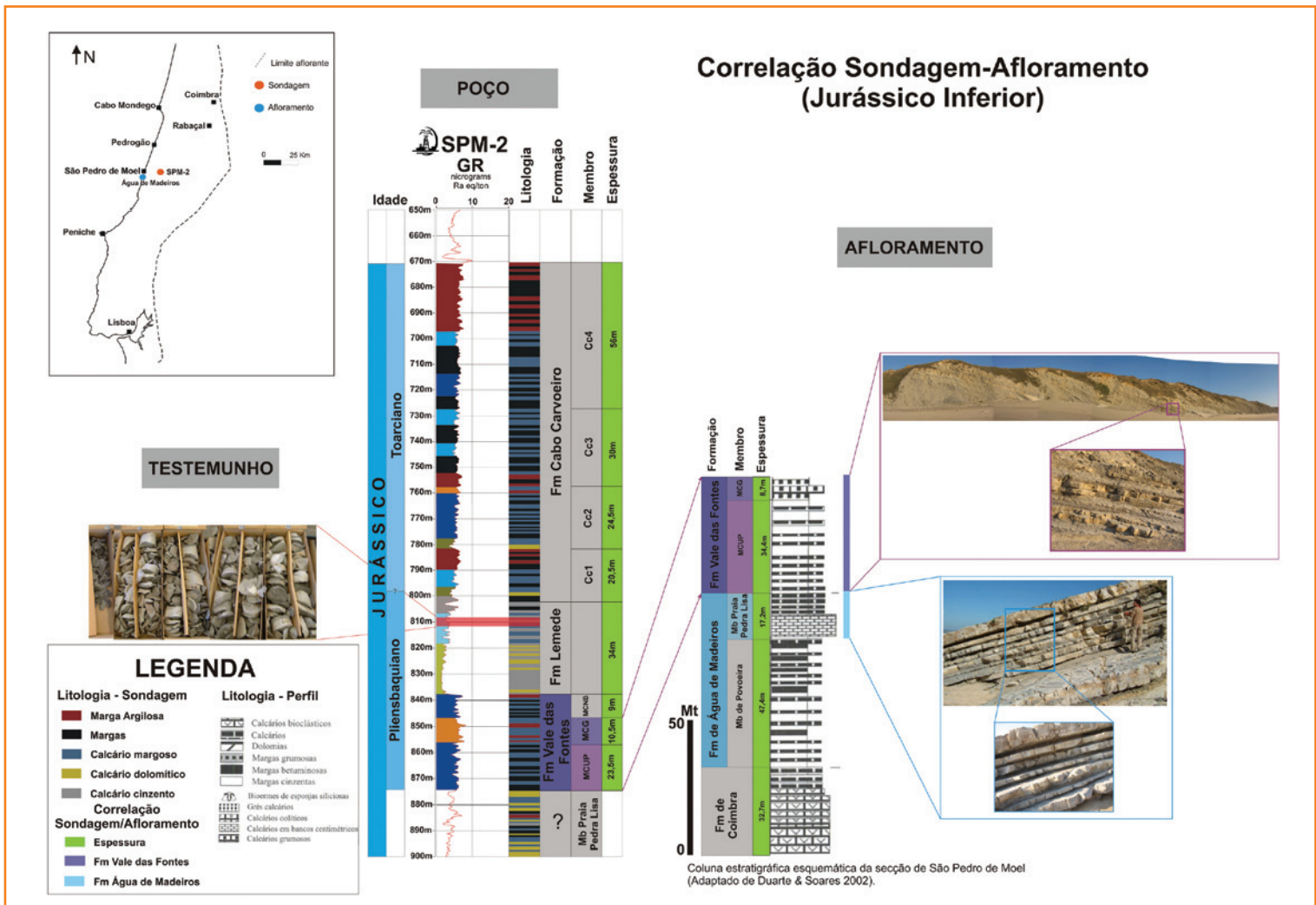
Figura 6

Correlação das electrofácies reconhecidas na sondagem SPM-2 com o perfil estratigráfico de Peniche (Adaptado de Duarte *et al.*, 2004) e fotografias do afloramento (correlação rocha-perfil).

Figure 6

Correlation of the recognize electrofacies in the SPM-2 well with Peniche stratigraphic section (Adapted from Duarte *et al.*, 2004) and outcrop photographs (rock-log correlation).





**Figura 7**  
Correlação das electrofácies reconhecidas na sondagem SPM-2 com o perfil estratigráfico de São Pedro de Moel (Adaptado de Duarte & Soares 2002) e fotografias do afloramento (correlação rocha-perfil).

**Figure 7**  
Correlation of the recognize electrofacies in the SPM-2 well with São Pedro de Moel stratigraphic section (Adapted from Duarte & Soares 2002) and outcrop photographs (rock-log correlation).

## Monte Real Oeste (MRW-8)

A partir dos dados da sondagem MRW-8, procurou-se, através do estudo pormenorizado do perfil de raios gama, identificar as respectivas unidades atravessadas, para o intervalo estratigráfico do Pliensbaquiano até ao Bajociano (Jurássico Inferior e Médio), num total de 640 metros de espessura (figura 8).

Da análise do perfil de raios gama, foi possível reconhecer as seguintes unidades estratigráficas, através das electrofácies previamente caracterizadas:

### 1. Formação de Leme:

Entre os níveis 1500m e 1231m (num total de 269m), reconhece-se uma sucessão bastante rítmica das electrofácies CDCM e CMCD, registrando-se também, mas apenas pontualmente, a electrofácies CCM e, no topo destes níveis, a electrofácies CMM. Estas electrofácies apresentam valores baixos a médios de radioatividade natural (entre 2 a 5,5 Ra eq/ton), característicos de uma

alternância de calcário dolomítico, por vezes apresentando níveis de calcário mais cinzento com calcário margoso, que atingem para o topo (electrofácies CMM), pequenos níveis de margas. Esta tendência é correlativa das características litológicas definidas para a Formação de Leme (Pliensbaquiano superior, desde a Biozona *Spinatum* até à base do Toarciano, equivalente à base da Biozona *Polymorphum*), unidade constituída por uma alternância de calcários margosos e micríticos em bancadas decimétricas, com margas calcárias cinzentas em bancadas centimétricas, mas de claro domínio calcário (Duarte & Soares 2002).

### 2. Formação de São Gião:

Entre os níveis 1231m e 1089,5m da diagrafia, num total de 141,5m de espessura, reconhece-se a Formação de São Gião. Registra-se uma alternância entre as electrofácies MAM, MMA e MCM, que se caracterizam por abrangerem valores elevados (raramente médios) de radioatividade natural, entre

4,5 a 10 Ra eq/ton, característicos de alternâncias de margas e margas argilosas, com pequenos níveis de calcário margoso. Estes níveis são correlativos da Formação de S. Gião, unidade constituída por uma espessa série (100m em Alvaiázere, 220m em Coimbra e 300m em Cantanhede) de margas e calcários margosos tenros. Esta Formação, de idade parcialmente Toarciana, diferencia-se em cinco membros (Barbosa *et al.*, 1988; Duarte & Soares 2002). No presente trabalho, através da interpretação da curva raios gamas, foram reconhecidos os cinco membros incluídos na Formação de São Gião.

Entre os níveis 1231m e 1204,5m (26,5m de espessura), reconhecem-se as electrofácies MCM e MAM. Na base registra-se uma camada bastante margosa, por vezes calco-margosa (electrofácies MCM), tendencialmente mais margosa e argilosa para o topo (electrofácies MAM). Esta tendência é correlativa da parte inferior da Formação de S. Gião - Membro Margo-Calcário com Fauna *Leptaena* (MCFL; Toarciano inferior e exclusivo da Biozona *Polymorphum*) -, predominantemente margosa, constituída por camadas margosas, à escala decimétrica, alternadas por camadas centimétricas de calcários margosos, apresentando uma espessura bastante variável, que aumenta consideravelmente para norte, com cerca de 7m no Rabaçal e 20m em Coimbra (Duarte & Soares, 2002).

Entre os níveis 1204,5 e 1188,5m (16m de espessura), reconhece-se a electrofácies MCM, caracterizada por apresentar valores médios a elevados de radioatividade natural (entre 4,5 a 7 Ra eq/ton). Esta electrofácies é caracterizada, em termos litológicos, por representar camadas margosas, por vezes calco-margosas. Estes dados são compatíveis com as características litológicas descritas para o Membro Calcários nodulosos em plaquetas (CNP; Toarciano inferior, base da Biozona *Levisoni*), que apresenta uma variação de espessuras bastante uniforme, entre 8 e 10 metros. Este membro é constituído por finas alternâncias, regulares e centimétricas, de calcários micríticos e de margas, sendo tendencialmente mais margoso na base (*op. cit.*).

Entre os níveis 1188,5m e 1123m (65,5m de espessura), reconhece-se uma alternância entre as electrofácies MMA e MCM, que se caracterizam por abrangerem valores de radioatividade média a elevada (entre 4,5 a 9 Ra eq/ton). Estas electrofácies são caracterizadas, em termos litológicos, por representarem camadas bastante margosas, por vezes argilosas. Esta tendência é correlativa do Membro Margas e calcários margosos com *Hildaites* e *Hildoceras* (MCMH; topo do Toarciano Inferior - base do Toarciano Médio,

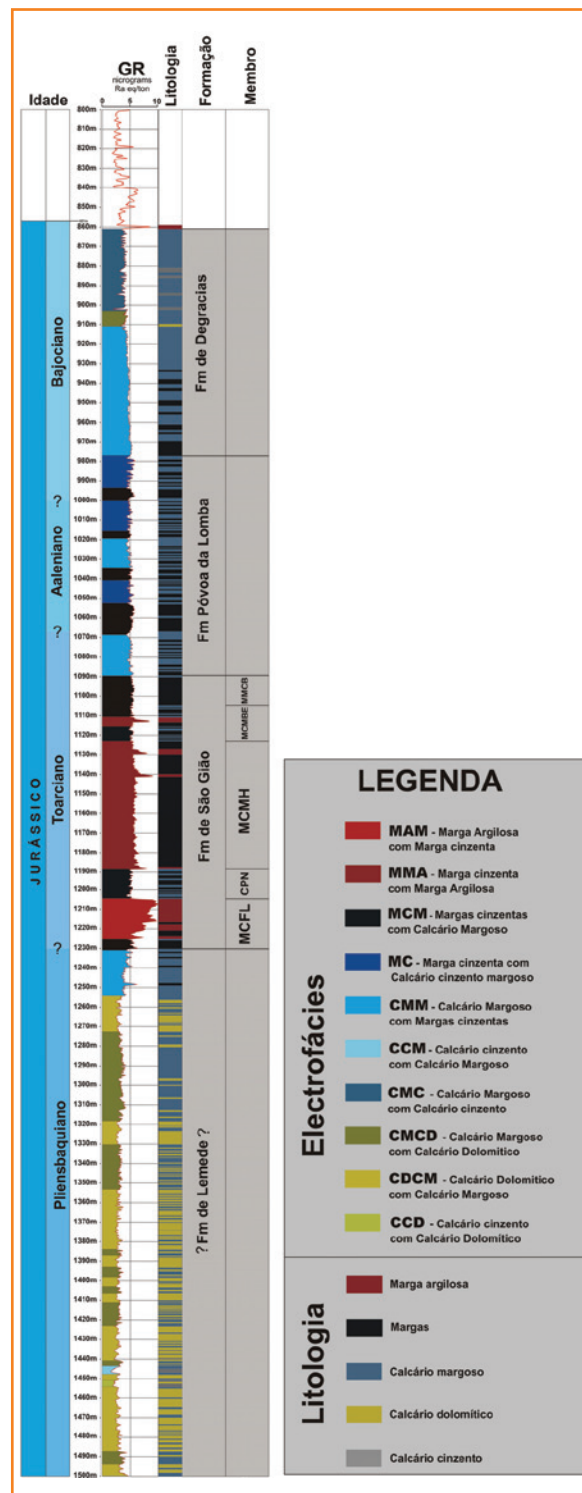


Figura 8  
Interpretação litológica e caracterização das electrofácies da sondagem Monte Real Oeste, para o Jurássico Inferior e Médio.

Figure 8  
Lithological interpretation and electrofacies characterization of the Monte Real Oeste-8 well, for the Lower and Middle Jurassic.

englobando parte da Biozona *Levisoni* e a Subzona *Bifrons*); apresenta grandes espessuras (43 metros em Alvaiázere, 63 metros no Rabaçal e cerca de 95 metros em Coimbra). Este membro é caracterizado por apresentar alternâncias de margas e margas calcárias com calcários margosos, tendencialmente mais calcários para o topo (*op. cit.*).

Entre os níveis 1123m e 1104,5m (18,5m de espessura), reconhece-se a electrofacies MCM, caracterizada por apresentar valores médios a elevados de radioactividade natural (entre 4,5 a 7 Ra eq/ton), que definem um padrão de pequenas e constantes variações verticais, características de alternâncias entre margas e finos níveis de calcários margosos, apesar de raramente estes níveis atingirem os valores típicos dos do calcário margoso. Estes dados são compatíveis com as características litológicas descritas para o Membro Margas e Margas Calcárias com Braquiópodes (MMCB; Toarciano superior, desde a Biozona *Speciosum* até à base da Biozona *Meneghinni*), que aflora em corpos essencialmente margosos, raramente atingindo teores de calcários margosos. Apresenta espessuras bastante variáveis, tais como, 22m no Rabaçal, 10m em Alvaiázere, 42m em Coimbra e 29m em Brenha (*op. cit.*).

### 3. Formação de Póvoa da Lomba:

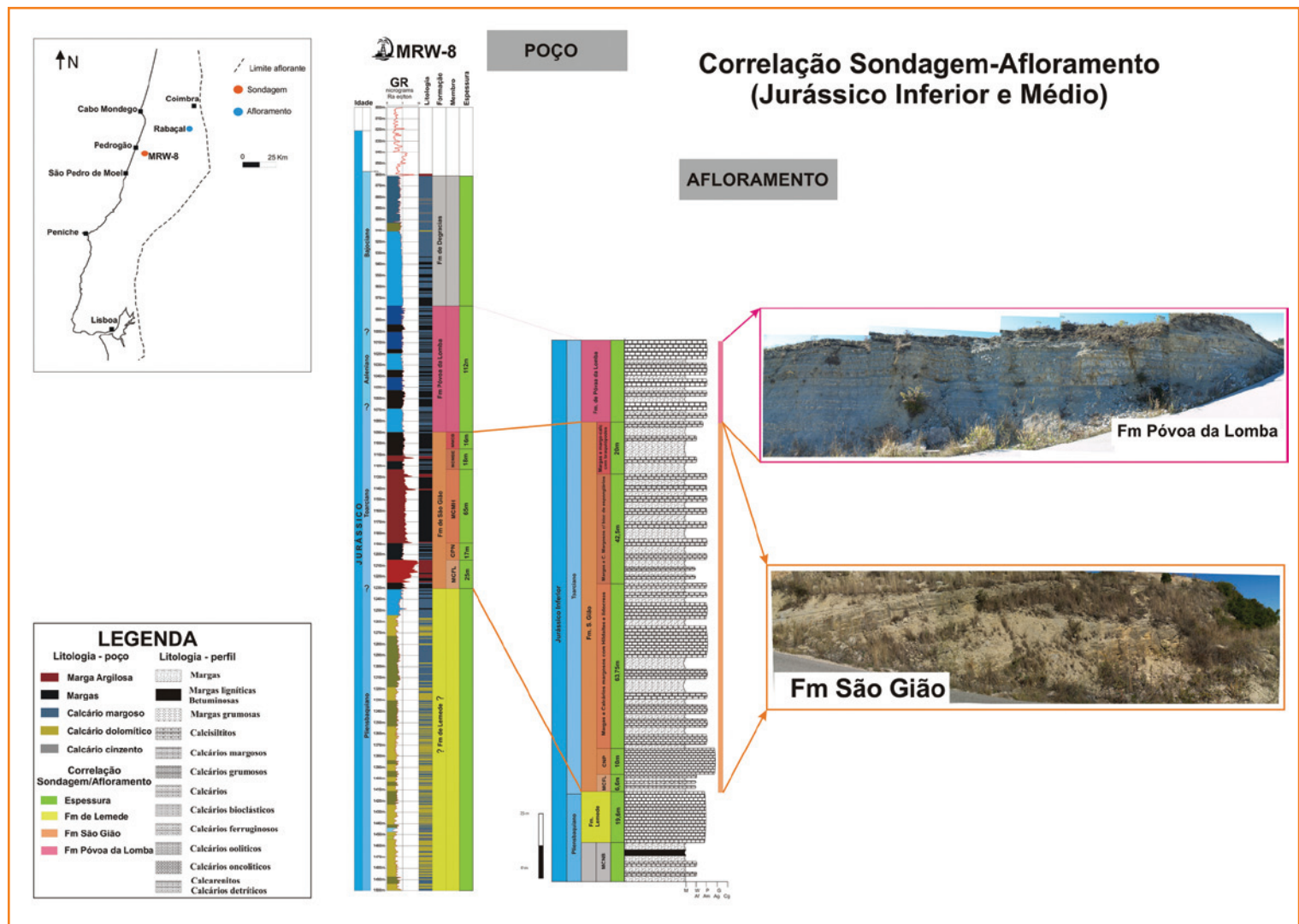
Entre os níveis 1089,5m e 976,8m (112,7m de espessura), reconhece-se a Formação de Póvoa da Lomba (Calhã *et al.*, 2008). Registra-se uma alternância bastante rítmica entre as electrofacies CMM, MC e MCM, definindo cinco sequências, que se iniciam por níveis margo-calcários (electrofacies MCM) e terminam em níveis calco-margosos (electrofacies CMM e MC). Estas electrofacies apresentam valores médios a elevados de radioactividade natural (entre 4 e 7 Ra eq/ton). Esta tendência é correlativa com as características litológicas definidas para a Formação de Póvoa da Lomba (Toarciano Superior, desde a Biozona *Aalensis* até ao Bajociano Inferior, Biozona *Laeviuscula*; 100±20m), constituída por alternâncias de calcários margosos mais ou menos compactos, em bancadas com 0,10m a 0,30m de espessura, e de margas de espessura ligeiramente superior. A organização vertical da série mostra uma clara

Figura 9

Correlação das electrofacies reconhecidas na sonda-gem MRW-8 com o perfil estrati-gráfico do Rabaçal e fotografias do afloramento (correlação rocha-perfil).

Figure 9

Correlation of the recognize electrofacies in the MRW-8 well with Rabaçal strati-graphic section and outcrop photographs (rock-log correlation).





assimetria, com predominância de margas na base; porém, a sequência é marcada pelo espessamento progressivo, para o topo, das camadas de calcário (Barbosa *et al.*, 1988).

#### 4. Formação de Degracias:

Entre os níveis 976,8m e 860m (116,8m de espessura), reconhece-se a Formação de Degracias (Calhã *et al.*, 2008), através do registro das electrofácies CMM, CMCD e CMC. Estas electrofácies apresentam valores médios a baixos de radioatividade natural (entre 2 a 5,5 Ra eq/ton), características de litologias com uma natureza predominantemente calcária margosa. Estes níveis iniciam-se com a electrofácies CMM, com carácter homogêneo, características de litologias maioritariamente calcárias margosas; alternam com níveis finos de margas, que passam a uma alternância das electrofácies CMCD e CMC, características de litologias também maioritariamente calcárias margosas, mas com pequenos níveis de calcários por vezes dolomíticos, para o topo. Esta tendência é correlativa das características litológicas definidas para a Formação de Degracias (Bajociano inferior 150±20m), constituída essencialmente por bancadas de calcários micríticos, que apresentam níveis com nódulos siliciosos para o topo (Soares *et al.*, 2007).

Na figura 9 apresenta-se a localização da sondagem MRW-8, a interpretação das electrofácies nela reconhecidas, a sua correlação com perfis estratigráficos que representam as unidades estratigráficas atravessadas pela sondagem, e ainda algumas imagens de campo onde tais unidades afloram.

#### São Mamede (SM-1)

A partir dos dados da sondagem SM-1, procurou-se, através do estudo pormenorizado do perfil de raios gama, identificar as respectivas unidades atravessadas, para o intervalo estratigráfico do Pliensbaquiano até ao Bajociano (Jurássico Inferior e Médio), num total de 650 metros de espessura (figura 10).

Da análise do perfil de raios gama, foi possível reconhecer as seguintes unidades estratigráficas, através das electrofácies previamente caracterizadas:

#### 1. Formação de Fórnea:

Entre os níveis 722m e 270,5m, num total de 451,5m de espessura, reconhece-se a Formação da Fórnea. Registra-se uma grande e distinta diversidade de electrofácies (CDC, CCM, CCD, CMM, CDCM,

CM e CMA). Estas apresentam um registo bastante espesso e monótono, com valores muito baixos de radioatividade, mas que, por vezes, atingem picos de radioatividade natural bastante elevados.

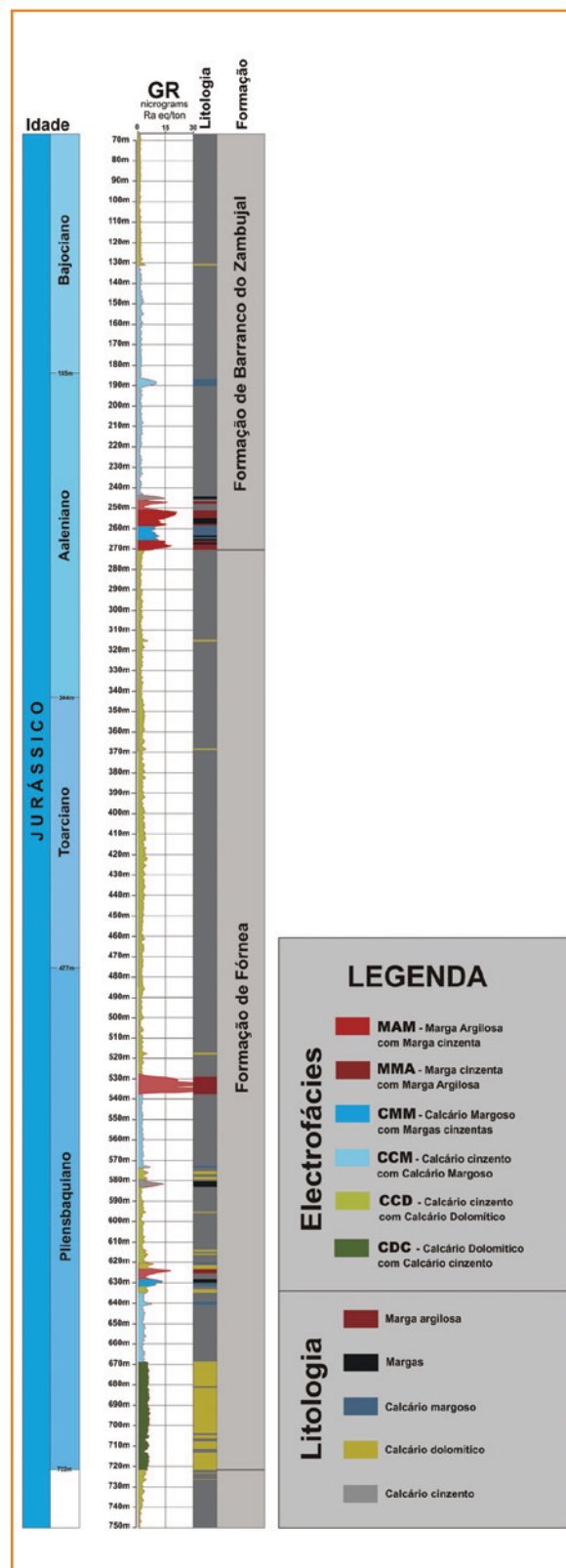


Figura 10

Interpretação litológica e caracterização das electrofácies da sondagem São Mamede-1, para o Jurássico Inferior e Médio.

Figure 10

Lithological interpretation and electrofacies characterization of the São Mamede-1 well, for the Lower and Middle Jurassic.

Figura 11

Correlação das electrofácies reconhecidas na sondagem SM-1 com o perfil estratigráfico de Barranco do Zambujal (Adaptado de Henriques, 2000) e fotografias do afloramento (correlação rocha-perfil).

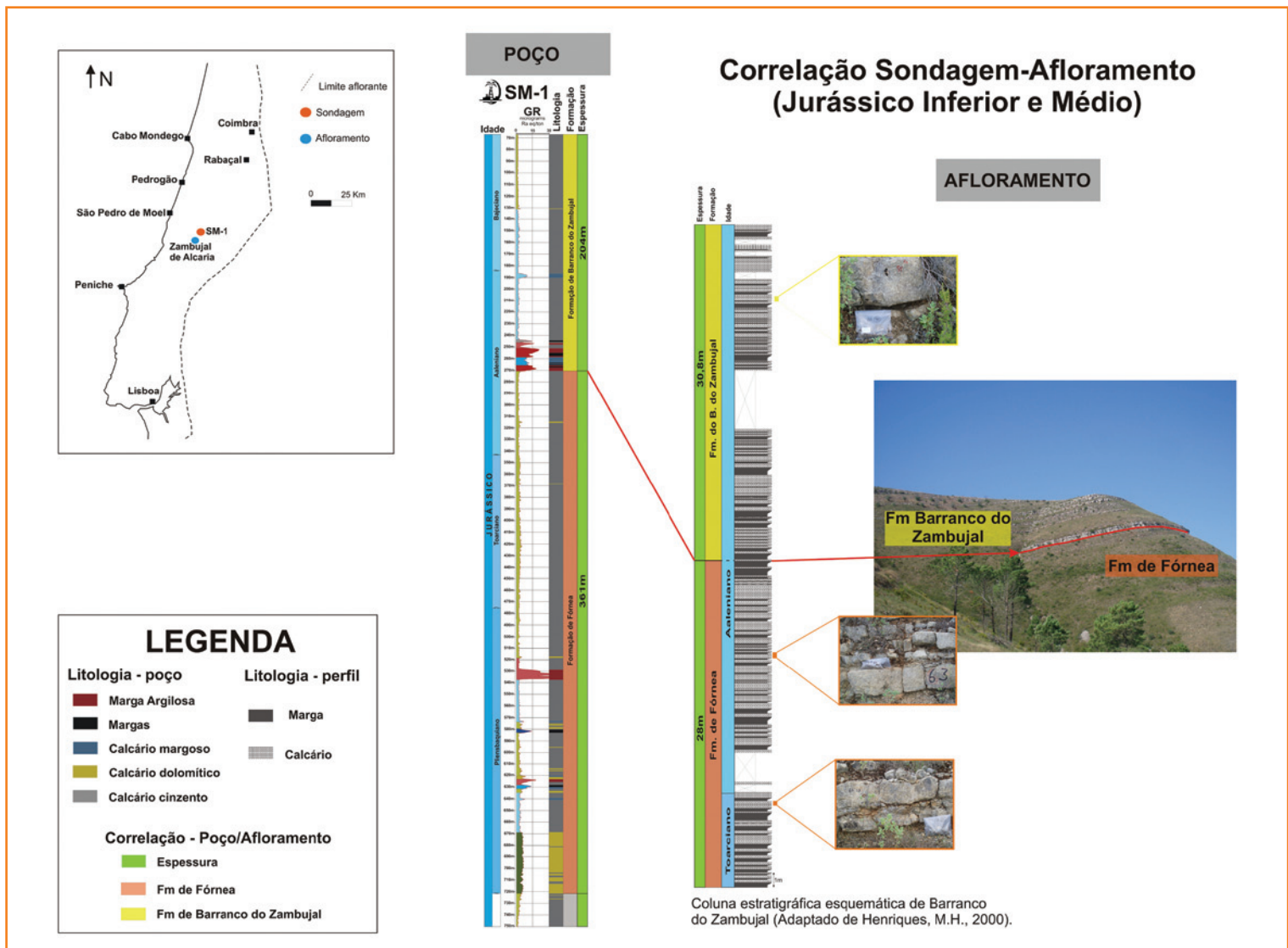
Figure 11

Correlation of the recognize electrofacies in the SM-1 well with Barranco do Zambujal stratigraphic section (Adapted from Henriques, 2000) and outcrop photographs (rock-log correlation).

Na base destes níveis, regista-se a electrofácies CDC, que se caracteriza por abranger valores baixos de radioatividade natural (entre 1 e 3 Ra eq/ton), com carácter homogéneo, características de litologias maioritariamente calco-dolomíticas, com pequenos níveis de calcário cinzento. Posteriormente, regista-se a electrofácies CCM, que se caracteriza por apresentar valores baixos a médios de radioatividade natural (entre 1,5 a 4 Ra eq/ton), característicos de litologias essencialmente calcárias, com finos níveis de calcário margoso. Entre os níveis 635m e 620m regista-se uma alternância das electrofácies CCD, CMM, CDCM e CMA, evidenciando um aumento significativo da radioatividade natural, característico de litologias mais margosas. De seguida, regista-se a electrofácies CCD, que se caracteriza por abranger valores baixos de radioatividade natural (entre 1 e 3 Ra eq/ton), característicos de litologias maioritariamente

calcárias com pequenos níveis de calcário dolomítico. Esta electrofácies regista-se até aos 574m, sendo alternada pela electrofácies CM (entre os níveis 580m e 583m), que aí atinge, mais uma vez, um pico de radioatividade elevada, característico de uma alternância de calcários e margas. Registra-se, posteriormente e de novo a electrofácies CCM, e depois a electrofácies CMA. Esta última electrofácies regista-se o máximo teor de radioatividade natural reconhecido, que se pode dever a um erro de análise ou a um problema técnico ocorrido durante a perfilagem. Acima do nível 528m da diagrafia, domina a electrofácies CCD, que é a electrofácies mais representativa destes níveis estudados.

Esta tendência é correlativa das características litológicas definidas para a Formação Fórnea (base do Pliensbaquiano, Biozona *Jamesoni* até à base do Aaleniano, Biozona *Opalinum*), constituída por uma



espessa acumulação (235±15m) margo-calcária. Ela é caracterizada por apresentar bancadas finas a médias de margas, calcários margosos e calcários micríticos, por vezes siltíticos, sendo composta, para o topo, por uma alternância de margas calcárias e calcários margosos, cada vez mais micríticos, onde as margas estão praticamente ausentes (Azerêdo, 2007).

## 2. Formação de Barranco do Zambujal:

Entre os níveis 270,5m e 70m, num total de 200,5m de espessura, reconhece-se a Formação de Barranco do Zambujal, onde se reconhecem as electrofácies MAM, CMM, CM, CCD e CMA.

Na base da formação, regista-se uma alternância entre as electrofácies MAM e CMM, que se caracterizam por abrangerem valores médios a elevados de radioatividade natural (entre 4 e 15 Ra eq/ton), características de alternância entre margas, margas argilosas e calcário margoso. Posteriormente, registram-se as electrofácies CMA e CM, entre os níveis 244m e 251m, que abrangem valores baixos, médios e elevados de radioatividade natural (entre 1,5 e 15 Ra eq/ton), com variação vertical bastante brusca e de grande amplitude, características de uma alternância de calcários e margas, por vezes argilosa. De seguida, é reconhecida a electrofácies CCM, entre os níveis 244m e 131,2m, que abrange valores baixos a médios de radioatividade natural (entre 1,5 e 4 Ra eq/ton), caracterizada litologicamente como essencialmente calcária, com pequenas intercalações de calcário margoso. Para o topo da Formação, regista-se a electrofácies CCD, que se caracteriza por abranger valores baixos de radioatividade natural (entre 1 e 3 Ra eq/ton), características de calcário com finos níveis de calcário dolomítico.

Estes níveis são correlativos da Formação de Barranco do Zambujal (desde o Aaleniano inferior, Biozona Opalinum até ao Bajociano inferior, Biozona Sauzei), constituída essencialmente por calcários (235±15m). Ela é constituída por uma alternância rítmica e pouco espessa (centimétrica a decimétrica) de margas, calcários margosos e calcários argilosos. Para o topo, a unidade vai adquirindo bancadas progressivamente mais espessas de calcário, com diminuição da componente argilosa e desaparecimento dos níveis margosos (Azerêdo, 2007).

Na figura 11 apresenta-se a localização da sondagem SM-1, a interpretação das electrofácies nela reconhecidas, a sua correlação com perfis estratigráficos que representam as unidades estratigráficas atravessadas pela sondagem, e ainda algumas imagens de campo onde tais unidades afloram.

## gaiteiros (Ga-1)

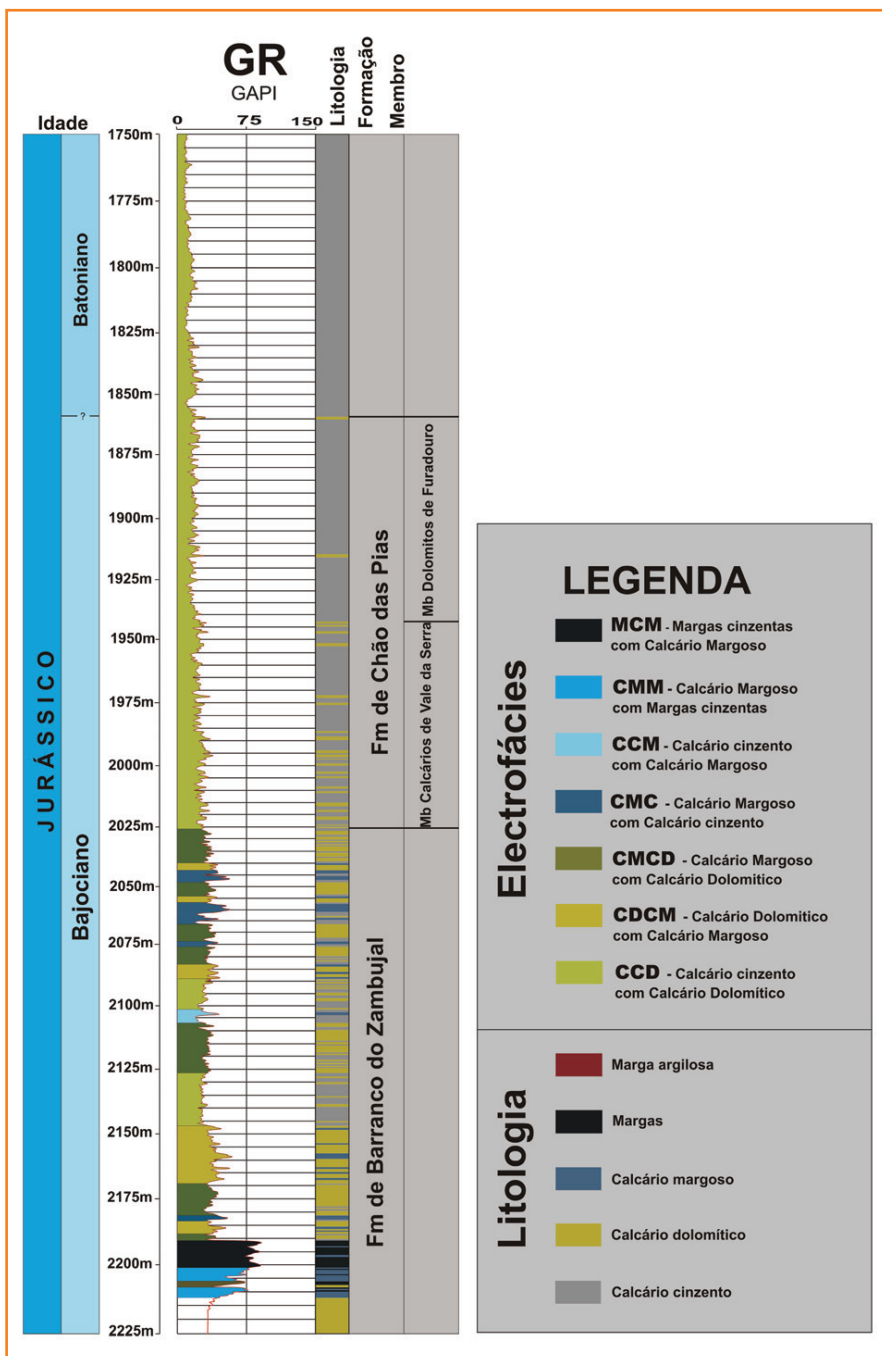
A partir dos dados da sondagem Ga-1, procurou-se, através do estudo pormenorizado do perfil de raios gama, identificar as respectivas unidades atravessadas, para o intervalo estratigráfico do Bajociano e Batoniano (Jurássico Médio), num total de 455 metros de espessura (figura 12).

Da análise do perfil de raios gama, foi possível reconhecer as seguintes unidades estratigráficas, através das electrofácies previamente caracterizadas:

### 1. Formação de Barranco do Zambujal:

Entre os níveis 2205m e 2025m, num total de 180m de espessura, reconhece-se a Formação de Barranco do Zambujal, onde se registam as electrofácies CMM, MCM, CDC, CDCM, CCD e CCM.

Na base da formação regista-se uma alternância entre as electrofácies CMM e CDC, que se caracterizam por abrangerem valores médios a baixos de radioatividade natural (entre 1 e 5,5 Ra eq/ton), característicos de alternância entre calcário margoso e margas, ocorrendo um pequeno nível de calcário dolomítico. Passa-se posteriormente para níveis mais margosos, onde se regista a electrofácies MCM, que se caracteriza por abranger valores médios a elevados de radioatividade natural (entre 4,5 e 7 Ra eq/ton), caracterizada litologicamente como maioritariamente margosa, com pequenas intercalações de calcário margoso. Posteriormente, regista-se uma alternância das electrofácies CDCM e CDC, entre os níveis 2191m e 2141m, que abrangem valores médios a baixos de radioatividade natural (entre 1 e 4 Ra eq/ton), característicos de uma alternância de calcário dolomítico, calcário margoso e pequenos níveis de calcário. Seguidamente, apresenta-se uma série mais calcária, registrada pela electrofácies CCD, que abrange valores baixos de radioatividade natural (entre 1 e 3 Ra eq/ton), característicos de uma alternância de calcário com pequenos níveis de calcário dolomítico, voltando a registrar-se posteriormente a electrofácies CDC, que anuncia, novamente, um carácter mais dolomítico. A partir do nível 2108m até aos 2043m aumenta o teor de radioatividade natural, passando a registrar-se o conjunto de electrofácies CCM, CCD, CDCM e CMC, características de uma alternância de calcário dolomítico, calcário margoso e pequenos níveis de calcário mais cinzento. Para o topo da formação, reconhece-se novamente a electrofácies CDC, que reflecte a diminuição da componente margosa.



**Figura 12**  
Interpretação litológica e caracterização das electrofacies da sondagem Gaiteiros-1, para o Jurássico Médio.

**Figure 12**  
Lithological interpretation and electrofacies characterization of the Gaiteiros-1 well, for the Middle Jurassic.

Estes níveis são correlativos da Formação de Barranco do Zambujal (desde o Aaleniano inferior, Biozona *Opalinum* até ao Bajociano inferior, Biozona *Sauzei*), representada essencialmente por calcários (235±15m). Ela é constituída por uma alternância rítmica e pouco espessa (centimétrica a decimétrica) de margas, calcários margosos e calcários argilosos. Para o topo, a unidade vai exibindo camadas progressivamente mais espessas de calcário, com diminuição da componente argilosa e desaparecimento dos níveis margosos (Azerêdo, 2007).

## 2. Formação de Chão de Pias:

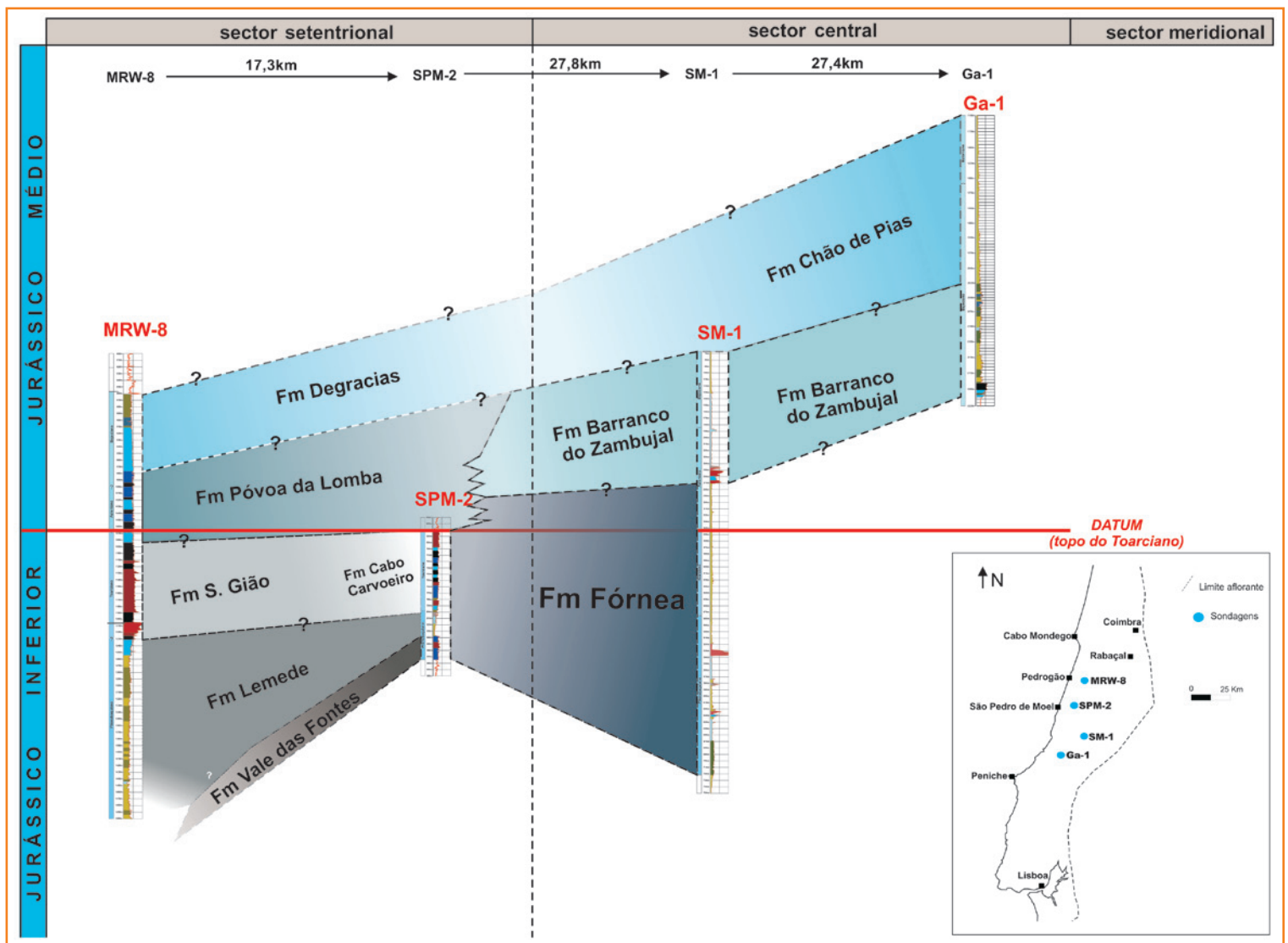
Entre os níveis 2025m e 1860m, num total de 165m de espessura, reconhece-se a Formação de Chão de Pias, onde se regista apenas a electrofacies CCD. Esta electrofacies abrange valores baixos de radioatividade natural (entre 1 e 3 Ra eq/ton), característicos de uma alternância de calcário com calcário dolomítico. Estes níveis são correlativos da Formação de Chão de Pias, unidade constituída essencialmente por calcários ligeiramente argilosos ou margosos, em bancadas decimétricas, que podem em algumas bancadas de calcário, conter nódulos siliciosos. Para o topo, os calcários tornam-se progressivamente mais compactos, ocorrendo intercalações de calcários dolomíticos. Esta Formação diferencia-se em dois membros, entre o topo do Bajociano inferior (Biozona *Sauzei*) e o topo do Bajociano superior, embora localmente possa atingir a base do Batoniano (Azerêdo, 2007).

Entre os níveis 2025m e 1943m (82m de espessura), reconhece-se a electrofacies CCD, que representa o Membro Calcários de Vale da Serra (Bajociano superior), composto por bancadas decimétricas de calcários ligeiramente argilosos ou margosos, de cor amarelo-acinzentados que, por vezes, são intercaladas por interleitos centimétricos de aspeto folheado. Progressivamente, estes calcários vão-se tornando mais compactos para o topo e, por vezes, apresentam-se dolomitizados (*op. cit.*).

Entre os níveis 1943m e 1860m (83m de espessura), reconhece-se novamente a electrofacies CCD, mas desta vez, representada por níveis mais espessos de calcário e apenas algumas pequenas intercalações de calcário dolomítico, representando, assim, o Membro Dolomitos de Furadouro (Bajociano Superior, por vezes Batoniano), que é composto, essencialmente, por dolomitos maciços, com níveis intercalares de dolomitos calcários e de calcários dolomíticos. A sua espessura diminui de este para oeste, atingindo um máximo de 80 metros, apesar de algumas sondagens indicarem espessuras com cerca de 100 metros (*op. cit.*).

## a expressão bacinal das electrofacies do Jurássico Inferior e Médio da Bacia Lusitânica

No presente sub-capítulo pretende-se, articular todas as interpretações produzidas através de uma correlação entre as quatro sondagens estudadas,



para o intervalo Jurássico Inferior e Médio. Foram realizadas duas correlações distintas, uma com base nas interpretações de electrofacies e na bibliografia existente sobre as unidades litostratigráficas identificadas nas sondagens, outra apoiada nas sequências sedimentares reconhecidas, com base nas associações de electrofacies.

Através da correlação das unidades litostratigráficas, identificadas com base nas electrofacies definidas (figura 13), pretende-se compreender as relações laterais de fácies e a distribuição espacial dos sistemas deposicionais, o que permite inferir a geometria das unidades e contribuir para o aprofundamento do seu conhecimento.

Nas sondagens que representam o sector setentrional (SPM-2 e MRW-8) foi possível reconhecer padrões de electrofacies semelhantes entre si, tal como se verificou entre as sondagens que

representam o sector central (SM-1 e Ga-1), devido à sua proximidade regional e ao facto de se encontrarem no mesmo sector da bacia. A separar estes dois sectores existe o alinhamento estrutural Lousã-Caldas, que provavelmente condicionou a sedimentação. Esta possibilidade também se manifesta no sinal da curva de raios gama, pois quando se correlacionam as quatro sondagens em simultâneo, os padrões de electrofacies são distintos entre sondagens de sectores diferentes. As sondagens em posições mais distais, do sector setentrional, apresentam uma grande variabilidade de electrofacies, com valores altos de radioatividade do perfil de raios gama, indicando uma componente mais margosa. As sondagens em posições mais proximais, do sector central, apresentam pouca variabilidade de electrofacies e são bastante mais monótonas, apresentando valores substancialmente mais baixos

**Figura 13**  
Correlação entre as unidades litostratigráficas e as electrofacies identificadas nas sondagens estudadas.

**Figure 13**  
Correlation between lithostratigraphic units and electrofacies identified in the studied wells.

de radioatividade do perfil de raios gama, o que indica uma componente mais calcária.

Posteriormente, realizou-se uma nova correlação das quatro sondagens estudadas, utilizando uma metodologia diferente de correlação, em que se aplicam os conceitos da estratigrafia de seqüências, fundamentados nas electrofácies definidas para o Jurássico Inferior e Médio.

Esta correlação foi feita com base nas seqüências sedimentares de 2ª ordem, estabelecidas por Duarte (2007), e posteriormente identificadas nas quatro sondagens em estudo, com base na interpretação das associações de electrofácies definidas.

Definiram-se associações de electrofácies, nas quais se integraram num mesmo grupo (associação), as electrofácies com características comuns. Assim, as doze electrofácies previamente definidas foram agrupadas, com base nas suas afinidades qualitativas e quantitativas de valores de radioatividade, em cinco associações de electrofácies distintas (Tabela I). Deste modo, as electrofácies MAM e MMA foram agrupadas na associação de electrofácies A, pois ambas apresentam valores muito elevados de raios gama, entre 7 e 9 Ra eq/ton, que correspondem litologicamente a camadas bastante argilosas intercaladas com camadas margosas. As electrofácies MCM, MC e CMM integram a associação de electrofácies B, pois apresentam valores médios de raios gama entre 4 e 7 Ra eq/ton, que litologicamente equivalem a alternâncias de calcário margoso e margas. As electrofácies CCM, CM e CMC integram a associação de electrofácies C, pois apresentam valores médios a baixos de raios gama, entre 1,5 e 4 Ra eq/ton, que correspondem, litologicamente, a camadas de calcário cinzento alternadas com calcário margoso e margas. As electrofácies CMCD e CDCM integram a associação de electrofácies D, pois apresentam também valores de raios gama médios a baixos, entre 2 e 4 Ra eq/ton, mas litologicamente equivalem a alternâncias de calcário margoso e calcário dolomítico. Por último, reconhece-se a associação de electrofácies E, na qual se incluem as electrofácies CCD e CDC, pois ambas apresentam valores baixos de raios gama, entre 1 e 3 Ra eq/ton, correspondendo a camadas de calcário intercaladas com camadas de calcário dolomítico.

A análise das associações de electrofácies permitiu reconhecer duas electro-sequências nas quatro sondagens estudadas. Estas electro-sequências são definidas por ciclos transgressivos e regressivos (figura 14). Os ciclos transgressivos são caracterizados por apresentarem um aumento gradual dos

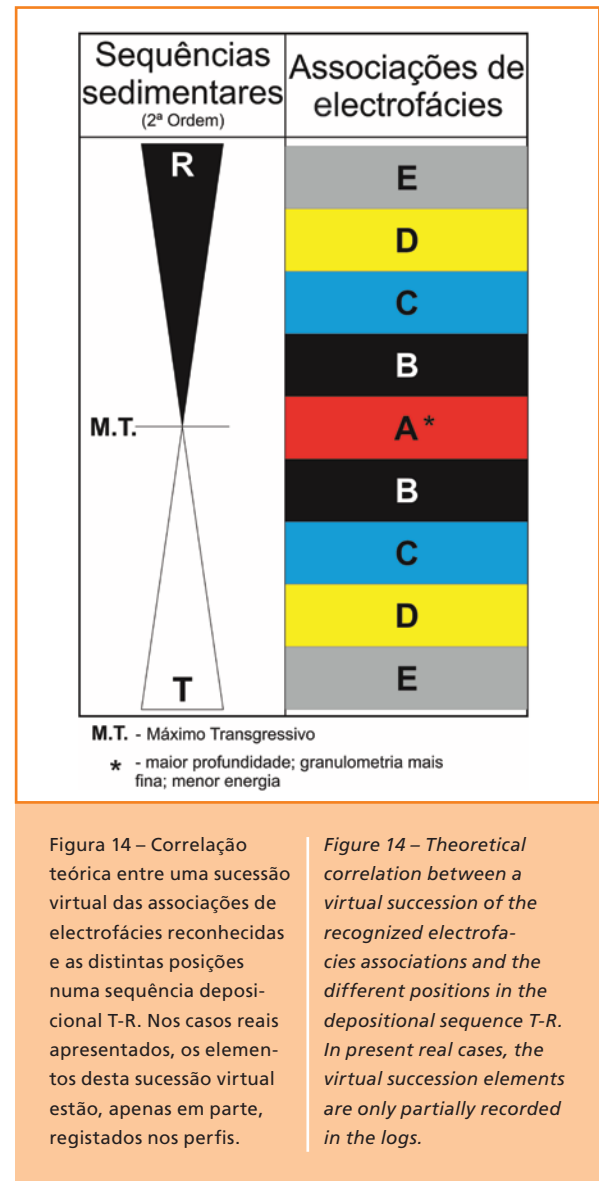
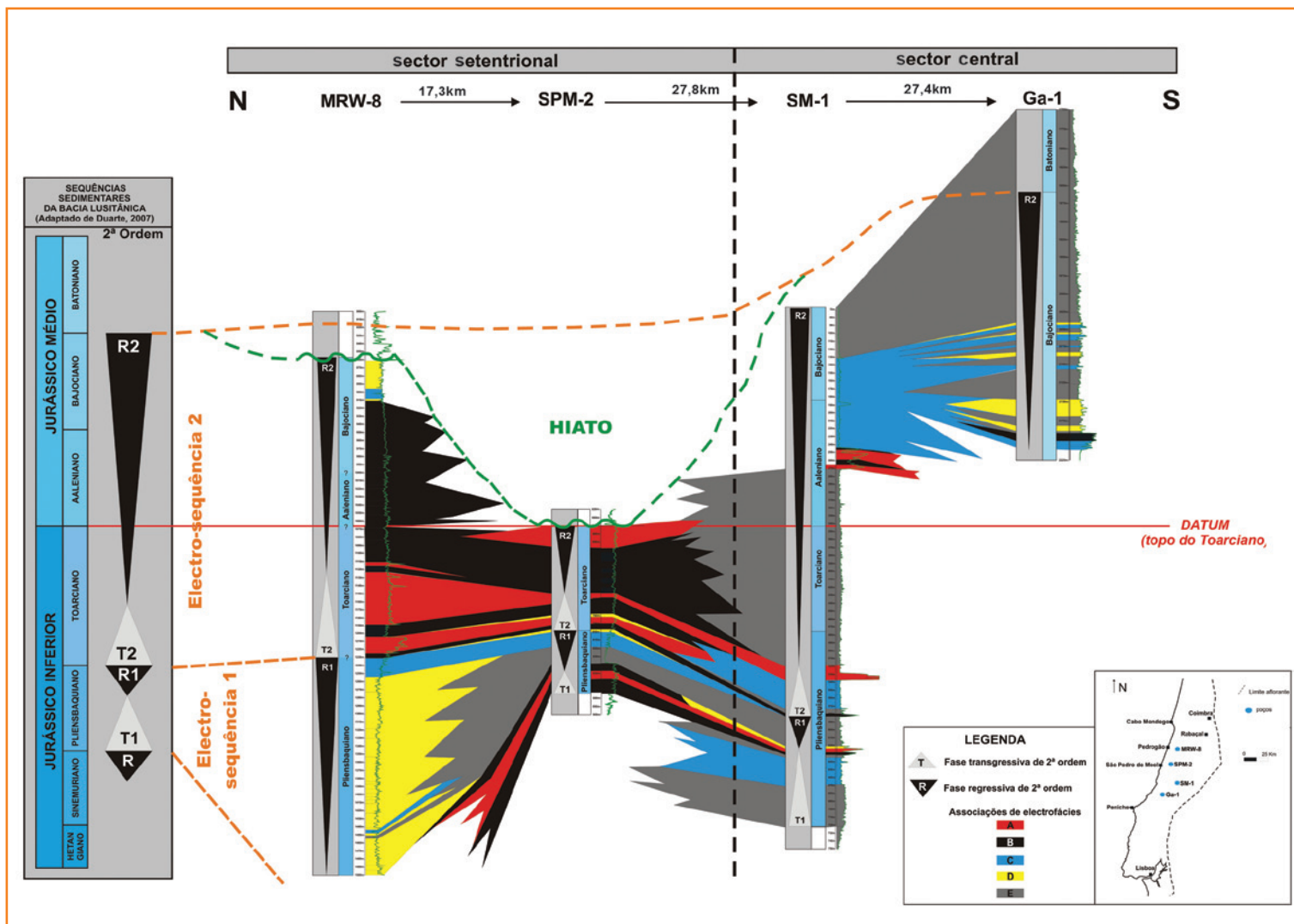


Figura 14 – Correlação teórica entre uma sucessão virtual das associações de electrofácies reconhecidas e as distintas posições numa seqüência deposicional T-R. Nos casos reais apresentados, os elementos desta sucessão virtual estão, apenas em parte, registados nos perfis.

Figure 14 – Theoretical correlation between a virtual succession of the recognized electrofacies associations and the different positions in the depositional sequence T-R. In present real cases, the virtual succession elements are only partially recorded in the logs.

valores de raios gama para o topo, interpretados pelas associações de electrofácies que representam uma tendência de granulodecrescente para o topo. O máximo de transgressão é representado pela associação de electrofácies A, característica de litologias mais argilosas, formadas em condições de maior profundidade, o que traduz um aprofundamento das condições deposicionais para o topo. As superfícies de inundação máxima são evidenciadas por picos de valores elevados no perfil de raios gama. Os ciclos regressivos são caracterizados por uma diminuição gradual dos valores de raios gama, apresentados pelas associações de electrofácies que representam um padrão com tendência granulocrescente para o topo, interpretados como representando uma descida do nível do mar.



A partir da identificação das seqüências sedimentares nas sondagens, foi possível correlacioná-las com as associações de electrofácies definidas, bem como inferir as suas variações laterais (figura 15).

A electro-seqüência 1 é reconhecida nas sondagens SPM-2, SM-1 e, parcialmente, na sondagem MRW-8. Na sondagem MRW-8, esta electro-seqüência traduz um ciclo regressivo (R1), que é limitado, no topo, pela Formação de Lemedé. Na sondagem SPM-2, a electro-seqüência 1 traduz o ciclo transgressivo T1, representado pela Formação de Vale das Fontes, e atinge o seu máximo transgressivo à profundidade 839 metros, onde apresenta um pico de valores elevados de raios gama, caracterizado pela associação de electrofácies A, e pelo ciclo regressivo R1, representado pela Formação de Lemedé. Na sondagem SM-1, a electro-seqüência 1 (ciclo transgressivo T1 e ciclo regressivo R1) é parcialmente representada pela Formação da Fórnea.

A electro-seqüência 2 é reconhecida nas quatro sondagens. Na sondagem MRW-8, esta electro-seqüência traduz um ciclo transgressivo (T2), que é marcado, na base, pela Formação de São Gião e atinge o seu máximo transgressivo à profundidade 123 metros, registrado por um pico dos valores de raios gama, também caracterizado pela associação de electrofácies A. A electro-seqüência 2 traduz igualmente um ciclo regressivo (R2), representado pelo topo da Formação de São Gião, pela Formação de Póvoa da Lomba e pela Formação de Degracias, que é interrompido por uma descontinuidade. Na sondagem SPM-2, a electro-seqüência 2 (T2 e R2) é representada pela Formação de Cabo Carvoeiro, e está igualmente interrompida por uma descontinuidade. Na sondagem SM-1, a electro-seqüência 2 (T2 e R2) é representada pela Formação da Fórnea (em parte) e pela Formação de Barranco de Zambujal. Por último, na sondagem

**Figura 15**  
Correlação entre as seqüências sedimentares de 2ª ordem (Adaptado de Duarte, 2007) e as electro-seqüências, identificadas nas sondagens estudadas.

**Figure 15**  
Correlation between sedimentary sequences of 2<sup>nd</sup> order (Adapted from Duarte, 2007) and electro-sequences, identified in the studied wells.

Ga-1, a electro-sequência 2, que apenas traduz um ciclo regressivo (R2), é representada pela Formação de Chão de Pias.

Através desta correlação verifica-se, relativamente às associações de electrofácies do “Grupo Brenha”, uma diferença significativa entre as sondagens que representam o sector setentrional - com associações de electrofácies exibindo valores elevados de raios gama, tradutoras de uma sedimentação com carácter mais margoso – e as sondagens que representam o sector central - com associações de electrofácies exibindo valores baixos de raios gama, tradutoras de uma sedimentação com carácter mais calcário, facto já constatado quando da correlação entre as electrofácies e as unidades litostratigráficas, o que confirma a existência da rampa homoclinal de pendur para NW, que caracteriza a geometria deposicional da Bacia Lusitânica durante o Jurássico Inferior e Médio (Azerêdo *et al.*, 2003). No sector central da bacia, torna-se mais difícil identificar electro-sequências, pois as sondagens estão localizadas em posições mais proximais, e não apresentam grande variedade nos valores de raios gama, o que dificulta o reconhecimento dos respetivos padrões.

## considerações finais

A análise de diagrfias é um estudo de elevado potencial no âmbito da exploração de hidrocarbonetos, pois permite não só realizar interpretações de ambientes deposicionais e análise vertical de fácies, como também o estabelecimento de correlações entre sondagens e sequências deposicionais encontradas em diferentes sectores de bacias sedimentares. Esta análise de diagrfias é feita através da correlação com dados de rocha e testemunhos.

Os perfis são utilizados para avaliar de forma indirecta, tanto qualitativa como quantitativamente, as propriedades físicas das rochas atravessadas ao longo de uma sondagem. Trata-se de uma ferramenta particularmente útil para a inferição de litologias, estimativa de volume de argilas, identificação e diferenciação entre zonas permeáveis de impermeáveis, identificação da rocha geradora e correlação entre sondagens. No presente trabalho desenvolve-se um método de classificação litológica, baseado na análise de perfis de sondagens, que permite a interpretação

do registro estratigráfico em locais onde as unidades estratigráficas não afloram.

A partir da interpretação do registro de raios gama realizado para quatro sondagens efectuadas na Bacia Lusitânica (SPM-2, MRW-8, SM-1 e Ga-1), que atravessaram sedimentos de idade Jurássico Inferior e Médio, foi possível definir doze electrofácies distintas em nove unidades litostratigráficas já descritas para a Bacia Lusitânica: Formações de Vale das Fontes, de Lemedede, de S. Gião, de Póvoa da Lomba, de Degracias, do Cabo Carvoeiro, de Fórnea, de Barranco do Zambujal e de Chão das Pias. Do ponto de vista electrofaciológico, estas formações partilham propriedades físicas comuns (radioactividade), que justificam o seu agrupamento, e que reflectem o carácter predominantemente margo-calcário do “Grupo Brenha”.

Após a caracterização e interpretação das electrofácies foi possível correlacioná-las, nas quatro sondagens estudadas, com as unidades litostratigráficas incluídas no “Grupo Brenha”, de modo a compreender a sua extensão e distribuição lateral na bacia. No entanto, esta ferramenta apresenta algumas limitações, pois nem sempre é possível reconhecer variações de radioactividade significativas nas diagrfias das sondagens, que permitam distinguir as unidades atravessadas. É o caso, por exemplo, da delimitação de alguns membros, pouco espessos e bastante monótonos, nomeadamente da Formação de Fórnea, onde não é possível reconhecer variações expressivas do perfil de raios gama para diferenciar as suas electrofácies.

Do agrupamento de electrofácies foi possível a definição de cinco associações, que permitiram a interpretação de ciclos transgressivos e regressivos, bem como de superfícies de máxima inundação, caracterizando electro-sequências. Assim, para as quatro sondagens estudadas, identificaram-se duas electro-sequências (T1-R1 e T2-R2), com base na interpretação das associações de electrofácies definidas, que se correlacionaram com as sequências sedimentares de 2ª ordem, e que permitiram inferir as suas variações laterais, para o Jurássico Inferior e Médio, na Bacia Lusitânica.

## referências bibliográficas

AZERÊDO, A. C. **Jurássico Médio do Maciço Calcário Estremanho (Bacia Lusitânica):** análise de fácies, micropaleontologia, paleogeografia. 1993. 366 f. Tese



(Doutorado) – Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Portugal, 1993.

AZERÊDO, A. C. Formalização da litostratigrafia do Jurássico Inferior e Médio do Maciço Calcário Estremenho, Bacia Lusitânica. **Comunicações Geológicas**, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, Lisboa, v. 94, p. 29-51, 2007.

AZERÊDO, A. C.; DUARTE, L. V.; HENRIQUES, M. H.; MANUPPELLA, G. Da dinâmica continental no Triássico aos mares do Jurássico Inferior e Médio. **Cadernos de Geologia de Portugal**, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 2003. 43 p.

BARBOSA, B.; SOARES, A. F.; ROCHA, R. B.; MANUPPELLA, G.; HENRIQUES, M. H. **Carta Geológica de Portugal**. Notícia Explicativa da Folha 19-A, (Cantanhede). Escala 1:50.000. 2 ed. Lisboa: Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, 1988. 41p.

CALHÔA, A. M.; HENRIQUES, M. H.; PENA REIS, R. Electrofácies da passagem Jurássico Inferior-Médio da Bacia Lusitânica (Portugal): estudo preliminar, conferência interna. As Geociências no Desenvolvimento das Comunidades Lusófonas, Universidade de Coimbra. **Memórias e Notícias**, Coimbra, v.3, N.S., p. 63-69, 2008.

DINIS, J. L.; REY, J.; CUNHA, P. P.; CALLAPEZ, P.; PENA DOS REIS, R. Stratigraphy and allogenic controls of the western Portugal Cretaceous: an updated synthesis. *Cretaceous Research*, v. 29, n. 5-6, p.772-780, 2008.

DUARTE, L. V. **O Toarciano da Bacia Lusitaniana. Estratigrafia e Evolução Sedimentogenética**. 1995. 349 f. 14 estampas. Tese (Doutorado) – Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra, Portugal, 1995.

DUARTE, L. V. Facies analysis and sequential evolution of the Toarcian: Lower Aalenian series in the Lusitanian Basin (Portugal). **Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro**, Lisboa, v. 83, p. 65-94, 1997.

DUARTE, L. V. Stratigraphic setting, facies variation and sequence stratigraphy of the lower Jurassic carbonate series. In: DUARTE, L. V.; HENRIQUES, M. H. (Eds). **Carboniferous and Jurassic Carbonate Platforms**

**of Iberia**. IAS MEETING OF SEDIMENTOLOGY, 23., Coimbra, 2004. p. 48-51.

DUARTE, L. V. Lithostratigraphy, sequence stratigraphy and depositional setting of the Pliensbachian and Toarcian series in the Lusitanian Basin, Portugal. **Ciências da Terra (UNL)**, n.16, p.17-23, 2007.

DUARTE, L. V.; SOARES, A. F. Litostratigrafia das séries margo-calcárias do Jurássico inferior da Bacia Lusitânica (Portugal). **Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro**, Lisboa, t. 89, p.135-154, 2002.

HENRIQUES, M. H. Aalenian of the Zambujal de Alcaria section (Central Lusitanian Basin, Portugal). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE JURASSIC SYSTEM, 5., Vancouver, 1998. Advances in Jurassic research, **GeoResearch Forum**, Transtec Publications, Zurich, v. 6, p. 85-94, 2000.

KULLBERG, J. C. **Evolução Tectónica Mesozóica da Bacia Lusitaniana**. 2000. 280 f. Tese (Doutorado) – Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Portugal, 2000.

KULLBERG, J. C.; ROCHA, R. B.; SOARES, A. F.; REY, J.; TERRINHA, P.; CALLAPEZ, P.; MARTINS, L. A Bacia Lusitaniana: estratigrafia, paleogeografia e tectónica. In: DIAS, R.; ARAÚJO, A.; TERRINHA, P.; KULLBERG, J. C. (Ed.). **Geologia de Portugal no contexto da Ibéria**. Portugal: Universidade Évora, 2006. p. 317-368.

MOUTERDE, R.; ROCHA, R. B.; RUGET, C.; TINTANT, H. Faciès, biostratigraphie et paléogéographie du Jurassique portugais. **Ciências da Terra (UNL)**, n. 5, p. 29-52, 1979.

NICHOLS, G. **Sedimentology and Stratigraphy**. Oxford: Blackwell Science, 2001, 355 p.

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 de carbono da seção 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.

PALAIN, C. **Une série détritique terrigène**: Les "gres de Silves": trias et lias inférieure du Portugal. Lisboa:

- Serviços Geológicos de Portugal, n. 25, 1976, 377p. (Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal).
- PENA DOS REIS, R. P. B. Morfologias de talude instável em contexto de rifting. Exemplo do Jurássico superior da Bacia Lusitânica. Tema C: Bacias Sedimentares e Geologia Estrutural. In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOLOGIA, 6., 2003. **Anais...** Portugal, 2003. p. 65-68.
- PENA DOS REIS, R.; CORROCHANO, A., BERNARDES, C.; CUNHA, P. PROENÇA; DINIS, J. L. O Meso-Cenozóico da margem atlântica portuguesa: Guias de las excursiones geológicas. In: CONGRESSO GEOLÓGICO DE ESPAÑA, 3., 1992.; CONGRESSO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA, 8., 1992, Espanha. **Anais...** Espanha: Universidad de Salamanca, p. 115-138, 1992.
- 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, 136 p.
- RASMUSSEN, E. S.; LOMHOLT, S.; ANDERSEN, C.; VEJBAEK, O. V. Aspects of the structural evolution of the Lusitanian Basin in Portugal and the shelf and slope area offshore Portugal. **Tectonophysics**, v. 300, n. 1-4, p. 199-225, 1998.
- REY, J.; DINIS, J. L.; CALLAPEZ, P.; CUNHA, P. P. Da rotura continental à margem passiva: composição e evolução do Cretácico de Portugal. **Cadernos de Geologia de Portugal**, Lisboa: INETI, 2006. 75 p.
- RIBEIRO, A.; ANTUNES, M. T.; FERREIRA, M. P.; ROCHA, R. B.; SOARES, A. F.; ZBYSZEWSKI, G.; MOITINHO DE ALMEIDA, F.; CARVALHO, D.; MONTEIRO, J. H. **Introduction à la géologie générale du Portugal**. Portugal: Serviços Geológicos de Portugal, 1979. 114 p.
- RIBEIRO, A.; SILVA, J. B.; CABRAL, J.; DIAS, R.; FONSECA, P.; KULLBERG, M. C.; TERRINHA, P.; KULLBERG, J. C. **Tectonics of the Lusitanian Basin**. Lisboa, 1996. v. 1. 126 p. Final report, Project MILUPOBAS, 1996.
- RIDER, M. **The geological interpretation of well logs**. 2 ed. Scotland: Rider-French Consulting Ltd, 2000. 280 p.
- ROCHA, R. B.; MARQUES, B. L.; KULLBERG, J.; CAETANO, P.; LOPES, C.; SOARES, F.; DUARTE, L. V.; MARQUES, J. F.; GOMES, C. R. **The first and second Rifting phases of the Lusitanian Basin**: stratigraphy, sequence analysis and sedimentary evolution. Lisboa: CEC, 1996. v. 2. Final Report. Project MILUPOBAS, 1996.
- SELLEY, R. C. **Ancient Sedimentary Environments**. 2 ed. London: Chapman and Hall, 1978. 287p.
- SERRA, O. **Diagraphies et Stratigraphie**. Im Mem. BRGM, 1972. p. 481-487.
- SERRA, O.; ABBOTT, H. **The contribution of logging data to sedimentology and stratigraphy**. In: ANNUAL FALL TECHNOLOGY CONFERENCE, 55., 1980. SPE of AIME, paper SPE 9270, 1980.
- SOARES, A. F.; ROCHA, R. B. Algumas reflexões sobre a sedimentação Jurássica na Orla Meso-Cenozoica ocidental de Portugal. **Memórias e Notícias**, n. 97, p. 133-142, 1984. Publicação do Museu do Laboratório de Mineralogia e Geologia, Universidade de Coimbra.
- SOARES, A. F.; ROCHA, R. B.; ELMI, S.; HENRIQUES, M. H.; MOUTERDE, R.; ALMERAS, Y.; RUGET, C.; MARQUES, J.; DUARTE, L. V.; CARAPITO, M. C.; KULLBERG, J. Le sous-bassin nord-lusitanien (Portugal) du Trias au Jurassique moyen: histoire d'un "rift avorté". **Comptes Rendus de L' Académie des Sciences**, Paris, série 2, v. 317, n. 12, p. 1659-1666, 1993.
- SOARES, A. F.; MARQUES, J. F.; SEQUEIRA, A. J. D. **Carta Geológica de Portugal**. Notícia Explicativa da Folha 19-D, (Coimbra-Lousã). Escala 1:50.000. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, Lisboa, 2007, 71 p.
- VEIGA OLIVEIRA, L. C. **Biostratigrafia de Nanofósseis e Estratigrafia Química do Pliensbaquiano-Toarciano inferior (Jurássico Inferior) da Região de Peniche, Bacia Lusitânica, Portugal**. 2007. 2 v. 237 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2007.
- VERA TORRES, J. A. **Principios y Métodos**. Madrid: Editorial Rueda, 1994, 805 p.
- WILSON, R. C. L. A reconnaissance study of Upper Jurassic sediments of the Lusitanian Basin. **Ciências**

**da Terra (UNL)**, Universidade Nova de Lisboa, n. 5, p. 53-85, 1979.

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

WILSON, R. C. L.; HISCOTT, R. N.; WILLIS, M. G.; GRADSTEIN, F. M. The Lusitanian Basin of West Central Portugal: Mesozoic and Tertiary Tectonic, Stratigraphic, and Subsidence History. In: TANKARD, A. J.; BALKWILL, H. (Eds.) **Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins**. Tulsa: AAPG, 1989. p. 341-361. (AAPG Memoir, 46).

## expanded abstract

*The present work consists on the lithostratigraphic interpretation of four wells from Lower and Middle Jurassic sediments, located in the Central and Northern sector of the Lusitanian Basin, based on the study of its petrophysical logs.*

*By analysing the gamma ray log, twelve electrofacies were defined, that provided the subsurface recognition of the lithological characteristics of the different lithostratigraphic units integrating the “Brenha Group”. The electrofacies characterization, defined through the intensity pattern analysis of the gamma ray, in association with the well logs, enabled the correlation of the studied wells with Vale das Fontes, Lemedo, S. Gião, Póvoa da Lomba, Degracias, Cabo Carvoeiro, Fórnea, Barranco de Zambujal and Chão-de-Pias Formations, formerly established for the Central and Northern Sector of the Lusitanian Basin, as well as the recognition of the basinal expression of the electrofacies from the Lower-Middle Jurassic in the Lusitanian Basin.*

*Twelve electrofacies were recognized and interpreted from the analysis of gamma ray log of the four studied wells: MAM, MMA, MCM, MC, CMM, CM, CCM, CMC, CMCD, CDCM, CCD and CDC. These electrofacies are described throughout this work.*

*Two different correlations were done in this work in order to articulate all the interpretations produced. One correlation was based on the interpretations of electrofacies and literature on the lithostratigraphic units identified in the wells, the other on recognized sedimentary sequences based on electrofacies associations.*

*The correlation of lithostratigraphic units identified on electrofacies lead to the understanding of lateral*

*facies relationships and spatial distribution of depositional systems, allowing us to infer the geometry of the units and contribute to the subsurface knowledge of “Brenha Group”.*

*Five electrofacies associations were also defined for the studied wells that allowed the recognition of two second order electro-sequences which were correlated with the sedimentological second order sequences defined for the stratigraphic units that integrate the “Brenha Group”. These electro-sequences are defined by transgressive and regressive cycles.*

*Both correlations – between electrofacies and stratigraphic units, and between electro-sequences, based on a electrofacies’ associations, and 2<sup>nd</sup> order sequences – stress that wells located in distal positions of the basin (NW), present high gamma ray values, indicating marly sedimentation conditions, in contrast with those wells located in proximal positions of the basin (SE) that present low gamma ray values, reflecting carbonate sedimentation, thus confirming the existence of a homocline ramp, deepening to NW, that characterizes the depositional geometry of the Lusitanian Basin during the Lower – Middle Jurassic.*

*This work highlight the role of gamma ray logs in the interpretation of depositional environments and in vertical analysis of facies, by allowing the correlation between outcrop data and subsurface data, through the definition of electrofacies patterns, as it has been developed in the studied logs from “Brenha Group”. The resulting data, if used in the future in other gamma ray log analysis will enable a more accurate correlation of the electrofacies recognized in this work, thus contributing to enlarge subsurface studies on the Lusitanian Basin, namely on stratigraphic intervals with special relevance for oil exploration.*

## autores



**Ana Marisa Gomes de Almeida Santos Calhã**

Petrobras International Braspetro B.V –  
Sucursal em Portugal  
Geóloga de Exploração

[marisa.calhoa@petrobras.com](mailto:marisa.calhoa@petrobras.com)

**Ana Marisa Gomes de Almeida Santos Calhã** nasceu em Coimbra em 16 de Abril de 1981. Licenciou-se em Geologia em 2005 pela Universidade de Coimbra e em 2009 concluiu o Mestrado em Geociências – Área de Especialização em Geologia do Petróleo pela mesma Universidade, tendo produzido uma tese de Mestrado na área de estratigrafia de sequências. Entre 2007 e 2009 trabalhou como bolsista no projeto Atlântis, no âmbito do qual trabalhou em análise e interpretação de perfis de poços na Bacia Lusitânica. Ingressou na Petrobras Portugal em 2011 como Geóloga de Exploração.



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

[penareis@dct.uc.pt](mailto: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.



**Almério Barros França**

[almeriofranca@gmail.com](mailto:almeriofranca@gmail.com)

**Almério Barros França** nasceu em 26 de setembro de 1949 em Jataí, Goiás. Graduou-se em geologia na Universidade de Brasília em 1974, com doutorado na Universidade de Cincinnati, Estados Unidos em 1987. Ingressou na Petrobras em 1975 na então RENOR, Região de Exploração do Norte, em Belém-PA, como geólogo de poço. Entre 1980 e 1983 trabalhou no Consorcio IPT-CESP (Paulipetro), retornando à Petrobras em 1988 para o laboratório de rochas em Natal. Trabalhou por vários anos na Interpretação Exploratória, com ênfase na Bacia do Paraná. Antes de se aposentar em 2011, foi gerente na área de Sedimentologia e Petrologia do Centro de Pesquisas (Laboratório de Rochas) por dois anos. Atualmente é geólogo aposentado e exerce a função de Consultor da Petrobras.

