



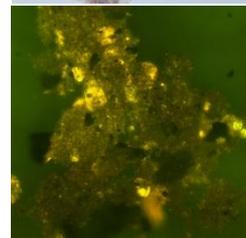
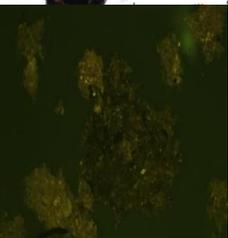
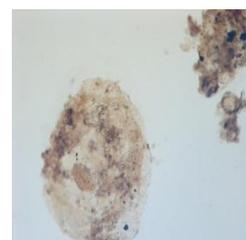
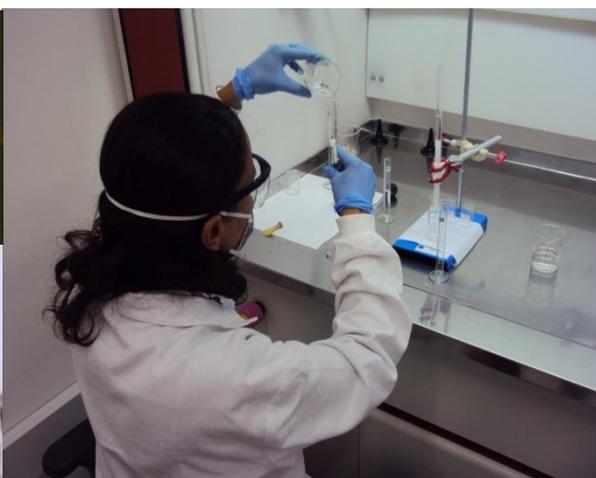
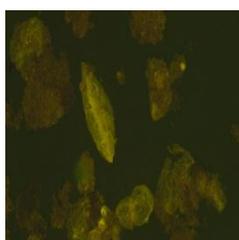
UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra

CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SINEMURIANO SUPERIOR DE S. PEDRO DE MOEL E DE PENICHE (PORTUGAL)

Nadi de Lassalette Trindade de Viana Poças Ribeiro

MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS – RAMO DE GEOLOGIA DO PETRÓLEO

Setembro 2011





UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra

**CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO SINEMURIANO SUPERIOR DE
S. PEDRO DE MOEL E DE PENICHE (PORTUGAL)**

Nadi de Lassalette Trindade de Viana Poças Ribeiro

MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS
Ramo de geologia do Petróleo

Orientadores científicos:

Prof. Doutor Luís Vítor da Fonseca Pinto Duarte, Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade de Coimbra

Prof. Doutor João Graciano Mendonça Filho, Instituto de Geociências, Centro de Ciências
Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro

Setembro 2011

*Dedico este trabalho às
minhas filhas, Patrícia e Sofia.*

ÍNDICE GERAL

Resumo.....	V
Abstract.....	VI
Agradecimentos.....	VII
Índice de figuras.....	IX
Índice de Tabelas.....	XI
Lista de abreviaturas.....	XII
CAPÍTULO 1. ENQUADRAMENTO GERAL.....	1
1.1. Introdução e Objectivos.....	1
1.2. Faciologia orgânica – Conceitos gerais.....	3
1.3. Estudos anteriores de fácies orgânica sobre as unidades e as áreas estudadas.....	5
CAPÍTULO 2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E ÁREAS DE ESTUDO.....	7
2.1. A Bacia Lusitânica: Uma introdução.....	7
2.2. As unidades estudadas e o seu enquadramento estratigráfico.....	9
2.3. Áreas de Estudo.....	12
2.3.1. O Sinemuriano de S. Pedro de Moel: O perfil estratigráfico estudado.....	13
2.3.2. O Sinemuriano de Peniche: O perfil estratigráfico estudado.....	17
CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS ESTUDADOS.....	19
3.1. Recolha e pré-tratamento das amostras.....	19
3.2. Métodos analíticos.....	20
3.2.1. Determinação do Carbono Orgânico Total, Enxofre e Resíduo Insolúvel.....	20
3.2.2. Análise de Palinofácies.....	22
3.2.3. Determinação do Índice de Coloração de Esporos (ICE).....	26
3.2.4. Determinação do Poder Reflector da Vitrinite.....	26
3.2.5. Indicadores moleculares geoquímicos (Biomarcadores).....	29
3.2.5.1. Extracção do betume.....	29
3.2.5.2. Cromatografia líquida.....	29
3.2.5.3. Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM).....	30
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	32
4.1. Caracterização física das amostras	32
4.2. Carbono Orgânico Total (COT), Enxofre e Resíduo Insolúvel.....	33
4.3. Palinofácies.....	35
4.3.1. Grupo Fitoclasto.....	35
4.3.2. Grupo Palinomorfo.....	36
4.3.3. Grupo Matéria Orgânica Amorfa (MOA).....	37
4.3.4. Distribuição dos componentes orgânicos particulados nas unidades sedimentares estudadas.....	38

4.4. Índice de Coloração de Esporos (ICE).....	40
4.5. Poder Reflector da Vitrinite (Ro%).....	40
4.6. Biomarcadores.....	42
4.6.1. Cromatografia líquida.....	42
4.6.2. Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM).....	43
CAPÍTULO 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	45
5.1. Interpretação Paleoambiental.....	45
5.1.1. Palinofácies.....	45
5.1.1.1. O papel da MOA.....	46
5.1.1.2. O papel dos fitoclastos.....	47
5.1.1.3. O papel dos palinomorfos.....	52
5.1.2. Biomarcadores.....	54
5.1.2.1. Os <i>n</i> -Alcanos.....	54
5.1.2.2. Proporção relativa dos esteranos regulares 5 α (H), 14 α (H) (20R) em C ₂₇ , C ₂₈ e C ₂₉	55
5.1.2.3. Razão Pr / Fi.....	55
5.1.2.4. Razão H ₃₅ / H ₃₄	56
5.1.3. Diferenciação das unidades sedimentares.....	57
5.1.3.1. Formação de Coimbra.....	58
5.1.3.2. Formação de Água de Madeiros.....	61
5.2. POTENCIAL DE GERAÇÃO DE HIDROCARBONETOS.....	63
5.2.1. Maturação Térmica.....	64
5.2.1.1. Ro(%) e ICE.....	64
5.2.1.2. Razões de isomerização e estereoquímica molecular.....	66
5.2.1.3. Em síntese.....	68
CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
BIBLIOGRAFIA.....	72
Anexo I. PALINOFÁCIES.....	77
Anexo I.1. Percentagens relativas dos componentes orgânicos particulados.....	78
Anexo I.2. Estampas.....	79
Anexo II. COMPONENTES MOLECULARES.....	84
Anexo II.1. Fragmentogramas de massas m/z 85 (Alcanos).....	85
Anexo II.2. Fragmentogramas de massas m/z 217 e 218 (Esteranos).....	90
Anexo II.3. Fragmentogramas de massas m/z 191 (Terpanos).....	95

RESUMO

O Jurássico inferior da Bacia Lusitânica (Portugal) é composto maioritariamente por uma sedimentação hemipelágica rica em matéria orgânica (MO). O presente trabalho está centrado num conjunto de horizontes do Sinemuriano superior em S. Pedro de Moel e em Peniche, que abrange as formações de Coimbra (maioritariamente composta por calcários) e dos membros de Polvoeira e da Praia da Pedra Lisa da Formação de Água de Madeiros (margas, calcários margosos e *black shales*). Faz-se neste trabalho uma análise da MO que está contida nas referidas duas unidades, sustentada por uma estratigrafia de alta resolução. Os dados referem-se a um estudo que é suportado pela petrografia orgânica [Palinofácies, Índice de Coloração de Esporos (ICE) e poder reflector da vitrinite (Ro%)] e pela geoquímica orgânica [carbono orgânico total (COT) e componentes moleculares] de 31 amostras margo-calcárias.

A análise óptica permite comprovar que os componentes orgânicos particulados são geralmente representados pela matéria orgânica amorfa. Os fitoclastos, geralmente degradados e oxidados, são pontualmente abundantes em alguns níveis estratigráficos da Formação de Coimbra e do Membro de Polvoeira em Peniche. Os palinomorfos mostram uma associação maioritariamente composta por grãos de pólen de *Classopollis*, zigósporos, acritarcas e prasinófitas.

A análise de geoquímica orgânica mostrou que a maioria das amostras é rica em MO, destacando-se alguns horizontes estratigráficos da Formação de Coimbra, com 8,8% de COT e 2,6% de enxofre. Os componentes moleculares indicam uma MO derivada de fitoplâncton e de vegetais superiores com uma abundância relativa dos esteranos regulares em C₂₇ e C₂₉. As condições de preservação da MO com base na razão dos componentes moleculares Pr/Fi e H₃₅/H₃₄ sugerem condições disóxicas-anóxicas em alguns horizontes estratigráficos.

Apesar da natureza orgânica das duas unidades estudadas, os parâmetros ópticos (ICE e Ro%) comprovam que a MO analisada encontra-se termicamente imatura para gerar hidrocarbonetos.

Palavras-chave: Fácies orgânica, palinofácies, componentes moleculares, sedimentação carbonatada, Sinemuriano, Bacia Lusitânica.

ABSTRACT

The Lower Jurassic in the Lusitanian Basin (Portugal) is mainly represented by hemipelagic deposits rich in organic matter (OM). The present work is focused in S. Pedro of Moel and Peniche upper Sinemurian horizons, which covers the Coimbra Formation (mostly composed of limestones) and Polvoeira and Praia da Pedra Lisa members of Água de Madeiros Formation (marls, marly-limestones and black shales).

This work presents an OM analysis of these two units, supported by a high-resolution stratigraphic framework. The data refers to a study that is supported by organic petrography [Palynofacies, Spore Coloration Index (SCI) and vitrinite reflectance (%R_o)] and organic geochemistry [total organic carbon (TOC) and molecular components] of 31 marly limestone samples.

The optical analysis provides evidence that the particulate OM assemblage is generally represented by amorphous organic matter. The phytoclasts generally degraded and oxidized, are occasionally abundant in some stratigraphic levels of Coimbra Formation and Polvoeira Member in Peniche. The palynomorphs are mainly composed by *Classopollis* pollen grains, algal spore, acritarchs and Prasinophytes.

The organic geochemical analysis confirms that most samples are OM-rich, highlighting some stratigraphic horizons of the Coimbra Formation, with 8.8% TOC and 2.6% sulfur values. The molecular components indicate phytoplankton and higher plants OM source with a relative abundance of C₂₇ and C₂₉ regular steranes. Based on the molecular components ratios Pr/Fi and H₃₅/H₃₄ it is suggest that the OM of some stratigraphic horizons was preserved in dysoxic-anoxic conditions.

Despite the organic nature of these two units, the optical parameter (% Ro and ICE) proves that the OM analyzed is thermally immature to generate hydrocarbons.

Keywords: Organic facies, palynofacies, molecular components, carbonate sedimentation, Sinemurian, Lusitanian Basin.

AGRADECIMENTOS

A concretização desta dissertação de Mestrado não foi uma tarefa solitária. Tive a oportunidade de contar com a solidariedade de pessoas que já conhecia, de novos amigos, de familiares e entidades, sem os quais nada teria feito. Gostaria de aqui expressar os meus sinceros agradecimentos a quem me acompanhou durante esta caminhada.

- Ao meu orientador, Dr. Luís Vítor Duarte, pela sugestão do tema, pelas excelentes condições de trabalho que me proporcionou e pelo acolhimento na sua equipa de investigação, que em muito contribuíram para o meu desenvolvimento científico. Agradeço a confiança que sempre depositou em mim, o acompanhamento cuidado no desenvolvimento do trabalho, os ensinamentos que transmitiu na discussão dos resultados e especialmente, o rigor e a atenção que dedicou à redacção final desta dissertação.

- Ao meu co-orientador, Dr. João Graciano, pelo modo entusiasta com que conduziu o curso de Geoquímica do Petróleo que foi, sem dúvida, o “arranque” desta investigação. Sou grata por ter “aberto as portas” do LAFO para a realização desta investigação, não esquecendo os seus valiosos ensinamentos, a atenção e paciência na revisão e discussão das minhas observações, mesmo à distância, porque sei, que lhe faltava tempo.

- Quero agradecer a forma acolhedora, à boa maneira brasileira, como fui recebida por todos os integrantes da equipa de investigação do LAFO.

- À Dra. Joalice Mendonça (LAFO) pela incansável paciência e pronta disponibilidade no ensino das técnicas de petrografia orgânica e tratamento dos dados, pela partilha de momentos muito divertidos e disponibilidade que ainda demonstra. À Dra. Taís Freitas (LAFO), pelos seus ensinamentos em biomarcadores e infinita paciência com as questões que foram surgindo. Ao Dr. Frederico Sobrinho pela sua disponibilidade e pela sua companhia sempre simpática e divertida. Ao Mestre Donizete de Oliveira, agradeço por toda a disponibilidade e atenção.

- À Renata Chagas, Jaqueline Souza, Thiago Barbosa, Guilherme Nascimento, Milton, Danielle e Jéssica Gonçalves agradeço os ensinamentos na preparação das amostras, a simpatia e o empenho em me ajudar sempre que precisei.

- Aos colegas Ricardo Silva e Ricardo Paredes, sou grata pela partilha de conhecimentos, críticas pertinentes e companheirismo ao longo deste ano. Ao Gil Correia, o meu único colega nestes dois anos de mestrado, agradeço a companhia, amizade, respeito e a boa disposição que sempre transmitiu.

- À amiga Paula Gonçalves (UP), com quem tive a oportunidade de partilhar a estadia no Rio, agradeço pela partilha dos momentos de estudo, pela agradável e divertida companhia que em muito contribuiu para diminuir as saudades de casa e pela disponibilidade demonstrada em tudo o que precisei.

- Ao meu marido, agradeço por me ter substituído no meu papel de mãe nos dois meses em que estive no Brasil, mas sobretudo, pelo constante incentivo e paciência com as minhas angústias nas últimas semanas de escrita desta dissertação.

- Aos meus familiares pelo constante encorajamento, especialmente, aos meus pais e às minhas irmãs, com quem sempre contei e que mesmo distantes sempre me apoiaram.

- Ao consórcio Petrobras – Galp - Partex pelo apoio logístico.

- Este trabalho foi financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Factores de Competitividade COMPETE e por Fundos Nacionais através da FCT- Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do projecto PTDC/CTE-GIX/098968/2008 - "High resolution stratigraphy of the Lower Jurassic organic-rich marine séries in the Lusitanian Basin".

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. 1. Mapa geológico simplificado, referente aos afloramentos do Jurássico na Bacia Lusitânica (adaptado da Carta Geológica de Portugal na escala 1:500000 e DUARTE <i>et al.</i> 2010b).....	2
Fig. 2. 1. Disposição das bacias marginais portuguesas (<i>in</i> DGEG, 2011).	7
Fig. 2. 2. Quadro litostratigráfico de unidades sedimentares da Bacia Lusitânica. Retirado de AZERÊDO <i>et al.</i> (2003).	10
Fig. 2. 3. Quadro litostratigráfico de unidades sedimentares da Bacia Lusitânica.	11
Fig. 2. 4. Localização geográfica das áreas de estudo (adaptado de GOOGLEEARTH, 2011).12	
Fig. 2. 5. Representação cartográfica das unidades carbonatadas aflorantes na região de S. Pedro de Moel, não estando representados os depósitos que correspondem à actual linha de praia. Retirado de DUARTE <i>et al.</i> (2008).	13
Fig. 2. 6. Perfil litostratigráfico do Sinemuriano aflorante em S. Pedro de Moel (segundo DUARTE & SOARES, 2002; DUARTE <i>et al.</i> , 2010b), onde se pode observar a distribuição da amostragem realizada. Cronostr: Cronostratigrafia, Bio: Biostratigrafia, Litostrati: Litostratigrafia.	15
Fig. 2. 7. Alguns afloramentos onde foi realizada a amostragem. A: Porção intermédia da Fm de Coimbra (Praia do Farol de S. Pedro de Moel); B: Porção superior da Fm de Coimbra, com a identificação de dois horizontes analisados (Praia da Polvoeira) C: Vista geral de um afloramento do Mb de Polvoeira onde foi recolhida parte da amostragem SPMP 10 à SPMP 15 (Praia da Polvoeira); D: Vista geral de um afloramento da Fm de Água de Madeiros que mostra em continuidade os membros de Polvoeira e da Praia da Pedra Lisa, onde foi realizada parte da amostragem SPMP 16 à SPMP 24 (Praia de Água de Madeiros). A elipse em B indica a posição do martelo.....	16
Fig. 2. 8. Porção superior do Mb de Praia da Pedra Lisa onde se recolheram as amostras SPMP 25 e 26.....	17
Fig. 2. 9. Perfil genérico do Sinemuriano – Pliensbaquiano em Peniche (segundo DUARTE <i>et al.</i> , 2004), onde se pode observar a distribuição da amostragem realizada.	18
Fig. 2. 10. Vista geral da Fm de Água de Madeiros em Peniche, onde se recolheram as amostras PEP 1 à PEP 5 (Praia do Portinho de Areia).	18
Fig. 3. 1. Fluxograma com a designação das principais etapas do trabalho.	19
Fig. 3. 2. Fluxograma com a designação dos métodos analíticos utilizados. ICE: Índice de Coloração de Esporos; Ro (%): Reflectância da Vitrinite; COT: Carbono orgânico Total; CG-EM: Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas.....	20
Fig. 3. 3. Analisador LECO® SC-144DR do LAFO - UFRJ.	21
Fig. 3. 4. Ilustração da fase de neutralização onde se pode observar o procedimento de peneiração.....	22
Fig. 3. 5. Tubos de centrífuga (50ml) onde se pode observar a separação da fracção orgânica e inorgânica.....	23
Fig. 3. 6. Fase de montagem das lamelas.	23
Fig. 3. 7. Observação ao microscópio de uma lâmina organopalinológica.	24

Fig. 3. 8. Resumo da classificação dos grupos morfológicos (MENDONÇA FILHO <i>et al.</i> , 2010a).	25
Fig. 3. 9. Lâminas padrão da escala Internacional da Robertson Research UK® (<i>in</i> BALBINOT, 2008).....	26
Fig. 3. 10. <i>Plugs</i> de concentrado de cerogénio de algumas amostras analisadas.	27
Fig. 3. 11. A: Extractor de <i>Soxhlet</i> / B: Evaporador rotativo a vácuo.....	29
Fig. 3. 12. Uma etapa do procedimento laboratorial para extrair a fracção saturada da coluna de fraccionamento.	30
Fig. 3. 13. Cromatógrafo Agilent® 7000B <i>Quadrupole</i> GC/MS/MS do LAFO-UFRJ.....	31
Fig. 4. 1. Diagrama triangular mostrando a distribuição dos 3 grupos de componentes de componentes orgânicos particulados das amostras estudadas. A numeração refere- se à atribuída na tabela 4.1.....	38
Fig. 4. 2. Fotomicrografias das amostras SPMP 5 e SPMP 26, mostrando cada uma delas.41	
Fig. 4. 3. Histogramas de frequência das medidas do poder reflector da vitrinite das amostras SPMP 5, SPMP 26, PEP 1, PEP 2 e PEP 3	41
Fig. 5. 1. Distribuição estratigráfica da matéria orgânica particulada de alguns subgrupos de palinofácies. COT: carbono orgânico total; MOA: matéria orgânica amorfa; Palinoforam: palinoforaminífero; IPF: índice de preservação de fitoclastos, FO/FNO: valor da razão entre o total de fitoclastos opacos e os não opacos.....	48
Fig. 5. 2. Relação proximal-distal baseada nos tipos de fitoclastos: preservação selectiva dos tipos de fitoclastos a diferentes pontos em um gradient proximal-distal (segundo TYSON, 1993, 1995; VINCENT, 1995; MENDONÇA FILHO 1999; MENDONÇA FILHO <i>et al.</i> , 2010a, 2010c)	49
Fig. 5. 3. Diagrama triangular mostrando a relação entre a composição dos esteranos regulares 5 α (H), 14 α (H) 20R em C ₂₇ , C ₂₈ e C ₂₉ . Os valores referem-se aos mostrados na tabela 4.7	55
Fig. 5. 4. Distribuição vertical das percentagens relativas dos grupos de palinofácies e dos esteranos regulares C ₂₇ , C ₂₈ e C ₂₉ $\alpha\alpha\alpha$ (20R) das amostras SPMP 1 à SPMP 26. .59	
Fig. 5. 5. Distribuição vertical do COT, razão entre o pristano e o fitano (Pr/Fi) e entre os hopanos em C ₃₅ e C ₃₄ (H35/H34) das amostras SPMP 1 à SPMP 26. A numeração corresponde ao atribuído na tabela 4.1.....	60
Fig. 5. 6. Evolução geral da matéria orgânica depois da sedimentação (PETERS <i>et al.</i> , 2005). G.H: gás húmido.....	64
Fig. 5. 7. Relação entre o tempo (milhões de anos), Temperatura (°C) e Maturação (ICE e %Ro) das amostras estudadas (FISHER <i>et al.</i> , 1980).	65
Fig. 5. 8. Gráfico ternário mostrando a distribuição das fracções aromática, saturada e polar das amostras estudadas. Referem-se aos valores apresentados na tabela 4. 6. A amostra PEP 1 não se encontra representada.....	66
Fig. 5. 9. Distribuição estratigráfica dos valores do COT, reflectância da vitrinite S/R (C ₂₉ $\alpha\alpha\alpha$), $\beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta)$ C ₂₉ , H31 S/ (S+R) e H31 S/ (S+R) das amostras SPMP 1 à SPMP 26 e PEP 1 à PEP 5. A numeração corresponde ao atribuído na tabela 4.1, os valores referem-se aos mostrados na tabela 4.7.....	67

ÍNDICE DE TABELA

Tabela 3. 1. Grupos e famílias de hidrocarbonetos saturados que serão considerados neste estudo e sua informação genérica. Adaptada de MENDONÇA FILHO (2010); PETERS <i>et al.</i> (2004).	28
Tabela 4. 1. Descrição das amostras recolhidas (M.P.P.L – Membro da Praia da Pedra Lisa).	32
Tabela 4. 2. Valores de COT, Enxofre e Resíduo Insolúvel das amostras estudadas.....	34
Tabela 4. 3. Parâmetros estatísticos relativos à variação de COT, S e RI das amostras estudadas: máx: máximo; min: mínimo; méd: média. Os dados referem-se aos apresentados na tabela 4.2.....	34
Tabela 4. 4. Valores do índice de coloração de esporos e o número de observações por amostra.....	40
Tabela 4. 5. Valores de reflectância da vitrinite, desvio padrão e nº de medições para as amostras analisadas.....	41
Tabela 4. 6. Valores percentuais de hidrocarbonetos extraídos por amostra analisada.....	42
Tabela 4. 7. Percentagem relativa de componentes moleculares de esteranos e das razões entre isoprenóides, terpanos e esteranos. $S / R (C_{29}\alpha\alpha\alpha) = C_{29}\alpha\alpha\alpha (20S) / C_{29}\alpha\alpha\alpha (20R)$; $\beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta) C_{29} = [C_{29}\alpha\beta\beta (20R) + C_{29}\alpha\beta\beta (20S)] / [C_{29}\alpha\alpha\alpha (20S) + C_{29}\alpha\alpha\alpha (20R) + C_{29}\alpha\beta\beta (20S) + C_{29}\alpha\beta\beta (20 R)]$; $H_{35}/H_{34} = [C_{35}\alpha\alpha\alpha (22R) / C_{34}\alpha\alpha\alpha (22R)]$; $H_{31}S / (R+S) = [C_{31}\alpha\alpha\alpha (20S) / C_{31}\alpha\alpha\alpha (20R)]$; $H_{32}S / (R+S) = [C_{32}\alpha\alpha\alpha (20S) / C_{32}\alpha\alpha\alpha (20R)]$	44
Tabela 5. 1. Escala de preservação qualitativa baseada num estudo de cerogénio imaturo não oxidado (TYSON, 1995).....	47
Tabela 5. 2. Categoria do índice de preservação de fitoclastos para cada tipo de escala (segundo TYSON, 1995; MENDONÇA FILHO, 1999).....	50
Tabela 5. 3. Valores do IPF e da razão FO/FNO das amostras estudadas.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS

BL	Bacia Lusitânica
C ₂₇	Esterano em C ₂₇
C ₂₈	Esterano em C ₂₈
C ₂₉	Esterano em C ₂₉
CG-EM	Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas
COT	Carbono orgânico total
Fi	Fitano
Fm	Formação
FNO	Fitoclasto não opaco
FNOB	Fitoclasto não opaco bioestruturado
FNOBD	Fitoclasto não opaco bioestruturado degradado
FO	Fitoclasto opaco
H ₃₄	Hopano em C ₃₄
H ₃₅	Hopano em C ₃₅
ICE	Índice de Coloração de esporos
IPF	Índice de preservação de fitoclastos
Mb	Membro
MO	Matéria orgânica
m/z	Razão massa / carga
Pr	Pristano
RI	Resíduo insolúvel
Ro%	Poder reflector da vitrinite

CAPÍTULO 1

ENQUADRAMENTO GERAL

1.1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

Na margem ocidental portuguesa afloram espessos depósitos marinhos do Jurássico. Estão relacionados com o processo geodinâmico de pré-abertura do Oceano Atlântico e encontram-se inseridos no conjunto que compõe o enchimento sedimentar da Bacia Lusitânica (BL). A BL é uma estrutura geológica que reúne cerca de 6km de sedimentos, datados do Triásico Superior ao Cretácico Superior (ver, por exemplo, PINHEIRO *et al.*, 1996) ocupando uma considerável área sensivelmente na direcção N-S, do Porto à Arrábida (fig. 1.1). No processo evolutivo da bacia, os primeiros depósitos verdadeiramente carbonatados foram representados por uma sedimentação fundamentalmente dolomítica na base do Sinemuriano e calcária no Sinemuriano superior (Formação de Coimbra; SOARES *et al.*, 1993; AZERÊDO *et al.*, 2003). Em alguns sectores da bacia, como por exemplo em S. Pedro de Moel e em Peniche, a sedimentação calcária é substituída por outra, gradualmente mais margosa ao longo do Sinemuriano superior (**Formação de Água de Madeiros**; DUARTE & SOARES, 2002; DUARTE *et al.*, 2010b). A última, formalizada em DUARTE & SOARES (2002), compreende dois membros: o Membro (Mb) de Polvoeira na base e o Mb de Praia da Pedra Lisa no topo. O primeiro é essencialmente margoso, muitas vezes comportando horizontes muito ricos em matéria orgânica (*black shales*) e o segundo é essencialmente calcário. Os sedimentos lutíticos passaram a dominar todos os sectores da bacia ao longo do Pliensbaquiano e marcou o início duma sedimentação rica em matéria orgânica (MO) praticamente generalizada a grande parte da BL (DUARTE *et al.*, 2010b).

Neste contexto, este trabalho está centrado no estudo da MO que está contida em alguns horizontes do Sinemuriano superior aflorante em S. Pedro de Moel e em Peniche (fig. 1.1), englobando parte da **Formação (Fm) de Coimbra** e a **Fm de Água de Madeiros**. O objecto de estudo foi seleccionado com base num quadro estratigráfico (litostratigráfico e biostratigráfico) e sedimentológico de alta resolução, e cuja informação demonstra a importância destes sectores na conjuntura de unidades ricas em MO (DUARTE & SOARES, 2002; DUARTE *et al.*, 2004, 2010b). Foram analisadas um total de 31 amostras, das quais 26 correspondem à região de S. Pedro de Moel, distribuídas entre as formações de Coimbra (parte intermédia e superior) e de Água de Madeiros (ambos os membros); e 5 à região de Peniche, que estão estratigraficamente enquadradas no Mb de Polvoeira. Em S. Pedro de Moel centrou-se a maior parte da amostragem porque é, de entre os dois, o local de excelência para o estudo da **Fm de Água de Madeiros**, onde se encontra o perfil-tipo que

esteve na base da sua formalização (ver DUARTE & SOARES, 2002). Em Peniche, os horizontes analisados apenas correspondem ao Mb de Polvoeira, pretendendo-se estudar a variação lateral de fácies que pode ocorrer nesta unidade, entre as duas áreas estudadas.

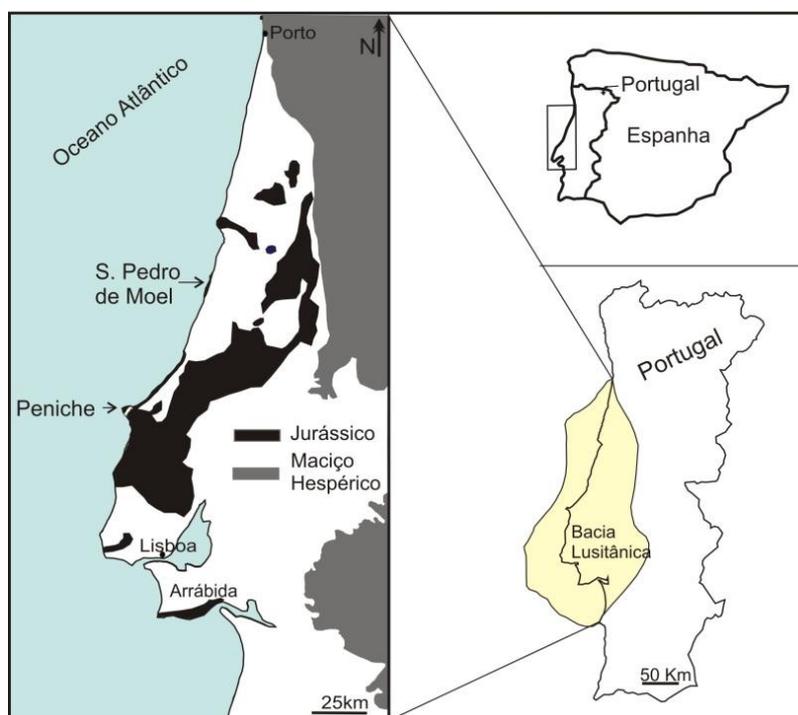


Fig. 1. 1. Mapa geológico simplificado, referente aos afloramentos do Jurássico na Bacia Lusitânica (adaptado da Carta Geológica de Portugal na escala 1:500000 e DUARTE *et al.* 2010b).

Conforme referido anteriormente, este trabalho compreendeu uma componente de campo de recolha de amostras, no entanto, o trabalho desenvolvido é fundamentalmente de natureza laboratorial. A componente laboratorial consiste numa caracterização organofaciológica da amostragem, utilizando técnicas de geoquímica orgânica e de petrografia orgânica. Relativamente à geoquímica orgânica realizou-se a determinação do carbono orgânico total (COT) e do enxofre e estudaram-se alguns componentes moleculares de hidrocarbonetos saturados; no que se refere à petrografia orgânica aplicaram-se as técnicas de palinofácies, índice de coloração de esporos (ICE) e poder reflector da vitrinite (Ro%). Todo o procedimento laboratorial foi efectuado no Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânica (LAFO) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), tendo sido executado durante sensivelmente dois meses.

Este estudo de caracterização organofaciológica de horizontes ricos em MO das formações de Coimbra e de Água de Madeiros, que é suportado pelas distintas técnicas laboratoriais acima mencionadas, pretende-se alcançar dois objectivos principais. Em primeiro lugar, realizar-se-á uma análise de alta resolução da MO presente nas duas

formações acima citadas. Com isto, pretende-se caracterizar as suas condições deposicionais, avaliar a sua distribuição vertical ao longo do Sinemuriano superior aflorante em S. Pedro de Moel e a distribuição lateral de fácies do Mb de Polvoeira entre S. Pedro de Moel e Peniche. Para além destas questões, avaliar-se-á o potencial de geração de hidrocarbonetos, através da análise da maturação térmica destas unidades.

1.2. FACIOLOGIA ORGÂNICA – CONCEITOS GERAIS

A MO que está contida nos sedimentos e rochas sedimentares é constituída por moléculas orgânicas (carbono, hidrogénio, oxigénio, azoto e enxofre) que derivam directa ou indirectamente da parte orgânica de organismos vivos (TYSON, 1995; PETERS *et al.* 2004). A sua presença nos sedimentos é reflexo de um processo dinâmico que envolve a produção, a deposição, a preservação e a consequente modificação durante a sua incorporação no ambiente deposicional (TYSON, 1995). A base para a produção da MO é a fotossíntese. Neste processo, alguns organismos convertem a energia da luz solar em energia química, transformando o dióxido de carbono, a água e os sais minerais em compostos orgânicos e oxigénio. Os compostos orgânicos são sintetizados pelos organismos para a sua sustentabilidade e o oxigénio é libertado, criando-se as condições necessárias para que possa ocorrer uma produção de MO em massa. Os primeiros organismos responsáveis pela sua produção foram as bactérias fotossintéticas e as algas azuis-verdes, tendo estas constituído a principal fonte de produção do Pré-câmbrico ao Devónico. A partir do Devónico deu-se um incremento na produção primária pelo grande contributo fornecido pelos vegetais superiores, estando actualmente equiparada entre os ambientes continentais e terrestres (TYSON, 1995; MENDONÇA FILHO & MENEZES, 2001; MENDONÇA FILHO, 2010).

A MO sedimentar pode corresponder a componentes autóctones e alóctones e a sua acumulação e preservação depende de diversos factores. A acumulação depende da produção de biomassa, ou seja, da quantidade de MO disponível, e de outros factores, tais como os processos de degradação que podem ocorrer tanto no ambiente deposicional como no transporte da MO da fonte para os sedimentos. Para que possa ser preservada, as condições do ambiente deposicional devem ser favoráveis, tendo em conta o ponto de vista da granulometria do sedimento, energia do sistema e taxa de sedimentação. De um modo geral, as condições que conservam e concentram a MO são: 1) os sedimentos de grão fino, onde a acção de bactérias aeróbicas tende a diminuir à medida que o oxigénio molecular dissolvido se esgota; 2) deposição em ambientes pouco energéticos, protegidos da erosão e degradação por acção das ondas; e 3) balanço entre a taxa de deposição do material inorgânico e orgânico (TYSON, 1995; MENDONÇA FILHO & MENEZES, 2001; MENDONÇA FILHO, 2010; MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010a).

A MO depositada é inicialmente modificada por acção microbiológica. No entanto, o soterramento e conseqüente aumento de pressão e temperatura impõem mudanças físico-químicas consecutivas que traduzem o seu grau de maturação. O incremento da temperatura resulta na degradação térmica do cerogénio, gerando consecutivamente o betume, óleo e gás (TISSOT & WELTE, 1984). O cerogénio corresponde à MO disseminada nos sedimentos, e é por definição, insolúvel em solventes orgânicos e o betume é solúvel em solventes orgânicos e compõe-se de componentes moleculares (ver por exemplo, PETERS *et al.* 2004, 2005).

A maturação térmica designa um processo contínuo e está subdividida em três estágios consecutivos: diagénese, catagénese e metagénese, que definem as zonas imatura, matura e senil, respectivamente (TISSOT & WELTE, 1984). Em função das distintas alterações que sofrem as rochas envolventes, no estágio de diagénese, a MO terá sofrido apenas alterações biológicas e químicas, sem alterações térmicas significativas e é designada de imatura. Na catagénese, ocorrem alterações termoquímicas da MO e a temperatura foi adequada para gerar consideráveis quantidades de hidrocarbonetos líquidos e gasosos, sendo este estágio denominado de “janela de geração do óleo”. Na metagénese, as alterações termoquímicas impõem uma diminuição dos hidrocarbonetos líquidos persistindo maioritariamente os hidrocarbonetos gasosos. (TISSOT & WELTE, 1984; PETERS *et al.*, 2004, 2005; MENDONÇA FILHO, 2010).

O estudo da MO sedimentar é um parâmetro essencial aplicado à geologia do petróleo, sendo a existência de horizontes ricos em MO o princípio básico para a ocorrência de hidrocarbonetos em bacias sedimentares. A sua caracterização pode ser obtida utilizando distintas técnicas de investigação. No entanto, deve ser entendida como um estudo multidisciplinar, sobretudo com a integração de técnicas de microscopia óptica e de geoquímica orgânica (TYSON, 1995; MENDONÇA FILHO 1999; MENDONÇA FILHO, 2010). O estudo multidisciplinar da MO assenta no conceito actual de “ fácies orgânica ” que segundo TYSON (1995) a define como “ *um corpo sedimentar contendo uma associação característica de componentes orgânicos que podem ser reconhecidos por microscopia ou ser associados a uma composição organogeoquímica característica* ”.

1.3. ESTUDOS ANTERIORES DE FÁCIES ORGÂNICA SOBRE AS UNIDADES E AS ÁREAS ESTUDADAS

A BL é uma entidade geológica que pode ser entendida como uma bacia-escola pela excelente exposição dos seus afloramentos. De entre outros exemplos igualmente importantes, as unidades sedimentares do Jurássico inferior são uma referência no domínio da sedimentação rica em MO, sendo uma temática cuja abordagem tem sido recentemente intensificada (ver, por exemplo, DUARTE *et al.*, 2010a, 2010b). Neste sentido, e associado ao controlo estratigráfico e sedimentológico que se verifica nas unidades, diversos trabalhos foram realizados com o objectivo de estudar estes horizontes, tanto do ponto de vista do ambiente deposicional como do potencial de geração de hidrocarbonetos. Serão aqui referidos os **trabalhos publicados** relativos à MO, sobretudo nas **áreas estudadas e/ou sobre as formações em estudo**.

Considerando estes critérios, refira-se como uma primeira abordagem a este tema, o trabalho de DUARTE *et al.* (2005), onde se faz uma apresentação preliminar da variação do COT no Jurássico inferior da BL.

OLIVEIRA *et al.* (2006) realizam o primeiro estudo de avaliação do potencial petrolífero e interpretação paleoambiental que envolve o intervalo estratigráfico datado do Pliensbaquiano ao Toarciano inferior em Peniche, com base em estudos de geoquímica orgânica e isotópica.

F. SILVA *et al.* (2007, 2010) referem o bom potencial de geração de hidrocarbonetos da Fm de Água de Madeiros, com base em estudos de COT e pirólise Rock-Eval.

DUARTE *et al.* (2010a) apresentam o estado de arte do Jurássico Inferior em Peniche no que refere à geoquímica orgânica e isotópica onde enfatizam, entre outros aspectos, a relevância da Fm de Vale das Fontes no contexto de unidades ricas em MO.

DUARTE *et al.* (2010b) desenvolveram um estudo de estratigrafia sequencial para o intervalo compreendido entre o Sinemuriano e o Pliensbaquiano em distintos pontos da BL, onde estabeleceram fases transgressivo-regressivas de 2ª ordem e a sua relação com a distribuição do COT.

FERREIRA *et al.* (2010a) mostram uma caracterização organofaciológica da sucessão sedimentar do Pliensbaquiano de Peniche. Num outro estudo, FERREIRA *et al.* (2010b) apresentam um estudo direccionado às questões de maturação térmica da Fm de Vale das Fontes e da parte inferior da Fm de Lemedede, em Peniche.

R. SILVA. *et al.* (2010a, 2010b, 2010c) e SILVA *et al.* (2011) referem os contrastes entre as duas principais unidades com potencial de geração do Jurássico Inferior, as formações de Vale das Fontes (em Peniche) e de Cabaços (em Pedrogão).

No que concerne aos **trabalhos não publicados**, referem-se as obras académicas relacionadas com os critérios anteriormente designados, nomeadamente OLIVEIRA (2007), F. SILVA (2007), MATOS (2009) e FERREIRA (2010). Outros trabalhos, **publicados e não publicados**, embora não tenham sido focados nas formações e nas áreas em estudo, incidem de forma muito directa na avaliação do potencial de geração de hidrocarbonetos das unidades discutidas no presente trabalho e de outras que são enquadrantes [ver, por exemplo, PENA DOS REIS & PIMENTEL (2010); F. SILVA *et al.* (2006)].

Existirão, seguramente, outros investigadores que terão trabalhado sobre as unidades e as áreas estudadas. No entanto, devido à menor acessibilidade a alguns documentos (alguns deles, relatórios) e à necessidade de ser sucinta, não se encontram aqui referidos. Nos trabalhos acima citados, torna-se claro de que na sua grande maioria incidiram na Fm de Vale das Fontes e na área de Peniche. Torna-se necessário, portanto, um estudo mais abrangente das formações de Água de Madeiros e de Coimbra. Relativamente à segunda, não se conhecem trabalhos que tenham sido desenvolvidos com vista à sua caracterização organofacilógica.

CAPÍTULO 2

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E ÁREAS DE ESTUDO

2.1. A BACIA LUSITÂNICA: UMA INTRODUÇÃO

A BL, localizada na margem ocidental Ibérica e cuja formação se encontra associada à abertura do Atlântico Norte (ver, por exemplo, HISCOTT *et al.*, 1990) é uma bacia de *rift* considerada como uma estrutura integrante de um conjunto de bacias atlânticas (interiores e exteriores) (fig. 2.1). Do conjunto de bacias acima citados e ilustrados na fig. 2.1, a BL é a maior das bacias interiores portuguesas, encontrando-se em afloramento e ocupando posições em *offshore*, numa área total estimada em aproximadamente 22000 km² (DGEG, 2011).

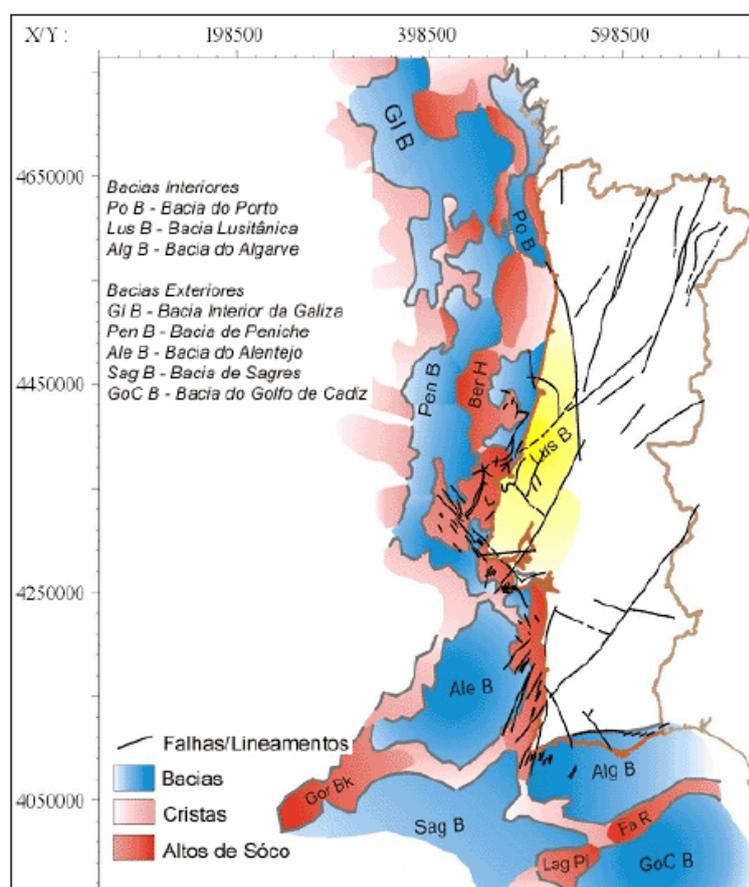


Fig. 2. 1. Disposição das bacias marginais portuguesas (in DGEG, 2011).

O seu limite Norte corresponde a uma transição em *échelon* para a Bacia do Porto (RIBEIRO *et al.*, 1996 in KULLBERG, 2000) e o meridional encontra-se definido pela falha da Arrábida onde contacta com uma elevação do soco que se verifica para sul da Serra da Arrábida (RASMUSSEN *et al.*, 1998). A oriente, contacta com o soco materializado geologicamente por um sistema complexo de falhas, de Norte a Sul, a falha Porto-Tomar (\pm

N - S), o conjunto de falhas de orientação sensivelmente NE - SW: Falha do Arrife – Sistema de falhas do Vale Inferior do Tejo, e a falha de Setúbal – Pinhal Novo (NNW-SSE) e o limite ocidental encontra-se igualmente assente por falha que se situará entre a ilha da Berlenga e a Península de Peniche (KULLBERG, 2000; PINHEIRO *et al.*, 1996; ALVES *et al.*, 2003).

O início da sedimentação na BL ocorreu no Triásico Superior, estando a sua espessura sedimentar estimada em cerca de 6km, depositados maioritariamente no Jurássico, abrangendo um intervalo temporal que termina no Cretácico Superior (PINHEIRO *et al.*, 1996). Os depósitos que engloba encontram-se agrupados em ciclos deposicionais que reflectem a sua evolução tectono-sedimentar em regime polifásico, sendo o primeiro ciclo deposicional (Triásico Superior – Caloviano; WILSON 1988; Wilson *et al.*, 1989; SOARES *et al.*, 1993; AZERÊDO *et al.*, 2003) aquele que enquadra o objecto de estudo do presente trabalho. No início desta fase sedimentar, a bacia foi estruturada por um conjunto de relevos marginais a ocidente, nomeadamente *grabens* e *semi-grabens* que foram criados por reactivação de falhas hercínicas. Nestes depocentros depositaram-se sedimentos fluviais siliciclásticos, erodidos a partir de relevos localizados a oriente, estando materializados por uma grande variabilidade em termos de espessura, por consequência da configuração estabelecida pelos *grabens* e *semi-grabens* (PALAIN, 1976; AZERÊDO *et al.*, 2003).

A sedimentação fortemente clástica foi sucedida no sector oriental por fácies dolomíticas e areníticas do Hetangiano que representam os primeiros depósitos marinhos na BL (SOARES *et al.*, 1993; AZERÊDO *et al.*, 2003); sendo lateralmente (sector ocidental) substituídos por depósitos de natureza argilo – evaporítica, que representam em afloramento, a base do Mesozóico no sector ocidental e Sul da BL (AZERÊDO *et al.*, 2003). Estratigraficamente acima dos depósitos evaporíticos ocorreu uma gradual evolução do sistema sedimentar para um ambiente marinho, tendo-se depositado os primeiros depósitos carbonatados a partir do Sinemuriano, favorecidos por uma rampa de baixo pendor com inclinação para noroeste (AZERÊDO *et al.*, 2003, 2010). Com esta estruturação, depositaram-se maioritariamente no sector oriental sedimentos dolomíticos durante o Sinemuriano inferior e sedimentos calcários no Sinemuriano superior. No entanto, em alguns sectores ocidentais (mais influenciados pela incursão marinha) como é o caso da faixa entre a Figueira da Foz e Peniche e devido ao seu enquadramento paleogeográfico ocorria uma sedimentação marinha mais profunda, essencialmente margo-calcária (DUARTE & SOARES 2002; DUARTE *et al.*, 2010b). Ao longo do Jurássico Inferior firmou-se o ambiente deposicional marinho com abertura da rampa carbonata ao meio marinho (DUARTE, 2007),

tendo-se depositado espessas unidades margo-calcárias, que se estenderam a toda a BL (DUARTE, 1997; DUARTE & SOARES, 2002; DUARTE *et al.*, 2010b).

A partir do Jurássico Médio, e sobretudo ao longo do Bajociano, o sistema deposicional acusou uma tendência regressiva relativa na bacia, sendo materializada por fácies de pequena/média profundidade a E/SE e retracção das fácies mais externas a W/NW (AZERÊDO *et al.*, 2003). Para o final do Jurássico Médio estabeleceu-se uma tendência transgressiva cujas fácies coincidem com uma subida eustática do nível do mar no início do Caloviano (HARDENBOL *et al.* 1998 *in* AZERÊDO *et al.* 2003). Ao longo do Caloviano estabeleceram-se condições regressivas que se estenderam à base do Jurássico Superior e assinalam um hiato à escala da bacia. Corresponde a uma descontinuidade associada a uma lacuna estratigráfica que afecta o Caloviano terminal e o Oxfordiano inferior, com exposição da plataforma (AZERÊDO *et al.*, 2002; 2003). Este evento marca o topo do 1º ciclo deposicional da bacia (WILSON 1988; WILSON *et al.*, 1989). No contexto tectono-sedimentar da BL encontram-se definidos outros ciclos deposicionais entre o Jurássico Superior e o Cretácico (ver por exemplo WILSON, 1988; WILSON *et al.*, 1989; CUNHA & PENA DOS REIS, 1995).

2.2. AS UNIDADES ESTUDADAS E O SEU ENQUADRAMENTO ESTRATIGRÁFICO

Abordam-se neste sub-capítulo as unidades sedimentares que se acomodaram na BL durante o início do Jurássico Inferior, que enquadram a deposição das formações de Coimbra e de Água de Madeiros, que são o objecto de estudo neste trabalho. As unidades litostratigráficas que integram o conjunto sedimentar do 1º Ciclo deposicional Triásico Superior – Caloviano encontram-se definidas e discutidas em termos de variação faciológica, vertical e lateral, em AZERÊDO *et al.* (2003), cujo quadro síntese se apresenta na fig. 2.2. A Fm de Coimbra possui como unidades subjacentes, a interdigitação lateral da Fm de Pereiros e de Dagorda.

A Fm de Pereiros, datada do Hetangiano, está circunscrita ao sector oriental da bacia e é composta por vários corpos líticos. Na sua organização vertical compõe-se de calcários dolomíticos na base, que marcam a primeira invasão marinha na bacia; a que se sobrepõem níveis lenticulares gresosos e fácies heterogéneas dolomíticas e areníticas (ver, por exemplo, SOARES *et al.*, 1993; AZERÊDO *et al.*, 2003). A Fm de Dagorda constitui a unidade subjacente da Fm de Coimbra em S. Pedro de Moel e em Peniche. A sua natureza argilo-evaporítica favoreceu a ocorrência de processos de migração, tanto lateralmente como

verticalmente, e por conseguinte, possui uma espessura difícil de ser estimada. Segundo SOARES *et al.* (1993) pode ascender os 600m.

Relativamente à Fm de Coimbra, desde o trabalho de SOARES *et al.* (1985) que esta unidade se encontra subdividida, informalmente, em duas subunidades dolomítica e calcária (membros *in* AZERÊDO *et al.*, 2003; fig. 2.2). O membro (Mb) dolomítico é constituído por dolomias e calcários dolomíticos e o Mb calcário é constituído por calcários, muitas vezes com interstratificação de leitos margosos. A delimitação dos mesmos é caracterizada por um diacronismo ao longo do eixo transversal da bacia, materializando uma dolomitização mais expressiva e mais recente no seu extremo proximal, como é o caso de Tomar (AZERÊDO *et al.*, 2003). Em alguns sectores distais da bacia, referidos anteriormente, o membro calcário, segundo a concepção de AZERÊDO *et al.* (2003), mostra para o topo uma componente gradualmente mais margosa.

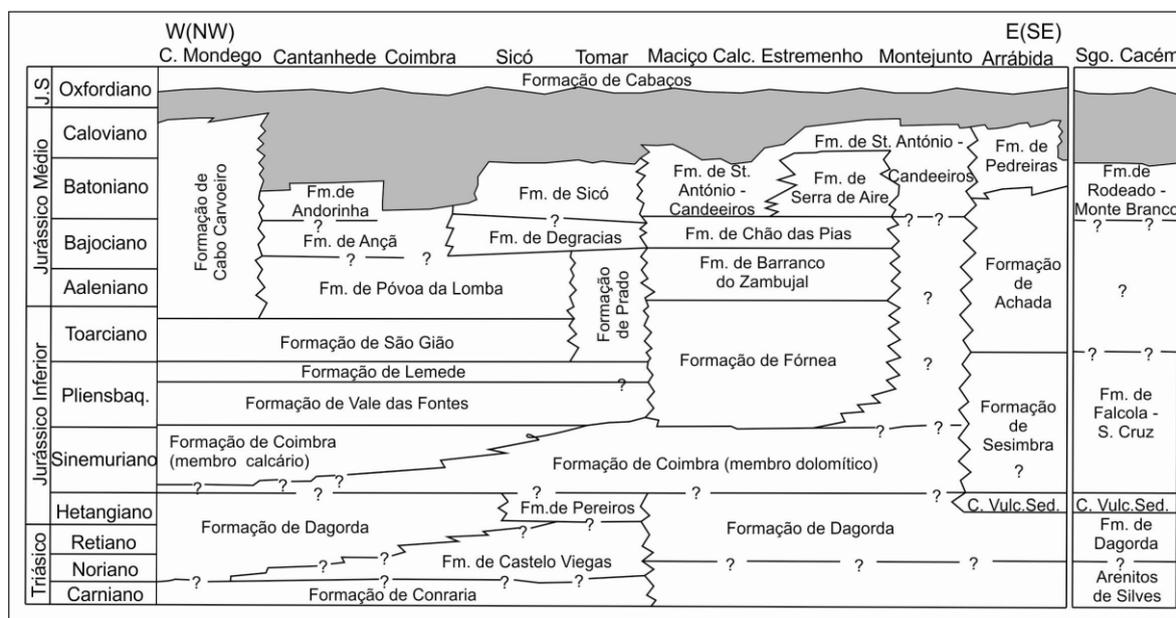


Fig. 2. 2. Quadro litostratigráfico de unidades sedimentares da Bacia Lusitânica. Retirado de AZERÊDO *et al.* (2003).

Estas características sedimentares muito particulares levaram DUARTE & SOARES (2002) a definir formalmente a Fm de Água de Madeiros (fig. 2.3). Em S. Pedro de Moel, a Fm de Coimbra deverá possuir uma espessura superior a 120 m (DUARTE *et al.*, 2008; AZERÊDO *et al.*, 2010), sendo composta por dolomias, calcários dolomíticos (incluindo microbialitos), calcários bioclásticos, micríticos e margosos com raros intervalos margosos. Possui abundante fauna bentónica com bivalves, gastrópodes e braquiópodes, estes últimos ocorrendo apenas no topo (DUARTE & SOARES, 2002; DUARTE *et al.*, 2008). Os primeiros amonóides estão restritos à porção média da unidade, onde contém *Ptycharietites ptychogenos* (Pompeckj) e *Ptycharietites muellense* (*in* DOMMERGUES *et al.*, 2004), datados

da Zona Obtusum (base do Sinemuriano superior) (DOMMARGUES *et al.* 2004; DUARTE *et al.*, 2008). Em Peniche, a Fm de Coimbra encontra-se estimada em cerca de 50m, igualmente calcária, e compreende calcários, calcários bioclásticos e oolíticos, em bancadas de espessura variável.

Cronostratigrafia e Biozonas de amonites			Generalidade da Bacia		Peniche / S. Pedro de Moel		Tomar	
Jurássico Inferior	Pleinsbaquiano	Spinatum	Formação de Lemede					Fm. de Vale das Fontes
		Margaritatus	Fm. de Vale das Fontes	Margo - calcários com níveis betuminosos	Fm. de Vale das Fontes	Margo - calcários com níveis betuminosos		
		Davoei		Margas e calcários grumosos		Margas e calcários grumosos		
		Ibex		Margas e calcários com <i>Uptonia</i> e <i>Pentacrinus</i>		Margas e calcários com <i>Uptonia</i> e <i>Pentacrinus</i>		
		Jamesoni	Membro calcário	Fm. de Água de Madeiros	Membro Praia da Pedra Lisa			
	Raricostatum	Membro dolomítico	Membro de Polvoeira					
	Sinemuriano	Oxynotum	Formação de Coimbra	Formação de Coimbra		Formação de Coimbra		
		Obtusum						

Fig. 2. 3. Quadro litostratigráfico de unidades sedimentares da Bacia Lusitânica. Adaptado de Duarte & Soares (2002).

Em S. Pedro de Moel e Peniche, a Fm de Coimbra é sobreposta pela Fm de Água de Madeiros, que está organizada em dois membros: Mb de Polvoeira na base e Mb da Praia da Pedra Lisa no topo (DUARTE & SOARES, 2002; DUARTE *et al.*, 2008; 2010b). A Fm de Água de Madeiros encontra-se controlada entre as zonas de Oxynotum e a base de Jamesoni (DUARTE *et al.*, 2010b). O Mb de Polvoeira é datado do intervalo entre as cronozonas Oxynotum e Raricostatum (DUARTE *et al.*, 2010b). Em S. Pedro de Moel possui 42 m e é constituído por alternâncias de margas e calcários margosos, geralmente de cor cinzenta, com níveis ricos em MO. Em termos macrofaunísticos, comporta essencialmente bivalves e braquiópodes na porção inferior que dão lugar, superiormente, a amonóides e belemnites (DUARTE *et al.*, 2011a). Em Peniche, a unidade é consideravelmente menos espessa, estimada em 10m, e apresenta uma alternância de margas e calcários margosos, levemente bioclásticos, igualmente ricos em elementos macrofaunísticos bentónicos e nectónicos (DUARTE & SOARES, 2002). O Mb da Praia da Pedra Lisa é fundamentalmente calcário, sendo datado entre o topo da cronozona Raricostatum e a base da cronozona Jamesoni (DUARTE *et al.*, 2010b). Em S. Pedro de Moel possui cerca de 16 m, sendo uma unidade muito bioturbada (*Thalassinoides* e *Rhizocorallium*) na porção inferior; na parte superior, nos últimos 8 m, a série é ligeiramente mais margosa, correspondendo a alternâncias de margas cinzentas centimétricas e calcários decimétricos, com alguns registos fossilíferos bentónicos e nectónicos. Em Peniche, este Membro está estimado em cerca de 50 m, sendo praticamente composto apenas por calcários micríticos e bioclásticos (DUARTE & SOARES,

2002). Segundo SOARES *et al.* (1993) & SOARES & DUARTE (1997) o topo da Fm de Coimbra, e consequentemente da Fm de Água de Madeiros, materializa uma descontinuidade (D4 nos trabalhos referidos), resultante do início de uma fase transgressiva. Este contexto transgressivo estende-se a toda a bacia (ver DUARTE *et al.*, 2010b), através da deposição a Fm de Vale das Fontes (DUARTE & SOARES, 2002), uma unidade que se compõe de margas e calcários, com predomínio da fracção margosa, e que é considerada como uma referência no estudo de unidades jurássicas ricas em MO (DUARTE *et al.*, 2005; 2010a, 2010b; OLIVEIRA *et al.*, 2006; F. SILVA *et al.*, 2006, 2007, 2010; FERREIRA *et al.*, 2010a, 2010b; R. SILVA *et al.*, 2010a, 2011a; 2011b). A esta, sobrepõe-se a Fm de Lemedo (DUARTE & SOARES, 2002), uma unidade calco-margosa muito fossilífera, que marca uma fase regressiva de 2ª ordem.

2.3. ÁREAS DE ESTUDO

Tendo em conta os justificativos apresentados anteriormente, foram seleccionados dois pontos de amostragem: S. Pedro de Moel e Peniche, que distam entre si cerca de 50 km. A amostragem de S. Pedro de Moel foi efectuada entre o Farol de S. Pedro de Moel, a Norte e a Praia de Polvoeira a Sul. Em Peniche, foi efectuada ao Sul da Papôa, na Praia do Portinho da Areia (fig. 2.4). A amostragem teve por base o reconhecimento de níveis estratigráficos de perfis previamente publicados ou em fase de publicação.



Fig. 2. 4. Localização geográfica das áreas de estudo (adaptado de GOOGLEEARTH, 2011).

2.3.1. O Sinemuriano de S. Pedro de Moel: O perfil estratigráfico estudado

As unidades do Jurássico Inferior em S. Pedro de Moel encontram-se fortemente marcadas pela tectónica diapírica (diapiro de S. Pedro de Moel; KULLBERG, 2000; ALVES *et al.*, 2003). Estão dispostas numa estrutura em sinclinal, muito fracturadas segundo duas famílias de falhas (NW-SE; N-S) que originam blocos basculhados, contactos entre formações e às vezes repetição das séries (DUARTE *et al.*, 2008) (fig.II.5). A Fm de Coimbra aflora a norte e a sul do sinclinal. No que se refere à Fm de Água de Madeiros, o perfil-tipo encontra-se definido na Praia de Água de Madeiros, podendo-se igualmente observar o Mb de Polvoeira entre as praias da Pedra do Ouro e de Polvoeira (fig. 2.5).

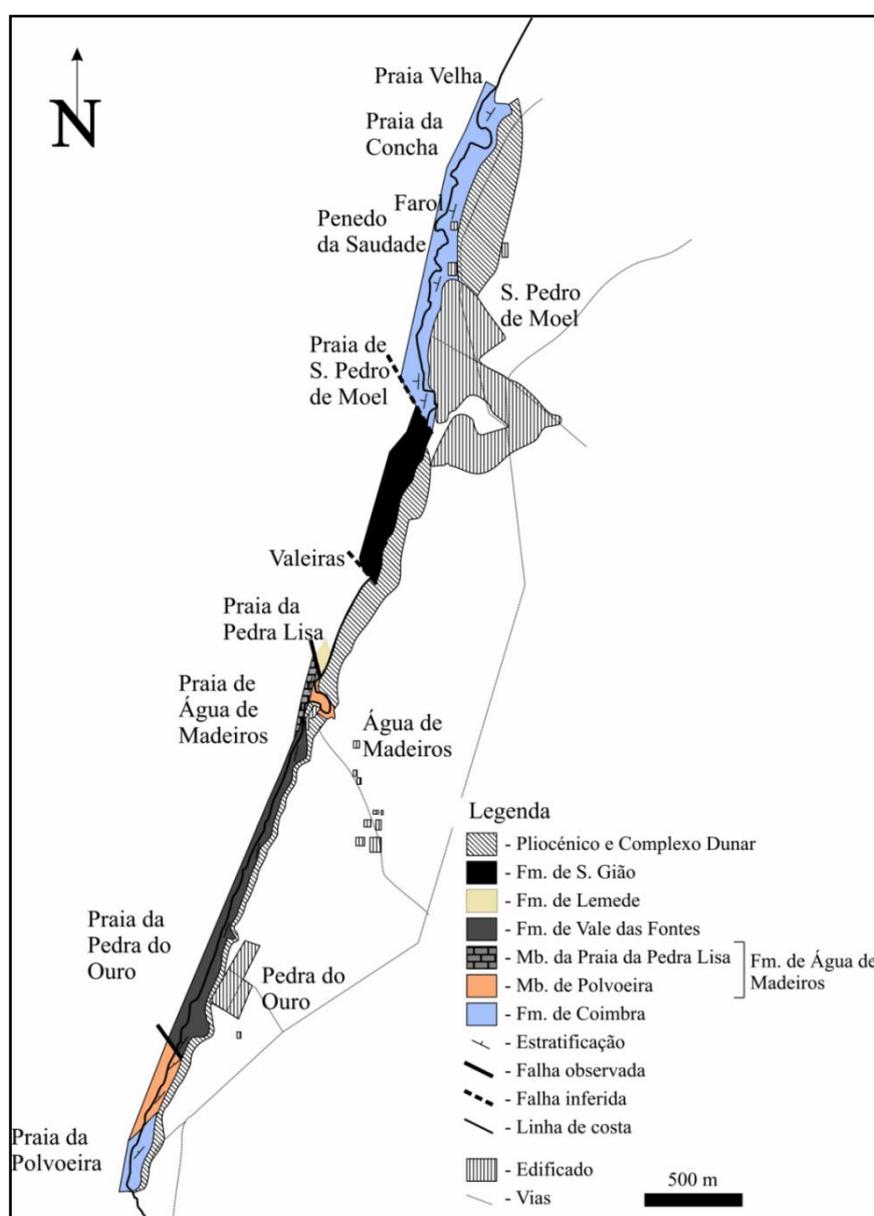


Fig. 2. 5. Representação cartográfica das unidades carbonatadas aflorantes na região de S. Pedro de Moel, não estando representados os depósitos que correspondem à actual linha de praia. Retirado de DUARTE *et al.* (2008).

A amostragem realizada em S. Pedro de Moel teve por base o perfil estratigráfico genérico de DUARTE & SOARES (2002) e de DUARTE *et al.* (2008), onde se definem as duas formações sinemurianas, e os perfis recentemente descritos e publicados por DUARTE *et al.* (2010b, 2011a, 2011b). Nesta área de estudo recolheram-se 26 amostras, distribuídas entre as formações de Coimbra e de Água de Madeiros (fig. 2.6). Das 9 amostras da Fm de Coimbra, os horizontes da porção intermédia (SPMP 1 à SPMP 3) (fig.II.6) encontram-se intervalados entre 10 e 5m, tendo sido recolhidas em pacotes margosos que ocorrem associados a calcários bioclásticos. A amostragem foi realizada no afloramento junto ao farol de S. Pedro de Moel (fig. 2.7 A). Os horizontes analisados encontram-se inseridos no designado 3º conjunto da Fm de Coimbra (ver DUARTE *et al.*, 2008) que coincide com a ocorrência de *Ptycharietites ptychogenos* (Pompeckj) e *Ptycharietites muellense* DOMMERGUES *et al.*, os amonóides mais antigos da BL, datados da cronozona Obtusum (DOMMERGUES *et al.*, 2004). As 6 amostras recolhidas na sua porção superior (SPMP 4 a SPMP 9) (fig. 2.6) encontram-se inseridas no designado 4º conjunto da Fm de Coimbra (ver DUARTE *et al.*, 2008) que se caracteriza por bancadas margo-calcárias com intercalações mais argilosas. Os horizontes analisados compreendem níveis centimétricos de margas que se encontram interestratificados em estratos calcários muito bioclásticos. Estão intervalados a cerca de 2 a 3 m entre si. Recolheram-se na Praia da Polvoeira (fig. 2.7 B).

À Fm de Água de Madeiros correspondem 17 amostras, enquadrando-se todas elas nas cronozonas Raricostatum e Jamesoni (DUARTE *et al.*, 2010b) e encontram-se distribuídas em intervalos variáveis (mínimo de 0,5m e máximo de 4m) (fig.II.6). O conjunto de amostras de SPMP10 à SPMP15 foi recolhido em horizontes margosos de espessura centimétrica, que ocorrem intercalados em calcários muito fossilíferos (amonóides, bivalves e braquiópodes). Esta amostragem foi realizada na Praia da Polvoeira (fig. 2.7 C). As amostras SPMP16 e SPMP24 (fig. 2.6) foram recolhidas na porção superior do Mb de Polvoeira em níveis de marga, calcário margoso e *black shale*, onde as faunas nectónicas tendem a aumentar de expressão relativamente aos elementos macrofaunísticos bentónicos (ver DUARTE *et al.*, 2008; DUARTE *et al.*, 2011a). Recolheu-se na Praia de Água de Madeiros (fig. 2.7 D). Relativamente ao Mb da Praia da Pedra Lisa, as duas amostras recolhidas (SPM 25 e SPMP 26) (fig. 2.6), distam 2,85 m entre si e enquadram-se no topo da unidade que é mais margosa, povoado por faunas bentónicas e nectónicas. Recolheu-se na Praia de Água de Madeiros em margas cinzentas que ocorrem interestratificadas em calcários decimétricos (fig. 2.8).

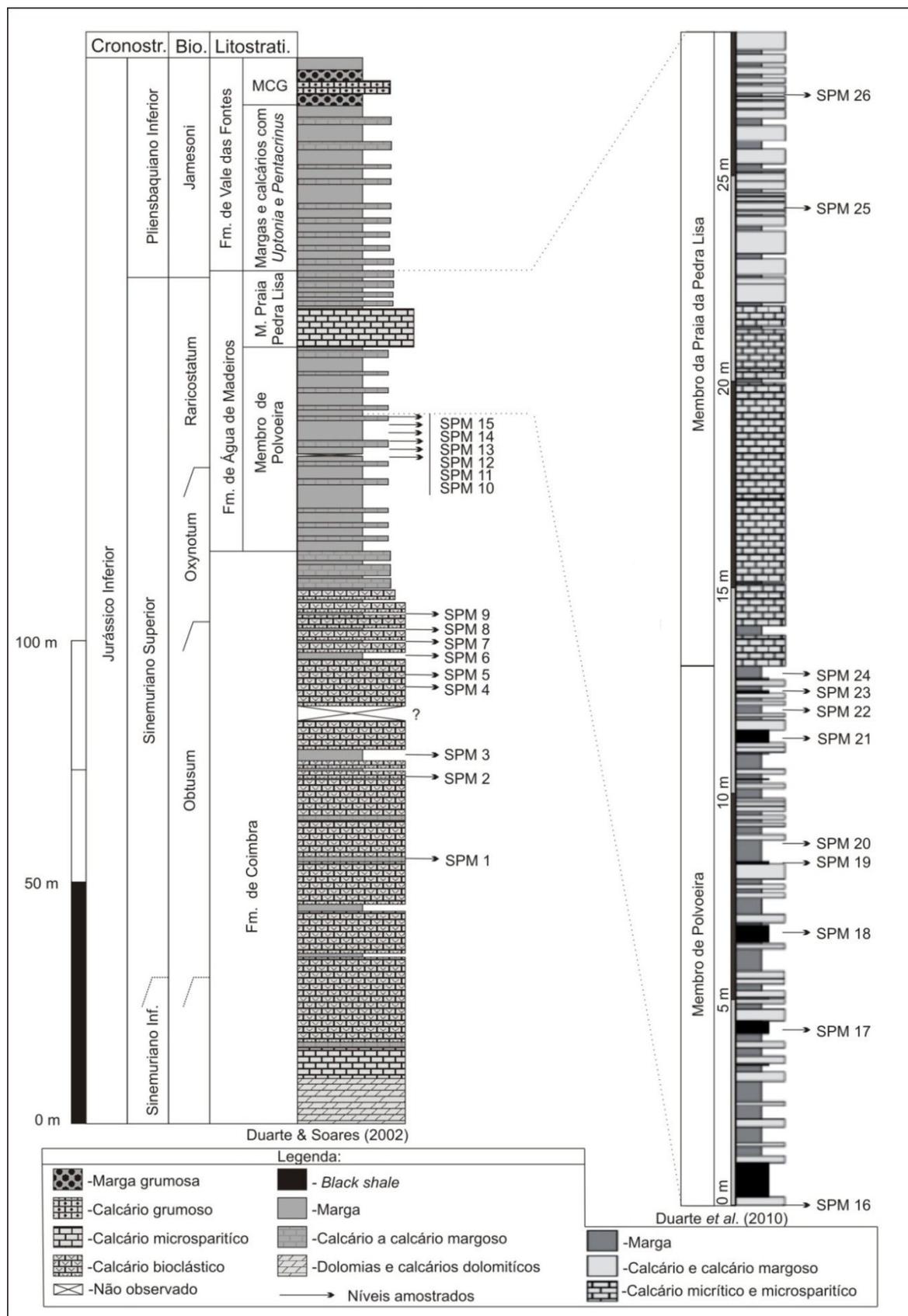


Fig. 2. 6. Perfil litostratigráfico do Sinemuriano aflorante em S. Pedro de Moel (segundo DUARTE & SOARES, 2002; DUARTE *et al.*, 2010b), onde se pode observar a distribuição da amostragem realizada. Cronostr: Cronostratigrafia, Bio: Biostratigrafia, Litostrati: Litostratigrafia.



Fig. 2. 7. Alguns afloramentos onde foi realizada a amostragem. A: Porção intermédia da Fm de Coimbra (Praia do Farol de S. Pedro de Moel); B: Porção superior da Fm de Coimbra, com a identificação de dois horizontes analisados (Praia da Polvoeira) C: Vista geral de um afloramento do Mb de Polvoeira onde foi recolhida parte da amostragem SPMP 10 à SPMP 15 (Praia da Polvoeira); D: Vista geral de um afloramento da Fm de Água de Madeiros que mostra em continuidade os membros de Polvoeira e da Praia da Pedra Lisa, onde foi realizada parte da amostragem SPMP 16 à SPMP 24 (Praia de Água de Madeiros). A elipse em B indica a posição do martelo.



Fig. 2. 8. Porção superior do Mb de Praia da Pedra Lisa onde se recolheram as amostras SPMP 25 e 26 (Praia de Água de Madeiros).

2.3.2. O Sinemuriano de Peniche: O perfil estratigráfico estudado

Os afloramentos do Jurássico que envolvem a Península de Peniche abrangem o intervalo compreendido entre o Sinemuriano e a base do Jurássico Médio, estando considerados como o registo mais completo do Jurássico Inferior em Portugal (ver, por exemplo, MOUTERDE, 1955; DUARTE *et al.*, 2004, 2010b). A continuidade da série e a excelente exposição da maioria dos afloramentos representa um importante objecto de estudo, tendo constituído a base das definições litostratigráficas estabelecidas por DUARTE & SOARES (2002) para o Jurássico Inferior da BL. A sucessão sedimentar constitui igualmente uma referência internacional, tendo sido proposta para receber a definição do estratotipo de limite (“Global Boundary Stratotype Section and Point – GSSP”) do Toarciano (ROCHA, 2007).

Das unidades sinemurianas que aqui se encontram, ou seja, as formações de Coimbra e de Água de Madeiros, estudaram-se alguns horizontes da Fm de Água de Madeiros, concretamente do Mb de Polvoeira. O mesmo encontra-se estimado em cerca de 10m, sendo consideravelmente menos espesso do que em S. Pedro de Moel. As fácies que o tipificam correspondem a margas e calcários margosos, ligeiramente bioclásticos, estando os níveis mais margosos inseridos na porção superior da unidade. Neste sector, não ocorrem as fácies ricas em MO que tipificam a unidade em S. Pedro de Moel. A amostragem foi realizada tendo por base o perfil estratigráfico genérico de DUARTE *et al.* (2004 (fig.2.9). Desta área de estudo recolheram-se e analisaram-se cinco horizontes, representados pelas amostras PEP 1 a PEP 5, que se encontram espaçadas em cerca de 2-4m entre si. Os níveis estudados foram recolhidos na Praia do Portinho de Areia (fig. 2.10).

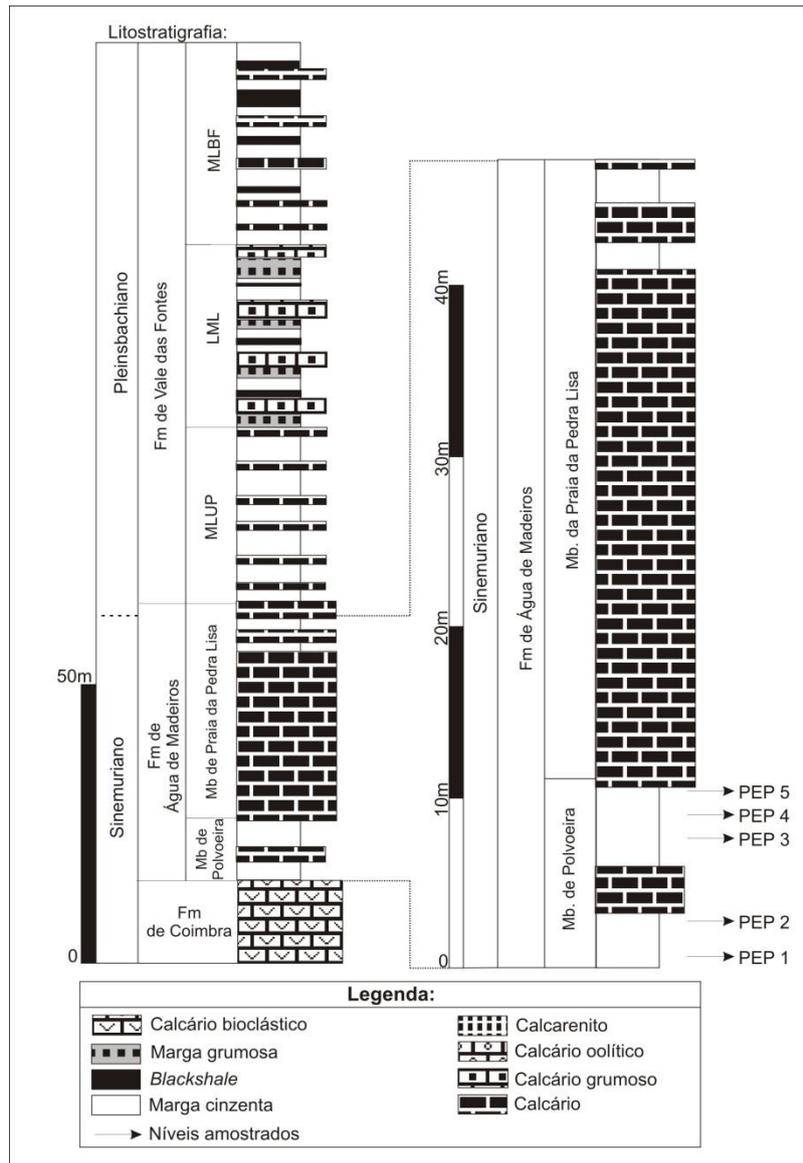


Fig. 2. 9. Perfil genérico do Sinemuriano – Pliensbaquiano em Peniche (segundo DUARTE *et al.*, 2004), onde se pode observar a distribuição da amostragem realizada.



Fig. 2. 10. Vista geral da Fm de Água de Madeiros em Peniche, onde se recolheram as amostras PEP 1 à PEP 5 (Praia do Portinho de Areia).

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS ESTUDADOS

Foi estabelecida uma metodologia de trabalho que consistiu na interacção entre trabalho de gabinete, campo (recolha de amostras) e de laboratório, cujas componentes se encontram ilustradas no fluxograma da fig.3.1.

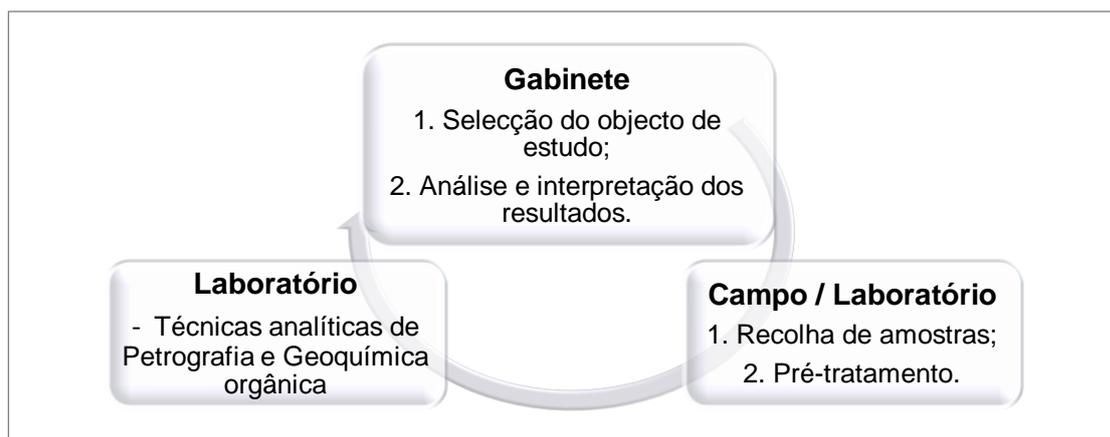


Fig. 3. 1. Fluxograma com a designação das principais etapas do trabalho.

Com vista a realizar uma caracterização organofaciológica de alguns horizontes do Sinemuriano superior da BL, este trabalho foi iniciado no gabinete onde ficou estabelecido o objecto de estudo, a área que seria estudada, os afloramentos e o número de amostras que seriam analisadas. O trabalho de campo consistiu numa análise sumária das unidades sedimentares e na recolha das amostras. De seguida, procedeu-se ao trabalho de laboratório. Posteriormente ao trabalho laboratorial retornou-se ao gabinete para tratamento estatístico dos dados e consequente interpretação dos resultados. Dada a importância dos procedimentos laboratoriais neste trabalho, apresentam-se aqui as descrições dos métodos analíticos utilizados.

3.1. RECOLHA E PRÉ-TRATAMENTO DAS AMOSTRAS

Dos perfis seleccionados foram recolhidas **31 amostras margo-calcárias**, das quais **26 em S. Pedro de Moel e 5 amostras em Peniche**. De cada horizonte a analisar recolheu-se cerca de um quilograma de rocha, que foi acondicionado em sacos plásticos transparentes e devidamente identificado. Os níveis amostrados foram registados fotograficamente (ver figs. 2.7, 2.8 e 2.10). Todas as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Ciências de Terra da Universidade de

Coimbra (LABSED-DCTUC). Fez-se uma descrição sumária (litologia, laminação, cor e conteúdo fóssil) de cada uma e parte de cada amostra (250 gramas) foi limpa, acondicionada e etiquetada para o posterior estudo organofacilógico. Todo o material excedente foi reservado para arquivo.

3.2. MÉTODOS ANALÍTICOS

Todo o procedimento laboratorial tendo em vista a caracterização organofacilógica (fig. 3.2) foi efectuado no LAFO, onde se incidiu em técnicas de Petrografia Orgânica como a **Palinofácies**, o **ICE** e **Ro (%)** e em técnicas de Geoquímica Orgânica como a determinação do **COT**, do **Enxofre** e o estudo de alguns **componentes moleculares de hidrocarbonetos saturados**. Antes de analisadas, as amostras foram fragmentadas de modo a obter dimensões de aproximadamente 2 mm; após a fragmentação, foram colocadas numa estufa à temperatura de 50°C durante dois dias.

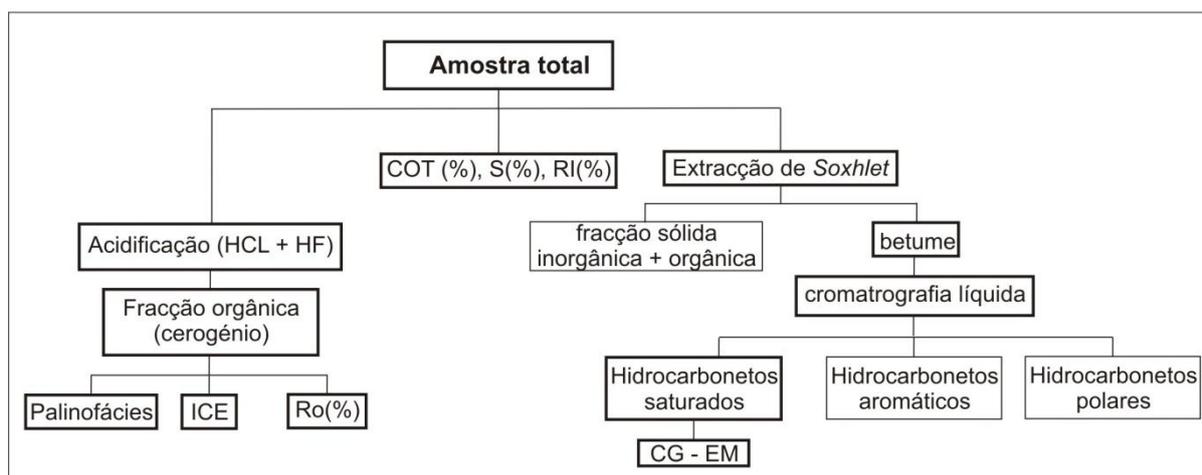


Fig. 3. 2. Fluxograma com a designação dos métodos analíticos utilizados. ICE: Índice de Coloração de Esporos; Ro (%): Reflectância da Vitrinite; COT: Carbono orgânico Total; CG-EM: Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas.

3.2.1. Determinação do Carbono Orgânico Total, Enxofre e Resíduo Insolúvel

A quantidade de MO em sedimentos e rochas sedimentares corresponde à percentagem, em peso relativo, de carbono orgânico e inclui tanto a MO insolúvel em solventes orgânicos (cerogénio) como a MO solúvel em solventes orgânicos (betume) (TISSOT & WELTE, 1984). A análise de COT permite quantificar a MO que está presente na rocha. Esta avaliação constitui um critério inicial na avaliação do potencial de geração de hidrocarbonetos, podendo ser igualmente importante na interpretação de outros dados como a litologia, a origem da MO e o ambiente deposicional (TYSON, 1995; TISSOT & WELTE, 1984). Para cada amostra analisada obedeceu-se ao seguinte procedimento:

Uma massa de cerca de 0,5 gr de sedimento foi pulverizada em almofariz de ágata. De seguida, pesou-se 0,26g num porta-amostra de porcelana filtrante (de massa conhecida) e adicionou-se ácido clorídrico (HCl) a 50% onde permaneceu em repouso por 24 horas, para eliminação da fracção carbonatada. De seguida, foi lavada com água destilada quente (100°C) para eliminação dos cloretos, durante uma hora, e de seguida neutralizou-se com água destilada à temperatura ambiente (conferindo com papel universal). Descartou-se o excesso de água e secou-se em estufa a 65°C, durante aproximadamente 3 horas. No final deste processo registou-se o peso de cada porta-amostra. O COT e S foram quantificados em simultâneo por um analisador LECO® SC-144DR (fig. 3.3).



Fig. 3. 3. Analisador LECO® SC-144DR do LAFO - UFRJ.

O equipamento possui um forno em atmosfera de oxigénio (superseco) à temperatura de 1350°C o que leva à combustão total dos elementos pelo processo de oxi-redução. Para a análise, introduziu-se cada porta-amostra contendo a amostra, no forno do equipamento e o registo das concentrações dos gases carbono e enxofre (CO₂ e SO₂) foi obtido em percentagem de peso relativo à amostra. As análises foram efectuadas em duplicado, apresentando uma exactidão de 99%.

O resíduo insolúvel (RI) é um parâmetro que foi calculado depois de analisadas as amostras. Corresponde à fracção da amostra não eliminada pelo tratamento ácido, pressupondo-se que ocorreu eliminação total dos carbonatos durante a acidificação. Foi calculado para a totalidade das amostras pela seguinte fórmula:

$$RI = (PI / PA) \times 100;$$

onde PI corresponde ao peso do insolúvel (massa da amostra descarbonatada) e PA ao peso da amostra (massa inicial). Deste modo, é assumida uma relação entre a percentagem de carbonato e o RI de cada amostra, que é dado pela seguinte fórmula:

$$\text{Carbonatos (\%)} = 100 - RI$$

3.2.2. Análise de Palinofácies

A Palinofácies é actualmente considerada como o parâmetro mais eficaz na caracterização de fácies orgânica pois **permite uma observação directa do conteúdo orgânico das rochas sedimentares**. A sua aplicação permite identificar, quantificar, avaliar o estado de preservação e determinar as proporções relativas dos componentes orgânicos particulados (TYSON, 1993, 1995). O conceito foi introduzido por COMBAZ (1964) que a definiu como o estudo palinológico do total de componentes da MO contida em um sedimento após a remoção da matriz sedimentar (mineral) pela acidificação com HCl e ácido fluorídrico (HF). A sua aplicação foi difundida por TYSON (1993, 1995), ao defini-la como o estudo palinológico dos ambientes deposicionais e do potencial de rochas geradoras de hidrocarbonetos. Os procedimentos, a seguir descritos, seguem os propostos por TYSON (1995) e MENDONÇA FILHO (1999, 2010a). Refere-se que foi aplicada utilizando a amostra total de sedimento, por se tratar de amostras de afloramento. Para o caso de amostras de sondagem, estas devem ser previamente tratadas com solvente orgânico para remover os fluídos de perfuração. Para cada amostra utilizou-se 20g de sedimento que foram sucessivamente acidificadas em quantidade suficiente para cobri-las, utilizando um gobelé (600ml). Para remover a fracção carbonatada utilizou-se HCl a 37% por 18 horas; para remover a fracção silicatada utilizou-se HF a 40% por 24 horas e para eliminar os possíveis fluorsilicatos formados nas etapas anteriores, utilizou-se HCl a 37%, por 3 horas. Entre o tratamento do ácido foram neutralizadas com água destilada, tendo-se descartado o excesso de água com uma peneira de malha de poliéster (entre 10 e 20µm) (fig. 3.4).



Fig. 3. 4. Ilustração da fase de neutralização onde se pode observar o procedimento de peneiração.

Depois do tratamento ácido foram transferidas para tubos de centrifuga (50 ml) tendo-se decantado por centrifugação durante 3 minutos a 1500 rpm e descartado o excesso de água. Para a obtenção da fracção orgânica (fig. 3.5), completou-se o tubo com cloreto de zinco ($ZnCl_2$) com densidade entre 1,9 e $2g/cm^3$, permanecendo em repouso por

aproximadamente 12 horas. Parte da fracção orgânica (sobrenadante) foi acidificada com 3 gotas de HCl (10%) para eliminar o $ZnCl_2$ que possa ter ficado incorporado. Completou-se com água destilada, neutralizou-se em centrífugadora (3 minutos a 1500 rpm) e descartou-se o excesso de água.

A fracção orgânica neutralizada (cerogénio) foi transferida para um frasco de vidro com tampa e etiquetada para a posterior montagem das lâminas organopalinológicas. Foram montadas numa placa de aquecimento ($50^{\circ}C$) e utilizou-se duas lamelas (24x24mm) para cada uma. Numa das lamelas depositou-se uma gota de cerogénio (fig. 3.6) e na outra, uma gota de cerogénio previamente peneirado em peneira de malha de poliéster de $10\ \mu m$. A ambas, adicionaram-se 2 gotas de goma de acácia e algumas gotas de água destilada para homogeneizar. Depois de secas, fixaram-se com auxílio de resina à base de xileno (Entellan-Merck) numa lâmina de vidro (24x76mm) previamente etiquetada.



Fig. 3. 5. Tubos de centrífuga (50ml) onde se pode observar a separação da fracção orgânica e inorgânica.

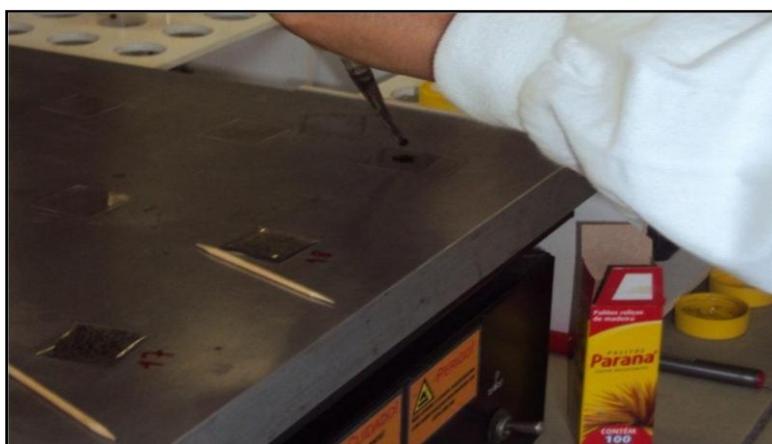


Fig. 3. 6. Fase de montagem das lamelas.

Para observação microscópica (fig. 3.7) utilizou-se um microscópio Carl Zeiss Axio Imager A1 com fonte de fluorescência (lâmpada de mercúrio HBO – 100W), com oculares de aumento de 10X e objectivas com aumentos de 10X, 20X e 40X. Inicialmente fez-se uma análise geral de cada uma para conhecer os componentes, combinando a luz branca transmitida e a luz azul/ultravioleta incidente (fluorescência). Para a contagem, utilizou-se a objectiva com aumento de 20X e contaram-se cerca de 300 componentes por amostra (TYSON, 1995; MENDONÇA FILHO, 1999; MENDONÇA FILHO *et. al.*, 2010a). O número mínimo de 300 partículas é considerado satisfatório pois acima deste valor é adicionada uma precisão inferior a 1% (MENDONÇA FILHO *et. al.*, 2010a). Fez-se uma cobertura da lâmina através de secções transversais verticais e anotou-se manualmente na folha de contagem as partículas que interceptavam as linhas do retículo.



Fig. 3. 7. Observação ao microscópio de uma lâmina organopalinológica.

As partículas identificadas foram subdivididas em três grupos principais: fitoclasto, palinomorfo e matéria orgânica amorfa (MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010a) (fig. 3.8). Adicionalmente fez-se o registo fotográfico dos componentes orgânicos mais representativos de cada amostra. Apenas foram contadas as partículas que obedeciam aos seguintes critérios:

- Partículas do grupo fitoclasto com tamanho superior a 10 μm e mais de metade do tamanho e forma original;
- Partículas do grupo palinomorfo com mais de metade do tamanho e forma original;
- Partículas do grupo matéria orgânica amorfa com tamanho superior a 10 μm .

Identificou-se e realizou-se a contagem absoluta dos componentes dos grupos acima mencionados e definidos na fig. 3.8, calculando-se posteriormente as percentagens relativas desses diversos grupos. Os valores foram normalizados para 100%.

GRUPOS & SUBGRUPOS			DESCRIÇÃO		
MATÉRIA ORGÂNICA AMORFA	"MOA" Material orgânico derivado de ataque microbiológico		Material não estruturado e com formato variado; cor: amarelo-laranja-vermelho; laranja-marrom; cinza, algumas vezes com inclusões de palinóforos, fitoclasto, piritita. Pode exibir ou não colorações de fluorescência		
	Bacteriana (Esteiras microbiais) Material orgânico derivado da produtividade microbiológica		Material amorfo não estruturado, intensamente fluorescente de origem bacteriana. Pode ser fina, 'pelicular' (Combaz, 1980), com impressões de 'crateras' pela dissolução de minerais carbonáticos da matriz inorgânica no processo de isolamento por maceração ácida. Pode apresentar-se também sob a forma de placas densas, compactas, com contornos angulares.		
	Resina Derivado de vegetais terrestres superiores de florestas tropicais e subtropicais		Partícula não estruturada, hialina, usualmente arredondada, homogênea, fluorescente ou não-fluorescente		
FITOCLASTO	Opaco	Equidimensional	Partícula de cor preta de forma quadrática. Sem bioestruturas internas.		
		Alongado	Partícula de cor preta de forma alongada. Comprimento três vezes maior do que a largura. Usualmente não apresenta estrutura interna, porém, os de forma alongada podem, ocasionalmente, apresentar perfurações.		
		Corroído	Partícula de cor preta com contornos difusos e irregulares.		
	Não-Opaco	Derivado de tecidos de vegetais terrestres superiores ou fungos	Hifas de Fungo	Filamentos individuais do micélio da fase vegetativa dos fungos.	
			Não-bioestruturado	Partícula de cor marrom não-bioestruturada.	
			Cutícula	Partículas de cor amarelo-pálido a marrom claro, delgadas, com estrutura celular, em alguns casos com estômatos visíveis. Ocasionalmente, podem ocorrer materiais cuticulares mais espessos, nesse caso a cutícula está associada às camadas mais internas do vegetal, como por exemplo, córtex ou epiderme.	
			Membrana	Partículas de cor amarelo-pálido, comumente transparentes, sem estrutura celular.	
			Bioestruturado	Partícula de cor marrom bioestruturada Estrado Listrado Bandado Perfurado	
	Eslereideico	Células que formam o tecido esclerenquimático, com parede secundária espessada e impregnadas de lignina e são encontradas em diferentes partes do vegetal (raiz, caule e folha) e têm a função de sustentação e resistência. Podem ocorrer total ou parcialmente carbonizados por processos de combustão e/ou oxidação. Podem ser classificados como componentes opacos (pretos) ou não-opacos.			
	PALINOMORFO	Esporomorfo	Esporo	Palinomorfo terrestre produzido por pteridófitas, briófitas e fungos	Palinomorfo de forma triangular ou circular, apresentando a marca trilete ("Y") ou monolete (uma cicatriz. Ornamentação variada. * Podem ocorrer como mássulas (<i>Azolla</i>), aglomerados e tétrades.
Grão de Pólen			Palinomorfo terrestre produzido por gimnospermas e angiospermas	Palinomorfo com morfologia complexa a simples, usualmente esférico a subsférico; ornamentação variada, pode apresentar aberturas * Podem ocorrer como aglomerados e tétrades.	
Microplâncton de água doce		<i>Botryococcus</i>	Algas Chlorococcales	Colônias globulares irregulares; tamanho 30 a 2000µm, algumas vezes com vários lóbulos; laranja-marrom. Carbonífero-Recente	
		<i>Pediastrum</i>		Algas verdes coloniais, radialmente simétricas; tamanho 30-200µm em diâmetro com dois chifres no anel mais externo das células. Células internas podem ser de forma irregular com espaços entre elas ou compactadas. Jurássico (?) -Recente	
Microplâncton marinho		Dinocistos	Restos de cistos produzidos durante a parte sexual do ciclo de vida da Classe Dinophyceae	Principal característica é a paratabulação que divide a teca do cisto em placas retangulares ou poligonais separadas por suturas. Três morfologias principais: proximadas, cavadas e coradas. Muitas vezes com uma abertura (arqueólipo) através da qual ocorre o encistamento. Jurássico-Recente. Existem espécies atuais de água doce.	
		Prasinófitas	Microfóssis produzidos por pequenas algas quadriflageladas (Divisão Phylophyta)	Maioria, como Tasmanites, são esféricas; diâmetro 50 à 2000µm Pré-Cambriano-Recente. Existem espécies atuais de água doce.	
		Acrítarcos	Algas sem status taxonómico, afinidade incerta e de origem provavelmente polifilética e a maioria está relacionada a cistos de algas fotossintéticas, microscópicas	São eucariontes e unicelulares de pequena dimensão (5 à 150µm) Constituídos de cavidade central, circundada por uma parede de camada simples ou múltipla de esporopolinina. Possuem simetria, forma, estrutura e tipo de desenvolvimento da ornamentação bem variados. Surgem no Pré-Cambriano, com auge no Ordoviciano-Devoniano e quase extintos no Permo-Carbonífero. No Mesó-Cenozóico exibem baixa diversidade. Algumas formas de água doce têm sido observadas do Permiano ao Recente	
Zoomorfo		Palinoforaminífero	Película interna quitinosa que reveste a carapaça de foraminíferos	Revestimento orgânico interno de testas de microforaminíferos recuperados na preparação de amostras para análises de palinofácies e palinologia. Exibe coloração bege, marrom claro a marrom escuro. Os principais morfotipos, baseados no arranjo das câmaras, são representados por câmaras simples, unisseriais, bisseriais, espiralados e compostos.	
		Escolecodonte	Elementos dispersos do aparelho bucal de anelídeos poliquetas	Peça bucais, compostas por quitina. Ordoviciano inferior- Recente.	
		Quitinozário	Vesículas em formato de fracos ou pequenas garrafinhas ocas (30 a 2000µm), afinidade incerta	Constituem um grupo extinto de organismos marinhos dotados de testas orgânicas de quitina. Ordoviciano-Devoniano	
Outros	Ex: <i>Spongiophyton</i> , Zooclastos (<i>Graptólitos</i> , Ovos de copépoda)				

Fig. 3. 8. Resumo da classificação dos grupos morfológicos (MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010a).

3.2.3. Determinação do Índice de Coloração de Esporos (ICE)

O ICE é uma técnica de petrografia orgânica que está designada para avaliar a evolução térmica de rochas sedimentares. Alguns componentes orgânicos das rochas sedimentares, tais como os esporomorfos, modificam a sua coloração original de acordo com o efeito térmico a que são submetidos e tornam-se mais escuros com o aumento da temperatura. O ICE consiste na atribuição de valores numéricos às distintas colorações que são visualizadas nos esporomorfos, por comparação com lâminas padrão. O ICE utilizado no presente trabalho foi desenvolvido por BERNARD *et al.* (1981), e corresponde a uma **escala numérica de 1 a 10, com intervalos de 0,5, designada para dar linearidade com o aumento da profundidade e da temperatura**. FISHER (1980) propôs uma correlação dos dados de ICE com as temperaturas e paleotemperaturas calculadas através da R_o (%). Neste trabalho utilizou-se as lâminas-padrão da Robertson Research UK® (fig.3.9).

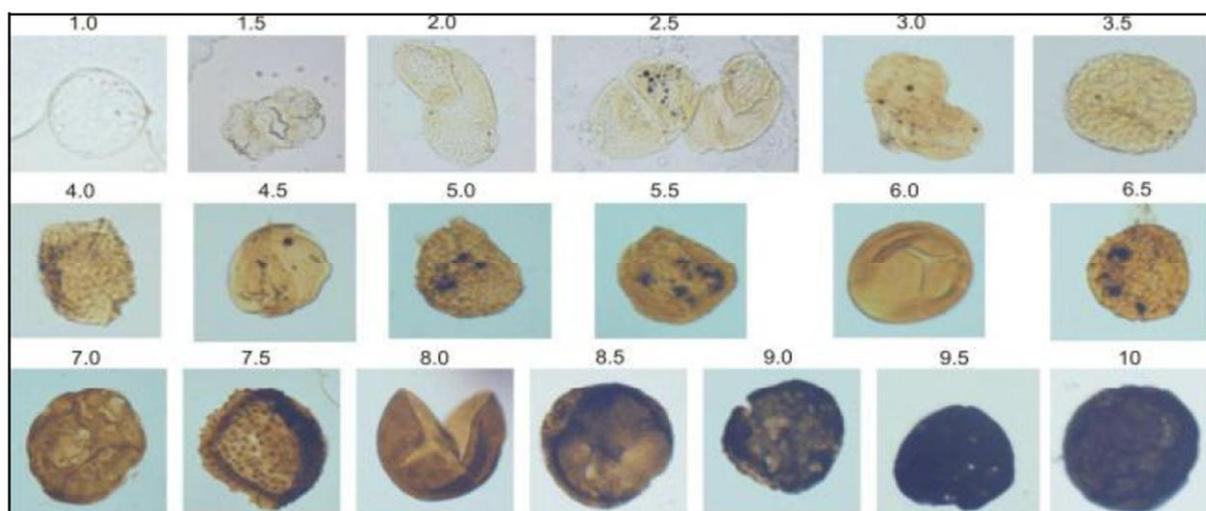


Fig. 3. 9. Lâminas padrão da escala Internacional da Robertson Research UK® (in BALBINOT, 2008).

Para este estudo seleccionaram-se 6 lâminas organopalinológicas, de amostras com maior percentagem relativa de esporomorfos (com base no estudo prévio de palinofácies). Utilizou-se um microscópio de marca Carl Zeiss Axio Imager A1, com ocular de 10X e objectiva de 20X, por observação em luz branca transmitida. Atribuíram-se valores numéricos por anotação manual para as cores dos esporomorfos observados, em correspondência com a escala utilizada.

3.2.4. Determinação do Poder Reflector da Vitrinite

Os macerais correspondem aos constituintes orgânicos microscópicos do carvão e encontram-se subdivididos em três grupos: o grupo da liptinite, o grupo da vitrinite e o grupo da inertinite (ICCP, 1998). O grupo da vitrinite é, geralmente, o mais abundante e a

atribuição de valores numéricos para a medida da **reflectância da vitrinite** constitui um padrão internacional e é considerado **um dos parâmetros mais importantes e mais utilizados em estudos de evolução térmica da MO sedimentar**. Neste estudo, a técnica foi aplicada em *plugs* de concentrado de cerogénio (fig. 3.10) de amostras seleccionadas e escolheram-se as amostras com maior percentagem de fitoclastos não opacos (com base no estudo prévio de palinofácies). Para a confecção de cada um dos *plugs* obedeceu-se ao seguinte procedimento: inicialmente montaram-se os moldes (*plugs*) de resina poliéster (Serifix™) em formas de Teflon™ e de seguida, introduziu-se uma massa de cerogénio (ver técnica de palinofácies) no *plug* e depositou-se numa estufa a 40^oC. Posteriormente foi adicionada uma pequena quantidade da mesma resina, homogeneizado e novamente secado em estufa (40^oC) por 24 horas. Após o endurecimento desta mistura, o *plug* foi retirado da forma e desbastado por lixas de água. No final, foi polido com feltro.



Fig. 3. 10. *Plugs* de concentrado de cerogénio de algumas amostras analisadas.

O poder reflector da vitrinite foi obtido por microscopia óptica com luz branca incidente, utilizando um microscópio de marca Carl Zeiss Axioskop 2Plus, acoplado a um espectrofotómetro J&M e programa MP200 (J&M). As análises foram efectuadas com ocular de 10X e objectiva de 20X em óleo de imersão Imersol™ 518F. Para controlar a exactidão das medidas utilizou-se o padrão de calibração “Espinélio” da Klein & Beckers®, que tem a reflectância padrão de 0,425Ro%. Durante o procedimento analítico, garantiram-se as condições de ausência de luminosidade e climatização a 23^oC ±1 na sala de microscopia. Para cada valor medido identificou-se a vitrinite e mediu-se o valor da sua reflectância no centro da partícula ou num local pouco degradado. Os resultados foram recuperados pelo computador em valores numéricos, média e desvio padrão.

3.2.5. Indicadores moleculares geoquímicos (Biomarcadores)

Biomarcadores são compostos orgânicos moleculares que podem ser encontrados em sedimentos, betume ou petróleo, que **não sofreram alterações significativas na estrutura base que apresentavam no organismo vivo**, apesar dos processos biológicos ou geoquímicos a que foram submetidos durante o enterramento (PETERS *et al.*, 2005). O estudo dos biomarcadores, associado a outras técnicas analíticas, permite conhecer a origem biológica dos compostos orgânicos moleculares, determinar o ambiente deposicional, determinar a evolução térmica de rochas geradoras e estabelecer correlações entre óleo-óleo e óleo-rocha geradora (PETERS *et al.* 2005; MENDONÇA FILHO, 2010). Neste trabalho, serão estudados alguns componentes moleculares de hidrocarbonetos saturados. Os hidrocarbonetos são substâncias constituídas por moléculas compostas de átomos de hidrogénio e carbono. Os hidrocarbonetos saturados são aqueles em que os átomos de carbono se interligam apenas por ligações simples, formando cadeias lineares, ramificadas ou cíclicas, interligadas ou não. Estes correspondem a três grupos: hidrocarbonetos parafínicos normais, hidrocarbonetos parafínicos ramificados e hidrocarbonetos parafínicos cíclicos (tabela 3.2) (PETERS *et al.*, 2004, 2005; MENDONÇA FILHO, 2010). Dentro do grupo de hidrocarbonetos saturados, os considerados como melhores marcadores biológicos são aqueles que possuem estrutura esteróide (esteranos), terpenóide (terpanos) e isoprenóide (isoprenóides) intacta (SEIFERT, 1975). Na tabela 3.2 apresenta-se uma síntese das principais famílias de hidrocarbonetos saturados em estudos de marcadores biológicos e que serão abordados neste trabalho.

Tabela 3. 1. Grupos e famílias de hidrocarbonetos saturados que serão considerados neste estudo e sua informação genérica. Adaptada de MENDONÇA FILHO (2010); PETERS *et al.* (2004).

	Fórmula geral	Principais famílias de componentes moleculares
<p>Hidrocarbonetos parafínicos normais (<i>n</i>-alcanos ou <i>n</i>-parafinas)</p> <p>Formados por cadeias lineares numa série homóloga</p>	C_nH_{2n+2}	$nC_{15} - nC_{31}$
<p>Hidrocarbonetos parafínicos ramificados (isoalcanos, isoparafinas ou parafinas ramificadas)</p> <p>Formados por cadeias ramificadas numa estrutura que pode apresentar ramificações</p>	C_nH_{2n+2}	Isoprenóides regulares (Pristano e fitano)
<p>Hidrocarbonetos parafínicos cíclicos (cicloalcanos, cicloparafinas ou hidrocarbonetos naftênicos)</p> <p>Formados por cadeias ramificadas, numa</p>	C_nH_{2n}	Terpanos

O procedimento laboratorial para este estudo foi realizado em 3 fases, abaixo descritas: 1. Extração do betume; 2. Cromatografia líquida e 3. Análise quantitativa de hidrocarbonetos saturados.

3.2.5.1. Extração do betume

A MO que é extraída dos sedimentos por solventes orgânicos representa o betume e é constituída por uma mistura composta por hidrocarbonetos saturados + aromáticos + compostos NSO (moléculas policíclicas de alto peso molecular com átomos de azoto, enxofre e oxigénio), em partes por milhão (ppm) ou em miligramas de extracto por grama de carbono orgânico (mg/g.C.org.) (TISSOT & WELTE, 1984). A extração do betume foi efectuada com solvente orgânico, utilizando um extractor de *Soxhlet* (fig. 3.11A). Neste processo, a amostra de sedimento (cerca de 50g) foi colocada num cartucho de celulose, acondicionando-o, posteriormente na câmara de extração. Para a extração colocou-se diclorometano ultrapuro (CH_2CL_2) (150 ml) num balão (250 ml) com um pedaço de porcelana (para evitar uma superebulição) e um pedaço de cobre activado (para retenção do enxofre). O sistema foi aquecido à temperatura de $\pm 50^\circ\text{C}$, por aproximadamente 24 horas. O processo contínuo de evaporação e condensação do solvente permitiu que o solvente condensado recaísse sobre a amostra, extraindo o betume. O extracto orgânico foi posteriormente concentrado num concentrador de célula fechada (evaporador rotativo; fig. 3.11B).

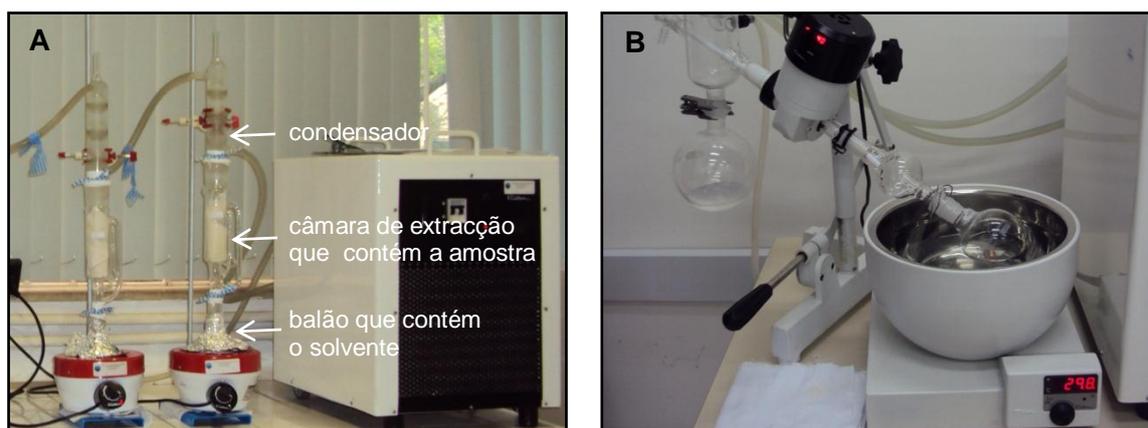


Fig. 3. 11. A: Extractor de *Soxhlet* / B: Evaporador rotativo a vácuo.

3.2.5.2. Cromatografia Líquida

Do betume, foram extraídas as **três fracções de hidrocarbonetos (saturados, aromáticos e polares)**, de modo a obter a fracção que foi analisada neste estudo. A

cromatografia líquida foi efectuada numa coluna de fraccionamento aberta (fig. 3.12).

Colocou-se um pedaço de algodão na extremidade inferior da coluna e estabeleceu-se uma fase estacionária vertendo uma mistura com 3g de sílica e \pm 20ml de hexano (95%). Garantiu-se a completa recuperação da sílica que ficou retida nas paredes do copo da mistura e do funil e alternadamente compactou-se com um batedor de borracha. De seguida introduziu-se o extracto, previamente diluído com algumas gotas de hexano (95%). De modo sequencial, por ordem de polaridade, separaram-se as fracções deste extracto, do seguinte modo:

- A fracção saturada (fig. 3.12) foi separada através da eluição com hexano (6ml); recuperada num copo de vidro (30ml) e reservada para a análise posterior;
- A fracção aromática foi separada através da eluição de uma mistura com diclorometano (2 ml) + hexano (8 ml); recuperada num copo de vidro (30ml) e arquivada;
- A fracção polar foi separada através da eluição de uma mistura com metanol (5 ml) + diclorometano (5 ml) recuperada num copo de vidro (30ml) e arquivada.

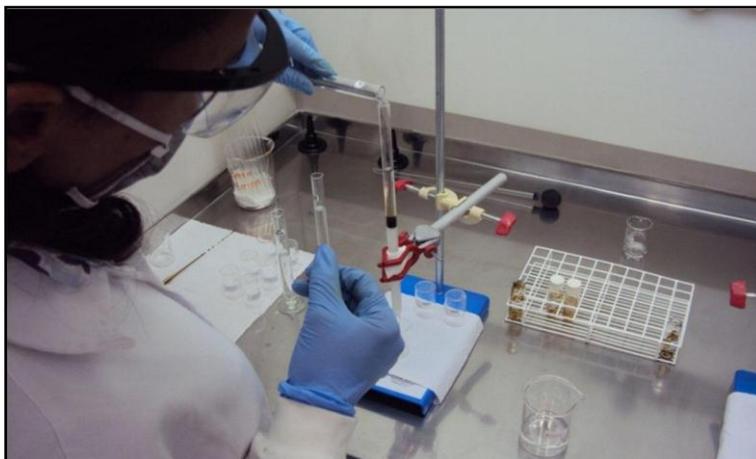


Fig. 3. 12. Uma etapa do procedimento laboratorial para extrair a fracção saturada da coluna de fraccionamento.

3.2.5.3. Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM)

A CG-EM destinou-se a analisar distintos componentes moleculares da fracção de hidrocarbonetos saturados. Utilizou-se o cromatógrafo a gás (CG) Agilent® 7890, equipado com amostrador automático Agilent®7683 (fig.3.13), acoplado a espectrómetro de massa triplo quadrupolar (EM). O injector foi programado para uma temperatura constante de 180°C, com injeção de 1 μ L sem divisão de fluxo, sob fluxo constante. O CG foi programado com uma temperatura inicial do forno da coluna a 70°C; em seguida

programada para elevar-se a 170°C a 20°C/min; depois para 310°C a 2°C/min (10 min); temperatura da linha de transferência de 300°C. O EM foi operado com as seguintes condições: temperatura da fonte iónica: 280°C; temperatura da interface: 300°C; temperatura dos quadrupolos: 150°C; voltagem de ionização: 70 eV.

A análise foi iniciada com a injeção de 1 µL de amostra na coluna cromatográfica. A separação da mistura cromatográfica nas suas componentes individuais ocorre na coluna cromatográfica, de onde saem as substâncias separadas, em diferentes tempos (tempo de retenção), em função da massa e da estrutura molecular. As moléculas são ionizadas na câmara de ionização por impacto de electrões, passando os fragmentos iónicos formados para o analisador de massas onde ocorre a separação de iões específicos, em função de uma razão massa/carga (m/z) pré-estabelecida. O detector regista o sinal dos componentes moleculares a serem estudados, que são visualizados como um pico cromatográfico. As análises foram realizadas por **monitorização selectiva de iões**, seleccionando-se o ião **m/z 85** para a análise de ***n*- Alcanos**, o ião **m/z 191** para a análise de **terpanos** e os iões **m/z 217 e 218** para a análise de **esteranos**. Os dados obtidos foram tratados utilizando o *software* Agilent® MassHunter, para integração dos picos cromatográficos e cálculo das áreas correspondentes a cada composto, por comparação dos espectros de massa e tempo de retenção de componentes moleculares conhecidos.



Fig. 3. 13. Cromatógrafo Agilent® 7000B *Quadrupole* GC/MS/MS do LAFO-UFRJ.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS AMOSTRAS

Depois de recolhidas, as amostras foram examinadas no LABSED-DCT onde se fez uma descrição das suas propriedades físicas. Para cada uma delas registou-se a litologia, estruturas (laminação), cor e conteúdo fóssil (tabela 4.1).

Tabela 4. 1. Descrição das amostras recolhidas (M.P.P.L – Membro da Praia da Pedra Lisa).

Litostratigrafia	Amostra	Nº	Litologia	Laminação	Cor	Conteúdo fóssil		
S. Pedro de Moel	M. P. P. L.	SPMP 26	26	Marga	Submilimétrica	Cinza		
		SPMP 25	25	Calcário		Cinza clara		
	Fm de Água de Madeiros	Mb de Polvoeira	SPMP 24	24	Marga	Submilimétrica	Cinza escura	Belemnites, bivalves e escamas de peixe.
			SPMP 23	23	Marga	Sub milimétrica	Cinza escura a negra	Bivalves
			SPMP 22	22	Marga	Submilimétrica	Negra com intercalações Cinza claro	
			SPMP 21	21	Marga	Submilimétrica	Cinza escura	
			SPMP 20	20	Marga	Milimétrica	Cinza	
			SPMP 19	19	Marga	Sub a milimétrica	Cinza escura	
			SPMP 18	18	<i>Black shale</i>	Submilimétrica		Escamas de peixe
			SPMP 17	17	<i>Black shale</i>	Submilimétrica	Cinza escura	Belemnites
			SPMP 16	16	<i>Black shale</i>	Submilimétrica	Cinza escura	
			SPMP 15	15	Marga calcária	Submilimétrica	Negra	
			SPMP 14	14	Calcário margoso	Submilimétrica	Cinza escura a negro	Amonites
			SPMP 13	13	Marga calcária	Submilimétrica	Negra	
			SPMP 12	12	Marga	Submilimétrica	Cinza escura a negra	
			SPMP 11	11	Marga	Milimétrica	Cinza escura a negra	
	SPMP 10	10	Marga	Submilimétrica	Cinza			
	Fm de Coimbra	Porção superior	SPMP 9	9	Marga calcária		Cinza escura	Bivalves
			SPMP 8	8	Marga calcária		Cinza escura com veios ferruginosos	Bivalves e amonites
			SPMP 7	7	Marga	Milimétrica	Cinza escura com intercalações acastanhadas	
			SPMP 6	6	Marga calcária		Cinza com manchas vermelho alaranjadas	
			SPMP 5	5	Calcário margoso		Cinza escura	Bivalves e braquiópodes
			SPMP 4	4	Marga calcária		Cinza com pontuações ferruginosas	Braquiópodes
		Porção Intermédia	SPMP 3	3	Marga	Submilimétrica	Negra com intercalações acastanhadas	
			SPMP 2	2	Marga	Milimétrica ondulada	Negra	Bioclastos
			SPMP 1	1	Marga	Submilimétrica	Negra	Bioclastos
Peniche	Fm de Água de Madeiros (Mb de Polvoeira)	PEP 5	31	Calcário margoso		Cinza com pontuações ferruginosas	Bivalves	
		PEP 4	30	Calcário margoso		Cinza com pontuações ferruginosas	Bivalves	
		PEP 3	29	Calcário margoso		Cinza com intercalações ferruginosas	Bivalves	
		PEP 2	28	Calcário margoso	Milimétrica	Amarela com intercalações ferruginosas	Bivalves, belemnites, braquiópodes?	
		PEP 1	27	Calcário margoso		Amarelada com intercalações ferruginosas	Bivalves	

Atribuiu-se uma numeração de 1 a 31, de modo a simplificar a representação gráfica de alguns resultados que serão apresentados. Da descrição acima apresentada observa-se que as amostras mais lutíticas (margas e *black shales*) encontram-se maioritariamente na porção intermédia da Fm de Coimbra e no Mb de Polvoeira em S. Pedro de Moel. As amostras mais calcárias (calcários micríticos e margosos) encontram-se na porção superior da Fm de Coimbra, no Mb de Praia da Pedra Lisa e no Mb de Polvoeira em Peniche. A macrofauna nectónica (belemnites, amonites e escamas de peixe) encontra-se associada aos níveis de margas e *black shales* do Mb de Polvoeira em S. Pedro de Moel. Nas restantes amostras a macrofauna é essencialmente bentónica (bivalves e braquiópodes). Observou-se que as amostras da porção superior da Fm de Coimbra e do Mb de Polvoeira em Peniche geralmente apresentam alteração ferruginosa.

4.2. CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT), ENXOFRE E RESÍDUO INSOLÚVEL

Na tabela 4.2 apresentam-se os valores de COT, enxofre e RI de todas as amostras estudadas. Na tabela 4.3. são apresentados os valores estatísticos (máximo, mínimo e média) em função da unidade sedimentar.

O COT mostra valores entre **0,24 e 9,55%**. Em relação à **Fm de Coimbra**, do total das 9 amostras estudadas, os valores mais elevados são registados na sua **porção intermédia (COT máximo de 8,78%)**, encontrando-se os valores mais baixos nas 6 amostras da sua **porção superior (COT máximo de 2,92%)**. Relativamente à **Fm de Água de Madeiros**, os quantitativos observados no **Mb de Polvoeira em S. Pedro de Moel** são os mais elevados, com um valor médio de 4,9% (**máximo de 9,55%**), sendo em **Peniche** significativamente mais baixos (**máximo de 2,84%**). Nas duas amostras do **Mb da Praia da Pedra Lisa** registaram-se valores de **0,85 e 1,32%**.

Os valores de **enxofre** obtidos variam entre 0,01 e 2,57%, sendo que o mais baixo se encontra associado ao valor mais pobre em COT e o valor **mais elevado** está **associado ao mais rico em COT da Fm de Coimbra** (ver tabelas 4.2 e 4.3). Para conhecer a relação composicional entre a fracção lutítica e a fracção carbonatada, calculou-se o RI, conforme descrito anteriormente na análise de COT (ver 3.1), utilizando a fórmula lá referida que relaciona a massa de amostra descarbonata e a massa total. Obtiveram-se valores entre 13 e 55% (tabelas 4.2 e 4.3). Os valores mais elevados, ou seja, aquelas amostras com maior contribuição relativa de fracção lutítica (siliciclástica) encontram-se geralmente nos horizontes do Mb de Polvoeira de ambas as áreas estudadas, podendo pontualmente também encontrar-se em alguns níveis da Fm de Coimbra (tabela 4.2).

Resultados

Tabela 4. 2. Valores de COT, Enxofre e Resíduo Insolúvel das amostras estudadas.

Litostratigrafia			Amostra	COT (%)	Enxofre (%)	Resíduo insolúvel (%)	
S. Pedro de Moel	Mb de Praia da Pedra Lisa		SPMP 26	1,32	0,37	22	
			SPMP 25	0,85	0,21	13	
	Fm de Água de Madeiros	Mb de Polvoeira		SPMP 24	6,1	1,5	50
				SPMP 23	6,35	1,3	39
				SPMP 22	5,38	0,6	21
				SPMP 21	6,55	0,4	47
				SPMP 20	2,72	0,51	50
				SPMP 19	3,75	1	45
				SPMP 18	9,55	1,36	49
				SPMP 17	7,2	0,44	47
				SPMP 16	5,39	0,99	52
				SPMP 15	2,42	0,55	18
				SPMP 14	3,83	0,66	24
				SPMP 13	4,34	0,52	22
				SPMP 12	2,62	0,59	34
				SPMP 11	4,75	0,55	32
		SPMP 10	3,33	0,57	22		
	Fm de Coimbra	Porção superior		SPMP 9	0,82	0,18	24
				SPMP 8	0,84	0,11	19
				SPMP 7	2,92	0,37	42
				SPMP 6	0,95	0,12	19
				SPMP 5	0,47	0,13	16
		Porção intermédia		SPMP 4	0,33	0,04	19
				SPMP 3	8,78	2,57	45
				SPMP 2	3,85	0,43	25
				SPMP 1	7,51	0,46	31
Mb de Polvoeira				PEP 5	2,62	0,16	29
		PEP 4	2,84	0,41	31		
		PEP 3	1,45	0,06	45		
		PEP 2	0,31	0,01	55		
		PEP 1	0,24	0,01	38		

Tabela 4. 3. Parâmetros estatísticos relativos à variação de COT, S e RI das amostras estudadas: máx: máximo; mín: mínimo; méd: média. Os dados referem-se aos apresentados na tabela 4.2.

		Fm. Coimbra		Mb de Polvoeira		Mb. Praia da Pedra Lisa
		(Porção Int.)	(Porção sup.)	(S. P. Moel)	(Peniche)	
COT (%)	Máx.	8.78	2.92	9.55	2.84	1.32
	Mín.	3.85	0.33	2.42	0.24	0.85
	Méd*.	6.71	1.06	4.95	1.5	1.09
S (%)	Máx.	2.57	0.37	1.5	0.41	0.37
	Mín.	0.43	0.04	0.4	0.01	0.21
	Méd*.	1.15	0.16	0.77	0.1	0.29
RI (%)	Máx.	45	42	52	55	22
	Mín.	25	16	18	29	13
	Méd*.	34	23	37	40	18

4.3. PALINOFÁCIES

Na análise dos componentes orgânicos particulados observaram-se constituintes dos três grupos: **fitoclasto**, **palinomorfo** e **matéria orgânica amorfa (MOA)** (Anexo I.1). Apresenta-se de seguida a descrição dos elementos observados, em função dos distintos grupos morfológicos (MENDONÇA FILHO *et al.* 2010a) que se encontram definidos na fig. 3.8. De modo a simplificar os termos, serão utilizadas as abreviaturas LBT e LAI para designar luz branca transmitida e luz azul incidente, respectivamente.

4.3.1. Grupo Fitoclasto

O grupo fitoclasto (BOSTICK, 1971) refere-se a todos os fragmentos que são derivados de tecidos de vegetais terrestres superiores ou fungos (MENDONÇA FILHO, 2010a). Ocorrem fitoclastos em todas as amostras analisadas, tendo-se registado valores entre 0,3 e 78,4% (ver Anexo I.1). Foram observados fitoclastos tanto do sub-grupo de fitoclastos opacos (FO), como do subgrupo de fitoclasto não opacos (FNO). Todavia, **os FO são geralmente os mais abundantes**. As descrições que se apresentam de seguida referem-se à observação por LBT. Nos casos específicos de observação, combinando as duas fontes de luz, esses serão devidamente referidos.

O subgrupo de FO apresenta por definição componentes opacos, negros em toda a sua extensão incluindo nos limites. Classificam-se em função da sua forma. São designados de alongados quando apresentam o comprimento 3X maior do que a largura (Anexo I.2, Estampas 1.1 e 1.9), corroídos quando apresentam limites irregulares (Anexo I.2, Estampas 1.2 e 1.3), muitas vezes com perfurações (Anexo I.2, Estampa 1.2) e equidimensionais quando apresentam forma quadrática (Anexo I.2, Estampa 3.1). Também foram observados pseudo-amorfos (parcialmente amorfizados). Os FO corroídos são geralmente os mais abundantes em toda a série estudada. Também se registou a ocorrência de FO com perfurações de origem botânica (Anexo I.2, Estampa 1.11), que serão referidos neste trabalho como **fitoclastos derivados de pirólise natural** (associado a incêndios) (TYSON, 1995).

Os FNO apresentam uma coloração castanha, geralmente escura. Foram observados tanto os não bioestruturados (FNONB) como os bioestruturados (FNOB). Os FNONB estão geralmente degradados, sendo opacos na porção central da partícula e castanho-escuros nos seus limites (Anexo I.2, Estampa 1.4). Os não degradados apresentam uma coloração castanha média e são geralmente muito raros.

Os FNOB apresentam estruturas botânicas. São designados perfurados quando possuem perfurações internas ordenadas (Anexo I.2, Estampa 1.5); listrados quando

apresentam listas alternadas, escuras e claras (Anexo I.2, Estampa 1.6); bandados quando possuem duas bandas laterais escuras e uma mais clara no centro (Anexo I.2, Estampa 1.7). Raramente se observaram do tipo estriado (possui finas estrias longitudinais). As cutículas são raras nas amostras estudadas. Apresentam os contornos da parede celular bem visíveis. As degradadas apresentam-se castanho-escuras (Anexo I.2, Estampa 1.8) tendo-se observado uma não degradada, de coloração bege em LBT, autofluorescente de coloração amarela (Anexo I.2, Estampas 1.9 e 1.10).

4.3.2. Grupo Palinomorfo

Os elementos que correspondem ao grupo palinomorfo encontram-se representados com percentagens entre 4,4 e 29,2% e estão presentes em todas as amostras estudadas. Foram observados elementos dos sub-grupos esporomorfo, microplâncton marinho, zoomorfo, microplâncton continental e palinomorfo indeterminados (ver Anexo I.1). O sub-grupo **esporomorfo** encontra-se representado, sobretudo, por **grãos de pólen do género *Classopollis*** (PFLUG, 1953 *in* WALL, 1965), que se apresentam bege-acastanhados em LBT e amarelos em LAI. Encontram-se frequentemente dispostos em tétrade e aglomerados (Anexo I.2, Estampas 1.1, 2.1, 2.2 e 3.1). Pontualmente foram observados grãos de pólen bisacados, de cor bege pálido, quase translúcidos em LBT e amarelo-esverdeados em LAI (Anexo I.2, Estampas 2.3 e 2.4). Observaram-se raros esporos, que apresentam marca trilete, de cor castanha em LBT (Anexo I.2, Estampa 2.5).

O **microplâncton marinho** encontra-se representado por **acritarcas e algas prasinófitas**. Os acritarcas possuem um tamanho geralmente inferior a 10 µm, translúcidos, sem feições de diagnóstico em LBT e amarelo-esverdeados em LAI (Anexo I.2, Estampa II.6). As algas prasinófitas possuem entre 20 µm e 50 µm de diâmetro apresentando-se bege pálido, em LBT e amarelo-esverdeadas em LAI. Estão principalmente representadas pelo género *Tasmanites* (NEWTON, 1875 *in* WALL 1965) (Anexo I.2, Estampas 2.7 e 2.8) e pontualmente pelo género *Cymatiosphaera* (DEFLANDRE, 1954 *in* WALL 1965) (Anexo I.2, Estampas 2.9 e 2.10). As primeiras apresentam uma excelente preservação morfológica e das segundas assinalou-se a ausência de pelo menos 1/3 da sua forma original. Do **subgrupo zoomorfo** observaram-se **palinoforaminíferos** e neles distinguiram-se distintos organismos morfológicos. Possuem um tamanho acima dos 50µm e apresentam-se castanho-escuros em LBT (Anexo I.2, estampas 2.11 e 2.12).

Do microplâncton continental foram identificados dois tipos de componentes. Registou-se uma ocorrência de algas Chlorococcales do género *Botryococcus*, com cerca de 100 µm, disposta em colónia e forma botroidal, sendo amarelo pálido em LBT e amarelo-esverdeado

em LAI (Anexo I.2, Estampas 2.13 e 2.14). Foram ainda observados **zigósporos** provavelmente de Zignemataceae. Possuem a parede celular ornamentada (estrias), um tamanho entre 50 e aproximadamente 200 µm e apresentam-se bege-acastanhados em LBT e amarelo-esverdeado em LAI (Anexo I.2, Estampas 2.15 a 2.18). Podem ser de forma globosa (Anexo I.2, Estampas 2.15 e 2.16), mas todavia, as mais abundantes possuem forma oval alongada (Anexo I.2, Estampa 2.17).

Outros componentes orgânicos do grupo palinomorfo foram identificados como indeterminados. Referem-se a todos os palinomorfos onde não foi possível identificar formas de diagnóstico, ou seja, não puderam ser seguramente identificados nos sub-grupos de esporomorfos ou de microplâncton de parede orgânica.

4.3.3. Grupo Matéria Orgânica Amorfa (MOA)

Referem-se a todos os componentes orgânicos sem estrutura que são derivados de bactérias, fitoplâncton e agregados orgânicos degradados (TYSON, 1995). Destes componentes orgânicos registaram-se valores entre 0 a 95% (Anexo I.1). Em função das distintas características observadas encontram-se subdivididas em dois tipos de componentes: **MOA bacteriana** e **“MOA”**.

A **MOA bacteriana** (MENDONÇA FILHO, 2010b) apresenta partículas com “estruturas” em cratera, e uma fina ornamentação de **intensa fluorescência** amarela que tanto pode ser um reticulado irregular semelhante a um rendilhado ou uma laminação bem definida (Anexo I.2, Estampas 3.3 a 3.6). Foram observadas partículas em películas finas, translúcidas, pouco densas, que correspondem à MOA bacteriana pelicular (MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010a), sendo de coloração bege em LBT e intensamente fluorescentes (amarelas) em LAI (Anexo I.2, Estampas 3.1 e 3.2). Também foram observadas partículas grumosas densas, às vezes com contornos angulares, que apresentam muitas vezes pontuações opacas. Em LBT, apresentam-se castanho-escuras, geralmente opacas na porção central da partícula. Apresentam normalmente intensa fluorescência (amarelas ou acastanhadas) em LAI (Anexo I.2, Estampas 3.3 a 3.6).

A **“MOA”** exibe uma coloração acastanhada em LBT, podendo ser de aspecto **homogéneo** com tonalidade **castanha na observação em LAI** (Anexo I.2, estampas 3.7 e 3.8), ou ainda, podem apresentar-se **heterogéneas, castanho-amareladas em LAI**. Podem apresentar contornos angulares ou então partículas com limites difusos.

4.3.4. Distribuição dos componentes orgânicos particulados nas unidades sedimentares estudadas

Na fig. 4.1 apresenta-se um diagrama triangular dos três grupos de cerogénio com a projecção das amostras estudadas. Pode-se observar que do total das 31 amostras analisadas, 26 apresentam um domínio de MOA, sendo excepção alguns horizontes da Fm de Coimbra e do Mb de Polvoeira em Peniche, onde predominam os fitoclastos. Com base nas observações laboratoriais e nas quantificações apresentadas no Anexo I.1 cujas percentagens relativas se ilustra na fig. 4.1, as unidades sedimentares possuem distintas associações de componentes orgânicos particulados como abaixo se descreve.

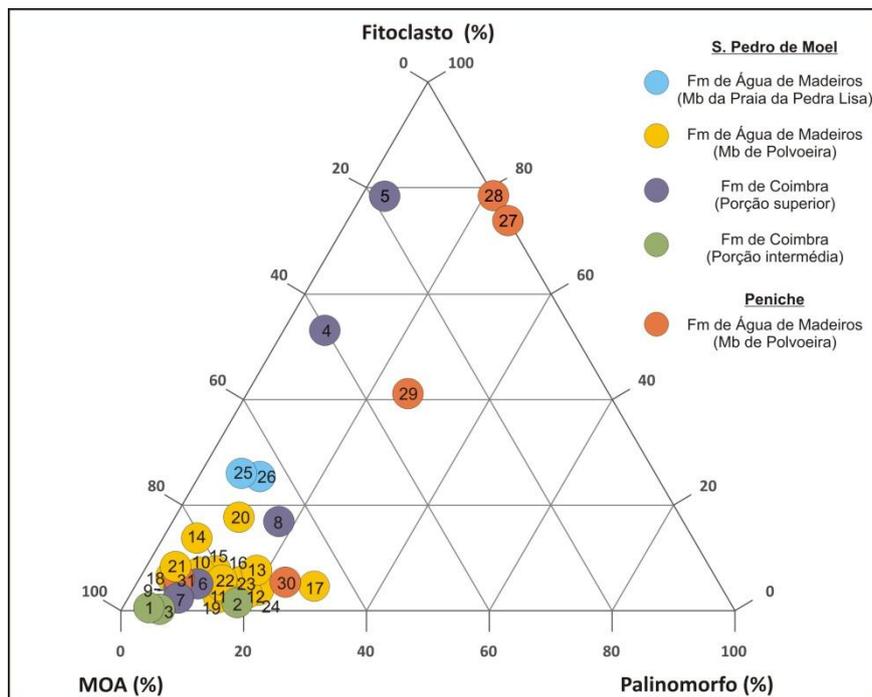


Fig. 4. 1. Diagrama triangular mostrando a distribuição dos 3 grupos de componentes de componentes orgânicos particulados das amostras estudadas. A numeração refere-se à atribuída na tabela 4.1

Relativamente à **Fm de Coimbra**, a amostragem da **porção intermédia** caracteriza-se por um domínio de **MOA bacteriana (máximo de 95%)** do tipo grumosa densa (Anexo I.2, Estampas 3.3 a 3.6), associada a 4-18% de palinomorfos (essencialmente indeterminados) e raros fitoclastos (menos de 2%; geralmente opacos). Nas amostras da sua **porção superior observou-se uma associação muito heterogénea**. Nas amostras SPMP 4 e SPMP 5 os fitoclastos são os componentes mais abundantes (máximo de 78,4%; entre FO e FNONB degradados) (Anexo I.2, Estampas 1.1 e 1.4.) Ocorrem associados a distintos quantitativos de MOA bacteriana (máximo de 40,3%) em películas finas, translúcidas (Anexo I.2, Estampas 3.1 e 3.4) e cerca de 5% de palinomorfos (grãos de pólen do género *Classopollis*, grãos de pólen bissacados, esporos e palinoforaminíferos (Anexo I.2,

Estampas 2.1, 2.2, 2.5 e 2.12). Nas restantes amostras (SPMP 6 a SPMP 9) verifica-se um domínio de MOA (máximo de 87,5%), observando-se os dois tipos acima referidos Anexo I.2, Estampas 3.1, 3.2, 3.7 e 3.8). Nestas quatro amostras encontraram-se diversos tipos de palinórfos: grãos de pólen do género *Classopollis*, grãos de pólen bisacados, acritarcas, algas prasinófitas dos géneros *Tasmanites* e *Cymatiosphaera*, zigósporos e palinórfos indeterminados, podendo perfazer até 17% da associação (Anexo I.2, Estampas 2.3, 2.4, 2.9 e 2.10). O grupo fitoclasto não atinge os 20% e é essencialmente constituído por FO e FNONB.

Quanto à **Fm de Água de Madeiros** e relativamente ao **Mb de Polvoeira**, no total das 15 amostras de **S. Pedro de Moel**, observou-se um **predomínio de MOA (máximo de 88,4%)**. Destas, no intervalo entre SPM 10 e SPMP 15 ocorrem os dois tipos de MOA associada a cerca de 10 % de palinórfos, entre grãos de pólen do género *Classopollis*, acritarcas, palinórfos indeterminados, algas prasinófitas do género *Tasmanites*, zigósporos e palinoforaminíferos (Anexo I.1, Estampa 2.11). Os fitoclastos representam menos de 10% da associação (FO e FNONB degradados). Nas amostras SPMP 16 a SPMP 24, a MOA encontra-se representada exclusivamente por “MOA” (Anexo I.2, Estampas 3.7 e 3.8). A percentagem de palinórfos é geralmente baixa (*Classopollis*, acritarcas e prasinófitas) (Anexo I.2, Estampas 2.7 e 2.8). Todavia, na **amostra SPMP 17**, ocorrem 29,1% de palinórfos que correspondem essencialmente a **zigósporos**, estando esta abundância relativa associada à única ocorrência de algas do género *Botryococcus* (Anexo I.2, Estampas 2.13, 2.14, 2.15, 2.16 e 2.17). Neste intervalo, a percentagem de fitoclastos é geralmente inferior a 10%. No entanto, na amostra SPMP 20 registou-se 17,7% (ver Anexo I.1).

As amostras do **Mb de Polvoeira em Peniche não apresentam MOA nos dois horizontes mais basais** (Amostras PEP 1 e PEP 2). Nestes, a associação faz-se representar maioritariamente por fitoclastos (cerca de 75% na maioria FNONB degradados) (Anexo I.2, Estampas 1.9 e 1.10) sendo os restantes quantitativos representados por palinórfos, essencialmente zigósporos. Na amostra PEP 3 observou-se MOA (33%), sendo que nas amostras PEP 4 e PEP 5 se torna o componente mais abundante (87%) e ocorre associado a palinórfos marinhos (acritarcas e algas prasinófitas do género *Tasmanites*). Refere-se que nas amostras do Mb de Polvoeira em Peniche os zigósporos encontram-se decompostos e mal preservados (Anexo I.2, Estampas 2.18).

Relativamente ao **Mb da Praia da Pedra Lisa** as amostras estudadas encontram-se maioritariamente representadas por “MOA” (máx. 68%) (Anexo I.1, Estampas 3.7 e 3.8). Os palinórfos observados (máx. 10%) correspondem a grãos de pólen do género

Classopollis, acritarcas e palinomorfos indeterminados. Os fitoclastos representam cerca de 25% da associação e correspondem essencialmente a FNONB degradados. Esta unidade possui a **maior percentagem relativa de FNOB (5-10%)** (Anexo I.2, Estampas 1.5, 1.6 e 1.7) .

4.4. ÍNDICE DE COLORAÇÃO DE ESPOROS (ICE)

Foram estudadas 6 amostras, distribuídas do seguinte modo: uma da porção superior da Fm de Coimbra (SPMP 4), duas do Mb de Polvoeira em S. Pedro de Moel (SPMP 12 e SPMP 13), uma do Mb da Praia da Pedra Lisa (SPMP 26) e duas do Mb de Polvoeira em Peniche (PEP 2 e PEP 3). A técnica foi efectuada pela observação exclusiva de grãos de pólen do género *Classopollis*, pela ausência de esporos nas amostras estudadas. As cores que foram observadas inserem-se no intervalo de **3,5 - 4** (Tabela 4.4).

Tabela 4. 4. Valores do índice de coloração de esporos e o número de observações por amostra.

Amostras estudadas	Nº de observações	ICE
SPMP 26 (Mb da Praia da Pedra Lisa)	10	3,5 - 4
SPMP 13 (Mb de Polvoeira – S. Pedro de Moel)	10	3,5 - 4
SPMP 12 (Mb de Polvoeira – S. Pedro de Moel)	14	3,5 - 4
SPMP 4 (Porção superior da Fm de Coimbra)	14	3,5 - 4
PEP 3 (Mb de Polvoeira – Peniche)	7	3,5 - 4
PEP 2 (Mb de Polvoeira Peniche)	10	3,5 - 4

4.5. PODER REFLECTOR DA VITRINITE (R₀%)

Foram analisadas 5 amostras, distribuídas do seguinte modo: uma da porção superior da Fm de Coimbra (SPMP 5), uma do Mb de Praia da Pedra Lisa (SPMP 26) e 3 amostras do Mb de Polvoeira em Peniche (PEP 1, PEP 2 e PEP 3). Os valores obtidos estão apresentados na tabela 4.5. Os gráficos de frequência de cada uma das amostras analisadas encontram-se nas figs.4.1 a 4.5. Pode-se observar que todas as amostras analisadas possuem um **valor médio de 0,45 %** para a medida da reflectância da vitrinite, com desvio padrão de 0,02 ou 0,03. Na fig. 4.2, apresentam-se duas fotomicrografias com partículas de vitrinite onde foi possível medir a sua reflectância.

Tabela 4. 5. Valores de reflectância da vitrinite, desvio padrão e nº de medições para as amostras analisadas.

Amostra /Unidade sedimentar	% Ro (média)	Desvio padrão	Nº de medições
PEP 3 (Mb de Polvoeira – Peniche)	0,45	0,02	16
PEP 2 (Mb de Polvoeira – Peniche)	0,45	0,02	18
PEP 1 (Mb de Polvoeira – Peniche)	0,45	0,02	34
SPMP 26 (Mb de Praia da Pedra Lisa)	0,45	0,03	8
SPMP 5 (Fm de Coimbra – Porção superior)	0,45	0,02	3

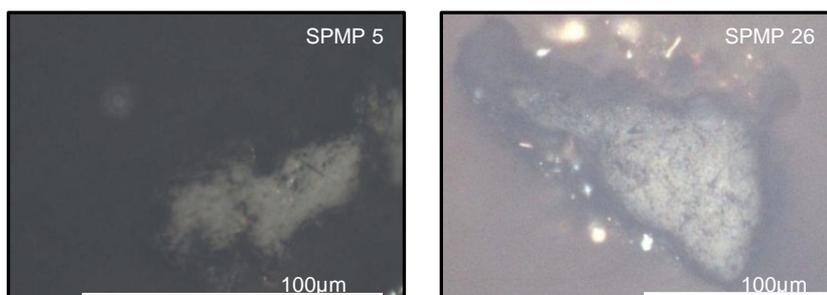


Fig. 4. 2. Fotomicrografias das amostras SPMP 5 e SPMP 26, mostrando cada uma delas uma partícula de vitrinite (luz branca incidente).

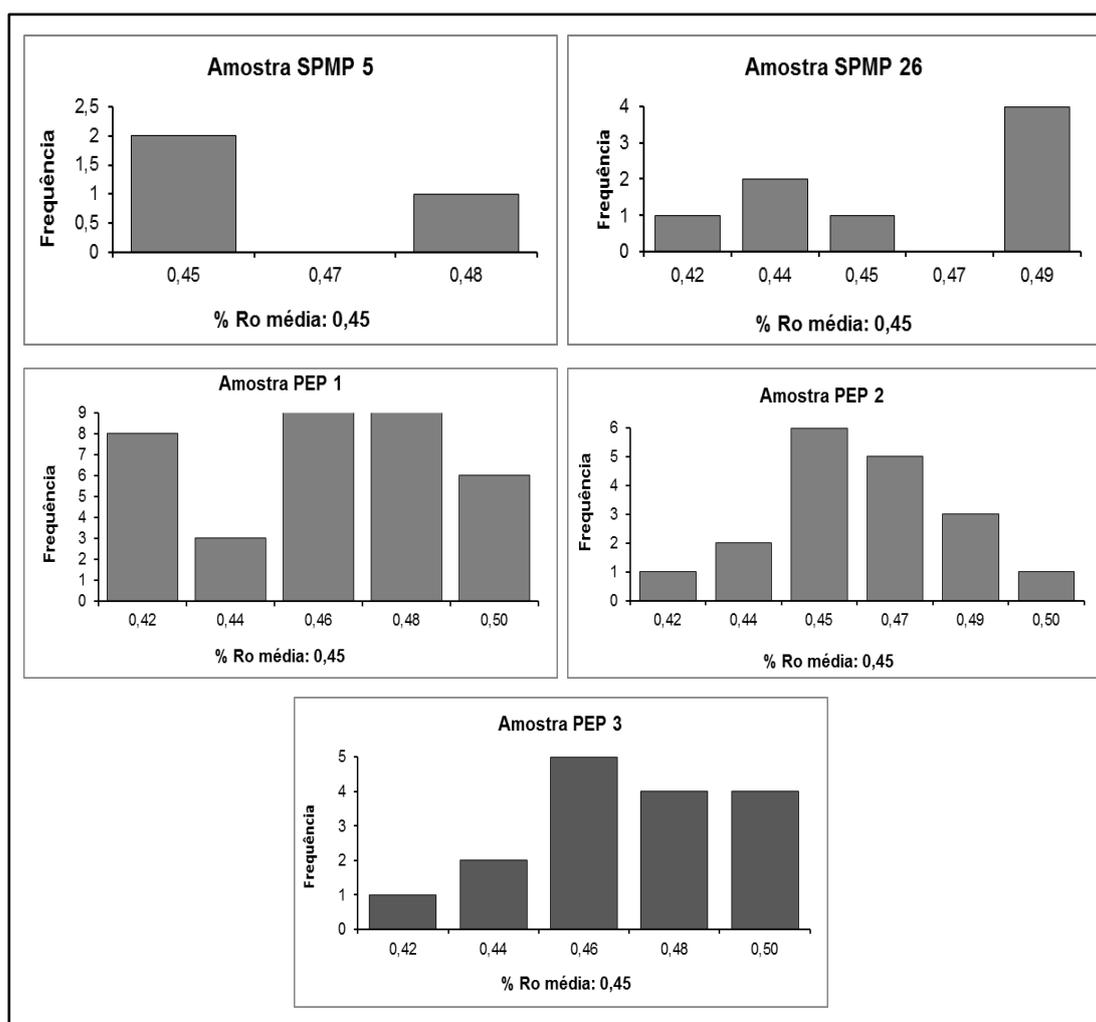


Fig. 4. 3. Histogramas de frequência das medidas do poder reflector da vitrinite das amostras SPMP 5, SPMP 26, PEP 1, PEP 2 e PEP 3

4.6. BIOMARCADORES

Do betume que foi extraído de cada uma das amostras, separaram-se as 3 fracções de hidrocarbonetos por cromatografia líquida e posteriormente analisou-se a fracção de hidrocarbonetos saturados por CG-EM.

4.6.1. Cromatografia Líquida

Na Tabela 4.6 apresentam-se os resultados em percentagens relativas das 3 fracções de hidrocarbonetos que foram extraídas por cromatografia líquida. As amostras analisadas apresentam **maioritariamente hidrocarbonetos da fracção polar**, sendo excepção a **amostra PEP 2**, com **maior percentagem relativa de hidrocarbonetos saturados**. Refere-se que na amostra PEP 1 houve perda da fracção polar na transferência para o vial e o valor obtido deverá ser descartado.

Tabela 4. 6. Valores percentuais de hidrocarbonetos extraídos por amostra analisada.

Litostratigrafia		Amostra	Hidrocarbonetos Saturados (%)	Hidrocarbonetos aromáticos (%)	Hidrocarbonetos polares (%)	
S. Pedro de Moel	Mb da Praia da Pedra Lisa	SPMP 26	14,47	17,11	68,42	
		SPMP 25	7,46	20,15	72,39	
	Fm de Água de Madeiros	Mb de Polvoeira	SPMP 24	12,89	19,53	67,58
			SPMP 23	10,67	22,47	66,85
			SPMP 22	11,40	20,76	67,84
			SPMP 21	8,05	10,34	81,61
			SPMP 20	5,88	17,65	76,47
			SPMP 19	8,46	28,31	63,24
			SPMP 18	8,79	25,41	65,80
			SPMP 17	12,19	14,68	73,13
			SPMP 16	10,35	25,18	64,47
			SPMP 15	7,81	20,61	71,58
			SPMP 14	4,25	27,09	68,66
			SPMP 13	8,41	22,78	68,81
			SPMP 12	5,87	24,34	69,79
			SPMP 11	12,01	23,74	64,25
	SPMP 10	9,75	23,47	66,79		
	Fm de Coimbra	Porção superior	SPMP 9	14,49	19,57	65,94
			SPMP 8	5,83	30,00	64,17
			SPMP 7	14,24	22,03	63,73
SPMP 6			12,84	22,94	64,22	
SPMP 5			9,65	21,05	69,30	
Porção intermédia		SPMP 4	24,14	9,20	66,67	
		SPMP 3	12,96	36,48	50,56	
		SPMP 2	17,72	29,13	53,15	
		SPMP 1	18,24	24,59	57,17	
		Peniche	Fm de Água de Madeiros	Mb de Polvoeira	PEP 5	22,90
PEP 4	16,51				17,27	66,22
PEP 3	31,91				5,32	62,77
PEP 2	46,12				42,72	11,17
PEP 1	92,62				2,68	4,70

4.6.2. Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM)

As análises por CG-EM foram realizadas mediante monitorização selectiva dos iões m/z 85 (*n*-alcanos), m/z 191 (Hopanos) e m/z 217 e m/z 218 (Esteranos). Os perfis cromatográficos obtidos encontram-se no Anexo II e as abreviaturas dos componentes moleculares identificados nos cromatogramas e aqui referidas encontram-se igualmente no Anexo II. Nos **fragmentogramas de massas m/z 85** observam-se os componentes moleculares da série homóloga de *n*-alcanos entre $\pm nC_{13}$ e $\pm nC_{30}$ e os isoprenóides pristano (Pr) e fitano (Fi) (Anexo II, II.1.1 à II.1.4).

No padrão de distribuição dos *n*-alcanos observa-se geralmente uma distribuição unimodal, com um predomínio, dos de massa molecular média (nC_{15} - nC_{17}) (Anexo II.1, SPMP 1 à SPMP 3). Algumas amostras mostram bimodalidade com elevação dos picos dos *n*-alcanos de massa molecular médio (nC_{15} - nC_{17}) e alto (nC_{24} - nC_{29}) (Anexo I.1.1, SPMP 4). Também se observou um padrão unimodal com predomínio dos de massa molecular alta (Anexo I.1.2, PEP 2). Outras mostram pouco desenvolvimento, sendo o fitano (Fi) ou o pristano (Pr) os mais abundantes (Anexo II.1.3).

Os **fragmentogramas de massas m/z 217 (Esteranos)** encontram-se no Anexo II [II.2.1 a II.2.4 (A)]. Observam-se os diasteranos em C_{27} (nos epímeros S e R) e os esteranos regulares (C_{27} , C_{28} e C_{29}). Nos **fragmentogramas de massas m/z 218 (Esteranos)** os isómeros em C_{29} $\alpha\beta\beta$ (20R) mostram geralmente os picos mais intensos podendo pontualmente corresponder ao isómero $\alpha\beta\beta$ (20S). Nos **fragmentogramas de massas m/z 191 (Terpanos)** observam-se terpanos tricíclicos, terpanos tetracíclicos com estrutura hopanóide (hopanos) e moretanos. Os componentes moleculares mais abundantes são os hopanos, geralmente o C_{30} (Anexo II, II.1.1 à II.1.4).

As análises de CG-EM produziram um grande volume de dados. Todavia serão apresentados apenas alguns componentes moleculares, visto não constituírem a principal técnica de investigação neste trabalho. Na tabela 4.7 mostra-se a percentagem relativa de esteranos regulares 5 α (H), 14 α (H) 20R em C_{27} , C_{28} e C_{29} e razões entre componentes moleculares de isoprenóides, terpanos e esteranos que foram seleccionados para este estudo. As informações permitirão associar aos resultados obtidos por parâmetros ópticos e discutir o tipo de MO, as condições deposicionais e o grau de maturação térmica (PETERS & MOLDOWAN, 1991; MOLDOWAN *et al.*, 1992; PETERS *et al.*, 2004, 2005; WAPLES & MACHIHARA, 1991). O valor da razão foi obtido com base na área do pico de cada componente molecular.

Resultados

Tabela 4. 7. Percentagem relativa de componentes moleculares de esteranos e das razões entre isoprenóides, terpanos e esteranos. $S / R (C_{29}\alpha\alpha) = C_{29}\alpha\alpha (20S) / C_{29}\alpha\alpha (20R)$; $\beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta) = [C_{29}\alpha\beta (20R) + C_{29}\alpha\beta (20S)] / [C_{29}\alpha\alpha (20S) + C_{29}\alpha\alpha (20R) + C_{29}\alpha\beta (20S) + C_{29}\alpha\beta (20R)]$; $H_{35}/H_{34} = [C_{35}\alpha\alpha (22R) / C_{34}\alpha\alpha (22R)]$; $H_{31}S / (R+S) = [C_{31}\alpha\alpha (20S) / C_{31}\alpha\alpha (20R)]$; $H_{32}S / (R+S) = [C_{32}\alpha\alpha (20S) / C_{32}\alpha\alpha (20R)]$.

Litostratigrafia		Amostra	Isoprenóides		Esteranos			Hopanos				
			Pr / Fi	% C27 $\alpha\alpha$ R	% C28 $\alpha\alpha$ R	% C29 $\alpha\alpha$ R	S / R (C29 $\alpha\alpha$)	$\beta\beta /$ ($\alpha\alpha + \beta\beta$) (C29)	H 35 / H34	H 31 S / (R+S)	H 32 S / (R+S)	
S. Pedro de Moel	Mb. P.P. L	SPMP 26	1,34	33,13	15,94	50,93	0,00	0,00	0,59	0,11	0,03	
		SPMP 25	1,22	29,26	17,66	53,08	0,00	0,00	0,93	0,13	0,12	
	Fm. de Água de Madeiros	Mb. de Polvoeira	SPMP 24	1,40	31,62	20,19	48,19	0,00	0,21	0,92	0,10	0,05
			SPMP 23	0,45	31,65	19,52	48,82	0,24	0,00	1,16	0,10	0,00
			SPMP 22	0,59	34,68	22,91	42,41	0,00	0,00	0,84	0,11	0,06
			SPMP 21	0,53	33,79	22,00	44,21	0,00	0,23	1,02	0,12	0,00
			SPMP 20	0,93	32,04	17,78	50,18	0,00	0,25	0,82	0,10	0,00
			SPMP 19	0,82	33,78	17,85	48,37	0,00	0,21	0,84	0,09	0,00
			SPMP 18	0,54	31,33	20,54	48,13	0,40	0,00	1,06	0,10	0,00
			SPMP 17	0,48	35,67	22,03	42,31	0,00	0,20	1,00	0,11	0,06
			SPMP 16	0,68	33,34	19,36	47,30	0,00	0,20	0,54	0,09	0,06
			SPMP 15	0,56	29,65	21,30	49,04	0,37	0,27	0,80	0,12	0,05
			SPMP 14	0,48	29,82	18,83	51,35	0,00	0,00	0,91	0,11	0,11
			SPMP 13	0,49	33,65	23,79	42,56	0,00	0,00	1,07	0,12	0,13
			SPMP 12	0,46	31,70	20,75	47,55	0,00	0,32	0,91	0,50	0,11
			SPMP 11	0,47	34,75	24,05	41,20	0,00	0,27	0,82	0,01	0,08
			SPMP 10	0,44	32,89	22,96	44,15	0,00	0,00	0,91	0,01	0,05
			Fm. de Coimbra	Topo	SPMP 9	1,00	36,13	14,96	48,91	0,00	0,37	0,69
	SPMP 8	0,58			29,47	17,71	52,82	0,00	0,32	1,07	0,24	0,21
	SPMP 7	0,62			29,85	13,88	56,27	0,00	0,22	0,66	0,21	0,12
SPMP 6	0,53	30,20			15,03	54,77	0,00	0,23	0,74	0,25	0,18	
SPMP 5	1,62	33,31			16,40	50,29	0,00	0,00	0,82	0,27	0,19	
SPMP 4	0,97	31,41			0,00	68,59	0,09	0,30	0,31	0,20	0,23	
Base	SPMP 3	0,39			31,86	19,50	48,65	0,00	0,41	1,56	0,58	0,54
	SPMP 2	0,49			37,38	17,11	45,51	0,00	0,36	1,68	0,57	0,53
	SPMP 1	0,70			44,90	14,74	40,36	0,00	0,30	0,92	0,48	0,41
Peniche	Fm. de Água de Madeiros (Mb. de Polvoeira)	PEP 5	0,53	27,24	25,12	47,64	0,00	0,66	1,72	0,60	0,57	
		PEP 4	0,51	28,07	23,88	48,05	0,00	0,70	1,98	0,61	0,58	
		PEP 3	0,55	20,12	25,41	54,46	0,99	0,55	1,95	0,62	0,59	
		PEP 2	1,24	27,35	0,00	72,65	0,62	0,49	1,87	0,50	0,72	
		PEP 1	0,44	30,08	24,12	45,80	0,00	0,30	1,19	0,29	0,43	

CAPÍTULO 5

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL

Os valores de COT aqui apresentados vão de encontro com outros estudos de MO da Fm de Água de Madeiros, referidos em DUARTE *et al.* (2010a, 2010b, 2011b). Para a Fm de Coimbra, destacam-se alguns horizontes muito ricos em MO (COT máximo de 8,78%).

Neste sub-capítulo serão discutidos os resultados anteriormente apresentados, que visaram estudar da MO de alguns horizontes do Sinemuriano superior em S. Pedro de Moel e em Peniche. Com a palinofácies analisou-se o cerogénio e com os componentes moleculares o betume. Representam duas fracções distintas da MO. Na primeira realizou-se uma observação directa, reconhecendo a sua origem e o seu estado de preservação, permitindo tanto caracterizar a MO como determinar as suas condições paleoambientais de deposição (energia do sistema, clima, potencial redox, etc.). No estudo de componentes moleculares obtiveram-se informações tanto do ponto de vista do tipo de MO como das condições deposicionais. Todavia, os resultados são fornecidos na forma de compostos orgânicos moleculares. A abundância relativa de certos componentes moleculares deverá igualmente reflectir os organismos percursores e/ou processos a que a MO foi submetida. No entanto, encontra-se amplamente difundido na literatura (ver por exemplo, PETERS *et al.*, 2004, 2005; WAPLES & MACHIHARA, 1991) de que um mesmo componente molecular é alterado por diversos factores, como a litologia, origem da MO, condições deposicionais e alterações térmicas, e por conseguinte, os resultados obtidos deverão ser suportados por outras observações, que no presente caso será a palinofácies.

Em função dos justificativos acima apresentados serão discutidos os resultados obtidos nas componentes individuais das técnicas utilizadas e posteriormente far-se-á uma integração. Se por um lado se pretende integrar distintas metodologias para uma melhor caracterização das unidades, por outro, será interessante verificar as informações que cada técnica forneceu.

5.1.1. PALINOFÁCIES

A **análise visual** indica que as amostras analisadas possuem uma **mistura de MO marinha e continental**. Contudo, observou-se que a MOA representa o componente orgânico mais abundante por amostra, indicando que a MO foi formada no ambiente

marinho. Os horizontes analisados encontram-se inseridos em unidades sedimentares marinhas (DUARTE & SOARES, 2002; DUARTE *et al.*, 2004, 2010b) e é muito frequente que represente o componente mais abundante, devido à grande disponibilidade de MO autóctone que é fornecida pelo fitoplâncton (TYSON, 1995).

5.1.1.1. O papel da MOA

Tal como referido anteriormente, a **MOA** foi subdividida em dois tipos de componentes em função da sua origem: MOA bacteriana (pelicular e em placas) e “MOA”, que deriva da produção bacteriana e do ataque microbiológico de fitoplâncton e de compostos orgânicos degradados, respectivamente. Observou-se que a MOA bacteriana se encontra preferencialmente nos horizontes inseridos em unidades carbonatadas e mostra uma morfologia que está associada à natureza da matriz mineral, onde a sua produção ocorre simultaneamente à precipitação dos carbonatos e as estruturas em cratera mostram a sua impressão após dissolução dos minerais pela acidificação com HCl (*sensu* COMBAZ, 1980; MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010b).

A MOA que foi estudada é toda autofluorescente (amarela-castanha). Elevados quantitativos de MOA, com elevada coloração de fluorescência, pode traduzir condições deficitárias de oxigénio (TYSON, 1995). No entanto, algumas partículas de MOA bacteriana, que foram observadas com elevada autofluorescência amarela, não estarão principalmente associadas ao estado redutor do sistema. Na tabela 5.1. pode-se observar uma escala qualitativa de preservação de componentes orgânicos onde se verifica que a MOA bacteriana possui uma menor dependência do estado de preservação no ambiente deposicional (TYSON, 1995).

Encontram-se alguns argumentos que vão de encontro com o acima referido, especialmente na clara distinção que é observada na **MOA bacteriana** que tipifica a Fm de Coimbra. Na porção superior desta unidade (amostras SPMP 4, SPMP 5, SPMP 6 e SPMP 9), observou-se do tipo pelicular (*sensu* MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010a), em que segundo o pressuposto de um trabalho posterior de MENDONÇA FILHO *et al.* (2010b) referem que este tipo de componente é produzido no topo da coluna de água por colónias de bactérias autotróficas, estando este tipo morfológico geralmente associado a baixos valores de COT e condições óxicas. Efectivamente, nos horizontes onde estas partículas ocorrem, o COT é baixo (inferior a 1%) geralmente associados a elevadas percentagens de fitoclastos (fig. 5.1), sugerindo que a **autofluorescência amarela está mais relacionada com a sua origem do que propriamente com as condições de preservação** (TYSON, 1995). No entanto, outro tipo de MOA bacteriana poderá estar associado a condições disóxicas-

anóxicas. Nas amostras da porção intermédia da Fm de Coimbra (SPMP 1 a SPMP 3) observou-se MOA bacteriana em placas (representa mais de 80% do total), associada a elevados valores de COT e raros fitoclastos (inferior a 2%; FO) (fig. 5.1), podendo reflectir uma **posterior sintetização da MO bacteriana** por colónias de bactérias heterotróficas em **sistema redutor** (MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010b).

Tabela 5. 1. Escala de preservação qualitativa baseada num estudo de cerogénio imaturo não oxidado (TYSON, 1995).

Escala	Descrição
1	Cerogénio não fluorescente (excepto por raros palinórfos). a. MOA muito rara ou ausente. b. MOA comum ou abundante.
2	A maioria dos palinórfos apresenta fluorescência. Matriz de MOA autóctone permanece predominantemente não fluorescente. a. Palinórfos exibem fluorescência entre o amarelo e o laranja claro. b. Palinórfos exibem fluorescência amarela-esverdeada.
3	A maioria dos palinórfos apresenta fluorescência. A matriz de MOA apresenta fluorescência fraca (aparência heterogénea de micropartículas).
4	Semelhante a 3, porém a matriz de MOA apresenta fluorescência heterogénea moderada (visível, porém inferior a dos palinórfos).
5	Semelhante a 3, porém a matriz mostra fluorescência heterogénea alta (semelhante a coloração dos palinórfos).
6	Matriz da MOA exibe fluorescência alta e mais homogénea (amarelo vivo). “ Provavelmente parcialmente relacionada a factores que não os de preservação (MOA predominantemente microbiana em vez de derivada de fitoplâncton) ”.

A “**MOA**” que foi identificada encontra-se em contexto litológico e estratigráfico muito distinto, sendo **dominante na Fm de Água de Madeiros** em S. Pedro de Moel (fig. 5.1), onde a fracção carbonatada tende a diminuir e as condições deposicionais são francamente marinhas e em condições claramente transgressivas (DUARTE & SOARES, 2002; DUARTE *et al.*, 2010b). Possui fluorescência homogénea castanha ou heterogénea castanho-amarela, que segundo a tabela 4.1, poderá estar associada a condições de preservação em ambiente redutor (TYSON, 1995). Estas condições parecem ter vigorado igualmente na sedimentação da parte terminal do Mb de Polvoeira em Peniche (amostras PEP 4 e PEP 5) (fig. 5.1).

5.1.1.2. O papel dos fitoclastos

Os **fitoclastos** encontram-se em todas as amostras e representam o componente dominante em 4 delas (SPMP 4, SPMP 5, PEP 1 e PEP 2) sugerindo descargas fluviais sazonais e progradação de material continental no ambiente deposicional (TYSON, 1995; MENDONÇA FILHO & MENEZES, 2001). Dentro deste grupo foi observado que geralmente estão representados por FO e FNONB degradados, indicando uma tendência de preservação selectiva. Na fig. 5.2, o esquema ilustrado é representativo de uma sequência

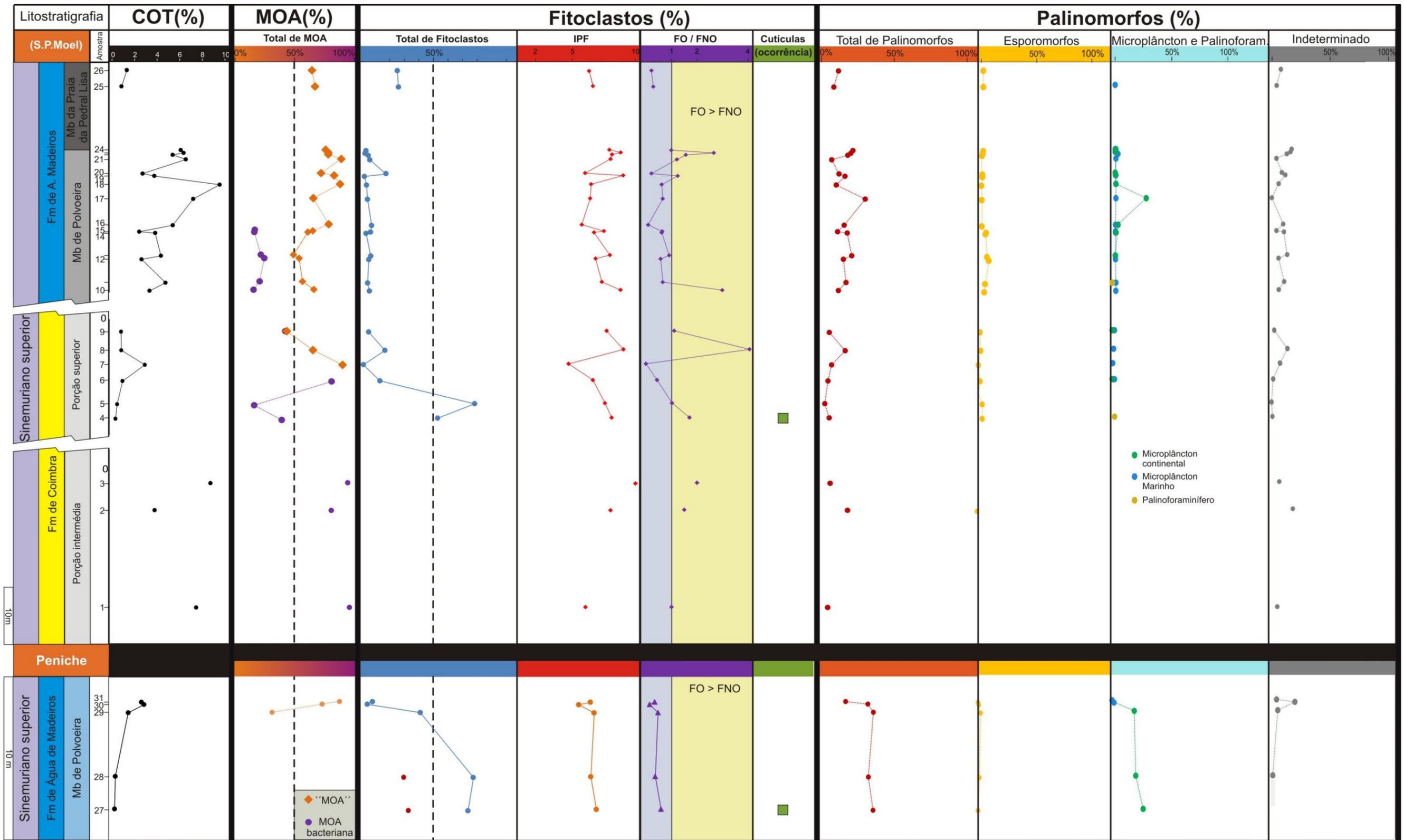


Fig. 5. 1. Distribuição estratigráfica da matéria orgânica particulada de alguns subgrupos de palinofácies. COT: carbono orgânico total; MOA: matéria orgânica amorfa; Palinoforam: palinoforaminífero; IPF: índice de preservação de fitoclastos, FO/FNO: valor da razão entre o total de fitoclastos opacos e os não opacos.

de desaparecimento de componentes que se vão degradando à medida que as partículas vão sendo transportadas para sectores distais da área fonte (TYSON, 1993, 1995; VINCENT, 1995; MENDONÇA FILHO 1999; MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010a, 2010c). Em função do parâmetro proximalidade-distalidade as associações tendem a preservar tecidos traqueídicos (fitoclastos bandados e perfurados) e FO. Deve-se principalmente à capacidade de resistência dos tecidos lenhificados, exponencialmente mais resistentes, que tendem a diluir todos os outros e permanecer por mais tempo no sistema (TYSON, 1995). Neste processo selectivo, os fitoclastos vão oxidando e tornando-se mais escuros, devido à distância entre a fonte e a área de sedimentação, condições de energia do transporte e factores deposicionais como a energia e as flutuações da coluna de água em ambientes rasos (TYSON, 1995).

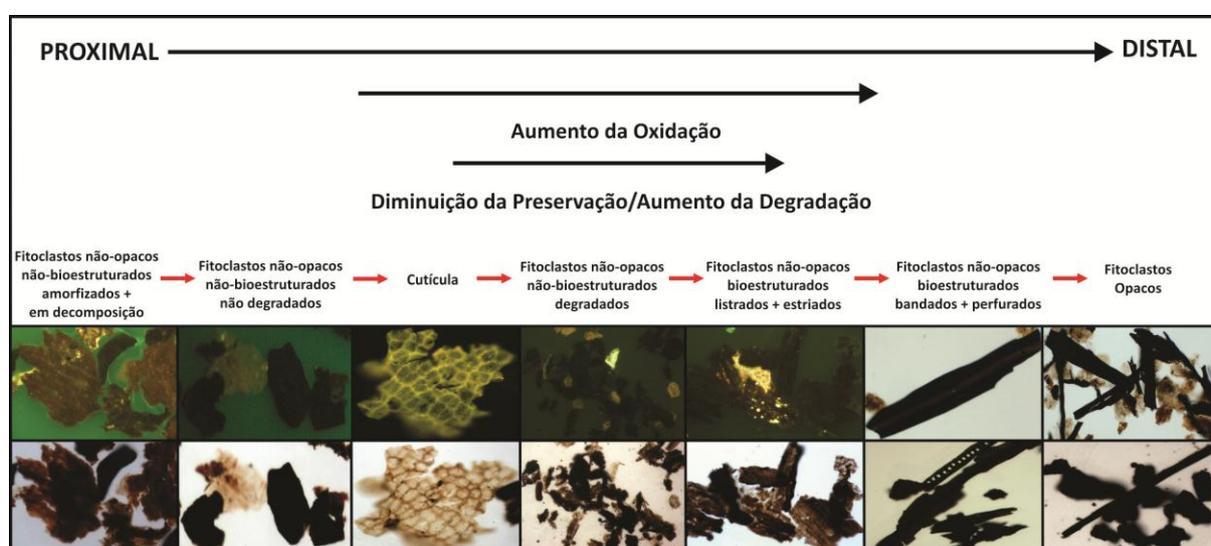


Fig. 5. 2. Relação proximal-distal baseada nos tipos de fitoclastos: preservação selectiva dos tipos de fitoclastos a diferentes pontos em um gradient proximal-distal (segundo TYSON, 1993, 1995; VINCENT, 1995; MENDONÇA FILHO 1999; MENDONÇA FILHO *et al.*, 2010a, 2010c) .

As associações de fitoclastos, que foram observadas neste trabalho, mostram uma **tendência de preservação de fitoclastos mais refractários**, mostrando maioritariamente FNONB degradados e FO. Do subgrupo de FNOB, observou-se principalmente bandados e perfurados (ver Anexo I.1). As **cutículas**, que derivam das folhas e se encontram geralmente próximas da área fonte, por não conseguirem ser transportadas para muito longe (MENDONÇA FILHO 2010a, 2010c), foram observadas **naqueles horizontes onde predominam os fitoclastos**, o que indica proximidade da área fonte, ou seja, progradação continental (caso das amostras SPMP 4 e PEP 1, com valores de fitoclastos acima de 50 %) (fig. 5.1).

De modo a analisar a tendência de preservação selectiva que caracteriza cada uma das amostras estudadas calculou-se o Índice de preservação de fitoclastos (IPF) e a razão

entre FO/FNO (TYSON, 1995; MENDONÇA FILHO, 1999). O IPF é um parâmetro estatístico que permite avaliar a tendência de preservação selectiva em função das suas propriedades inerentes (TYSON, 1995; MENDONÇA FILHO, 1999), apresentadas na tabela 5.2. Foi calculado utilizando a fórmula $IPF = \sum \{ [(\% \text{ tipo fitoclasto} / \text{total de fitoclastos}) / 100] \times \text{escala} \}$ e foi obtido pelo somatório dos vários IPF (com base na escala da referida tabela). A escala reflecte a tendência de degradação e predomínio dos mais refractários, de 2 a 10, respectivamente. A razão FO / FNO foi calculada em função das percentagens absolutas dos subgrupos de FO e FNO. Os valores do parâmetro IPF e da razão FO/FNO que foram obtidos para as amostras estudadas encontram-se na tabela 5.3 e ilustrados na fig. 5.1.

Tabela 5. 2. Categoria do índice de preservação de fitoclastos para cada tipo de escala (segundo TYSON, 1995; MENDONÇA FILHO, 1999).

Escala	Tipo de fitoclasto
2	Fitoclastos não opacos, não bioestruturados não degradados
3	Cutículas
5	Fitoclasto não opaco não bioestruturado degradado
6	Combinação de fitoclastos não opacos, bioestruturados (estriados e listrados)
8	Combinação de fitoclastos não opacos bioestruturados [bandados e perfurados (traqueídicos)]
10	Fitoclastos opacos

A Fm de Coimbra mostra clara distinção entre as suas duas porções analisadas, sendo que, na porção intermédia mostra menos de 2% de fitoclastos, parâmetro IPF e razão FO/FNO moderado a alto, indicando condições de preservação da MO **relativamente distal da área fonte** (fig. 5.1). Na porção superior os valores são claramente distintos. Um dos aspectos que merece ser ressaltado é o facto de se ter observado diversos fitoclastos derivados de pirólise natural (associados a incêndios) nas amostras SPMP 4 e SPMP 5 (Fm de Coimbra). Estas mostram uma associação predominantemente representada por fitoclastos (fig. 5.1), indiciando maior **proximidade da área fonte**. O elevado IPF e FO > FNO reflecte o material proveniente de incêndios e /ou oxidação no ambiente deposicional.

Entre as amostras SPMP 6 e SPMP 9, os fitoclastos diminuem (mínimo de 2,4% e máximo 17,1%), podendo-se observar pela fig. 5.1, uma tendência de preservação dos mais refractários para o topo (amostras SPMP 8 e 9), sugerindo condições mais distais relativamente às anteriores. O Mb de Polvoeira também mostra um comportamento distinto, tanto entre as amostras de S. Pedro de Moel, como entre este sector e Peniche. Neste último sector, independentemente de um predomínio de fitoclastos nas amostras basais (máximo de 77,5%) ou de uma diminuição para o topo (8,4%), o IPF mantém-se relativamente baixo (5-7) e a razão FO/FNO indica sempre predomínio de FNO, ou seja, as amostras **tipificam fácies mais proximais** (fig. 5.1). Em S. Pedro de Moel, baseado neste parâmetro, as amostras **tipificam fácies mais distais**, relativamente a Peniche, com IPF

moderado a alto (6-9) e uma tendência de preservação de fitoclastos mais refractários (FO> FNO), especialmente para o topo da unidade, entre as amostras SPMP 19 e SPMP24 (fig. 5.1). É de sublinhar que neste Membro o conteúdo de componentes do grupo fitoclasto é geralmente baixo (inferior a 10%) (ver Anexo I.1 e fig. 5.1). No entanto, observa-se um significativo incremento na amostra SPMP 20, onde os FNO> FO e o IPF é relativamente mais baixo (fig. 5.1), comparativamente às amostras enquadrantes. Poderá corresponder a uma pequena incursão continental no seio da unidade.

Tabela 5. 3. Valores do IPF e da razão FO/FNO das amostras estudadas.

Litostratigrafia		Amostra	IPF	FO / FNO	
S. Pedro de Moel	Mb. P.P.L.	SPMP 26	6	0,2	
		SPMP 25	7	0,3	
	Fm de Água de Madeiros	Mb de Polvoeira	SPMP 24	8	1,0
			SPMP 23	9	2,7
			SPMP 22	8	1,6
			SPMP 21	8	1,2
			SPMP 20	6	0,2
			SPMP 19	9	1,3
			SPMP 18	7	0,6
			SPMP 17	6	0,7
			SPMP 16	6	0,1
			SPMP 15	8	0,6
			SPMP 14	7	0,6
			SPMP 13	8	0,9
			SPMP 12	7	0,6
			SPMP 11	7	0,7
	SPMP 10	9	3,0		
	Fm de Coimbra	Porção superior	SPMP 9	8	1,1
			SPMP 8	9	4,1
			SPMP 7	5	0,0
SPMP 6			7	0,4	
SPMP 5			8	1,0	
SPMP 4			8	1,7	
Porção intermédia		SPMP 3	10	2,0	
		SPMP 2	8	1,5	
SPMP 1	6	1,0			
Peniche	Fm de Água de Madeiros (Mb de Polvoeira)	PEP 5	6	0,4	
		PEP 4	5	0,2	
		PEP 3	7	0,5	
		PEP 2	6	0,4	
		PEP 1	7	0,6	

5.1.1.3. O papel dos palinomorfos

Os **palinomorfos** observados provêm de duas fontes: marinha e continental. Conforme anteriormente mencionado os esporomorfos estão representados por grãos de pólen de *Classopollis classoides*, grãos de pólen bisacados e esporos, o que mostra uma

associação que caracteriza origens distintas. Os grãos de *Classopollis* provêm de uma vegetação de coníferas de pequeno porte, da extinta família Cheirolepidiaceae (Triásico superior – Cretácico) com significado ecológico e paleoclimático muito característico, pois possuíam capacidade de adaptação a condições de salinidade e clima quente e seco (TYSON, 1995; MENDONÇA FILHO, 2010a). Sendo a população mais abundante de esporomorfos e presente em quase todas as amostras, muito embora inferior a 5%, sugere que esta família de coníferas **ocupava uma posição muito próxima à área de sedimentação**. A disposição dos grãos de *Classopollis* também suporta esta observação, sendo que na sua maioria se encontram em tétrade e aglomerados, o que reflecte **condições deposicionais próximas à área fonte**, podendo ser igualmente associadas a uma elevada taxa de sedimentação (TYSON, 1995).

Os grãos de pólen bissacados possuem dois sacos aéreos e podem deslocar-se da fonte ao ambiente deposicional por longos períodos de tempo por acção do vento e por flutuação na água (HOPKINS, 1950). A ocorrência destes grãos de pólen sugere que provêm de uma vegetação relativamente afastada, ou seja, desenvolvida numa posição mais distal e mais favorável ao crescimento de vegetação com árvores de grande porte. Anotou-se que se encontram particularmente associados aos horizontes mais ricos em fitoclastos o que reforça uma proveniência a partir de uma fonte mais continental. O único esporo observado poderá indicar uma proveniência de fonte mais distal, provavelmente associada à fonte dos grãos de pólen bisacados, porque possui limitada capacidade de transporte e maior peso, sendo mais abundantes em ambientes proximais (TYSON, 1995; MENDONÇA FILHO & MENEZES, 2001).

O microplâncton marinho representa uma pequena parte da associação (inferior à 5%), parecendo estar ausente nas primeiras cinco amostras da Fm de Coimbra e na base do Mb de Polvoeira em Peniche (fig. 5.1). A associação está representada por acritarcas e algas prasinófitas dos géneros *Tasmanites* e *Cymathiosphaera*, organismos que têm sido particularmente associadas a sedimentos lutíticos (TYSON, 1995). Os acritarcas são cistos unicelulares de origem incerta e classificam-se em função da sua morfologia. Contudo, a sua abundância relativa em sedimentos de fácies marino-marginais tem sugerido que provêm de organismos eurihalinos (HANCOCK & FISHER, 1981 *in* TYSON, 1995). As algas prasinófitas são organismos planctônicos e cosmopolitas (TYSON, 1995). Nas associações de palinóforos fósseis com acritarcas e prasinófitas têm sido observadas algumas relações com as condições sedimentológicas, ecológicas e alterações hidrodinâmicas (proximal vs. distal) (WALL, 1965 *in* TYSON, 2005). Segundo estudos realizados em sedimentos do Mesozóico, WALL (1965) observou que os acritarcas eram predominantemente abundantes

em fácies mais proximais, tendo tendencialmente diminuído em ambientes mais profundos, onde as prasinófitas tendem a ser mais abundantes, especialmente nas fácies mais anóxicas, mas, Tyson (1995) refere que não devem ser considerados como verdadeiramente indicadores de águas rasas. Nas amostras estudadas foram quantificados poucos acritarcas e prasinófitas (inferior a 3%), o que não permite observar se a sua abundância relativa reflecte uma relação com fácies mais proximais ou distais. Todavia, é de sublinhar que tanto **os acritarcas** como **as prasinófitas ocorrem associados ao predomínio de MOA** (superior a 65%) (ver Anexo I.1), sendo que os acritarcas podem ocorrer em nichos incrustados na MOA. Tal como tem sido referido para estas associações, observaram-se preferencialmente relacionados aos sedimentos lutíticos que no presente trabalho coincide com outras observações, nomeadamente, elevada MOA e COT elevado (fig. 5.1.). Os palinoforaminíferos (subgrupo zoomorfo) que foram observados são um indicador igualmente inequívoco de fácies marinhas ou pelo menos com uma influência marinha. Poderão corresponder a organismos bentónicos (STANCLIFFE, 1989).

O microplâncton continental foi observado na porção superior da Fm de Coimbra e no Mb de Polvoeira, em Peniche e em S. Pedro de Moel (fig. 5.1) maioritariamente zigósporos provavelmente de Zygnemataceae. As espécies actuais de Zygnemataceae formam zigósporos em águas rasas, estagnadas e oxigenadas, onde a temperatura dos corpos de água podem subir rapidamente para formar zigósporos (GRENFELL, 1995). Os zigósporos de Zygnemataceae são classificados em função da sua ornamentação, podendo os zigósporos observados corresponder ao tipo estriado (JAO, 1935 *in* GRENFELL, 1995). Assim sendo, a presença destes **zigósporos sugere que terão sido incorporados por descargas fluviais ou subida relativa do nível do mar**. No entanto, foram observadas algumas diferenças entre os zigósporos de S. Pedro de Moel e os de Peniche. Nas amostras de S. Pedro de Moel verifica-se que têm excelente preservação morfológica enquanto que nas de Peniche se encontram decompostos (Anexo I.2, Estampas 2.17 e 2.18). Neste caso, o efeito de proximalidade à zona continental e o factor energia poderão ter condicionado o seu estado de preservação em Peniche, dada a sedimentação mais bioclástica aqui evidenciada, comparativamente à S. Pedro de Moel (ver DUARTE & SOARES, 2002; DUARTE *et al.*, 2004, 2010b). Todo este fenómeno terá sido apoiado por uma subida do nível do mar (fase transgressiva) tal como é preconizado por DUARTE & SOARES (2002; DUARTE *et al.*, 2010b) para esta porção do Mb de Polvoeira.

Algas do género *Botryococcus* também foram observadas. Encontram-se classificadas como organismos de ambientes de água doce, geralmente oligotróficos, mas, possuem adaptação a condições de salinidade e estão definidos como organismos

eurihalinos (DEMETRESCU, 1998; MENDONÇA FILHO, et al., 2010a). Encontram-se associados ao horizonte mais rico em zigósporos, e, por conseguinte, poderiam ter sido incorporados nos sedimentos marinhos nas mesmas condições. Os palinomorfos que foram classificados de indeterminados, não puderam ser seguramente identificados como esporomorfos ou microplâncton de parede orgânica, não só por serem muito pequenos ($\pm 10 \mu\text{m}$), mas sobretudo por não se ter identificado características de diagnóstico. Uma das características que pode ser referida é a coloração de fluorescência amarela. Poderão corresponder a esporomorfos ou prasinófitas.

5.1.2. Biomarcadores

Nas análises do betume por CG-EM foram registados diversos compostos orgânicos, cuja interpretação vai de encontro com uma **MO tanto marinha como continental**. Tal como ficou evidente pela técnica de palinofácies, os compostos orgânicos moleculares também apontam distintas características entre as unidades sedimentares e entre os horizontes de uma mesma unidade.

5.1.2.1. Os *n*-Alcanos

De acordo com TISSOT & WELTE (1984) em sedimentos recentes, os *n*-alcanos com massa molecular média (C_{15} - C_{17}) seriam indicadores de MO de origem marinha, sendo os de elevada massa molecular (C_{25} - C_{33}) indicadores, normalmente, de MO terrestre. Nas amostras da porção superior da Fm de Coimbra (SPMP 4 e SPMP 5) e do Mb de Polvoeira em Peniche (PEP 1 e PEP 2), onde o cerogénio é predominantemente de natureza continental (**fitoclastos**) a origem da MO também está expressa na distribuição dos *n*-alcanos. Pode-se observar pelos perfis cromatográficos um predomínio ou **elevação dos picos dos compostos de massa molecular mais elevada (C_{26} e C_{29})** (ver Anexo III).

Em todas as amostras da porção intermédia da Fm de Coimbra, naquelas da sua porção superior e nas do topo Mb de Polvoeira em Peniche, onde o cerogénio apresenta maioritariamente MOA, os *n*-alcanos de massa molecular média (C_{15} - C_{17}) representam os compostos mais abundantes, reflectindo MO predominantemente marinha (ver Anexos 3.1 a 3.4).

5.1.2.2. Proporção relativa dos esteranos regulares 5α (H), 14α (H) (20R) em C_{27} , C_{28} e C_{29}

Na fig. 5.3 mostra-se um diagrama triangular referente à distribuição relativa dos esteranos regulares 5α (H), 14α (H) (20R) em C_{27} , C_{28} e C_{29} para as 31 amostras estudadas. Este diagrama mostra que ocorre uma alta percentagem de esteranos C_{29} e em C_{27} , com

menor abundância relativa de C₂₈. De acordo com HUANG & MEINSCHEN (1979) a predominância de esteranos em C₂₉ e C₂₇, seria indicativo de alta contribuição de MO continental e planctônica, respectivamente. A observação visual do cerogénio indica uma predominância de MO terrestre (fitoclastos) nas amostras PEP (1 e 2) e SPMP (4 e 5) que igualmente possuem maior percentagem de esteranos em C₂₉ (fig. 5.4). Outras amostras, onde o cerogénio é maioritariamente composto por MOA mostram mais de 50% de esteranos em C₂₉ (SPMP 6, 7, 8, 14, 20, 25 e 26) (tabela 4.7), sugerindo, e conforme se observa na fig., uma predominância de MO continental para as amostras analisadas.

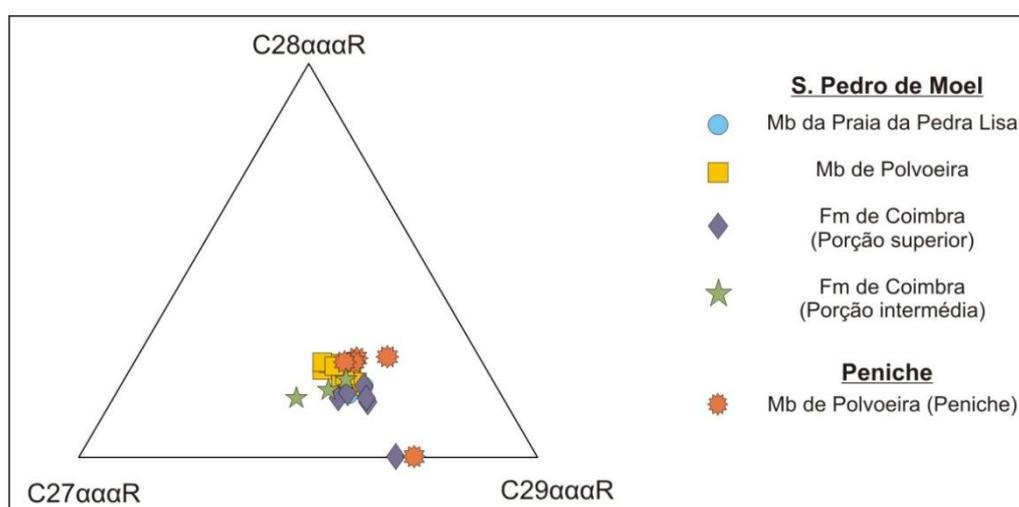


Fig. 5. 3. Diagrama triangular mostrando a relação entre a composição dos esteranos regulares 5 α (H), 14 α (H) 20R em C₂₇, C₂₈ e C₂₉. Os valores referem-se aos mostrados na tabela 4.7

5.1.2.3. Razão Pr / Fi

O Pr e o Fi são os isoprenóides regulares mais abundantes na MO sedimentar (TISSOT & WELTE, 1980). O valor da razão Pr/Fi tem sido utilizado como indicador de condições deposicionais durante o estágio inicial de decomposição da clorofila, com razões elevadas de Pr/Fi indicando ambiente óxico e razões baixas indicando o processo inverso (BROOKS *et al.*, 1969). No entanto, diversos estudos têm indicado uma dependência térmica desta razão (PETERS *et al.*, 2005), ou ainda outros factores que interferem no ambiente deposicional (RISATTI *et al.*, 1984; GOOSSENS *et al.*, 1984 *in* MENDONÇA FILHO, 1999; PETERS *et al.*, 2004) o que, por estes motivos, se recomenda que seja suportado com outras observações e associado a outros parâmetros.

Nas amostras estudadas os valores da razão Pr/Fi são geralmente baixos (0,39 e 1,62). Os valores mais elevados, ou seja, Pr > Fi encontram-se nas amostras SPMP 5, SPMP 9, SPMP 24, SPMP 25, SPMP 26, e PEP 2 (fig. 5.5). Destas, as amostras SPMP 5 e PEP 2, encontram-se associadas a elevados valores de fitoclastos (fig. 5.1), que sendo

introduzidos por descargas fluviais geralmente proporcionam condições sedimentares mais oxigenadas. As amostras SPMP 24 a SPMP 26 encontram-se estratigraficamente entre o topo do Mb de Polvoeira e o Mb da Praia da Pedra Lisa. O Mb da Praia da Pedra Lisa materializa uma fase regressiva, cuja progradação continental pode ter ocorrido já na metade final do Mb de Polvoeira (DUARTE *et al.*, 2010b). Deste modo, os valores obtidos que sugerem um ambiente sedimentar **relativamente mais óxico encontram-se associados a uma descida relativa do nível do mar**. Note-se que as amostras do Mb de Praia da Pedra Lisa mostram um incremento de fitoclastos, relativamente ao Mb de Polvoeira. Relativamente à amostra SPMP 6, embora a associação do cerogénio não sugira um significativo conteúdo em fitoclasto (6,1%) ou esporomorfos (1,6%) refere-se outra informação disponível. Na descrição física da amostra foram assinalados bivalves (ver tabela 4.1), que são macrofóssies bentónicos que necessitam de oxigénio para a sua sustentabilidade.

5.1.2.4. Razão H_{35}/H_{34}

Os hopanos são componentes moleculares que derivam de organismos procariotas e a sua distribuição tem sido utilizada para identificar condições redutoras-oxidantes de rochas geradoras para uma predominância de H_{35} sobre H_{34} (PETERS *et al.*, 2005). No entanto, índices elevados de H_{35} sobre H_{34} também têm sido associados aos sedimentos carbonatados (BOON *et al.*, 1983; CONNAN *et al.*, 1986 *in* PETERS *et al.*, 2005). Para a Fm de Coimbra, a razão $H_{34} > H_{35}$ está presente em quase todas as amostras (fig. 5.5), podendo ser deficitárias em oxigénio superiormente em SPMP 8 (fig. 5.5). No Mb de Polvoeira em S. Pedro de Moel, os valores variam, sendo muitas vezes próximos de 1. Observa-se que, os inferiores a 1 encontram-se geralmente entre SPMP 10 e SPMP 16 e os superiores a 1, entre SPMP 17 e SPMP 24 (fig. 5.5), podendo corresponder a condições óxicas e anóxicas, respectivamente. As **condições óxicas parecem vigorar no Mb da Praia da Pedra Lisa com $H_{34} > H_{35}$** (fig. 5.5). Para Peniche, $H_{35} > H_{34}$ observado em todas as amostras, poderá também estar associado a outros factores (litologia e condições deposicionais), visto que nas amostras basais o COT é muito baixo e a associação materializa fácies rasas, proximais e mais energéticas, conforme referido pela associação dos fitoclastos e dos palinomorfos (5.1.1.2 e 5.1.1.3).

5.1.3. DIFERENCIAÇÃO DAS UNIDADES SEDIMENTARES

Foram analisadas 31 amostras, distribuídas entre a Fm de Coimbra e de Água de Madeiros, estratigraficamente inseridas no Sinemuriano Superior da BL (DUARTE & SOARES, 2002; DUARTE *et al.*, 2008, 2010b). As unidades encontram-se muito bem estudadas nos

vários domínios científicos, como a caracterização sedimentológica, estratigráfica, paleontológica e no contexto da análise sequencial. Deste modo, com base nas duas técnicas utilizadas, os dados serão enquadrados neste contexto, sabendo que a sedimentação do Sinemuriano representou o início dos depósitos carbonatados na BL, favorecidos por uma rampa de baixo pendor com inclinação para noroeste (AZEREDO *et al.*, 2003). Nesta conjuntura, os sedimentos terrígenos continentais continuaram a contribuir para a sedimentação da rampa, porém, foram gradualmente exercendo menor influência com a transição para condições mais marinhas e prevalectimento de condições marinhas francas no Sinemuriano superior (AZERÊDO *et al.*, 2010).

Numa análise sumária dos resultados de palinofácies e dos componentes moleculares, os **horizontes analisados** mostram essa mesma tendência, ou seja, **fácies predominantemente marinhas, às vezes com alguma progradação continental** (Fm de Coimbra) e fácies sugestivamente mais regressivas no Mb da Praia da Pedra Lisa (DUARTE *et al.*, 2010b). Esta dinâmica sedimentar, tipifica a distribuição vertical da MO nas amostras de S. Pedro de Moel. Outro aspecto que foi verificado e constitui um dos objectivos deste trabalho é a diferenciação entre o **Mb de Polvoeira** em S. Pedro de Moel e o de Peniche. Efectivamente foram registados diversos argumentos que suportam uma clara distinção entre os dois locais, que apontam para distintas condições tanto na energia do sistema, como na provável diferença de espessura da coluna de água ou ainda distintas condições de proximalidade/distalidade entre uma fonte continental e o ambiente deposicional marinho. Tipificam **fáceis mais proximais em Peniche e mais distais em S. Pedro de Moel**.

Nas figs. 5.4 e 5.5. mostra-se a distribuição vertical de alguns parâmetros analisados. A fig. 5.4 apresenta a distribuição vertical do tipo de MO, obtida pelas associações de palinofácies e a informação que é fornecida pelos esteranos regulares 5 α (H), 14 α (H) 20R em C₂₇, C₂₈ e C₂₉, onde se pode observar que nos horizontes mais ricos em fitoclastos também o esterano em C₂₉ mostra predominância. A fig. 5.5. exhibe uma distribuição vertical do COT, Pr/Fi e H₃₅/H₃₄. Nesta fig. demonstra-se que o COT elevado está associado a Fi>Pr e geralmente H₃₅>H₃₄, todos indicadores de disoxia-anoxia, conforme se pode observar no Mb de Polvoeira em S. Pedro de Moel e na porção intermédia da Fm de Coimbra. Condições óxicas de preservação da MO parecem tipificar as amostras do Mb da Praia da Pedra Lisa, com Pr>Fi, H₃₄>H₃₅ e significativa diminuição do COT (fig. 5.5). Para a porção superior da Fm de Coimbra e do Mb de Polvoeira em Peniche, as razões Pr/Fi e H₃₅/H₃₄ mostram geralmente distinta informação, difícil de ser relacionada, podendo ter-se preservado MO em condições anóxicas entre SPMP 6 e SPMP 8 e nas amostras superiores do Mb de Polvoeira em Peniche (?).

Deste modo, observando-se que cada unidade possui algumas diferenças e principalmente porque se enquadram em contextos sedimentares e eustáticos às vezes distintos, faz-se de seguida uma caracterização de cada uma delas.

5.1.3.1. Formação de Coimbra

Em **S. Pedro de Moel** foram analisados alguns horizontes da porção intermédia e superior. Na **porção intermédia da Fm de Coimbra**, as amostras estudadas possuem **MO predominantemente marinha** que foi provavelmente preservada em **condições disóxicas-anóxicas**. Possui mais de 80% de MOA, associada a uma elevada produtividade primária, favorecida principalmente pelo ecossistema (tapetes microbianos representam comunidades de elevada produtividade primária) e baixo suprimento de fitoclastos (inferior a 2%) (fig. 5.1). Os componentes moleculares fornecem a mesma indicação: nos *n*-alcanos os compostos nC_{15} - nC_{17} são os mais abundantes e a percentagem dos esteranos em C_{29} é inferior a 50% sendo o esterano em C_{27} o mais abundante em uma das amostras (fig. 5.4). A riqueza em MO está expressa no COT (máx. 8,78 %), apresentam elevado IPF e FO>FNO (fig. 5.1), indicando preservação dos mais refractários, associado a Fi>Pr e geralmente $H_{35}>H_{34}$ (fig. 5.4), cuja associação, sugere condições de preservação da MO em ambiente redutor. A amostra SPMP 3 possui o valor mais elevado de enxofre obtido (2,57%) sendo que, a presença de produtos tóxicos geralmente reflecte condições disóxicas-anóxicas (TYSON, 1995).

Na porção **superior da Fm de Coimbra** o tipo de MO e as condições deposicionais são díspares entre as amostras estudadas. Observam-se dois conjuntos distintos, sendo um representado pelas amostras SPMP 4 e 5 e o outro representado pelas amostras SPMP 6, 7, 8 e 9. As amostras **SPMP 4 e 5** possuem predominantemente **MO continental** (mais de 60% de fitoclastos) porém, o ambiente marinho encontra-se sublinhado por palinoforaminíferos na amostra SPMP 4 (fig. 5.1). Os componentes moleculares corroboram com estas observações: predomínio de esteranos em C_{29} (fig. 5.4), nos *n*-alcanos, C_{26} como o componente molecular mais abundante em SPMP 4; e bimodalidade de levitação dos picos dos compostos de massa molecular alta, especialmente C_{26} em SPMP 5 (ver Anexo II.1.1).

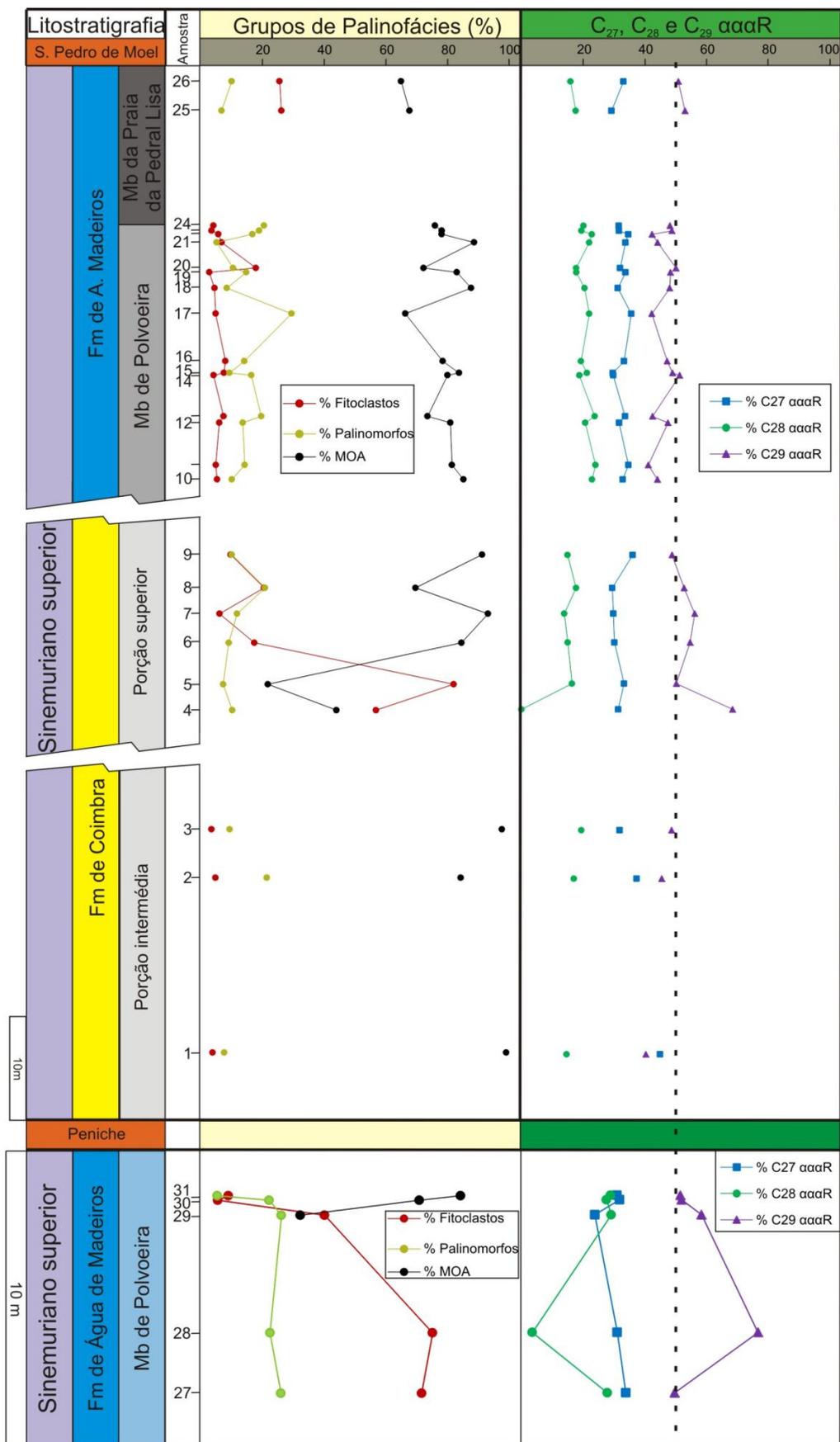


Fig. 5. 4. Distribuição vertical das percentagens relativas dos grupos de palinofácies e dos esteranos regulares C₂₇, C₂₈ e C₂₉ ααα (20R) das amostras SPMP 1 à SPMP 26. A numeração corresponde ao atribuído na tabela 4.1.

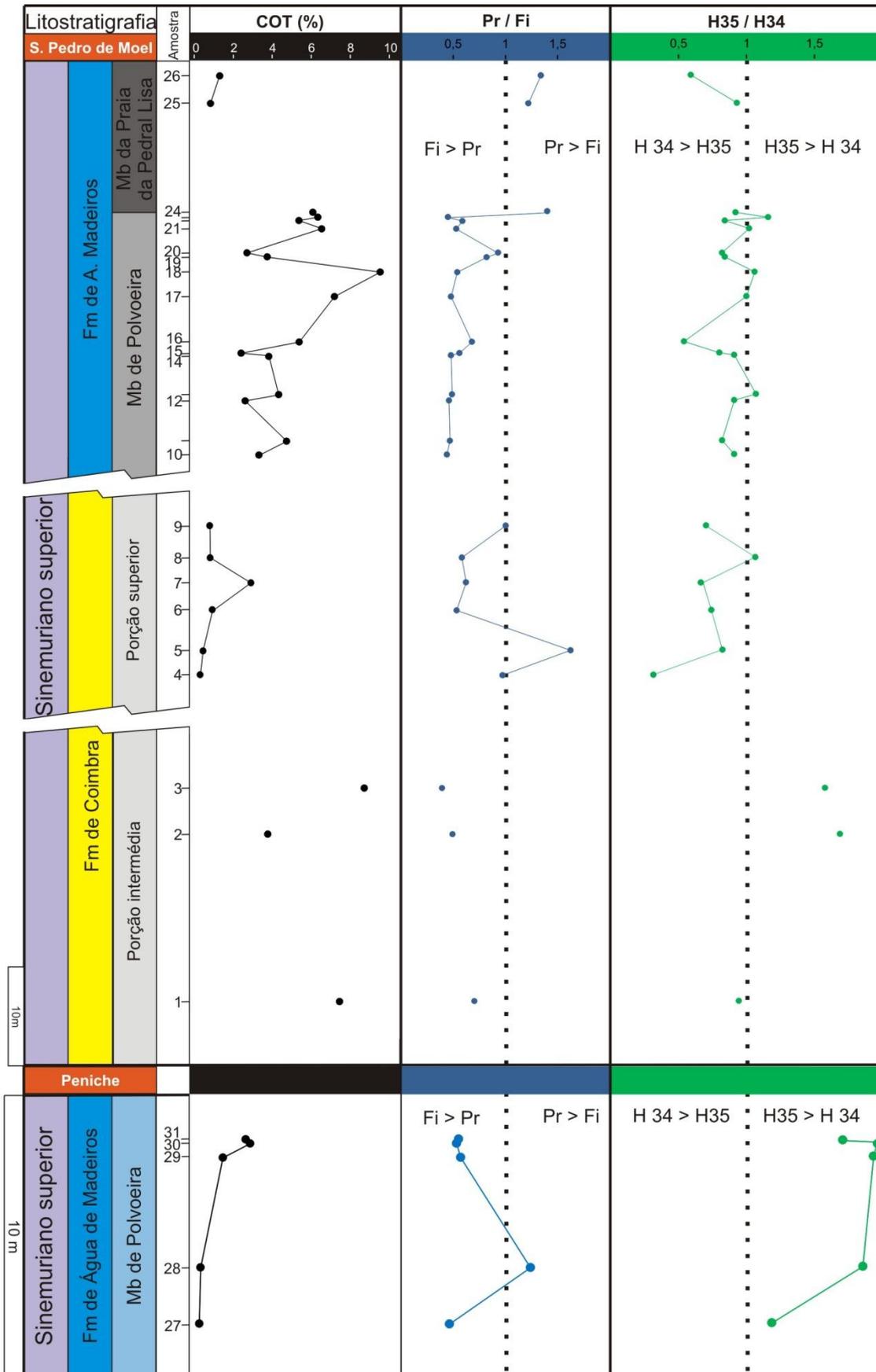


Fig. 5. 5. Distribuição vertical do COT, razão entre o pristano e o fitano (Pr/Fi) e entre os hopanos em C_{35} e C_{34} (H35/H34) das amostras SPMP 1 à SPMP 26. A numeração corresponde ao atribuído na tabela 4.1.

A introdução de MO continental por descarga fluvial poderá ter originado uma diluição dos demais compostos que se encontra expresso no baixo teor de MO acumulada (COT máximo de 0,47%) (fig. 5.1), e elevado teor em carbonato (RI máximo de 19%; ver tabela 4.3). Os elevados quantitativos de fitoclastos, associados a baixos valores de COT, Pr> Fi em SPMP 5 e H34> H35 (fig. 5.4) sugerem condições de preservação óxicas.

As amostras **SPMP 6, 7, 8 e 9** possuem uma **mistura de MO marinha e continental**. A MOA é o componente mais abundante (máximo de 83,3%). Os organismos autóctones encontram-se representados por acritarcas e prasinófitas e os fitoclastos às vezes mostram quantitativos relativamente mais elevados (cerca de 15% em SPMP 6 e SPMP 8) (fig. 5.1) o que demonstra a **recorrente influência continental na Fm de Coimbra** (ver AZERÊDO *et al.*, 2010). Os componentes moleculares fornecem a mesma informação: os *n*-alcanos indicam MO marinha com um predomínio dos de massa molecular média (ver Anexos II.1.1 e II.1.2) e os esteranos mostram MO continental (fig. 5.4). Considerando a natureza sedimentar desta porção do topo da Fm de Coimbra, enquadrada por fácies marinhas, predominantemente carbonatadas de baixa profundidade (ver DUARTE *et al.*, 2008), os sinais encontrados na MO da amostra SPMP 7 comprovam um pequeno pulso transgressivo, em condições provavelmente disóxicas.

5.1.3.2. Formação de Água de Madeiros

No contexto de subida do nível do mar que se verificou no Sinemuriano superior, os depósitos calcários da Fm de Coimbra foram sobrepostos por fácies hemipelágicas marinho-abertas da Fm de Água de Madeiros (DUARTE & SOARES, 2002; DUARTE *et al.*, 2004, 2010b). Esta fase transgressiva foi interrompida por outra, regressiva, iniciada já na porção superior do Mb de Polvoeira em S. Pedro de Moel e que abrange o Mb da Praia da Pedra Lisa (DUARTE *et al.*, 2004, 2010b).

Os componentes orgânicos que foram observados no **Mb de Polvoeira em S. Pedro de Moel** vão de encontro às informações já publicadas e anteriormente citadas: presença de fácies mais lutíticas e profundas (ocorrência de fósseis de organismos nectónicos) comparativamente à Fm de Coimbra, também expressas na MO, fundamentalmente marinha, com um **consistente predomínio de MOA nas 17 amostras analisadas**. No entanto, esta unidade é passível de ser subdividida em dois conjuntos, em função das associações de MO observadas. No primeiro (SPMP 10 a SPMP 15) observam-se características relativamente mais proximais. Apresenta COT inferior a 5%, menor proporção relativa de fracção lutítica (tabela 5.2), mistura de MOA (bacteriana e “MOA”) (fig. 5.1).

O segundo conjunto (SPMP 16 a SPMP 24) apresenta características relativamente mais transgressivas, com um incremento do conteúdo orgânico (COT geralmente acima dos 5%), aumento relativo da fração lutítica e da “MOA”, o que sugere um estabelecimento de fácies relativamente mais distais. Ainda neste 2º conjunto, é de referir alguns aspectos relevantes das amostras SPMP 17 e SPMP 20. A amostra SPMP 17 apresenta 29,1% de palinórfos (fig. 5.1), que corresponde quase exclusivamente a esporos de algas, muito bem preservados conforme anteriormente mencionado. Este registo parece ser contemporâneo do máximo transgressivo de 2ª ordem admitido em DUARTE *et al.* (2010b). Por outro lado, e de acordo com os referidos autores, a riqueza em fitoclastos (17,7%) da amostra SPMP 20, parece estar associado com a fase regressiva do sistema sedimentar invocada pelos mesmos autores. Considerando o $Fi > Pr$ na maioria das amostras, e às vezes $H35 > H34$, as condições deposicionais poderão ter sido dominadas pela anoxia.

Relativamente às 5 amostras de **Peniche**, a MO apresenta características muito distintas em relação às de S. Pedro de Moel, revelando uma forte componente continental e condições deposicionais significativamente **mais rasas e energéticas**. Os elevados valores de fitoclastos associado à ausência de MOA (fig. 5.1) e presença de zigósporos decompostos (ver 5.1.1.3) indiciam condições proximais e energéticas nas amostras PEP 1 e PEP 2. A MO, predominantemente de origem continental, também pode ser observada na elevação dos picos de elevada massa molecular (ver Anexo II.1.4) e no predomínio de esteranos em C_{29} (fig. 5.4). Estas condições são sobrepostas por outras, **mais transgressivas para o topo**, conforme se pode observar pela ocorrência e incremento em “MOA”, ocorrência de microplâncton marinho, diminuição de microplâncton continental e ligeiro aumento do COT (fig. 5.1). As condições deficitárias de oxigénio poderão ter vigorado nesta porção transgressiva (fig. 5.5).

O **Mb da Praia da Pedra Lisa** mostra uma clara associação de fácies regressivas, comparativamente ao Mb de Polvoeira. O conteúdo em COT decresce drasticamente, enquanto a percentagem de fitoclastos aumenta (fig. 5.1). Estas condições, relativamente regressivas, parecem estar expressas nos componentes moleculares com indicação de MO continental na amostra SPMP 26 e no esterano em C_{29} como mais abundante (fig. 5.4). Este **incremento de fração continental reflecte a sua natureza regressiva** (DUARTE *et al.*, 2004, 2010b), provavelmente em condições óxicas conforme se pode observar pelo $Pr > Fi$ e $H34 > H35$ (fig. 5.5). Por conseguinte, a fase regressiva de 2ª ordem (DUARTE *et al.*, 2010b) que se terá iniciado já na porção superior do Mb de Polvoeira, são aqui indicadas pelo aumento relativo de fitoclastos na amostra SPMP 20 e nas amostras do Mb da Praia da Pedra Lisa.

Matos (2009), no estudo que realizou em algumas amostras da porção superior do Mb de Polvoeira e do Mb da Praia da Pedra Lisa de S. Pedro de Moel, também observou associações de componentes orgânicos associados a fases regressivas, com um consistente incremento de fitoclastos e grãos de pólen em aglomerados e tétrede.

5.2. POTENCIAL DE GERAÇÃO DE HIDROCARBONETOS

Estudaram-se alguns parâmetros para analisar a MO, em termos de maturação e de potencialidade de geração de hidrocarbonetos. Correspondem a alguns horizontes ricos em MO da Fm de Coimbra e de Água Madeiros em S. Pedro de Moel e do Mb de Polvoeira em Peniche. Conforme referido anteriormente, depois de depositada e preservada a MO, esta passa a sofrer modificações biológicas e químicas formando-se assim o betume constituído por compostos orgânicos moleculares (biomarcadores) que vão reflectir tanto o tipo de MO como as condições deposicionais e o efeito térmico. Com o consecutivo enterramento e efeito térmico, o cerogénio sofre contínuas mudanças físico-químicas que originam a geração de óleo na catagénese ($\pm 50 - 150^{\circ}\text{C}$) (PETERS, *et al.*, 2005) (fig. 5.6). Em temperaturas entre ± 150 e 200°C , as moléculas orgânicas sofrem o craqueamento e passam a gás na fase de metagénese (PETERS, *et al.*, 2005). O potencial de geração de hidrocarbonetos consiste em avaliar a capacidade de uma rocha sedimentar, gerar e maturar MO. Para que uma rocha possa ser indicada como potencial geradora deve possuir no mínimo valores de 0,5% de COT para lutitos e 0,3% para carbonatos (TISSOT & WELTE, 1984). No entanto, é considerada apenas uma indicação e o *background* necessário, sendo que, em condições excepcionais e com potencial para gerar quantidades comerciais, uma rocha lutítica deve conter um valor médio de 1% de COT (TISSOT & WELTE, 1984).

O potencial de geração é analisado pela pirólise Rock-Eval que simula em laboratório o processo natural de geração, com temperaturas experimentais, produzindo diversos parâmetros interpretativos (TISSOT & WELTE, 1984). A informação obtida é vulgarmente referida em termos dos parâmetros S2 (hidrocarbonetos libertados pelo craqueamento do cerogénio) e T_{max} (temperatura máxima de geração), que indicam o potencial de geração da rocha e a maturação térmica, respectivamente. Outros parâmetros analíticos são mais indicados para avaliar a maturação térmica da MO, como a Ro%, o ICE e o espectro de fluorescência (MENDONÇA FILHO, 2010).

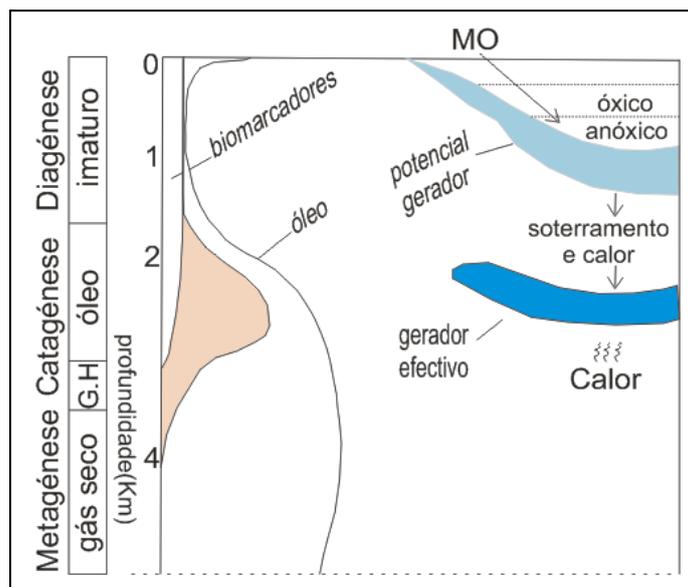


Fig. 5. 6. Evolução geral da matéria orgânica depois da sedimentação (PETERS *et al.*, 2005). G.H: gás húmido.

5.2.1. MATURAÇÃO TÉRMICA

Neste trabalho, será estudada a maturação térmica, utilizando parâmetros ópticos para analisar o cerogénio: o ICE e a Ro%, sendo esta última considerada uma das principais técnicas em estudos de evolução térmica da MO. Para a análise do betume estudaram-se os componentes moleculares dos grupos dos terpanos (m/z 191) e esteranos (m/z 217) apontados como indicadores de maturação térmica.

5.2.1.1. Ro (%) e ICE

O valor de Ro% de 0,5 está referido como indicador do início da janela de geração (PETERS *et al.*, 2005). Todas as amostras que foram analisadas por esta técnica mostram valores de $0,45 \pm 0,02$ ou $\pm 0,03$ e, por conseguinte, caracteriza-se esta MO como estando na fase de diagénese, encontrando-se **termicamente imatura** para gerar hidrocarbonetos.

Em 3 amostras analisadas foi possível obter um número significativo de medições sendo que nas amostras SPMP 5 e SPMP 26, apenas foi possível obter 3 e 9 medições, respectivamente. As partículas são muitas vezes pequenas e com baixos qualificadores (riscadas, com poros, inclusões de pirite, às vezes com o campo de medição inferior ao campo do diafragma) (BORREGO *et al.*, 2006). Pode-se observar pela fig. 4.2 que as partículas apresentam alterações na superfície [pontuações brilhantes (pirite) e superfície riscada]. Mesmo tendo-se por vezes obtido poucas medições de Ro%, os valores de ICE que foram obtidos (3,5-4) e os da Ro% são correlacionáveis (FISHER *et al.*, 1980), conforme se pode observar na representação gráfica da fig. 5.9. Estes valores de Ro% com indicação

de imaturidade térmica em amostras da BL vão de encontro com outro estudo para a unidade suprajacente. FERREIRA *et al.*, 2010b referem este mesmo valor para amostras da Fm de Vale das Fontes em Peniche.

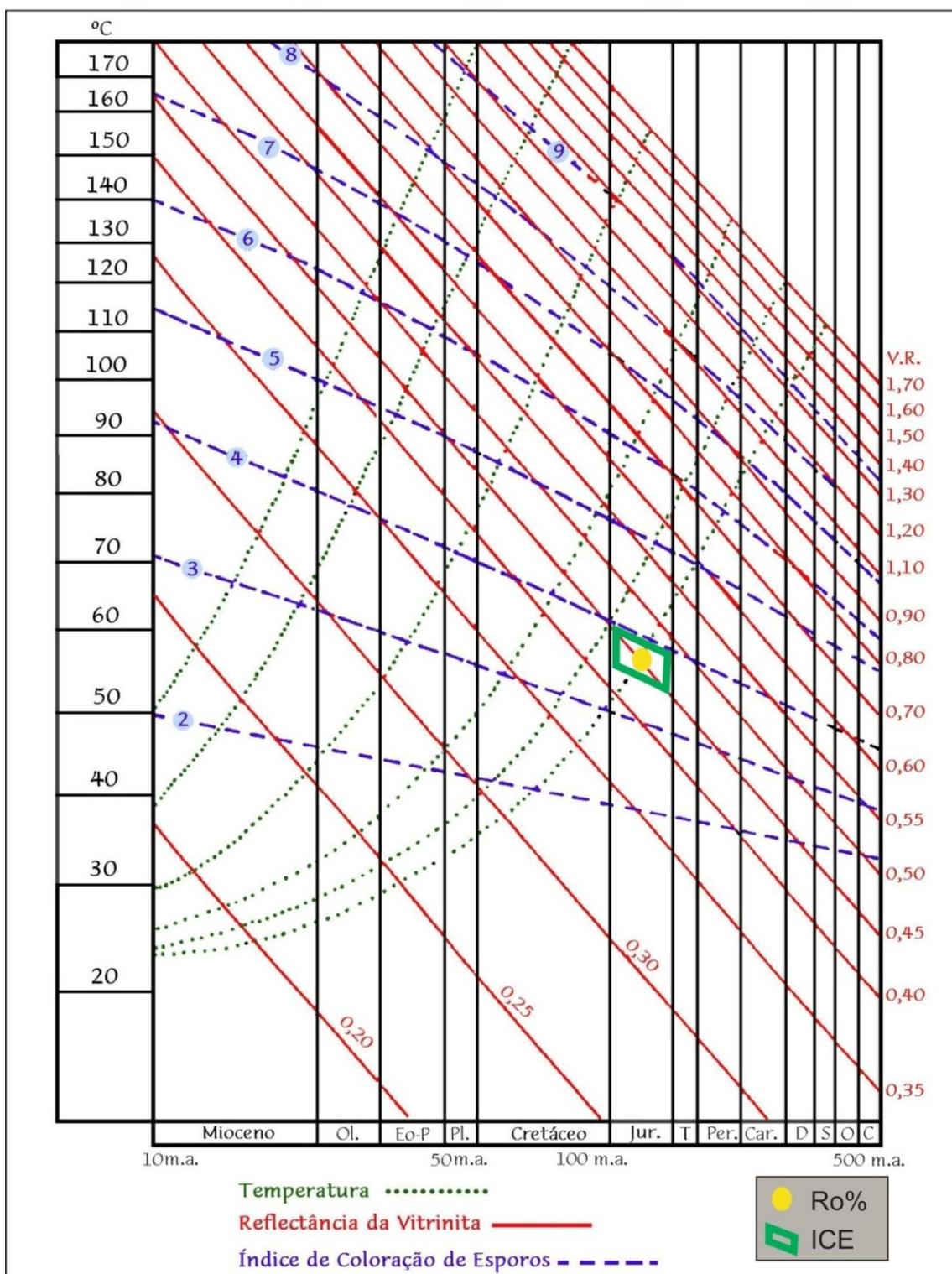


Fig. 5. 7. Relação entre o tempo (milhões de anos), Temperatura (°C) e Maturação (ICE e %Ro) das amostras estudadas (FISHER *et al.*, 1980).

5.2.1.2. Razões de Isomerização e Estereoquímica Molecular

A isomerização dos esteranos regulares em C_{29} eleva o valor das razões $(20S / (20S + 20R))$ e $\beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta)$ de 0 a $\pm 0,5$ ($0,52 - 0,55 =$ equilíbrio) com o aumento da temperatura, estando referido o valor de equilíbrio para o início da janela de geração (SEIFERT & MOLDOWAN, 1986). Para os terpanos, a isomerização dos hopanos estendidos (H_{31} e H_{32}) eleva o valor da razão $(20S / (20S + 20R))$ de 0 a $\pm 0,6$ ($0,57 - 0,62 =$ equilíbrio) com o aumento da temperatura, estando referido o valor de equilíbrio para o início da janela de geração (SEIFERT & MOLDOWAN, 1986).

A maioria dos **componentes moleculares** utilizados como indicadores de maturação mostram resultados concordantes com a imaturidade térmica para gerar hidrocarbonetos. Observa-se um predomínio de hidrocarbonetos da fracção polar (fig. 5.8), valores das razões $H_{31}S / (R+S)$ e $H_{32}S / (R+S)$ geralmente inferiores a 0,57 e das razões S/R (C_{29} α R) e $\beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta)$ C_{29} inferiores a 0,52 (fig. 5.9). No entanto, observam-se **algumas discrepâncias entre os horizontes analisados**, concretamente nas amostras do Mb de Polvoeira em Peniche e da Fm de Coimbra.

Na fig. 5.8 pode-se observar que em função da percentagem relativa de hidrocarbonetos que foi extraída do betume (ver tabela 4.7) uma amostra do Mb de Polvoeira em Peniche possui predominância de hidrocarbonetos saturados que poderia ser tradutor de maturação térmica (MENDONÇA FILHO, 1999; PETERS *et al.*, 2005).

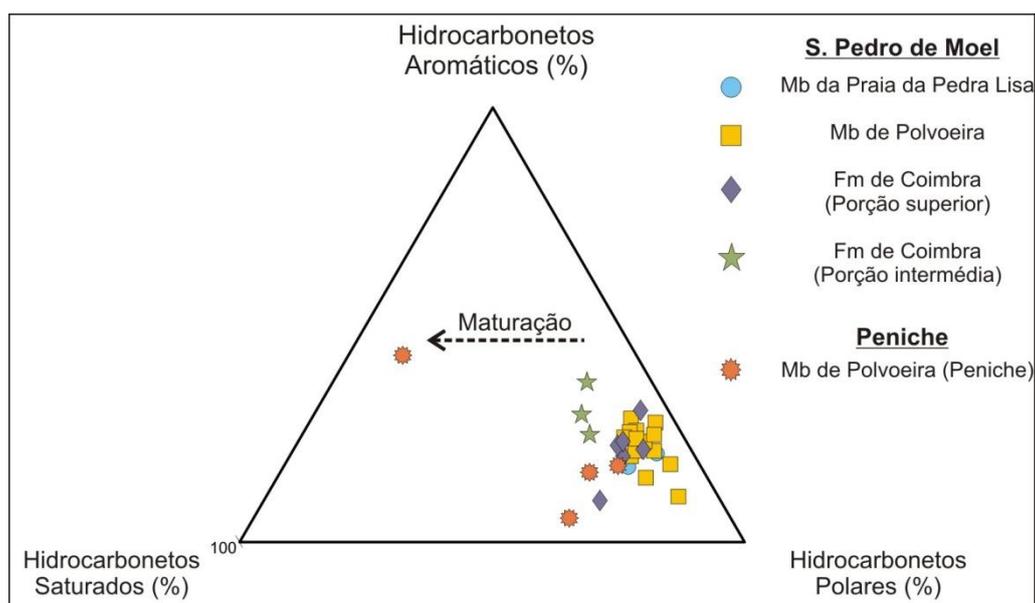


Fig. 5. 8. Gráfico ternário mostrando a distribuição das fracções aromática, saturada e polar das amostras estudadas. Referem-se aos valores apresentados na tabela 4. 6. A amostra PEP 1 não se encontra representada.

Os componentes moleculares também mostram discrepâncias, conforme se pode observar na fig. 5.9, mostrando que alguns horizontes da porção intermédia da Fm de Coimbra e do Mb de Polvoeira em Peniche se encontram no valor de equilíbrio sugerido para o início da janela de geração para essas razões.

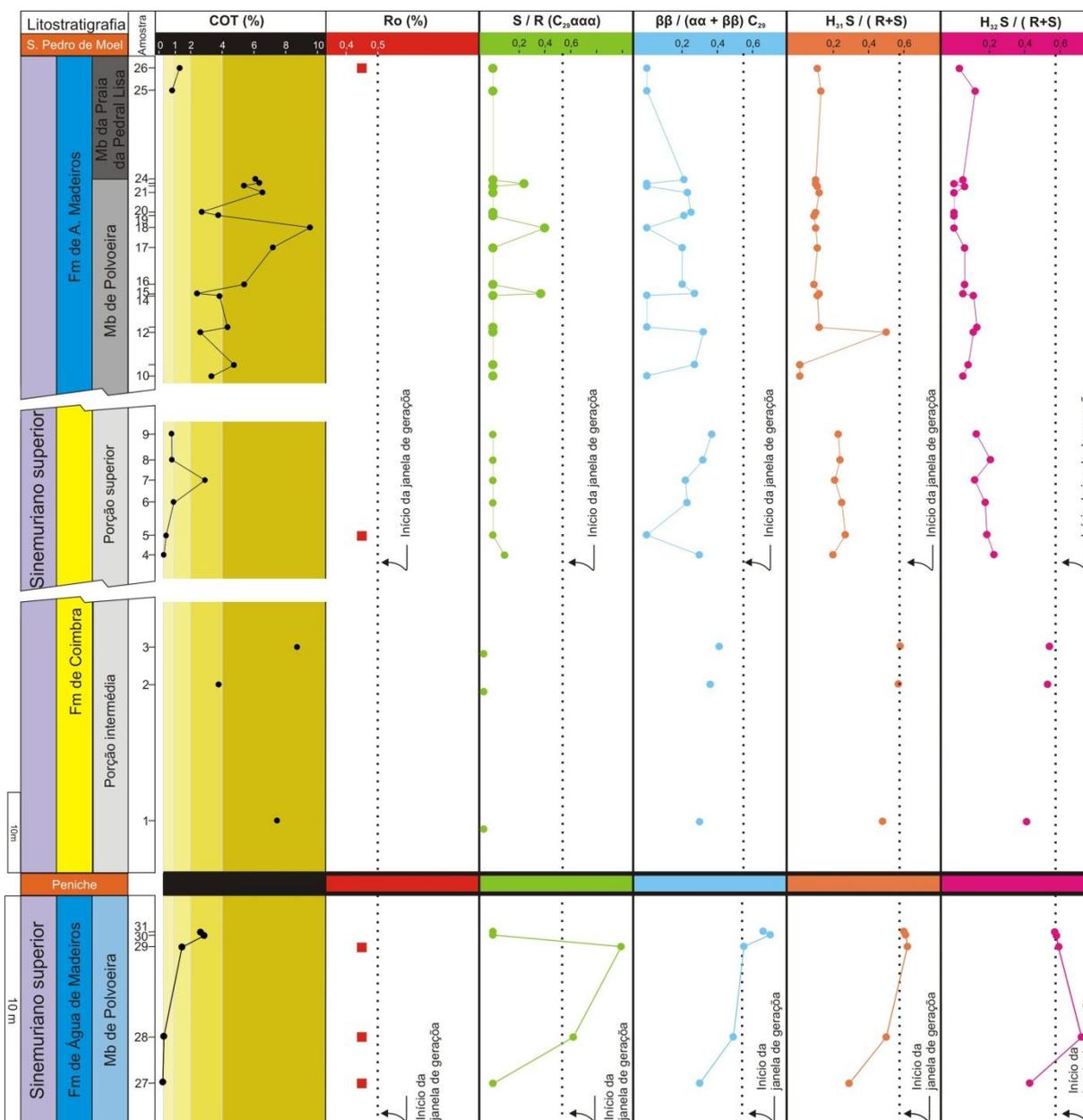


Fig. 5. 9. Distribuição estratigráfica dos valores do COT, reflectância da vitrinite S/R ($C_{29} \alpha\alpha\alpha$), $\beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta) C_{29}$, $H_{31} S / (S+R)$ e $H_{31} S / (S+R)$ das amostras SPMP 1 à SPMP 26 e PEP 1 à PEP 5. A numeração corresponde ao atribuído na tabela 4.1, os valores referem-se aos mostrados na tabela 4.7.

5.2.1.3. Em Síntese

Os parâmetros ópticos indicam imaturidade térmica, ou seja, que nenhuma amostra alcançou a janela de geração de hidrocarbonetos (catagénese). Todavia, é necessário agora considerar as amostras da Fm de Coimbra e do Mb de Polvoeira em Peniche, que mostraram, pelos parâmetros moleculares, terem alcançado a catagénese. Duas hipóteses podem ser consideradas: presença de compostos hidrocarbonetos migrados, uma vez que os componentes moleculares são analisados no betume (uma fracção móvel) podendo por conseguinte não pertencer a esta amostra e a outra possibilidade refere-se às condições do ambiente deposicional, visto que está amplamente difundido na literatura de que os biomarcadores tanto são alterados pelo efeito térmico como pela litologia, tipo de MO e pelas condições deposicionais (ver, por exemplo, PETERS *et al.*, 2004, 2005; WAPLES & MACHIHARA, 1991).

Sendo assim, esta segunda hipótese parece ser a mais viável, pois a presença de hidrocarbonetos migrados teria afectado toda a secção e não somente algumas amostras. Efectivamente têm sido referidos valores de isomerização que seriam indicativos de maturação térmica, em sedimentos termicamente imaturos, por influências tanto litológicas como do ambiente deposicional (WAPLES & MACHIHARA, 1991; PETERS & MOLDOWAN, 1991; MOLDOWAN *et al.*, 1992). Em conclusão, todas as amostras estudadas neste trabalho encontram-se **termicamente imaturas para gerar hidrocarbonetos**.

Os resultados obtidos neste trabalho vão de encontro com outros estudos de amostras do Jurássico inferior, onde foram realizadas análises de pirólise Rock-Eval. F. SILVA *et al.* (2007, 2010), OLIVEIRA *et al.* (2006) e recentemente DUARTE *et al.* (2011b) referem elevado potencial de geração para a Fm de Água de Madeiros e de Vale das Fontes. Porém, são unânimes de que as referidas unidades mostram imaturidade térmica para gerar hidrocarbonetos. Igualmente para a unidade suprajacente (Fm de Vale das Fontes) a integração de dados ópticos e de componentes moleculares indicou imaturidade térmica (FERREIRA *et al.*, 2010b).

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise dos resultados, é possível concluir que ficaram evidentes algumas variações significativas na distribuição vertical da MO ao longo do Sinemuriano superior de S. Pedro de Moel, e igualmente clara, a variação lateral que se verifica no Mb de Polvoeira entre os dois sectores estudados da BL.. **Evidenciaram-se alguns marcadores ambientais que vêm reforçar outras interpretações anteriormente avançadas, por parâmetros sedimentares, geoquímicos e paleontológicos** (ver, por exemplo, DUARTE *et al.*, 2006, 2008; 2010b, 2011a; AZERÊDO *et al.*, 2010).

A Fm de Coimbra revelou, pela primeira vez, uma grande riqueza em MO nas 3 amostras da porção intermédia (COT máximo de 8,8%), comparativamente às amostras da porção superior onde apenas uma possui 2,9% de COT. A Fm de Água Madeiros também é muito rica em MO, no Mb de Polvoeira em S. Pedro de Moel, com valores frequentemente acima dos 5% (COT máximo de 9,6%). Os valores obtidos são ligeiramente inferiores aos referidos em DUARTE *et al.* (2010b, 2011a) porém, são os esperados pelas características desta unidade, com horizontes de *black shale*, muitos deles sendo objecto de estudo neste trabalho. O seu equivalente lateral em Peniche (COT máximo de 2,8%) e o Mb da Praia da Pedra Lisa (COT máximo de 1,32 %) mostram um significativo decréscimo do conteúdo orgânico.

O exame microscópico das 31 amostras analisadas demonstrou que as diversas unidades sedimentares estudadas possuem maioritariamente MOA, autofluorescente, amarela ou castanha, como o componente mais abundante. Os palinórfos estão presentes em todas as amostras, com uma autofluorescência esverdeada ou amarela, representando distintos quantitativos e diversos tipos de associações, podendo pontualmente atingir os 29%. Os fitoclastos estão sempre presentes, mostrando maior representação em alguns níveis da Fm de Coimbra e do Mb de Polvoeira em Peniche. Mostram-se frequentemente alterados e oxidados.

Os *n*-alcanos revelam um padrão de distribuição que sugere MO de origem marinha (nC_{15} - nC_{17}) e derivada de vegetais superiores (nC_{26} - nC_{31}). A percentagem dos esteranos regulares (C_{27} , C_{28} e C_{29}) indica uma predominância relativa em C_{27} e C_{29} , sugerindo uma contribuição de MO planctónica e terrestre, respectivamente. Os parâmetros Pr/Fi e H35/H34 sugerem distintas condições de preservação da MO.

A palinofácies desempenhou um papel decisivo na caracterização da MO e na avaliação das condições deposicionais. Porém, associada ao estudo dos componentes moleculares, permitiu comprovar condições óxicas-disóxicas no processo de sedimentação de alguns horizontes analisados. Apesar de a amostragem não ter sido sistemática em toda a sua extensão vertical e lateral, o trabalho aqui apresentado, de intervalos parciais, é apoiado por um bom controlo estratigráfico das unidades, o que permite enquadrar a dinâmica sedimentar destes sectores particulares da BL (ver, por exemplo, DUARTE, 2004; DUARTE & SOARES, 2002; DUARTE *et al.*, 2010b, 2001a). O estudo da MO permite confirmar outras interpretações e destacar algumas constatações:

- A riqueza em MO de alguns horizontes da Fm de Coimbra, associada à actividade microbiana, demonstra a ligação destes ecossistemas e a produção e preservação de elevadas quantidades de MO, muito embora em sistema deposicional de fácies marinhas rasas (ver, por exemplo, AZERÊDO *et al.*, 2010);

- As associações do Mb de Polvoeira em S. Pedro de Moel, tipificando o ambiente mais profundo de todo o Sinemuriano da BL (ver DUARTE & SOARES, 2002; DUARTE *et al.*, 2010b, 2001a), mostram um domínio claro de MOA, preservada aparentemente em condições deficitárias em oxigénio;

- A variação lateral de fácies que tipifica o Mb de Polvoeira com fácies menos profundas em Peniche (DUARTE *et al.*, 2010b) mostra isso mesmo. Marcadores inequívocos de condições proximais e energéticas na porção basal, com predominância de fitoclastos e zigósporos decompostos e um estabelecimento de fácies transgressivas para o topo, com ocorrência e gradual predomínio de MOA;

- A fase regressiva de 2ª ordem iniciada já na porção superior do Mb de Polvoeira e que tipifica o Mb da Praia da Praia da Pedra Lisa (DUARTE *et al.*, 2010b, 2011a) parece ser denunciada por incursões de MO de origem continental, através de um aumento de fitoclastos;

- Os marcadores paleoclimáticos que a MO conserva, com uma constante ocorrência de grãos de pólen de *Classopollis* e pontual ocorrência de fitoclastos derivados de pirólise natural, confirmam, por outros métodos investigativos, de que o clima teria sido quente e seco, com pontual ocorrência de incêndios;

- Os resultados da análise de maturação térmica por microscopia óptica (Ro% e ICE) são correlacionáveis e reflectem um baixo efeito térmico. Alguns componentes moleculares indicam valores contraditórios. Todavia, os parâmetros ópticos confirmam que a MO encontra-se termicamente imatura para gerar hidrocarbonetos.

Verificou-se neste trabalho, que o estudo permitiu não só caracterizar a MO, como também abordar as questões deposicionais e a ligação dos componentes orgânicos com as fases de desenvolvimento da bacia. Finalizado este trabalho, levantaram-se algumas questões, que poderão constituir desafios futuros. Destes, destacam-se os seguintes:

- A continuidade dos trabalhos de caracterização da MO, especialmente nos intervalos do Sinemuriano superior que não foram analisados nesta dissertação. Por exemplo, a base da Fm de Água de Madeiros na região de S. Pedro de Moel e um maior detalhe em algumas outras posições estratigráficas. Estes novos dados permitirão perceber melhor as variações deposicionais a uma escala sequencial de 3ª e 4ª ordem.

- Particularmente torna-se necessário um estudo mais aprofundado da Fm de Coimbra, não só por uma análise mais sistemática da MO como igualmente a avaliação do potencial de geração de hidrocarbonetos, uma vez que ficou aqui demonstrada, neste trabalho, como mais uma unidade rica em MO da BL.

Conclusivamente reconhece-se neste trabalho a importância da integração de parâmetros ópticos e geoquímicos para o estudo da MO. Embora o estudo do conteúdo orgânico de unidades sedimentares tenha muitas vezes implícito abordar a geração de hidrocarbonetos, a análise do ambiente deposicional com recurso a técnicas de petrografia e geoquímica orgânica, a outras unidades ricas em MO da BL, seria uma valia ao estudo de pormenor, e por outro lado, uma maior difusão e utilização deste tipo de metodologia investigativa em Portugal.

BIBLIOGRAFIA

- ALVES, T.M., MANUPPELLA, G., GAWTHORPE, R. L., HUNT, D. W., MONTEIRO, J. H., 2003. Jurassic tectono-sedimentary evolution of the Northern Lusitanian Basin (offshore Portugal). *Marine and Petroleum Geology*, 19, pp. 727 –754.
- AZERÊDO, A.C., DUARTE, L.V., HENRIQUES, M.H., MANUPELLA, G., 2003. Da dinâmica continental no Triásico aos mares do Jurássico Inferior e Médio. *Cadernos de Geologia de Portugal, Inst Geol e Mineiro, Lisboa*, 43pp.
- AZERÊDO, A.C., SILVA, R.L., DUARTE, L.V., CABRAL, M.C., 2010. Subtidal stromatolites from the Sinemurian of the Lusitanian Basin (Portugal). *Facies*, 56, pp. 211-230.
- BALBINOT, M., 2008. Avaliação do Potencial de geração de hidrocarbonetos na Bacia de Santos integrando parâmetros geoquímicos e petrológicos. Projecto temático em geologia III (não publicado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 86pp.
- BERNARD, P.C., COLINS, A.G., COOPER, B.S., 1981. Identification of kerogen facies in a source Rock horizon. Examples from the north Sea Basin In: Brooks, J., (Eds.). *Organic Maturation Studies and Fossil Fuel Exploration*. Academic Press, London, pp. 271-282.
- BORREGO, A.G., ARAUJO, C.V., BALKE, A., CARDOTT, B., COOK, A.C., DAVID, P., FLORES, D., HAMOR-VIDO, M., HILTMANN, W., KALKREUTH, W., KOCH, J., C.J. KOMMEREN, J. KUS, B. LIGOUIS, M. MARQUES, J.G. MENDONÇA FILHO, M. MISZ, L. OLIVEIRA, W. PICKEL, K. REIMER, P. RANASINGHE, I. SUAREZ-RUIZ AND A. VIETH. 2006. Influence of particle and surface quality on the vitrinite reflectance of dispersed organic matter: Comparative exercise using data from the qualifying system for reflectance analysis working group of ICCP. *International Journal of Coal Geology*, vol. 68, issues 3-4, pp. 151-170.
- BOSTICK, N.H., 1971. Thermal alteration of clastic organic particles as an indicator of contact and burial metamorphism in sedimentary rocks. *Geoscience and Man*, Baton Rouge, 3, pp. 83-92.
- BROOKS, J. B., GOULD, K. SMITH, J. Q., 1969. Isoprenoid hydrocarbons in coal and petroleum. *Nature*, 222, pp. 257-259.
- COMBAZ, A., 1964. Les palinofácies. *Revue de Micropaléontologie*, 7, pp. 205-218.
- CUNHA, P. P., PENA DOS REIS, R. P., 1995. Cretaceous sedimentary and tectonic evolution of the northern sector of the Lusitanian Basin (Portugal). *Cretaceous Research*, 16, pp. 155-170.
- DEMETRESCU, E., 1998. The chlorococcalean alga botryococcus and its significance in hydrocarbon exploration. *Proceeding international workshop on modern and ancient sedimentary environments and processes*, Romania, pp. 155-160.
- DOMMERGUES, J-L., MEISTER, C., NEIGE, P., ROCHA, R.B., 2004. Endemic Sinemurian (Early Jurassic) ammonites from the Lusitanian Basin (Portugal). *Revue de Paléobiologie*, 23 (2), pp. 529-549.
- DUARTE, L. V. 1997. Facies analysis and sequential evolution of the Toarcian-Lower Aalenian series in the Lusitanian Basin (Portugal). *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, 83, Lisboa, pp. 65-94.
- DUARTE, L.V., 2007. Lithostratigraphy, sequence stratigraphy and depositional setting of the Pleinsbachian and Toarcian series in the Lusitanian Basin (Portugal). In: R. B. Rocha (Eds.), *The Peniche section (Portugal). Contributions to the definition of the Toarcian GSSP*. International Subcommission on Jurassic Stratigraphy, ISBN 978-972-8893-14-9, pp. 17- 23.
- DUARTE, L. V., SOARES, A. F., 2002. Litoestratigrafia das séries margo-calcárias do Jurássico inferior da Bacia Lusitânica (Portugal). *Comunicação do Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa*. 89, pp.115-134.
- DUARTE, L.V., WRIGHT, V.P., LÓPEZ, S.F., ELMÍ, S., KRAUTTER, M., AZERÊDO, A.C., HENRIQUES, M.H., RODRIGUES, R., PERILLI, N., 2004. Early Jurassic carbonate evolution in the Lusitanian Basin (Portugal): facies, sequence stratigraphy and cyclicity. In: Duarte, L.V., Henriques, M.H. (Eds.). *Carboniferous and Jurassic Carbonate Platforms of Iberia*. 23rd IAS Meeting of Sedimentology, Coimbra, Field Trip Guide Book, 1, pp. 45-71.
- DUARTE, L.V., RODRIGUES, R., OLIVEIRA, L.C., SILVA, F., 2005. Avaliação preliminar das variações do carbono orgânico total nos sedimentos margosos do Jurássico inferior da Bacia Lusitânica

- (Portugal). XIV Semana de Geoquímica/VIII Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Actas Volume 1, pp. 39 – 43.
- DUARTE, L. V., SILVA, R. L., DUARTE, C. B., AZERÊDO, A. C., COMAS-RENGIFO, M.J., 2008. Litostratigrafia do Jurássico Inferior da região de S. Pedro de Moel (Bacia Lusitânica, Portugal) In: Callapez, P. M., Rocha, R. B., Marques, J. F., Cunha, L. S., Dinis, P. M. (Eds.). A Terra, Conflitos e Ordem. Homenagem ao Professor Ferreira Soares, Museu Lab Mineral Geol Univ Coimbra, pp. 175-185.
- DUARTE, L.V., SILVA, R.L., MENDONÇA FILHO, J.G., OLIVEIRA, L.C., 2010a. Evidências geoquímicas do Jurássico Inferior de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal): Estado de arte e perspectiva futuras. In: Flores, D., Marques., (Eds.). XVI Semana de Geoquímica/X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Porto, Memórias nº15, Saída de Campo 1, pp. 3-24.
- DUARTE, L.V., SILVA, R.L., OLIVEIRA, L.C.V., COMAS-RENGIFO, M.J., SILVA F., 2010b. Organic-Rich facies in the Sinemurian and Pliensbachian of the Lusitanian Basin, Portugal: Total organic carbon distribution and relation to transgressive-regressive facies cycles. *Geologica Acta*, vol.8, 3, pp. 325-340.
- DUARTE, L.V., COMAS-RENGIFO., M.J., PAREDES., R., CABRAL, C., SILVA, R.L., AZERÊDO, A.C., 2011a. High-resolution stratigraphy and faunal associations in the Upper Sinemurian organic-rich deposits of the western Iberian margin (Lusitanian Basin, Portugal). *Geophysical Research Abstracts*, vol. 13. EGU2011-8527-1.
- DUARTE, L. V., MENDONÇA FILHO, J. G., SILVA, R. L., OLIVEIRA, L. C. V., 2011b. Rock-Eval pyrolysis of the Água de Madeiros Formation (Lower Jurassic) from the Lusitanian Basin, Portugal.
- FERREIRA. R., 2010. Composição Orgânica e Maturação Térmica da Formação de Vale das Fontes (Pliensbaquiano) de Peniche. Potencial de Geração de Hidrocarbonetos. Tese de Mestrado (não publicada), Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal, 101pp.
- FERREIRA, R. MENDONÇA FILHO, J.G., DUARTE, L. V., SILVA, R.L., MENDONÇA, J.O., 2010a. Variação organofaciológica na sucessão rica em matéria orgânica do Pliensbaquiano de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal). Actas X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa/XVI Semana de Geoquímica, Porto (Resumos pp. 104; CD pp. 301-308).
- FERREIRA, R., MENDONÇA FILHO, J.G., DUARTE, L.V., SILVA, R.L., MENDONÇA, J.O., 2010b. Hydrocarbon generation potential of the Pliensbachian organic-rich series of Peniche (Lusitanian Basin, Portugal): An organopetrographic and thermal maturation assessment integrated analysis. II Central & North Atlantic Conjugate Margins Conference, Extended Abstracts, Lisbon, pp. 116-120.
- FISHER, M.J., 1980. Kerogen distribution and depositional environments in the Middle Jurassic of Yorkshire U.K. In: Bharadwaj, D.C.; Singh, H.P.& Tiwari, R.S. (Eds) Proceedings of the 4th International Palynological Conference, Lucknow 1976-1977, 2, pp.574-80.
- GRENFELL, H. R.1995. Probable fossil zygnematacean algal spore genera. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 84, pp. 201-220.
- HISCOTT, R.N., WILSON, RC.L., GRADSTEIN, F.M., PUJALTE, V., GARCIA-MONDEJAR, J., BOUDREAU, R., WISHART, H.A., 1990. Comparative Stratigraphy and subsidence history of Mesozoic rift basins of north Atlantic. *AAPG Bull.*, 74, pp. 60-76.
- HOPKINS, J. S. 1950. Differential flotation and deposition of coniferous and deciduous tree pólen. *Ecology*, 31, pp. 633-641.
- HUANG, W.Y., MEINSCHEN, W, G., 1979. Sterols as ecological indicators. *Geochimica, Cosmochimica Acta*, 43, pp.739-45.
- ICCP (INTERNATIONAL COMMITTEE FOR COAL PETROLOGY), 1998. The new vitrinite classification (ICCP System 1994). *Fuel*, Vol. 77, 5, pp. 349-358.
- KULLBERG, J.C. 2000. Evolução tectónica mesozóica da Bacia Lusitânica. Tese de Doutoramento (Não publicada), Univ. Nova de Lisboa, Portugal. 361pp.

- MATOS, V. 2009. Estudo de Palinofácies e de Fácies Orgânica de uma sequência sedimentar do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica. Tese de Mestrado (não publicada), Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 108pp.
- MENDONÇA FILHO, J.G., 1999. Aplicação de estudos de palinofácies e fácies Orgânica em rochas do Paleozóico da Bacia do Paraná, Sul do Brasil. Tese de Doutorado (não publicada), Universidade Federal do Rio Grande do Sul., Brasil, 338 pp.
- MENDONÇA FILHO, J.G. 2010. Geoquímica do Petróleo. In: Flores, D., Marques, M., (Eds.), XVI Semana de Geoquímica/X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Porto, Memórias 16, pp. 3-56.
- MENDONÇA FILHO, J.G., Menezes,T.R. 2001. Curso de Palinofácies e Fácies Orgânica (Não publicado), UFRJ, Rio de Janeiro, 114pp.
- MENDONÇA FILHO, J.G., MENEZES T.R., MENDONÇA, J.O., OLIVEIRA, A.D., CARVALHO, M.A., SANT'ANNA A.J., & SOUZA J.T., 2010a. Palinofácies. In: Carvalho, I.S. (Eds.), Paleontologia, vol. 2. Interciência, Rio de Janeiro, pp. 379- 413.
- MENDONÇA FILHO, J.G., CHAGAS, R.B.A., MENEZES, T.R., MENDONÇA, J.O., SILVA, F.S., SABADINI-SANTOS, E., 2010b. Organic facies of the Oligocene lacustrine system in the Cenozoic Taubaté Basin, Southern Brazil, International Journal of Coal Geology, vol. 84, 3-4, pp.166-178.
- MENDONÇA FILHO, J. G., MENEZES, T. R., MENDONÇA, J. O., OLIVEIRA, A. D., SOUZA, J. T., SANTOS, V.S.S., ARIENTI, L.M., 2010c. Aplicação da Faciologia Orgânica no Modelo Sedimentológico-Estratigráfico do Oligo-Mioceno e Mioceno da Bacia de Campos. Boletim de Geociências da Petrobras, in press.
- MOLDOWAN, J. M., LEE, C. Y., SUNDARARAMAN, P., SALVATORI, R., ALAJBEG, A., GJUKIC,B., DEMAISON,G., SLOUGUI,J. N. E., WATT.,D. S. 1992. Source correlation and maturity assessment of select oils and rocks from the Central Adriatic basin (Italy and Yugoslavia), in J. M. Moldowan, P. Albrecht, and R. P. Philp, (Eds.), Biological Markers in Sediments and Petroleum: Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, p. 370-401.
- MOUTERDE, R. 1955. Le Lias de Peniche. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, 36, pp.5-33
- OLIVEIRA, L., C. 2007. Bioestratigrafia de nanofósseis e estratigrafia química do Pliensbaquiano – Toarciano inferior (Jurássico inferior) da Região de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal), Volume I. Tese de Doutorado (não publicada), Instituto de Geociências, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. 234 pp. + 1 vol. Anexo.
- OLIVEIRA, L.C.V., RODRIGUES, R., DUARTE, L.V., LEMOS, V., 2006. Avaliação do potencial gerador de petróleo e interpretação paleoambiental com base em componentes moleculares e isótopos estáveis do carbono da seção Pliensbaquiano-Toarciano inferior (Jurássico inferior) da região de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal). Boletim de Geociências da Petrobras, 14 (2), pp. 207-234.
- PALAIN, C., 1976. Une série détritique terrigène. Les “Grés de Silves”: Trias et Lias inférieur du Portugal. Memórias, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 25 (nova série), 377pp.
- PENA DOS REIS, R.P., PIMENTEL, N., 2010. Ciências Geológicas: Ensino, investigação e a sua história, vol. II, Geologia aplicada, in: Publicação Comemorativa do Ano Internacional do Planeta Terra, Associação Portuguesa de Geólogos e Sociedade Geológica de Portugal, pp. 142-156.
- PETERS, K.E., MOLDOWAN, J.M., 1991. Effects of source, thermal maturity, and biodegradation on the distribution and isomerization of homohopanes in petroleum. Organic Geochemistry, vol. 17, 1, pp. 47-61.
- PETERS, K. E., WALTERS, C. C., MOLDOWAN, J. M., 2004. The Biomarker guide, 2nd Ed, vol.1, Biomarkers and isotopes in the Environment and Human History – 2nd ed. Cambridge University Press,
- PETERS, K.E., WALTERS, C.C., MOLDOWAN, J.M. 2005. The Biomarker Guide, 2nd Ed, vol 2, Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History, Cambridge University Press, 1155 pp.
- PINHEIRO, L.M., WILSON, R.C.L., PENNA DOS REIS, R.P., WHITMARSH, R.B., RIBEIRO, A., 1996. The Western Iberia Margin: A Geophysical and Geological overview. In: Whitmarsh, R.B., Klaus,

- D.S., & Masson, D.G. (Eds.), Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, vol. 149, pp. 3-23.
- RASMUSSEN, E.S., LOMHOLT, S., ANDERSEN, C., VEJBÆK, O. L., 1998. Aspects of the structural evolution of the Lusitanian Basin in Portugal and the shelf and slope area offshore Portugal, *Tectonophysics*, 300, pp.199–225.
- ROCHA, 2007. The Peniche Section (Portugal). Contribution to the definition of the Toarcian Global Stratotype Section and point. International Subcomissin on Jurassic Stratigraphy, Lisbon, 66pp.
- SEIFERT, W.K., 1975. Carboxilic Acids in Petroleum and Sediments. In: *Progress in the Chemistry of Organic Natural Products*, 32, pp.1-49.
- SEIFERT, W. K., J. M. MOLDOWAN., 1986. Use of biological markers in petroleum exploration. In: R. B. Johns, (Eds.). *Methods in Geochemistry and Geophysics*, 24, pp. 261-290.
- SILVA, F., 2007. A Formação de Vale das fontes no sector norte da Bacia Lusitânica. Caracterização, avaliação e distribuição do conteúdo em matéria orgânica. Tese de Mestrado (não publicada). Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 93pp.
- SILVA, F., DUARTE, L.V., OLIVEIRA, L.C.V., COMAS-RENGIFO, M.J., RODRIGUES, R., 2006. A Formação de Vale das Fontes no sector norte da Bacia Lusitânica (Portugal): caracterização e avaliação preliminar da distribuição do carbono Orgânico Total. In: Mirão, J., Balbino, A., (Eds.). *Actas do VII Congresso Nacional de Geologia vol.II*, Évora, pp. 669-672.
- SILVA, F., DUARTE, L.V., OLIVEIRA, L.C.V., RODRIGUES, R., COMAS-RENGIFO, M.J., 2007. Caracterização do Carbono Orgânico Total e pirólise Rock-Eval no intervalo Sinemuriano superior – Pliensbaquiano do sector norte da Bacia Lusitânica (Portugal). In: Gomes, E.P., Alencão, A.M. (Eds.). *Vila Real, Proceedings of XV Semana de Geoquímica no VI congresso Ibérico de Geoquímica. Geoquímica Orgânica*, 12, pp. 564-567.
- SILVA, F., DUARTE, L.V., OLIVEIRA, L.C., RODRIGUES, R., COMAS-RENGIFO, M.J., 2010. Contribution to the knowledge of petroleum generative potential of Late Sinemurian – Pliensbachian of the Lusitanian Basin – northern sector (Portugal). II Central & North Atlantic Conjugate Margins Conference, Re-Discovering the Atlantic, New winds for an old sea - Extended Abstracts, LISBON, pp. 256-260.
- SILVA, R.L., DUARTE, L.V., COMAS-RENGIFO, M.J., AZERÊDO, A.C., 2010a. Top Ibex–Margaritatus (Pliensbachian) series of the Lusitanian Basin (Portugal): sedimentology, events and high-resolution correlation. Abstract book of the Special meeting of the Société Géologique de France in honor to Serge Elmi, Lyon, France, pp.95–96.
- SILVA, R.L., DUARTE, L.V., MENDONÇA FILHO, J.G., SILVA, T.F., AZERÊDO, A.C. 2010b. A geoquímica orgânica como ferramenta na caracterização paleoceanográfica do Pliensbaquiano da Bacia Lusitânica (Portugal): avanços e novas metas. *Memórias 14*, pp.381-387 (cd volume).
- SILVA., R.L., MENDONÇA FILHO, J.G., DUARTE, L.V., COMAS-RENGIFO, M.J., AZERÊDO, A.C., FERREIRA, R., 2010c. Organic-rich facies of the top Ibex–Margaritatus zones (Pliensbachian) of the Lusitanian Basin (Portugal): TOC and biomarkers variation. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74 (12-S1), pp.A962.
- SILVA, R.L., DUARTE, L.V., MENDONÇA FILHO, J.G., AZERÊDO, A.C., 2011. Contrasts between the two main Jurassic source rocks in the western margin of the Lusitanian Basin (Portugal). II Central & North Atlantic Conjugate Margins Conference, Extended Abstracts, Lisbon, pp. 116-120., pp. 261-265.
- SOARES , A. F., DUARTE, L. V., 1997. Tectonics and eustatic signatures in the Lower and Middle Jurassic of the Lusitanian Basin. *Comunicaciones IV Congresso de Jurássico de España*, Alcañiz, pp. 111-114.
- SOARES, A.F., MARQUES, J.,ROCHA, R.B.,. 1985. Contribuição para o Conhecimento Geológico de Coimbra. *Memórias e Notícias*, Pub. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra, 100, 41-71pp.
- SOARES, A.F., ROCHA, R.B., ELMI, S., HENRIQUES, M.H., MOUTERDE, R., ALMERAS, Y., RUGET, C., MARQUES, J., DUARTE, L.V., CARAPITO, C., KULLBERG, J.C., 1993. Le sous-bassin nord-lusitanien

- (Portugal) du Trias au Jurassique moyen: histoire d'un "Rift avorté". Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, 317, pp. 1659-1666.
- STANCLIFFE, R. P. W. 1989. Microforaminiferal linings; their classification, biostratigraphy and paleoecology, with special reference to specimens from British Oxfordian sediments. *Micropaleontology*, 35, 4, pp.337-352.
- Tissot, B.P., Welte, D.H., 1984. *Petroleum Formation and Occurrence* (Second revised edition), Springer-Verlag, Berlin, 699pp.
- TYSON, R.V., 1993. Palynofacies Analysis. In: Jenkins, D.J. (Eds.). *Applied micropaleontology*, Kluwer Academic Publishers, pp. 153-191.
- TYSON, R.V., 1995. *Sedimentary Organic Matter. Organic facies and palynofacies*. Chapman and Hall, Londres, 615 pp.
- VICENT, A.J., 1995. Palynofacies analysis of Middle Jurassic sediments from the Inner Hebrides. (Tese de doutoramento não publicada), University of Newcastle upon Tyne. 475p.
- WALL, D., 1965. Microplankton, pollen, and spores from Lower Jurassic in Britain. *Micropalaeontology*, vol. 11, 2, pp. 151-190.
- WAPLES, D.W., MACHIHARA, T., 1991. Biomarkers for Geologists: A Practical Guide to the application of Steranes and Triterpanes in Petroleum Geology. *AAPG Methods in Exploration*, Series 9, 91 pp.
- WILSON, R.C. 1988. Mesozoic development of the Lusitanian Basin, Portugal. *Rev. Soc. Geol. España*, 1, pp.393 - 407.
- WILSON, R.C.L, HISCOTT, R.N., WILLIS, M.G., GRADSTEIN, F.M., 1989. The Lusitanian Basin of west-Central Portugal: Mesozoic and Tertiary tectonic, stratigraphic and subsidence history. *Am. Assoc. Petrol. Geol.* 46, 341- 362.

Websites consultados:

- GOOGLE EARTH., 2011. Consultado em Junho de 2011 em Google Earth: <http://www.google.com>
- DNEG., 2011. Consultado em Junho de 2011 em Direcção Geral de Energia e Geologia: http://www.dgge.pt/dpep/pt/geology_pt.htm

ANEXO I

PALINOFÁCIES

Anexo I.1. Percentagens relativas
dos componentes orgânicos particulados

Anexo I.2. Estampas

Anexo I. Palinofácies

DISTRIBUIÇÃO DA AMOSTRAGEM		FITOCLASTO																				MATÉRIA ORGÂNICA AMORFA			PALINOMORFO																
		OPACO					NÃO OPACO										Cutículas								Esporomorfos					Microplâncton continental		Microplâncton marinho		Zoomorfo	Indefinito	Palinomorfo total					
							Bioestruturado					Não bioestruturado										Fitoclasto total																			
		Litostratigrafia	Amostra	Alongado	Equidimensional	Corroído	Pseudo-amorfo	Opaco total	Não degradado	degradado	Não degradado	degradado	Não degradado	degradado	Não degradado	degradado	Bioest. total	Degradado	Não degradado	Não bioestr. Total	Não opaco total	degradada	Não degradada	Fitoclasto total	MOA bacteriana	"MOA"	MOA total	Esporos	G. de pólen individual	G. pólen-tétr/aglom	esporomorfo total	Boryococcus	zigósporo	Acrítarca	Prasinófito	Palinoforamínifero	Indefinito	Palinomorfo total			
Listrado	Estriado																																						Bandado	Perfurado	Degradado
S. Pedro de Moel	Fn de Água de Madeiros	M.P.P. L	SPMP 26	2,1	0,0	2,4	0,0	4,5	1,5	1,8	0,0	0,0	0,9	0,6	0,3	1,5	6,6	14,0	0,3	14,3	20,9	0,0	0,0	25,4	0,0	64,8	64,8	0,0	0,3	1,8	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8	9,9
		SPMP 25	2,1	0,0	3,6	0,3	6,0	1,8	2,7	0,0	0,0	0,6	3,3	0,6	0,6	9,5	8,9	1,8	10,7	20,2	0,0	0,0	26,2	0,0	67,3	67,3	0,0	0,0	2,1	2,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	6,5		
		SPMP 24	1,0	0,0	1,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,3	0,0	1,0	0,7	0,3	1,0	2,0	0,0	0,0	3,9	0,0	75,7	75,7	0,0	1,3	0,7	2,0	0,0	1,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0	20,3		
		SPMP 23	1,2	0,0	1,2	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,6	0,0	0,6	0,9	0,0	0,0	3,3	0,0	77,9	77,9	0,0	0,0	1,5	1,5	0,0	0,9	0,3	0,0	0,0	0,0	16,0	18,7			
		SPMP 22	1,5	0,0	1,8	0,0	3,4	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	1,2	0,6	0,3	0,9	2,1	0,0	0,0	5,5	0,0	77,9	77,9	0,0	0,0	0,9	0,9	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	12,9	16,6			
		SPMP 21	0,7	0,0	3,0	0,0	3,6	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	1,7	1,3	0,0	1,3	3,0	0,0	0,0	6,6	0,0	88,4	88,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	4,0	5,0					
		SPMP 20	0,3	0,3	2,6	0,0	3,2	0,3	0,3	0,0	0,0	1,0	1,3	0,3	0,3	3,5	8,7	2,3	10,9	14,5	0,0	0,0	17,7	0,0	72,0	72,0	0,0	0,0	1,3	1,3	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	8,7	10,3				
		SPMP 19	0,3	0,0	1,0	0,3	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,3	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	2,9	0,0	82,6	82,6	0,0	0,0	1,3	1,3	0,0	0,6	0,6	0,3	0,0	11,6	14,5				
		SPMP 18	1,3	0,0	0,3	0,0	1,7	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,7	1,0	1,0	2,0	2,6	0,0	0,0	4,3	0,0	87,5	87,5	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	5,9	8,3				
		SPMP 17	1,3	0,0	0,3	0,3	2,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,7	1,0	1,3	2,3	3,0	0,0	0,0	5,0	0,0	65,9	65,9	0,0	0,3	0,3	0,6	0,3	27,2	0,0	1,0	0,0	0,0	29,1				
	SPMP 16	0,6	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,6	0,3	0,0	0,3	0,6	0,0	0,0	1,9	4,9	0,3	5,2	7,1	0,0	0,0	7,8	0,0	78,2	78,2	0,0	0,0	0,6	0,6	0,0	2,9	0,6	0,0	0,0	9,7	14,0					
	SPMP 15	1,2	0,0	1,5	0,0	2,8	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	1,2	0,3	0,3	2,4	1,2	0,6	1,8	4,3	0,0	0,0	7,0	18,3	65,4	83,8	0,0	1,2	3,4	4,6	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	4,0	9,2					
	SPMP 14	0,6	0,0	0,9	0,0	1,5	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	1,2	0,6	1,8	2,4	0,0	0,0	4,0	18,3	61,5	79,8	0,0	2,4	1,5	4,0	0,0	1,2	0,3	0,3	0,0	10,4	16,2					
	SPMP 13	1,6	0,0	1,9	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	1,6	2,2	0,0	2,2	3,8	0,0	0,0	7,2	23,5	49,8	73,4	0,0	3,1	2,2	5,3	0,0	0,6	0,0	0,3	0,0	13,2	19,4					
	SPMP 12	0,9	0,0	1,2	0,0	2,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	2,8	0,3	3,1	3,7	0,0	0,0	5,8	26,3	54,4	80,7	0,0	2,8	4,3	7,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	5,8	13,5					
	SPMP 11	0,7	0,0	1,0	0,3	2,0	0,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	1,3	1,7	0,0	1,7	3,0	0,0	0,0	5,0	22,6	57,1	79,7	0,0	1,7	2,0	3,7	0,0	0,0	0,7	0,0	0,3	10,6	15,2					
	SPMP 10	1,3	0,0	2,2	1,3	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,3	0,0	1,3	1,6	0,0	0,0	6,3	17,7	66,2	83,9	0,0	0,6	2,2	2,8	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	6,0	9,8					
	Fn de Coimbra	Porção superior	SPMP 9	0,3	0,0	2,9	0,0	3,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	1,9	0,3	2,2	2,9	0,0	0,0	6,1	43,6	43,6	87,3	0,0	0,0	1,9	1,9	0,0	0,3	1,9	0,3	0,0	2,2	6,7			
			SPMP 8	4,6	0,3	8,5	0,3	13,7	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	0,6	2,4	0,3	2,8	3,4	0,0	0,0	17,1	0,0	65,5	65,5	0,0	1,2	1,2	2,4	0,0	0,0	1,2	0,3	0,0	13,4	17,4				
			SPMP 7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,3	1,4	0,5	1,9	2,2	0,0	0,0	2,2	0,0	89,4	89,4	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	1,2	0,3	0,5	0,0	7,0	8,1		
SPMP 6			1,6	0,0	2,5	0,0	4,1	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,6	2,2	6,1	1,3	7,3	9,6	0,0	0,0	13,7	80,6	0,0	80,6	0,0	0,6	1,3	1,9	0,0	0,3	1,9	0,3	0,0	1,3	5,7				
Porção interm.		SPMP 5	16,4	0,7	22,3	0,3	39,7	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	1,3	36,7	0,7	37,4	38,7	0,0	0,0	78,4	18,0	0,0	18,0	0,3	1,0	2,3	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6			
		SPMP 4	6,9	0,3	25,6	0,3	33,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,3	0,0	19,3	19,3	0,7	0,0	53,1	40,3	0,0	40,3	0,0	2,0	1,6	3,6	0,0	0,0	0,0	2,3	0,7	6,6						
		SPMP 3	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	93,6	0,0	93,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	6,1				
		SPMP 2	0,3	0,0	0,6	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,6	0,6	0,0	0,0	1,6	80,4	0,0	80,4	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	17,8	18,1					
SPMP 1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0	0,6	95,0	0,0	95,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	4,4						
Peniche	Fn de Água de Madeiros (Mb de Polvoeira)	PEP 5	0,9	0,0	1,2	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6	5,3	0,3	5,6	6,2	0,0	0,0	8,4	0,0	87,0	87,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	4,7					
		PEP 4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,6	2,6	1,0	3,5	4,2	0,0	0,0	4,8	0,0	73,0	73,0	0,0	0,0	0,6	0,6	0,0	0,0	1,6	0,3	0,0	19,6	22,2					
		PEP 3	5,1	0,3	8,0	0,0	13,4	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,6	1,6	26,1	0,0	26,1	27,7	0,0	0,0	41,1	0,0	32,5	32,5	0,0	0,0	2,2	2,2	0,0	18,8	0,0	0,0	5,4	26,4					
		PEP 2	9,4	4,0	7,9	0,0	21,3	0,3	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	52,3	0,0	52,3	56,2	0,0	0,0	77,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,2	0,0	20,1	0,0	0,0	1,2	22,5					
		PEP 1	12,2	3,0	12,5	0,0	27,7	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	1,2	44,6	0,0	44,6	45,8	0,0	0,3	73,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,2	0,0	0,0	0,0	0,0	26,2					

ANEXO I.1. Percentagens relativas dos componentes orgânicos particulados identificados pela técnica de palinofácies.

ANEXO I.2. ESTAMPAS

ESTAMPA 1

1. Associação de fitoclasto opaco alongado e um aglomerado de grãos de pólen. Luz branca transmitida, aumento de 200x. Amostra SPMP4.
2. Fitoclasto opaco corroído com perfurações. Luz branca transmitida, aumento de 200x. Amostra SPMP 26.
3. Associação de fitoclastos opacos corroídos. Luz branca transmitida, aumento de 100x. Amostra SPMP 5.
4. Associação de fitoclastos não opacos não bioestruturados, degradados. Luz branca transmitida, aumento de 200x. Amostra SPMP 4.
5. Fitoclasto não opaco bioestruturado perfurado. Luz branca transmitida, aumento de 200x. Amostra SPMP 26.
6. Fitoclasto não opaco bioestruturado listrado. Luz branca transmitida, aumento de 400x. Amostra SPMP 26.
7. Fitoclasto não opaco bioestruturado bandado. Luz branca transmitida, aumento de 400x. Amostra SPMP 26.
8. Cutícula degradada. Luz branca transmitida, aumento de 400x. Amostra SPPM 5.
9. Associação de componentes do grupo fitoclasto. Luz branca transmitida, aumento de 200x. Amostra PEP 1.
10. Associação de componentes do grupo fitoclasto. Luz azul incidente, aumento de 200x. Amostra PEP 1.
11. Associação de fitoclastos opacos [equidimensional e fitoclasto derivado de pirólise natural. Luz branca transmitida, aumento de 200x. Amostra SPMP 5.

ESTAMPA 2

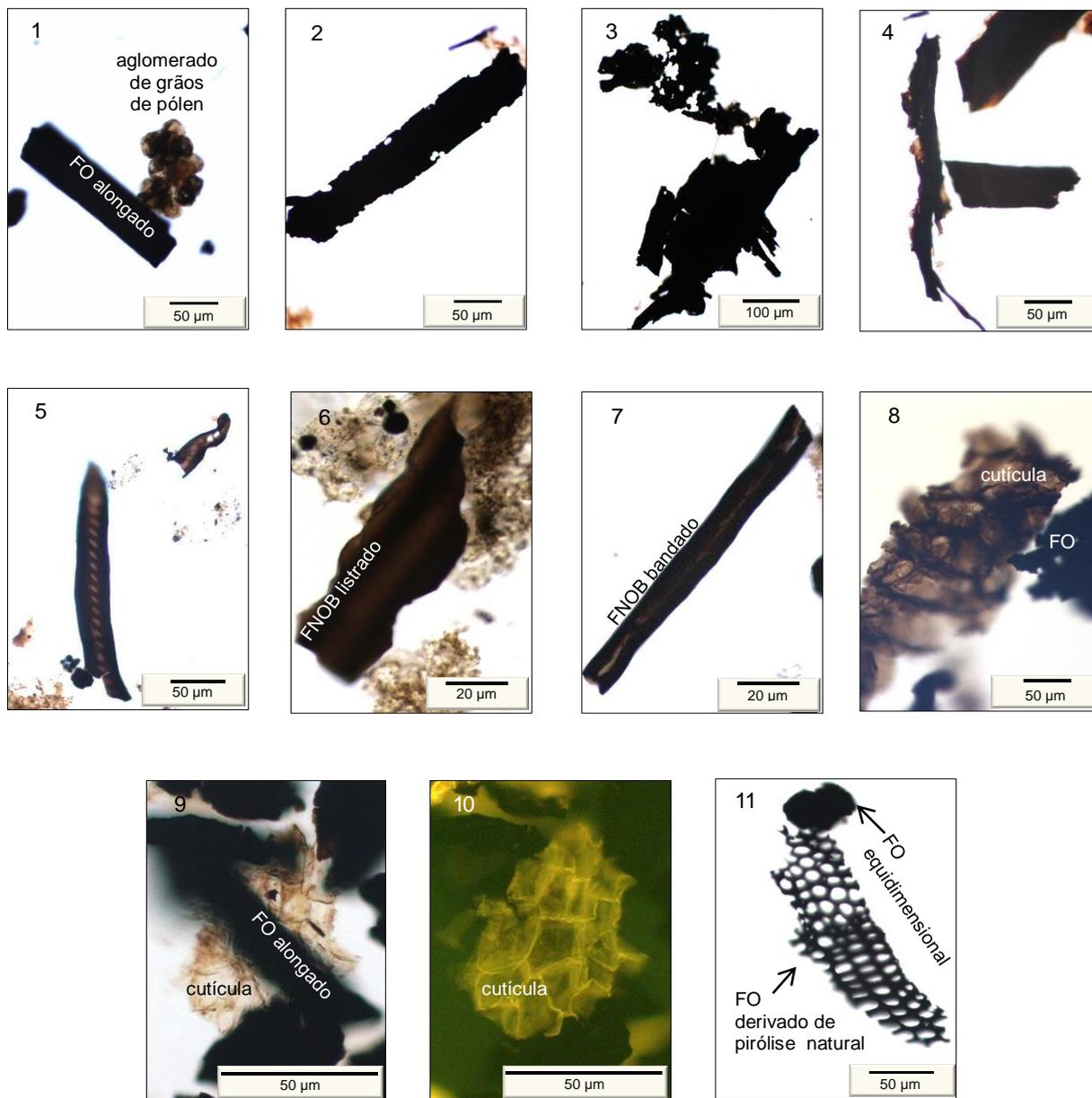
1. Aglomerado (políade) de grãos de pólen, Luz branca transmitida, aumento de 200X. Amostra SPMP 5.
2. Aglomerado (políade) de grãos de pólen, Luz azul incidente, aumento de 200X. Amostra SPMP 5.
3. Grão de pólen bissacado. Luz branca transmitida, aumento de 200x. Amostra SPMP 6.
4. Grão de pólen bissacado. Luz azul incidente aumento de 200x. Amostra SPMP 6.
5. Esporo. Luz branca transmitida, aumento de 200x. Amostra SPMP 5.
6. Associação de um acritarca e matéria orgânica amorfa. Luz azul incidente, aumento de 400x. Amostra SPMP 17.
7. Associação de uma alga Prasinófito do género *Tasmanites* e matéria orgânica amorfa. Luz branca transmitida, aumento de 200x. Amostra SPMP 21.
8. Associação de uma alga Prasinófito do género *Tasmanites* e matéria orgânica amorfa. Luz azul incidente, aumento de 200x. Amostra SPMP 21.
9. Associação de uma alga Prasinófito do género *Cymatiosphaera* e matéria orgânica amorfa. Luz branca transmitida, aumento de 200x. Amostra SPMP 8.
10. Associação de uma alga Prasinófito do género *Cymatiosphaera* e matéria orgânica amorfa. Luz azul incidente, aumento de 200x. Amostra SPMP 8.
11. Palinoforaminífero. Luz branca transmitida, aumento de 200x. Amostra SPMP 11.
12. Palinoforaminífero. Luz branca transmitida, aumento de 200x. Amostra SPMP 4.

13. Alga Chlorococcales do género *Botryococcus*. Luz branca transmitida, aumento de 400X. Amostra SPMP 17.
14. Alga Chlorococcales do género *Botryococcus*. Luz azul incidente, aumento de 400X. Amostra SPMP 17.
15. Zigósporo de algas verdes (*Zygnemataceae*). Luz branca transmitida, aumento de 200x. Amostra SPMP 17.
16. Zigósporo de algas verdes (*Zygnemataceae*). Luz azul incidente, aumento de 200x. Amostra SPMP 17.
17. Associação de matéria orgânica amorfa e zigósporos de algas verdes (*Zygnemataceae*). Luz azul incidente, aumento de 200x. Amostra SPMP 17.
18. Associação de zigósporo de algas verdes (*Zygnemataceae*). Luz azul incidente, aumento de 200x. Amostra SPMP 6.

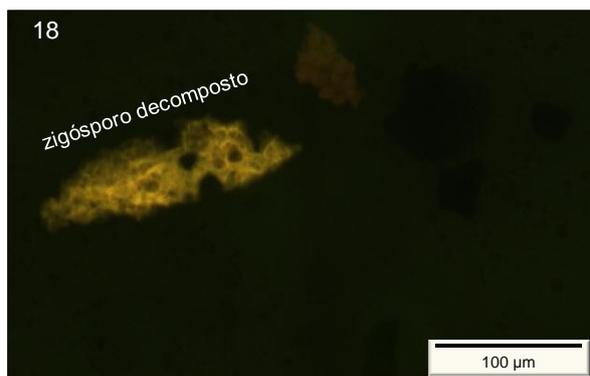
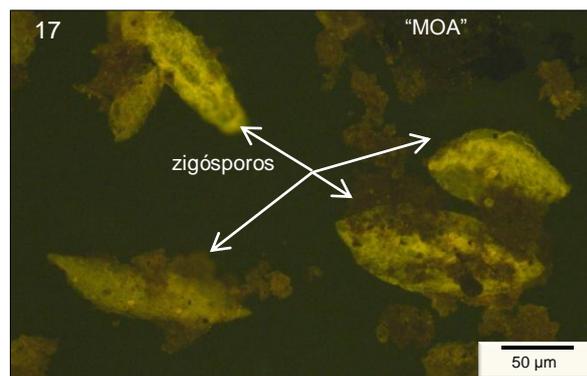
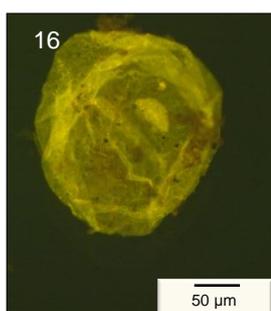
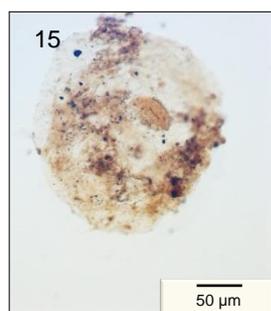
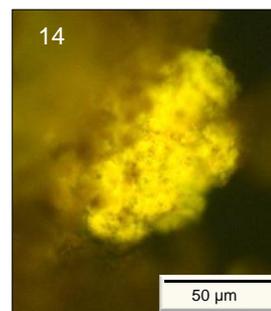
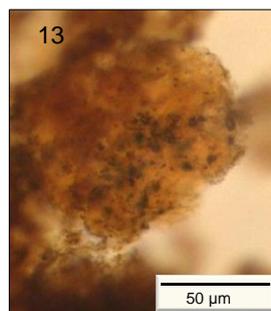
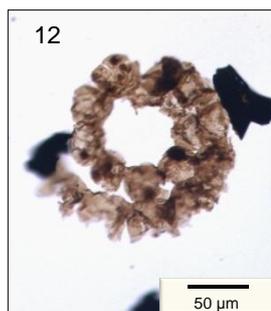
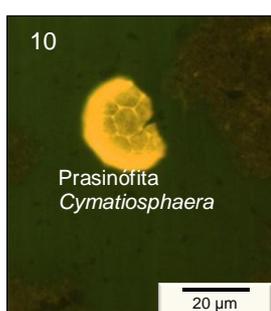
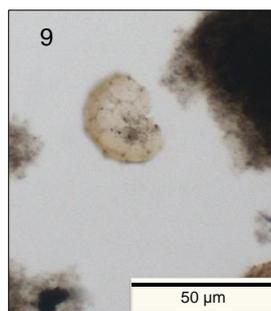
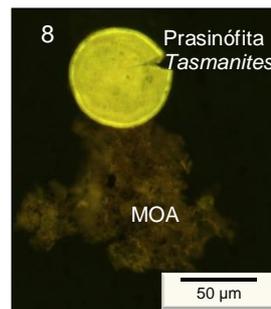
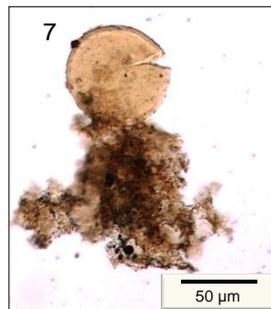
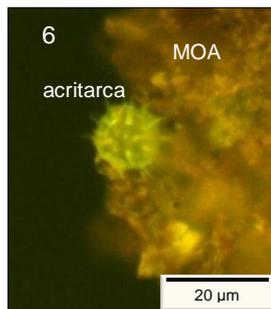
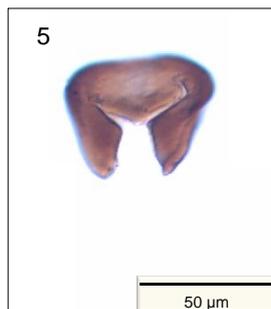
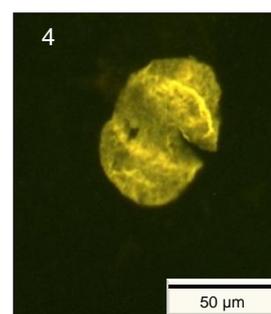
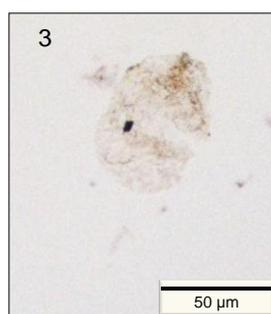
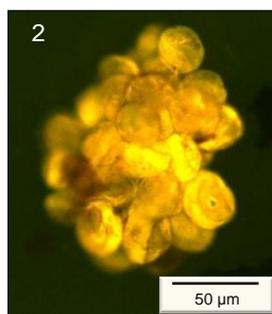
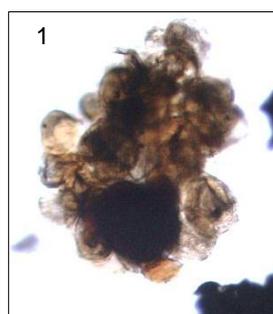
Estampa 3

1. Associação de componentes orgânicos particulados (matéria orgânica amorfa de origem bacteriana, fitoclastos e palinomorfos). Luz branca transmitida, aumento de 200x. SPMP 4.
2. Associação de componentes orgânicos particulados (matéria orgânica amorfa de origem bacteriana, fitoclastos e palinomorfos). Luz azul incidente, aumento de 200x. SPMP 4.
3. Associação de partículas de matéria orgânica de origem bacteriana. Luz branca transmitida, aumento de 200x. Amostra SPMP 1.
4. Associação de partículas de matéria orgânica de origem bacteriana. Luz branca transmitida, aumento de 200x. Amostra SPMP 1.
5. Associação de partículas de matéria orgânica de origem bacteriana. Luz branca transmitida, aumento de 200x. Amostra SPMP 3.
6. Associação de partículas de matéria orgânica de origem bacteriana. Luz branca transmitida, aumento de 200x. Amostra SPMP 3.
7. Associação de Matéria orgânica (“MOA”) amorfa e esporomorfo. Luz branca incidente, aumento de 200x. Amostra SPMP 24.
8. Associação de Matéria orgânica (“MOA”) amorfa e esporomorfo. Luz azul incidente, aumento de 200x. Amostra SPMP 24.

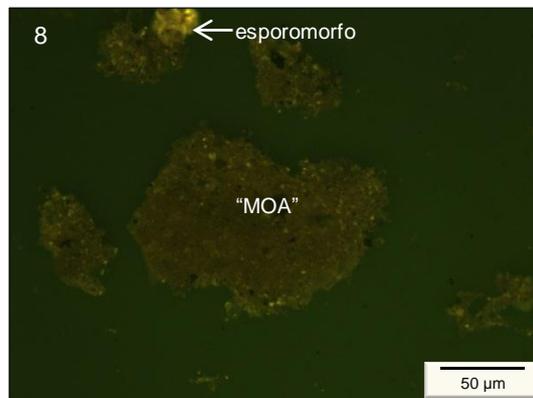
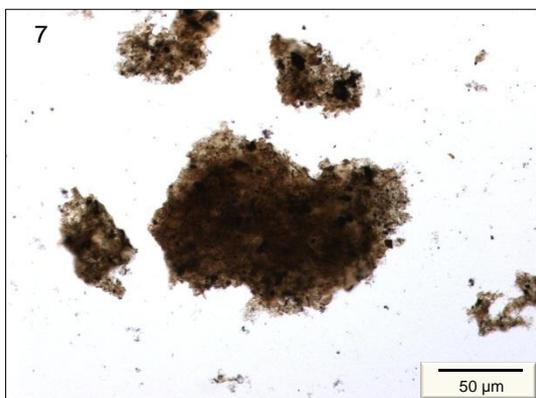
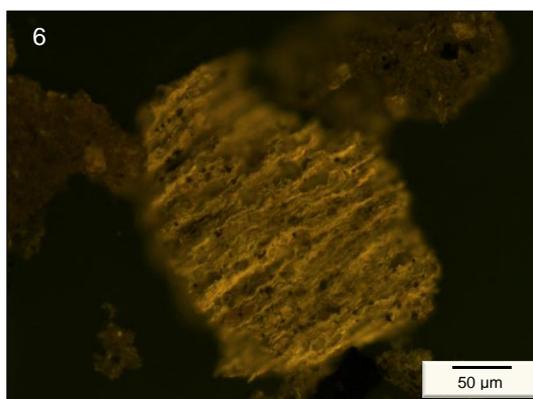
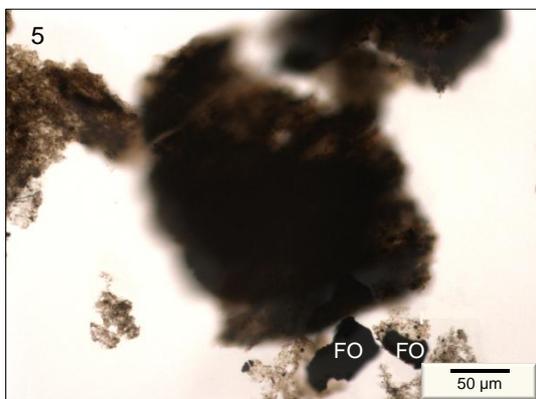
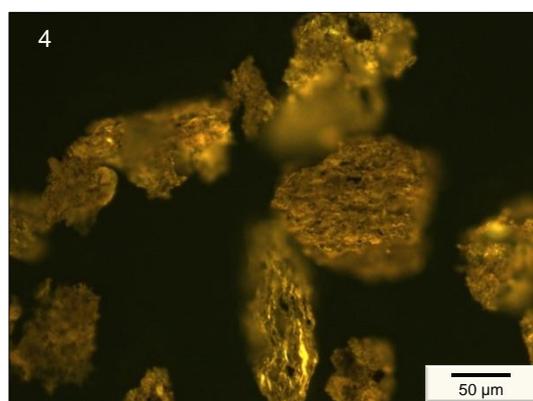
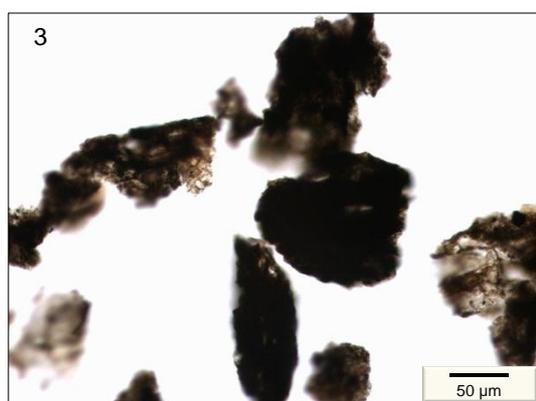
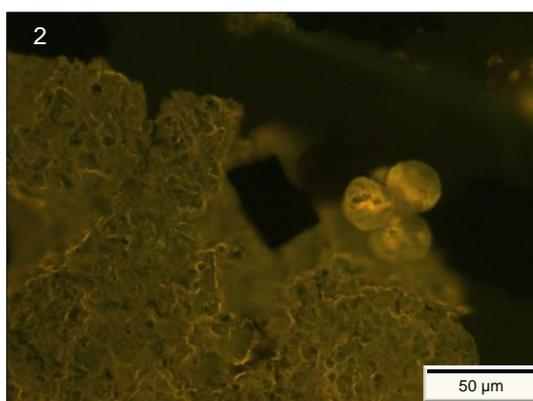
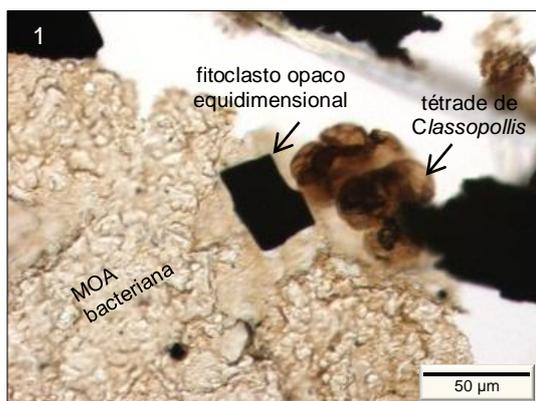
Estampa 1



Estampa 2



Estampa 3



ANEXO II

COMPONENTES MOLECULARES

Anexo II.1. Fragmentogramas de massas m/z 85 (Alcanos)

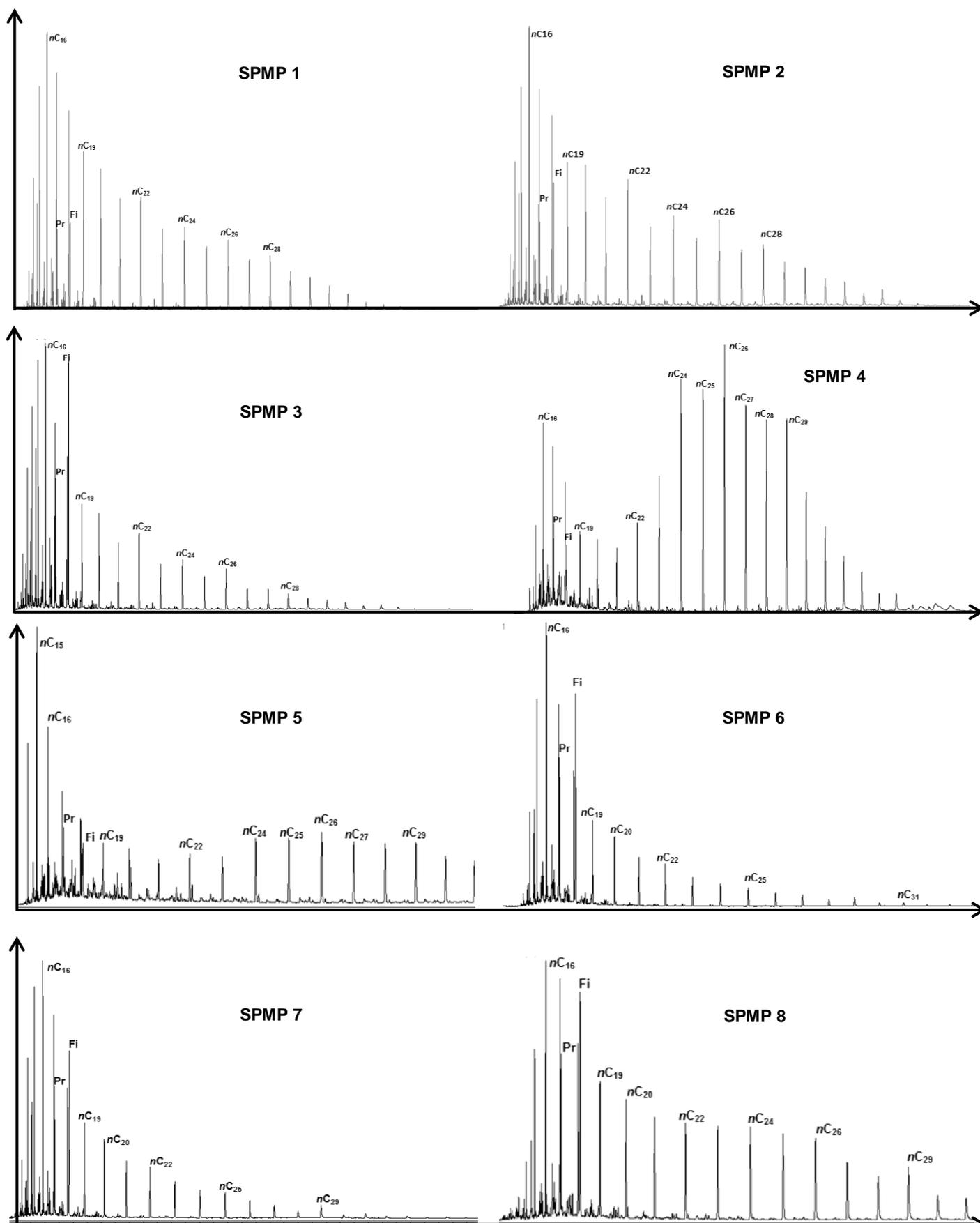
Anexo II.2. Fragmentogramas de massas m/z 217 e m/z 218 (Esteranos)

Anexo II.3. Fragmentogramas de massas m/z 191 (Terpanos)

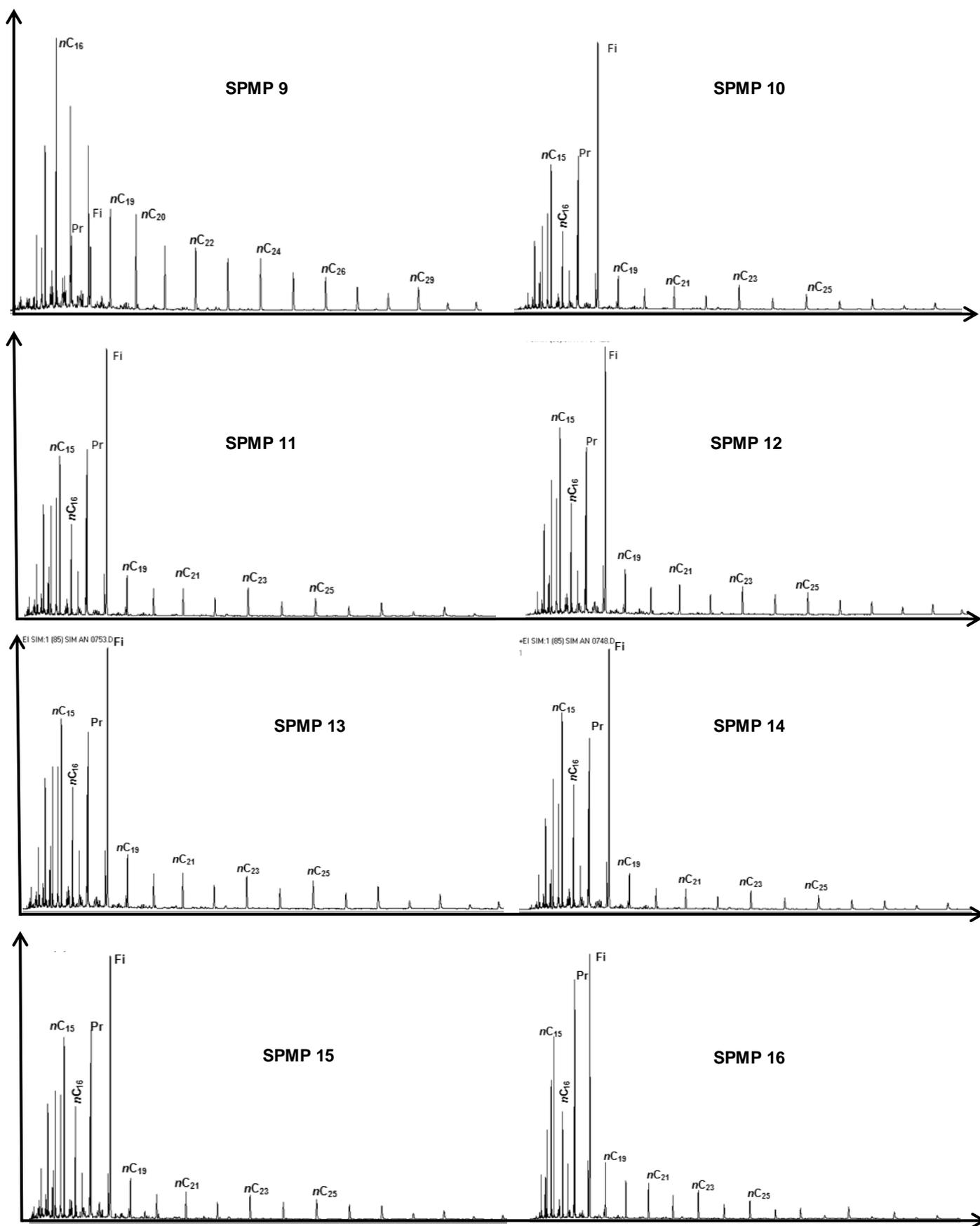
Anexo II.1. Fragmentogramas de massas m/z 85

Identificação dos picos exibidos nos fragmentogramas de massas m/z 85 dos anexos II.1.1 à II.1.4.

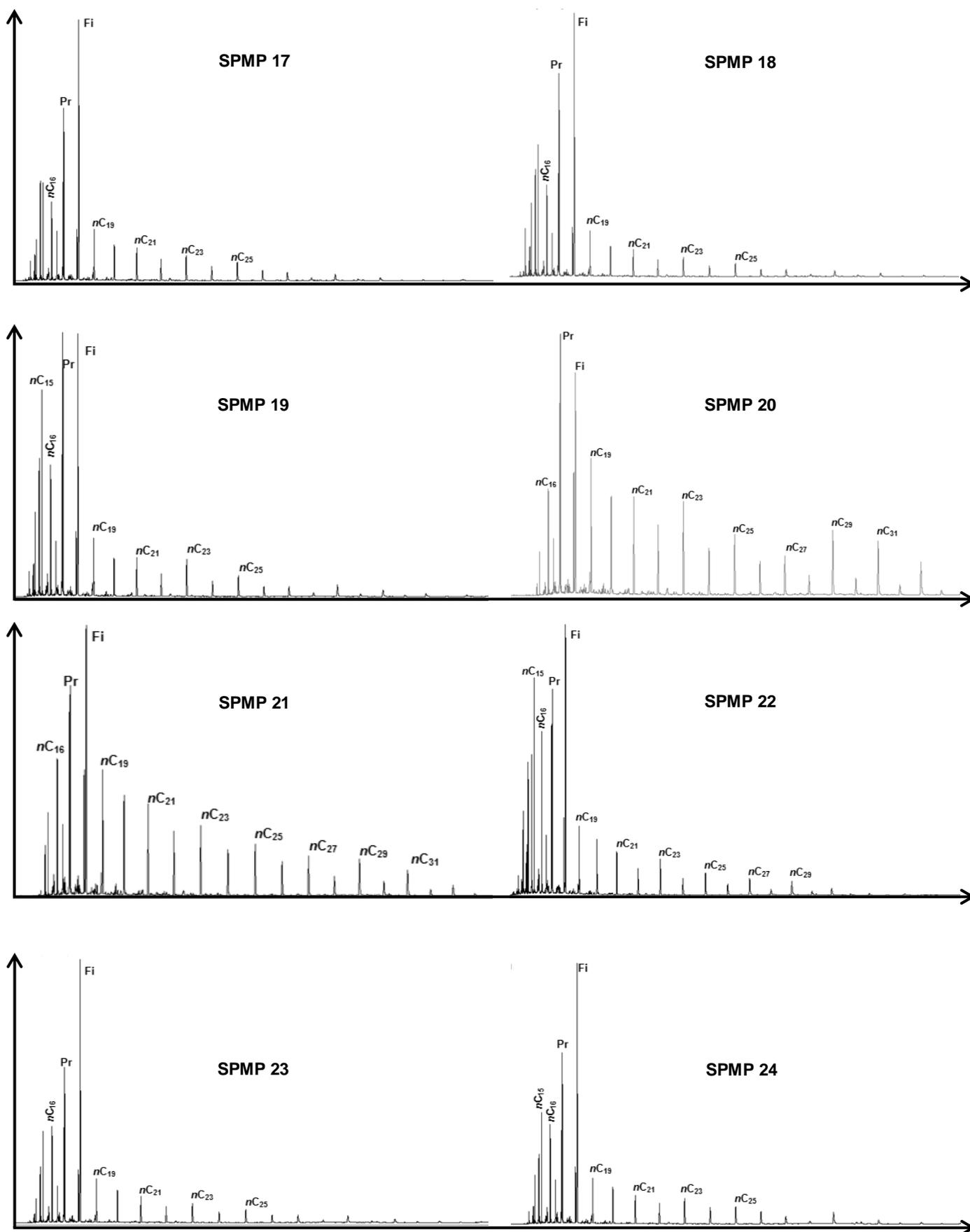
Pico	Composto	Fórmula molecular
nC_{15}	pentadecano	$C_{15}H_{32}$
nC_{16}	hexadecano	$C_{16}H_{34}$
nC_{17}	heptadecano	$C_{17}H_{36}$
Pr	2,6,10,14-tetrametilpentadecano	$C_{19}H_{40}$
Fi	2,6,10,14-tetrametilhexadecano	$C_{20}H_{42}$
nC_{18}	octadecano	$C_{18}H_{38}$
nC_{19}	nonadecano	$C_{19}H_{40}$
nC_{20}	eicosano	$C_{20}H_{42}$
nC_{21}	heneicosano	$C_{21}H_{44}$
nC_{22}	docosano	$C_{22}H_{46}$
nC_{23}	tricosano	$C_{23}H_{48}$
nC_{24}	tetracosano	$C_{24}H_{50}$
nC_{25}	pentacosano	$C_{25}H_{52}$
nC_{26}	hexacosano	$C_{26}H_{54}$
nC_{27}	heptacosano	$C_{27}H_{56}$
nC_{28}	octacosano	$C_{28}H_{58}$
nC_{29}	nonacosano	$C_{29}H_{60}$
nC_{30}	triacontano	$C_{30}H_{62}$
nC_{31}	hentriacontano	$C_{31}H_{64}$



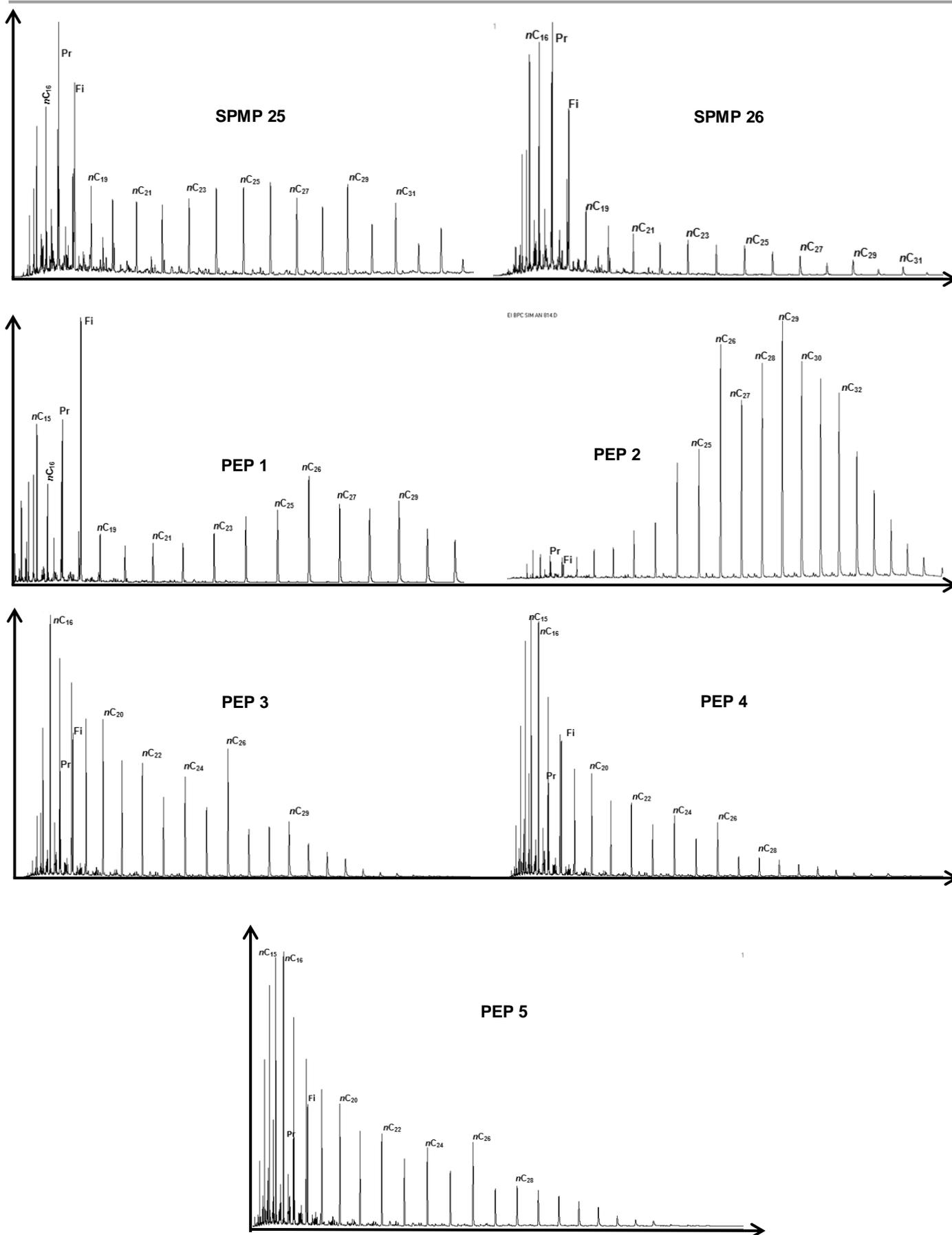
Anexo II.1.1. Fragmentogramas de massas m/z 85 das amostras SPMP 1 a SPMP 8. O eixo vertical refere-se à abundância dos compostos e o eixo horizontal refere-se ao tempo de retenção.



Anexo II.1.2. Fragmentogramas de massas m/z 85 das amostras SPMP 9 a SPMP 16. O eixo vertical refere-se à abundância dos compostos e o eixo horizontal refere-se ao tempo de retenção.



Anexo II.1.3. Fragmentogramas de massas m/z 85 das amostras SPMP 17 a SPMP 24. O eixo vertical refere-se à abundância dos compostos e o eixo horizontal refere-se ao tempo de retenção.

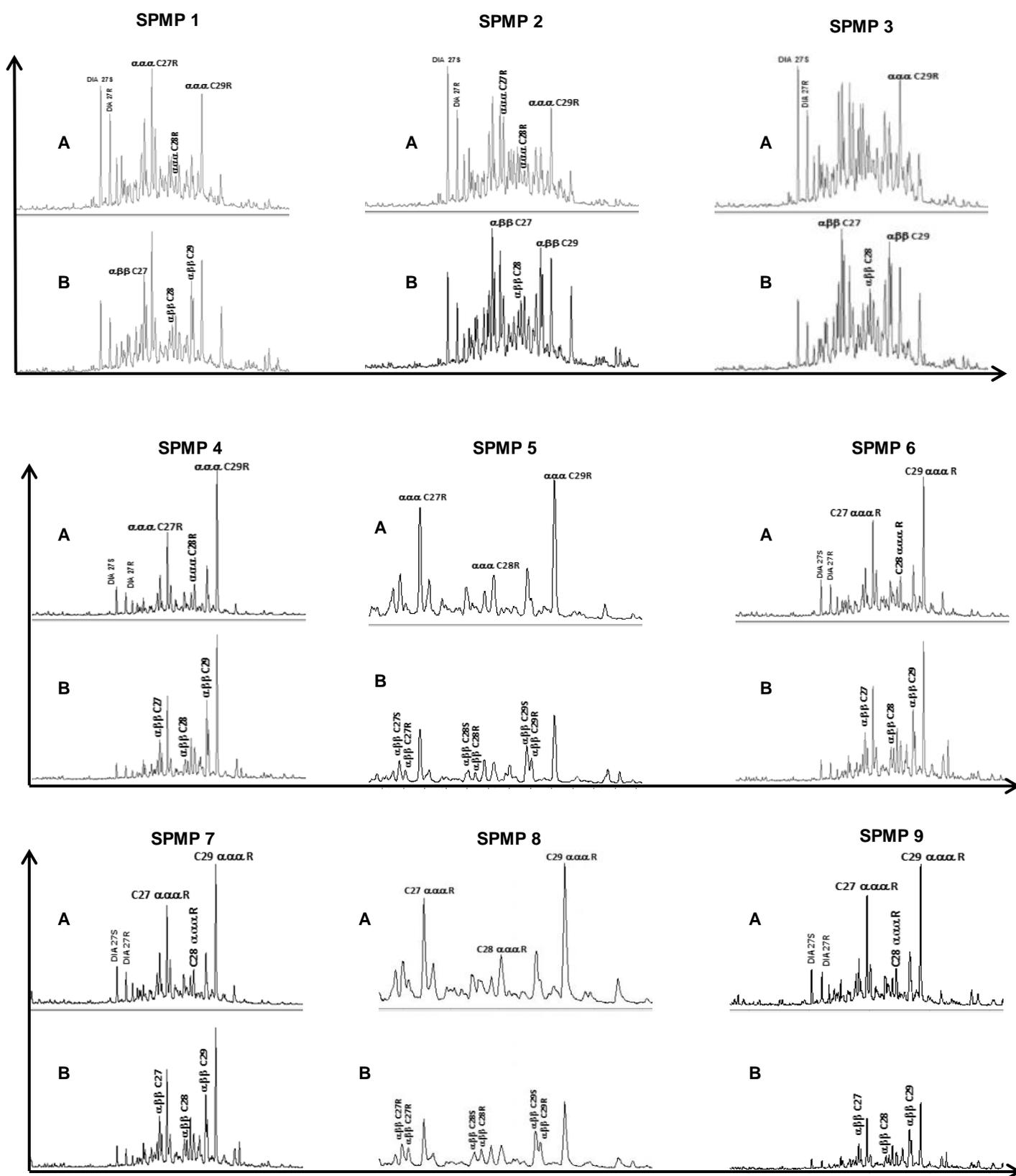


Anexo II.1.4. Fragmentogramas de massas m/z 85 das amostras SPMP 25 e SPMP 26 e PEP 1 à PEP5. O eixo vertical refere-se à abundância dos compostos e o eixo horizontal refere-se ao tempo de retenção.

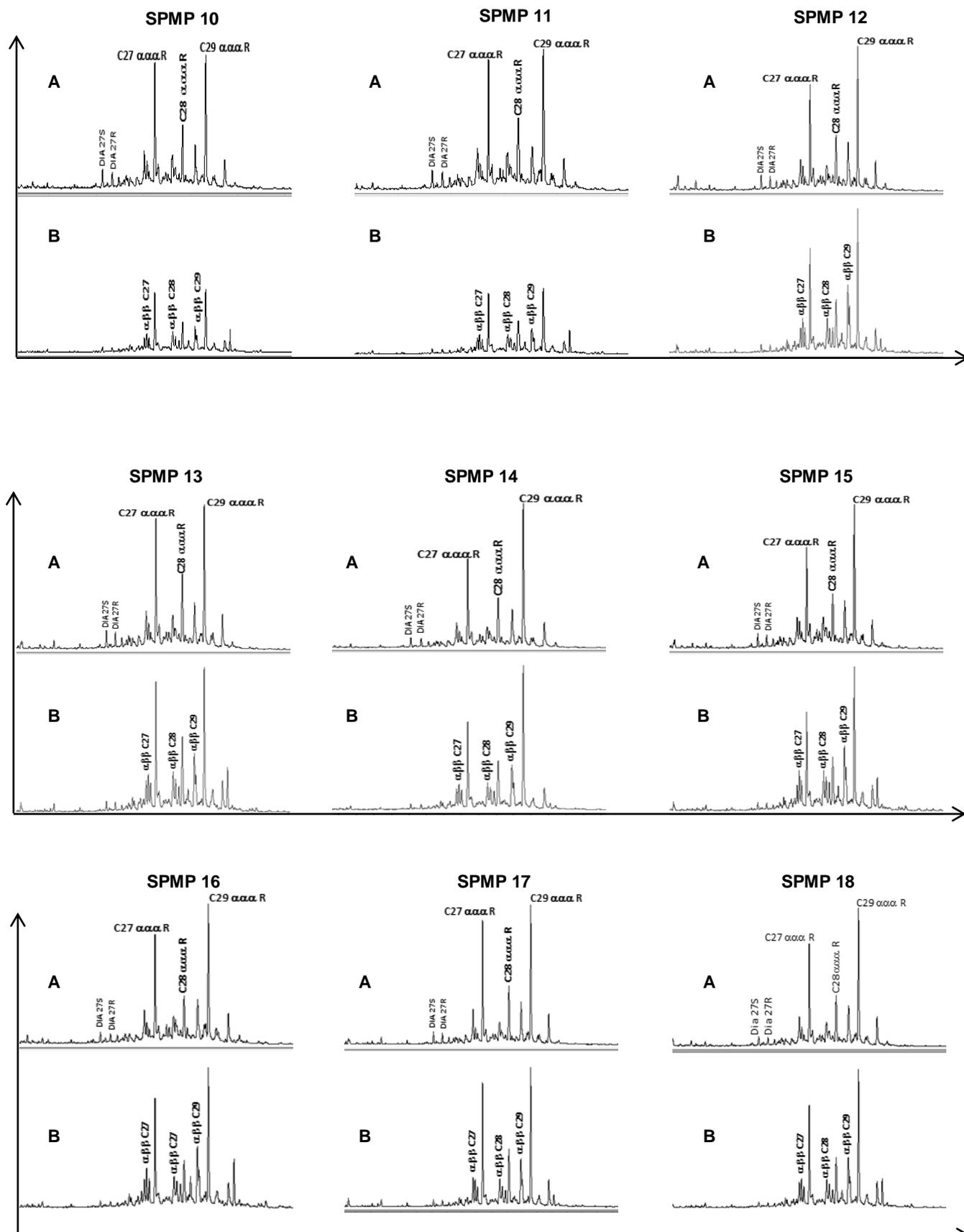
Anexo II.2. Fragmentogramas de massas m/z 217 e 218 (Esteranos)

Identificação dos picos exibidos nos fragmentogramas de massas m/z 217 (A) e m/z 218 (B) dos anexos II.2.1 à II.2.4.

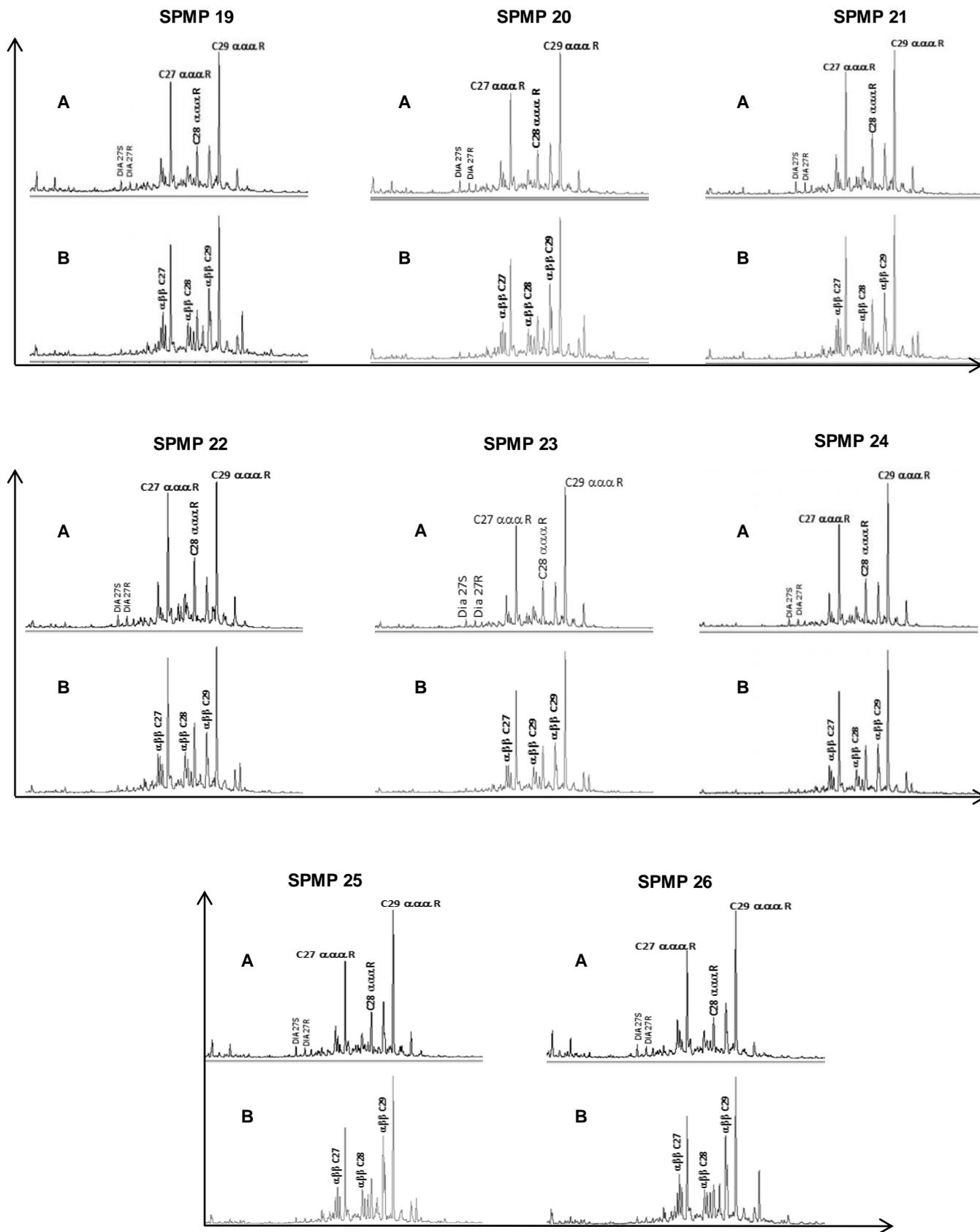
Pico	Composto	Fórmula molecular
Dia 27 S	13 β (H), 17 α (H) – diacolestano (20S) (C ₂₇)	C ₂₇ H ₄₈
Dia 27 R	13 β (H), 17 α (H) – diacolestano (20R) (C ₂₇)	C ₂₇ H ₄₈
$\alpha\alpha\alpha$ C27R	5 α (H), 14 α (H), 17 α (H) – colestano (20R) (C ₂₇)	C ₂₇ H ₄₈
$\alpha\alpha\alpha$ C27S	5 α (H), 14 α (H), 17 α (H) – colestano (20S) (C ₂₇)	C ₂₇ H ₄₈
$\alpha\beta\beta$ C27R	5 α (H), 14 β (H), 17 β (H) - colestano (20R) (C ₂₇)	C ₂₇ H ₄₈
$\alpha\beta\beta$ C27S	5 α (H), 14 β (H), 17 β (H) - colestano (20S) (C ₂₇)	C ₂₇ H ₄₈
$\alpha\alpha\alpha$ C28R	5 α (H), 14 α (H), 17 α (H) – metil colestano (20R) (C ₂₈)	C ₂₈ H ₅₀
$\alpha\alpha\alpha$ C28S	5 α (H), 14 α (H), 17 α (H) – metil colestano (20S) (C ₂₈)	C ₂₈ H ₅₀
$\alpha\beta\beta$ C28R	5 α (H), 14 β (H), 17 β (H) – metil colestano (20R) (C ₂₈)	C ₂₈ H ₅₀
$\alpha\beta\beta$ C28S	5 α (H), 14 β (H), 17 β (H) – metil colestano (20S) (C ₂₈)	C ₂₈ H ₅₀
$\alpha\alpha\alpha$ C29R	5 α (H), 14 α (H), 17 α (H) –etil colestano (20R) (C ₂₉)	C ₂₉ H ₅₂
$\alpha\alpha\alpha$ C29S	5 α (H), 14 α (H), 17 α (H) –etil colestano (20S) (C ₂₉)	C ₂₉ H ₅₂
$\alpha\beta\beta$ C29R	5 α (H), 14 β (H), 17 β (H) – etil colestano (20R) (C ₂₉)	C ₂₉ H ₅₂
$\alpha\beta\beta$ C29S	5 α (H), 14 β (H), 17 β (H) – etil colestano (20S) (C ₂₉)	C ₂₉ H ₅₂



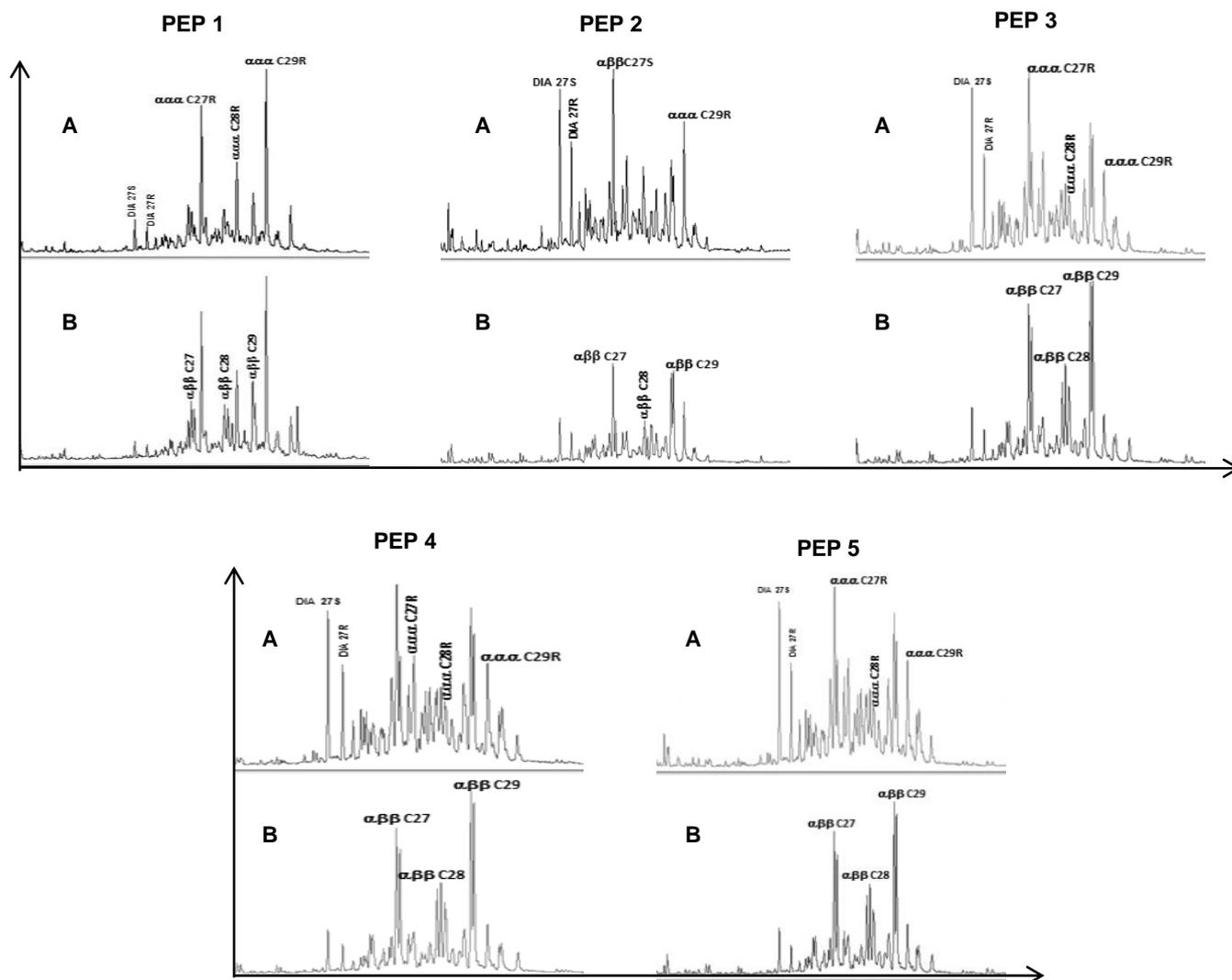
Anexo II.2.1. Fragmentogramas de massas m/z 217 (A) e m/z 218 (B) (Esteranos) das amostras SPMP 1 à SPMP 9. O eixo vertical refere-se à abundância dos compostos e o eixo horizontal refere-se ao tempo de retenção.



Anexo II.2.2. Fragmentogramas de massas m/z 217 (A) e 218 (B) (Esteranos) das amostras SPMP 10 à SPMP 18. O eixo vertical refere-se à abundância dos compostos e o eixo horizontal refere-se ao tempo de retenção.



Anexo II.2.3. Fragmentogramas de massas m/z 217 (A) e 218 (B) (Esteranos) das amostras SPMP 19 à SPMP 26. O eixo vertical refere-se à abundância dos compostos e o eixo horizontal refere-se ao tempo de retenção.

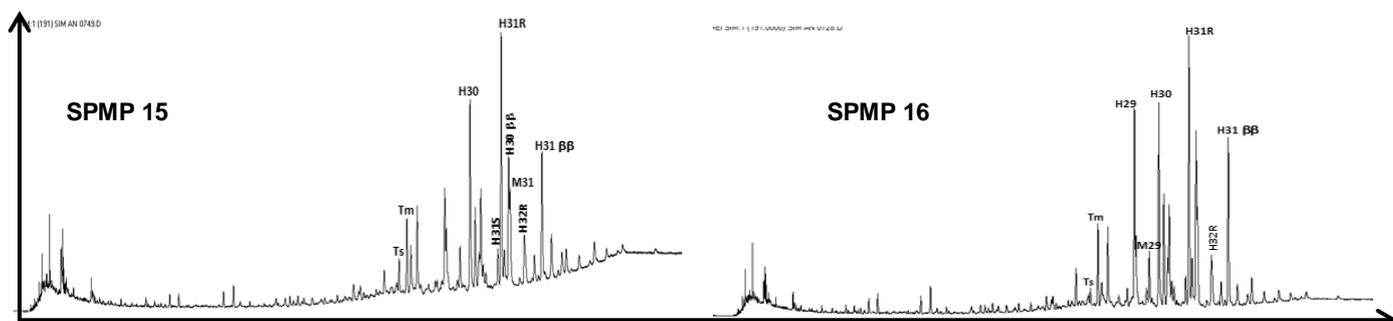
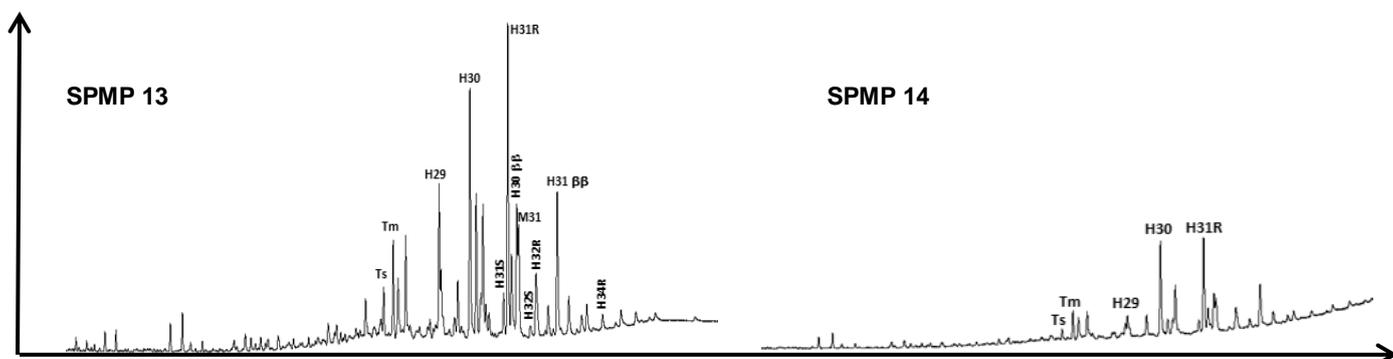
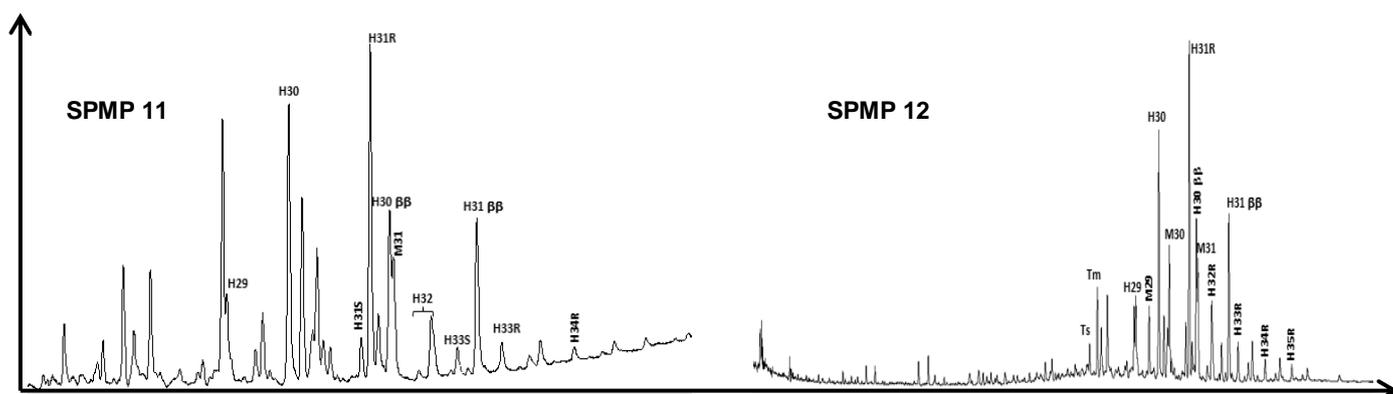
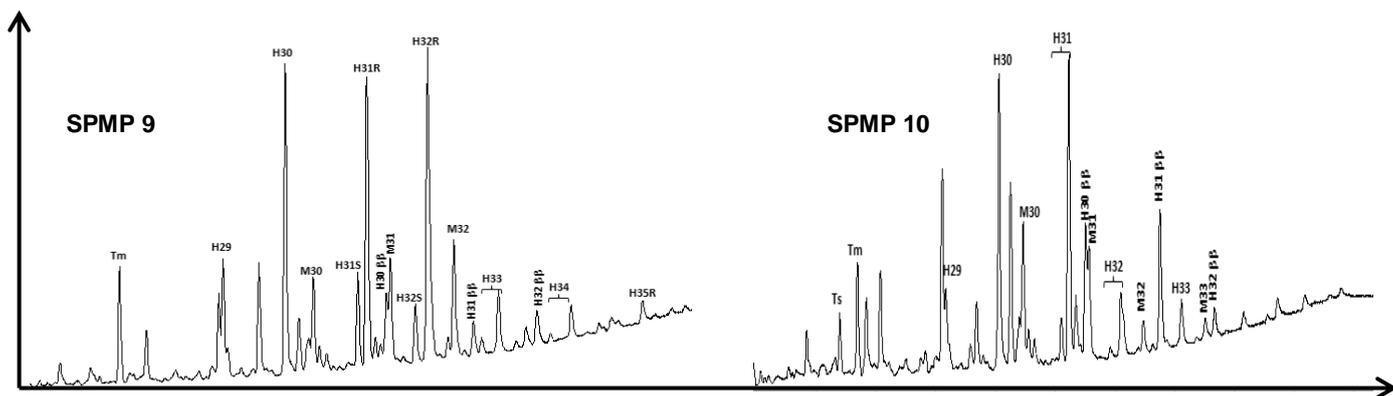


Anexo II.2.4. Fragmentogramas de massas m/z 217 (A) e 218 (B) (Esteranos) das amostras PEP 1 à PEP 5. O eixo vertical refere-se à abundância dos compostos e o eixo horizontal refere-se ao tempo de retenção.

Anexo II.3. Fragmentogramas de massas m/z 191 (Terpanos)

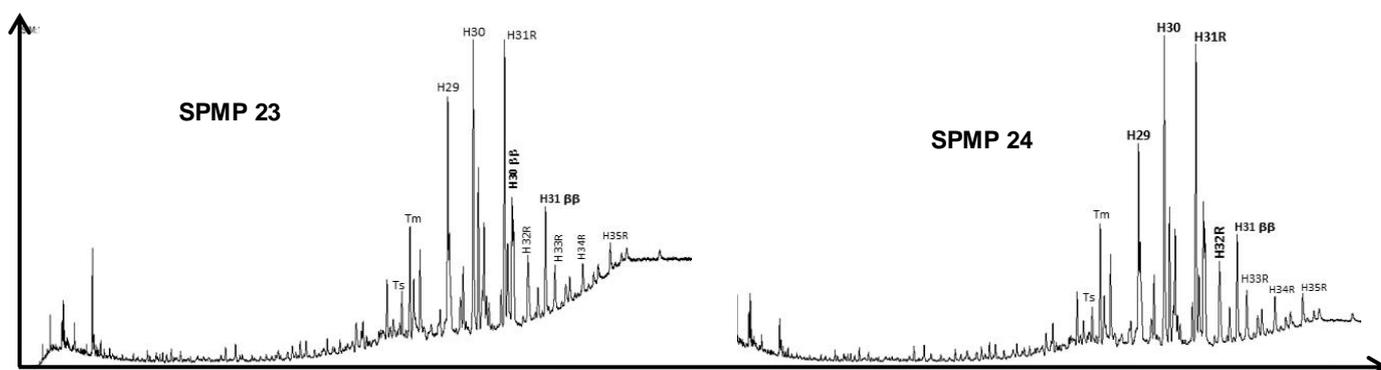
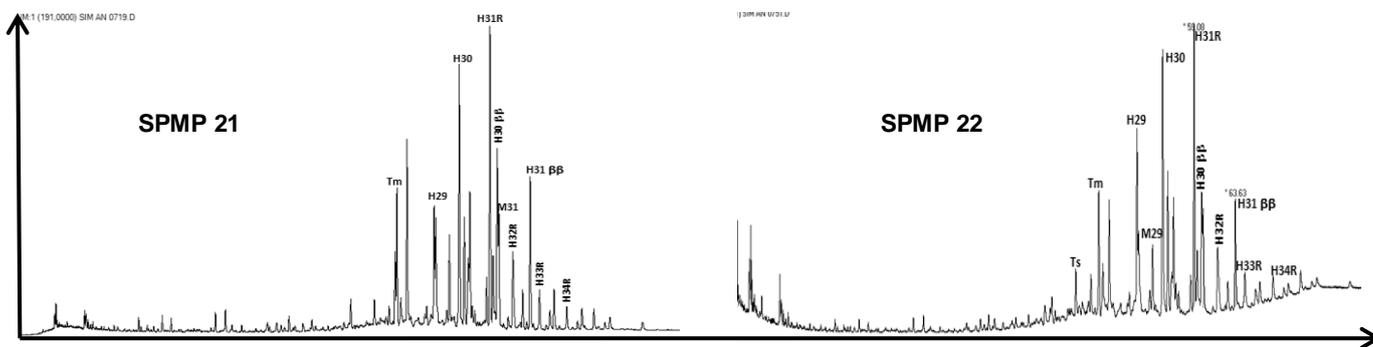
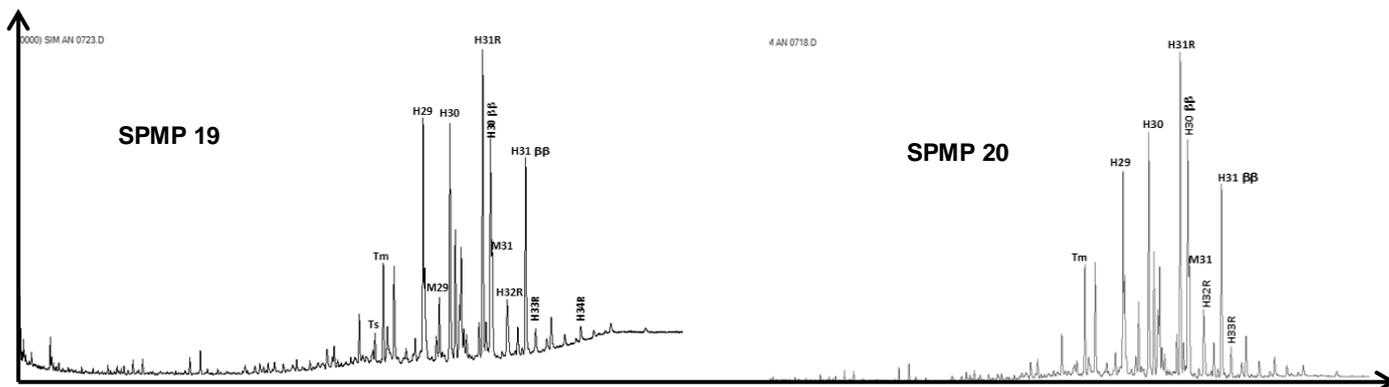
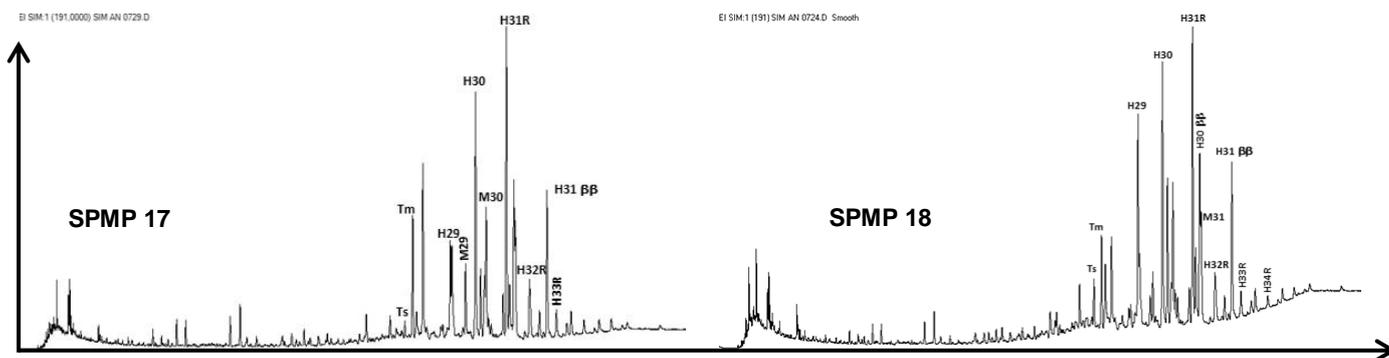
Identificação dos picos exibidos nos fragmentogramas de massas m/z 191 dos anexos II.3.1 a II.3.4.

Pico	Composto	Fórmula molecular
Tr 20	Terpano tricíclico em C ₂₀	C ₂₀ H ₃₆
Tr 21	Terpano tricíclico em C ₂₁	C ₂₁ H ₃₈
Tr 23	Terpano tricíclico em C ₂₃	C ₂₃ H ₄₂
Tr 24	Terpano tricíclico em C ₂₄	C ₂₄ H ₄₄
Tetr 24	Terpano tetracíclico em C ₂₄	C ₂₄ H ₄₂
Ts	18α(H) -22-29-30- trisnorneohopano	C ₂₇ H ₄₆
Tm	17α(H) -22-29-30- trisnorhopano	C ₂₇ H ₄₆
H29	17α, 21β (H) – 30-norhopano	C ₂₉ H ₅₀
H30	17α, 21β (H) -hopano	C ₃₀ H ₅₂
H31 (S ou R)	17α, 21β (H) –homohopano (22S -22R)	C ₃₁ H ₅₄
H32 (S ou R)	17α, 21β (H) –bishomohopano (22S -22R)	C ₃₂ H ₅₆
H33 (S ou R)	17α, 21β (H) –trishomohopano (22S -22R)	C ₃₃ H ₅₈
H34 (S ou R)	17α, 21β (H) –tetrakishomohopano (22S -22R)	C ₃₄ H ₆₀
H35 (S ou R)	17α, 21β (H) –pentakishomohopano (22S -22R)	C ₃₅ H ₆₂
M29	17β, 21 α (H) -30-normoretano	C ₂₉ H ₅₀
M30	17β, 21 α (H) -hopano (moretano)	C ₃₀ H ₅₂
M31	17β, 21 α (H) –homohopano (moretano)	C ₃₁ H ₅₄
M32	17β, 21 α (H) –bishomohopano (moretano)	C ₃₂ H ₅₆
H30 ββ	17β, 21β (H) -hopano	C ₃₀ H ₅₂
H31 αβ	17α, 21β (H) –homohopano	C ₃₁ H ₅₄
H31ββ	17β, 21β (H) –homohopano	C ₃₁ H ₅₄



Anexo II.3.2. Fragmentogramas de massas m/z 191 (Terpanos) das amostras SPMP 9 à SPMP 18. O eixo vertical refere-se à abundância dos compostos e o eixo horizontal refere-se ao tempo de retenção.

Anexo II. Componentes moleculares



Anexo II.3.3. Fragmentogramas de massas m/z 191 (Terpanos) das amostras SPMP 19 à SPMP 26. O eixo vertical refere-se à abundância dos compostos e o eixo horizontal refere-se ao tempo de retenção.

