



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Salomé Cruz Marques Custódio

**MODELO DE CORRELAÇÃO ENTRE A BACIA
LUSITÂNICA E A BACIA DE PENICHE COM BASE EM
SISMOESTRATIGRAFIA**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Geociências, Área de Especialização em Recursos Geológicos, orientada pelo Professor Doutor Rui Paulo Bento Pena dos Reis e Professor Doutor Roberto Fainstein e apresentada ao Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Outubro de 2020

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

MODELO DE CORRELAÇÃO ENTRE A BACIA LUSITÂNICA E A BACIA DE PENICHE COM BASE EM SISMOESTRATIGRAFIA

Salomé Cruz Marques Custódio

Dissertação no âmbito do Mestrado em Geociências, Área de Especialização em Recursos Geológicos, orientada pelo Professor Doutor Rui Paulo Bento Pena dos Reis e Professor Doutor Roberto Fainstein e apresentada ao Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Outubro de 2020



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

RESUMO

Este estudo consiste na análise de duas bacias sedimentares meso-cenozoicas portuguesas, Lusitânica e Peniche, situadas na Margem Ibérica Oeste, com vista ao estabelecimento de correlação entre elas, baseada na interpretação de linhas sísmicas disponibilizadas para dois setores *offshore*. A análise realizada baseia-se no pressuposto de que as bacias Lusitânica e de Peniche terão sido formadas ao mesmo tempo, e que partilham elementos estratigráficos e estruturais muito semelhantes.

Com o presente estudo, pretende-se utilizar o conhecimento já relativamente detalhado acerca da Bacia Lusitânica no aprofundamento do conhecimento da sua análoga, a bacia de Peniche, que representa a extensão da primeira para o *offshore* profundo. Para tal, recorreu-se à revisão de literatura relevante para a interpretação sismoestratigráfica de bacias sedimentares, nomeadamente acerca dos fundamentos teóricos da sismoestratigrafia, que permitem sustentar a análise das reflexões num perfil sísmico: o estudo dos padrões de terminação e dos parâmetros sísmicos. Estes fundamentos foram aplicados na ferramenta informática utilizada na presente investigação, o software PETREL® Schlumberger 2017.

Os resultados obtidos a partir da análise integrada da informação obtida, e que se refere a um setor localizado no *offshore* raso ao largo da Figueira da Foz, permitem afirmar que se registam diferenças substantivas relativamente ao quadro estrutural e tectónico das bacias Lusitânica e Peniche. Na verdade, enquanto o setor setentrional da área estudada é controlado pela atividade diapírica, o setor meridional é dominado por intensa atividade tectónica.

O aprofundamento do conhecimento acerca da génese e evolução de cada uma delas revela-se crucial para o estabelecimento de um quadro estratigráfico de referência para a Bacia de Peniche, ainda inexistente, mas fundamental para a avaliação do seu potencial em matéria de exploração de hidrocarbonetos.

Palavras-chave: Bacia Lusitânica; Bacia de Peniche; Análise Sismoestratigráfica; Análise Sismo-estrutural; Arquitetura do Sal.

ABSTRACT

This present study concerns an exploration analysis of two Portuguese Mesozoic marginal basins. These adjacent neighbor basins, namely the Lusitanian and Peniche basins, are situated in the Western Iberian Continental Margin, having been formed and accreted during the same period of geologic time. The study is based therefore upon the similar origin of these basins hence their history appears analogous in stratigraphic development. The interpretation of available seismic lines in two offshore sectors of these basins seeks to establish a genetic correlation between them.

With the present study, the relatively more detailed knowledge of the Lusitanian basin provides for postulated statements with concerns to its analog Peniche basin specially in its more distal portion of deepwater sediments, that in reality could be an appendix to the Lusitanian basin offshore.

For such the relevant literature on both basins were reviewed with view to a sismostratigraphic correlation between the basins with the available lines, utilizing the fundamental principles of geologic seismic stratigraphic interpretation. These principles were applied through an interpretation software tool, namely the PETREL® Schlumberger 2017, that enables the analyses of the seismic parameters regarding the pertinent reflection terminations on seismic profiles.

Results obtained with the integrated analyses of all the available information that is focused in a shallow water sector of the Figueira da Foz region enable the establishment of the similarities and of the substantive differences relative to the tectonic and stratigraphic development of the Lusitanian and Peniche basins. This is evident on the septentrional sector of the studied area which is dominated by diapiric activity as opposed to the meridional sector controlled by intense tectonism.

The deepening of knowledge about the genesis and evolution of each of them is crucial for the establishment of a stratigraphic frame of reference for the Peniche Basin, which still does not exist, but which is fundamental for the assessment of its potential in terms of hydrocarbon exploration.

Key words: Lusitanian Basin, Peniche Basin, Sismostratigraphic Analyses, Structural Seismic, Salt Architecture

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Professor Doutor Rui Pena dos Reis e ao Professor Doutor Roberto Fanstein. Foi uma honra poder aprender com investigadores de topo neste campo científico. Obrigada pela disponibilidade, pelas oportunidades e, principalmente, pelos ensinamentos tanto académicos como pessoais.

À Professora Doutora Maria Helena Henriques pelo dia 24 de outubro, dia que mudou radicalmente o meu percurso em todas as suas vertentes. Obrigada por ter acreditado em mim, obrigada por me ter dado mil e quinhentas vezes o empurrão que precisava e por ter mostrado, também mil e quinhentas vezes, que eu tinha em mim o necessário para terminar esta dissertação. Devo-lhe muito.

Ao Laboratório de Geologia Sedimentar e Registo fóssil, em especial ao Gustavo, à Patrícia, ao Rafael e à Anna, por terem, sem hesitação, recebido de braços abertos uma estranha ao serviço. Sei que já não sou uma estranha, sei que arranjei amigos para o resto da minha vida. Obrigada por todo o apoio que me deram, obrigada por nunca me terem deixado desistir, obrigada por todos os risos, obrigada por todas as comidinhas boas. Nunca irei esquecer o que fizeram por mim. Um agradecimento especial ao Professor Doutor António Garcia por toda a ajuda dada na reta final, que tão importante foi.

Aos meus pais, Isabel e Fernando, por terem feitos todos os sacrifícios e mais alguns para me proporcionarem tudo o que precisei. Obrigada pelo apoio, pelo carinho e pela força.

À minha Feiosa, que mesmo estando longe, está sempre perto e que me brindou com mais dois motivos para me incentivar a não desistir.

À Vanessa Pires, Xana para os amigos, que ‘aterrou’ na minha vida no quarto ano para não mais a abandonar. Nas alegrias e tristezas, nas diferenças e semelhanças, apoiamo-nos sempre.

Ao João Pereira, amigo ‘pr’a vida toda’ que Coimbra me deu. Devo muito à tua amizade Jonny Boy.

Por fim, quero agradecer aos demais que, de uma maneira ou outra, influenciaram a minha passagem por Coimbra, moldando a pessoa que sou hoje.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito das atividades do Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, através dos projetos UIDB/00073/2020 e UIDP/00073/2020 financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	1
2. ENQUADRAMENTO DA INVESTIGAÇÃO.....	5
2.1. Sísmica de Reflexão.....	7
2.1.1 Fundamentos Teóricos.....	7
2.1.2 Sismoestratigrafia.....	9
2.2 A Sísmica de Reflexão nas Bacias Meso-cenozoicas da Margem Ocidental da Placa Ibérica.....	11
3. ANTECEDENTES.....	15
4. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO.....	25
4.1. Enquadramento Geográfico.....	27
4.2. Enquadramento Geológico.....	27
4.2.1. Bacia Lusitânica.....	29
4.2.2. Bacia de Peniche.....	32
5. METODOLOGIA.....	33
5.1. Fundamentos Teóricos da Sismoestratigrafia.....	35
5.2. Análise das Reflexões Sísmicas.....	36
5.2.1. Padrões de Terminações.....	36
5.2.2. Parâmetros Sísmicos.....	37
5.2.2.1. Configurações Internas.....	38
5.2.2.2. Configurações Externas.....	40
5.3. O Software PETREL® Schlumberger 2017.....	42
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
6.1. Horizontes Sísmicos.....	47
6.2. Interpretação das Linhas Sísmicas.....	48
6.2.1. Interpretação da linha S84-19 (T1) da Bacia Lusitânica.....	50
6.2.2. Interpretação da linha S84-26 (T2) da Bacia Lusitânica.....	51
6.2.3. Interpretação da linha S84-28 (T3) da Bacia Lusitânica.....	52
6.2.4. Interpretação da linha SUN73-370W (D1) da Bacia Lusitânica.....	53
6.2.5. Interpretação da linha SUN73-390W (D2) da Bacia Lusitânica.....	54
6.2.6. Interpretação da linha sísmica P1 da Bacia de Peniche.....	55
6.2.7. Interpretação da linha sísmica P2 da Bacia de Peniche.....	55
6.3. Integração da Informação.....	56
7. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E IMPLICAÇÕES.....	61
7.1. Conclusões.....	63
7.2. Limitações.....	64
7.3. Implicações.....	64
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema ilustrativo do funcionamento do método de exploração de sísmica de reflexão que consiste na emissão, receção e registo, à superfície, de ondas acústicas que traduzem mudanças de litologias em subsuperfície (modificado de Karey <i>et al.</i> , 2009).....	8
Figura 2.2. Exemplo de uma interpretação geológica de rochas estratificadas e não aflorantes da Bacia de Peniche e da Bacia Lusitânica baseada num perfil sísmico de uma linha sísmica obtida no <i>offshore</i> de Portugal (modificado de Pimentel <i>et al.</i> , 2016).....	9
Figura 2.3. Exemplo de fácies sísmicas. Neste perfil sísmico conseguem diferenciar-se 3 tipos de materiais em função da geometria dos refletores sísmicos, o que permite delimitar unidades litossísmicas (modificado de Vera Cruz, 1994).....	10
Figura 2.4. Categorias e termos da classificação de unidades estratigráficas (retirado de ICS, 2019b).....	11
Figura 2.5. Localização das bacias meso-cenozoicas Atlânticas da Margem Ocidental da Placa Ibérica (retirado de ENMC, 2016).....	12
Figura 2.6. Mapa das concessões licenciadas e atribuídas em Portugal até 2016 (retirado de ENMC, 2016).....	13
Figura 2.7. Localização das linhas sísmicas 2D e 3D e de furos de sondagens adquiridos no território português até ao ano de 2016 (retirado de ENMC, 2016).....	14
Figura 3.1. Quadro de síntese das unidades Meso-Cenozoicas da Margem Ibérica Ocidental (modificado de Pinheiro <i>et al.</i> , 1996).....	18
Figura 3.2. Quadro de correlação entre as unidades estratigráficas da Bacia Lusitânica e os horizontes sísmicos estabelecidos por Rasmussen <i>et al.</i> (1998).....	19
Figura 3.3. Interpretação da linha S84-23, localizada a sudoeste da Figueira da Foz, na qual se representam os horizontes sísmicos estabelecidos na Figura 3.1. (retirado de Rasmussen <i>et al.</i> , 1998).....	19
Figura 3.4. As megassequências identificadas no offshore profundo, a oeste da Figueira da Foz, na Bacia de Peniche (retirado de Alves <i>et al.</i> , 2013).....	22
Figura 4.1. Enquadramento geográfico das bacias em estudo na Margem Ocidental Ibérica. (bB - bloco das Berlengas; eE - esporão da Estremadura; bG - bloco de Guadalquivir) (modificado de Pena Reis <i>et al.</i> , 2017).....	28
Figura 4.2. Quadro estratigráfico da evolução geodinâmica da Bacia Lusitânica (modificado de Pena Reis <i>et al.</i> , 2011).....	31
Figura 5.1. Esquema representativo de uma configuração progradante sigmoidal com cinco exemplos de padrões de terminações importantes para o estudo em sismoestratigrafia (modificado de Alonso <i>et al.</i> , 1989).....	37

Figura 5.2. Tipos de configuração interna que as reflexões podem apresentar (modificado de Mitchum <i>et al.</i> , 1977b).....	38
Figura 5.3. Tipos de configuração caótica interna que as reflexões podem apresentar (modificado de Mitchum <i>et al.</i> , 1977b).....	38
Figura 5.4. Tipos de configurações internas progradantes (modificado de Mitchum <i>et al.</i> , 1977b).....	40
Figura 5.5. Exemplo de alguns tipos de formas externas que os pacotes de reflexões podem exibir (modificado de Mitchum <i>et al.</i> , 1977b).....	41
Figura 5.6. Procedimentos utilizados para o reconhecimento de horizontes sísmicos através do software PETREL® Schlumberger 2017 (Fainstein, 2020, <i>comunicação pessoal</i>).....	43
Figura 6.1. Localização das linhas sísmicas analisadas. A linha D1, D2, T1, T2 e T3 localizam-se na Bacia Lusitânica. As linhas P1 e P2 situam-se no setor a sul da Bacia de Peniche (modificado de Alves <i>et al.</i> , 2013).....	49
Figura 6.2. (a) Secção sísmica e (b) respetiva interpretação da linha sísmica S84-19 transversal adquirida ao largo da Figueira Da Foz. Ver figura 6.1 para a sua localização.....	50
Figura 6.3. (a) Secção sísmica e (b) respetiva interpretação da linha sísmica transversal S84-26 adquirida ao largo da Figueira Da Foz. Ver figura 6.1 para a sua localização.....	51
Figura 6.4. (a) Secção sísmica e (b) respetiva interpretação da linha sísmica transversal S84-30+30A adquirida ao largo da Figueira Da Foz. Ver figura 6.1 para a sua localização.....	52
Figura 6.5. (a) Secção sísmica e (b) respetiva interpretação da linha sísmica <i>deep</i> SUN73-370W adquirida ao largo da Figueira Da Foz. Ver figura 6.1 para a sua localização.....	53
Figura 6.6. (a) Secção sísmica e (b) respetiva interpretação da linha sísmica transversal SUN73-390W adquirida ao largo da Figueira Da Foz. Ver figura 6.1 para a sua localização.....	54
Figura 6.7. (a) Secção sísmica e (b) respetiva interpretação da linha sísmica regional 2D P1 da Bacia de Peniche. Ver figura 6.1 para a sua localização.....	55
Figura 6.8. (a) Secção sísmica e (b) respetiva interpretação da linha sísmica regional 2D P2. Ver figura 6.1 para a sua localização.....	56
Figura 6.9. Mapa de controlo tectónico e salífero da unidade Dagorda da Bacia Lusitânica que mostra a profundidade a que se situa o sal (modificado de Pena Reis <i>et al.</i> , 2017).....	57

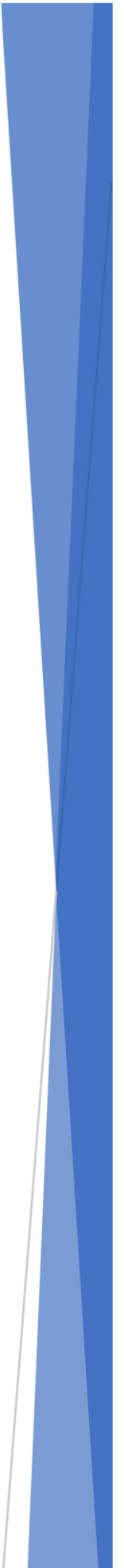
Figura 6.10. Perfil sísmico interpretado dentro da área em estudo da Bacia de Peniche que permite demonstrar a ausência de sal (Alves <i>et al.</i> , 2006). Ver figura 6.11 para localização.....	58
Figura 6.11. Interpretação de um perfil sísmico localizado no setor que apresenta analogias com o setor estudado da Bacia Lusitânica (Alves <i>et al.</i> , 2013). Ver figura 6.11 para a localização.....	59
Figura 6.12. Interpretação de um perfil sísmico localizado no setor que apresenta analogias com o setor estudado da Bacia Lusitânica (Alves <i>et al.</i> , 2013). Ver figura 6.11 para a localização.....	59
Figura 6.13. Mapa estrutural do soco da Bacia de Peniche com a localização das linhas sísmicas do presente estudo. Representam-se igualmente as linhas sísmicas consideradas relevantes para a discussão dos resultados obtidos. Ver respetiva legenda na figura 6.1 (modificado de Alves <i>et al.</i> , 2013).....	60

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Quadro de síntese sobre as oito megassequências descritas em Alves <i>et al.</i> (2013) (Legenda: ±- Parcialmente registada; ✓- encontra-se registada; x-não se encontra registada)	21
Tabela 2. Parâmetros sísmicos e o respetivo significado geológico (baseado em Mitchum <i>et al.</i> , 1977b).....	42
Tabela 3. Unidades reconhecidas na Bacia Lusitânica no presente estudo.....	48

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO E
OBJETIVOS



1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O presente trabalho enquadra-se nas atividades de pós-graduação do Departamento de Ciências da Terra Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e visa a obtenção do Grau de Mestre em Geociências na área de especialização em Georrecursos. Este estudo consiste na análise de duas bacias sedimentares meso-cenozoicas portuguesas, Lusitânica e Peniche, situadas na Margem Ibérica Oeste, com vista ao estabelecimento de correlação entre elas, baseada na interpretação de linhas sísmicas.

Para tal, recorreu-se à interpretação de linhas sísmicas fornecidas pela antiga Entidade Nacional do Mercado de Combustíveis, agora designada por Entidade Nacional do Setor Energético e os respetivos relatórios de sondagens. Esta informação de subsuperfície foi obtida no âmbito das atividades de exploração em Portugal na década de setenta e oitenta do século passado, realizadas por consórcios de empresas petrolíferas (Shell e Sun em 1973, e empresa contratada Geophysical Service Inc. em 1984).

Tendo em conta que as bacias Lusitânica e de Peniche terão sido formadas ao mesmo tempo, partilhando elementos estratigráficos e estruturais muito semelhantes, pretende-se, com o presente estudo, utilizar o conhecimento já relativamente detalhado acerca da Bacia Lusitânica no aprofundamento do conhecimento da sua análoga, que representa a extensão daquela para o *offshore* profundo.

Assim, a presente dissertação de mestrado tem como objetivo geral desenvolver competências em análise de bacias sedimentares com base em informação de natureza sismostratigráfica e sismo-estrutural. Para tal, realizaram-se as seguintes tarefas:

- Análise de perfis sísmicos da Bacia Lusitânica e da Bacia de Peniche;
- Estabelecimento e reconhecimento dos horizontes sísmicos;
- Localização das estruturas salíferas e a sua arquitetura tectónica;
- Estabelecimento de correlações entre as duas bacias.

A presente dissertação, que reporta os resultados obtidos na investigação, repartem-se por oito capítulos, organizados da forma que, de seguida, se discriminam.

No primeiro capítulo apresentam-se os objetivos da investigação, bem como a estrutura geral da dissertação.

No segundo capítulo, de cariz teórico, aborda-se a importância da Estratigrafia Sísmica enquanto ferramenta de relevância primordial na análise de bacias sedimentares, em

particular naquelas que são alvo de atividades de exploração de hidrocarbonetos (em 2.1), e apresenta-se uma síntese sobre o conhecimento existente relativamente à utilização de sísmica de reflexão nas bacias meso-cenozoicas da Margem Ocidental da Placa Ibérica, com ênfase nas bacias Lusitânica e de Peniche (em 2.2).

O terceiro capítulo sintetiza a literatura científica publicada sobre o tema do presente trabalho. São referidos vários autores com publicações pertinentes sobre sismoestratigrafia na Margem Ocidental Ibérica e que foram elaboradas ao longo dos anos.

No quarto capítulo apresenta-se a localização geográfica das bacias sedimentares analisadas (em 4.1), a Bacia Lusitânica e a Bacia de Peniche, juntamente com o enquadramento geológico e evolução geodinâmica (em 4.2) de cada uma, de modo a contextualizar o presente estudo.

No quinto capítulo serão abordadas as metodologias adotadas para a realização da componente prática do trabalho. Este projeto teve como base trabalho de gabinete, durante o qual se procedeu à revisão de literatura relevante para a interpretação sismoestratigráfica de bacias sedimentares, nomeadamente acerca dos fundamentos teóricos da sismoestratigrafia (em 5.1.), que permitem sustentar a análise das reflexões num perfil sísmico (em 5.2): o estudo dos padrões de terminação (em 5.2.1.) e dos parâmetros sísmicos (em 5.2.2.). Em 5.3. apresenta-se e descreve-se a ferramenta informática utilizada na presente investigação, o software PETREL® Schlumberger 2017.

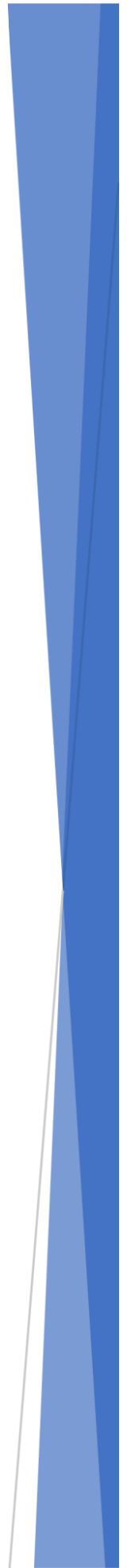
No sexto capítulo procede-se à descrição dos horizontes sísmicos reconhecidos (em 6.1), bem como à interpretação das linhas sísmicas utilizadas neste estudo na Bacia Lusitânica e na Bacia Peniche (em 6.2). Por fim, apresentam-se os resultados obtidos a partir da integração da informação (inérita e publicada) para as duas bacias e num contexto regional (em 6.3).

No sétimo capítulo, apresentam-se as conclusões do presente trabalho (em 7.1), as limitações impostas desde o início e durante a realização do mesmo (em 7.2) e as implicações que surgiram ao longo do desenvolvimento da investigação (em 7.3).

Por fim, no capítulo oito incluem-se as referências bibliográficas.

CAPÍTULO 2

ENQUADRAMENTO DA
INVESTIGAÇÃO



2. ENQUADRAMENTO DA INVESTIGAÇÃO

Neste capítulo, aborda-se a importância da Estratigrafia Sísmica enquanto ferramenta de relevância primordial na análise de bacias sedimentares, em particular naquelas que são alvo de atividades de exploração de hidrocarbonetos (em 2.1), e apresenta-se uma síntese sobre o conhecimento existente relativamente à utilização de sísmica de reflexão nas bacias meso-cenozoicas da Margem Ocidental da Placa Ibérica, com ênfase nas bacias Lusitânica e de Peniche (em 2.2).

2.1. Sísmica de Reflexão

A utilização de sísmica de reflexão como método de prospeção geofísica remonta ao século XX, quando foi utilizada para detetar *icebergs* e para medição da profundidade de aquíferos (Mondol, 2010). Esta ferramenta permite elaborar mapas detalhados de subsuperfície que, complementados com outras ferramentas geofísicas (sísmica de refração, gravimetria, magnetismo e eletrorresistividade), são usualmente utilizados na modelação de bacias sedimentares com interesse para a indústria dos hidrocarbonetos, tendo sido utilizada pela primeira vez em 1924 na descoberta de um campo petrolífero no Texas, EUA (Mondol, 2010).

2.1.1 Fundamentos Teóricos

A sísmica de reflexão refere-se a um método de prospeção geofísico que se apoia nos princípios da sismologia, e que visa analisar as propriedades da subsuperfície terrestre a partir da reflexão das ondas sísmicas. Este método consiste na emissão, receção e registo, à superfície, de ondas acústicas que traduzem mudanças de litologias, e, portanto, de velocidades sísmicas, em subsuperfície. Apesar de existirem outros métodos de geofísica bastante avançados, a sísmica de reflexão continua a ser o método mais importante na análise de bacias sedimentares, pois permite detetar no mesmo perfil sísmico, tanto feições de grande escala como de pequena escala (Mondol *et al.*, *op. cit.*)

Os princípios subjacentes a este método baseiam-se nos tipos de respostas às ondas sísmicas acústicas (artificiais, provocadas por uma fonte sísmica controlada) das superfícies que separam materiais litológicos com densidades distintas; ao comportarem-se como espelhos, estas superfícies de descontinuidade correspondem a refletores (Vera Torres, 1994). As respostas são registadas por sistemas analógicos e/ou digitais acoplados a hidrofones (*offshore*) ou geofones (*onshore*) (Fig. 2.1), em termos de velocidade e tempo

que uma onda leva a ser emitida, refletida e recebida (*two way time*) por um refletor, e que dependem da impedância acústica das diversas formações geológicas.

A impedância acústica (Z) de um determinado material litológico refere-se ao produto da sua densidade pela velocidade de propagação das ondas acústicas, que se traduz pela expressão:

$$Z = \rho v \quad (1)$$

Em que:

Z – Impedância acústica; ρ – Densidade do meio; v – Velocidade de propagação no meio.

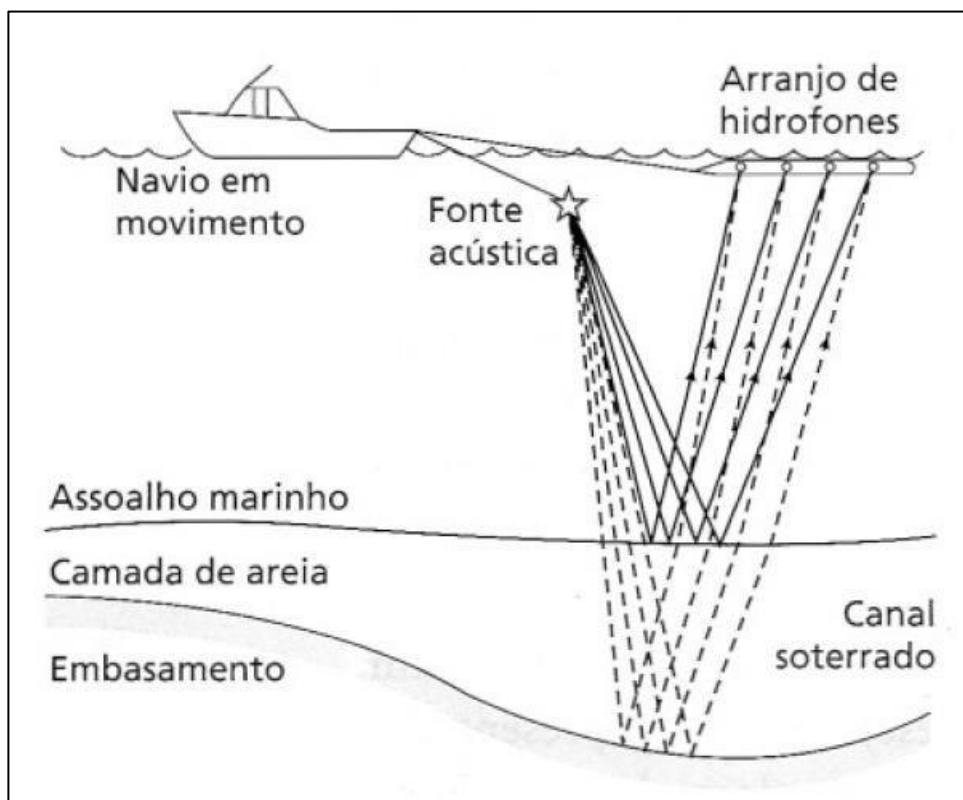


Figura 2.1. Esquema ilustrativo do funcionamento do método de exploração de sismica de reflexão que consiste na emissão, receção e registo, à superfície, de ondas acústicas que traduzem mudanças de litologias em subsuperfície (modificado de Karey *et al.*, 2009).

As variações na impedância acústica, que correspondem a diferentes comportamentos das reflexões aos materiais que compõem as unidades geológicas, são depois processadas consoante os atributos sísmicos, específicos ao estudo, e que dão

origem a um perfil sísmico. Este fornece a geometria (estrutura) de rochas estratificadas e não aflorantes de uma bacia sedimentar (Vera Torres, *op. cit.*; Fig. 2.2). Cada litologia em concreto expressa-se no perfil através de feições gráficas particulares, que traduzem a sua impedância acústica, e que permitem identificá-la.

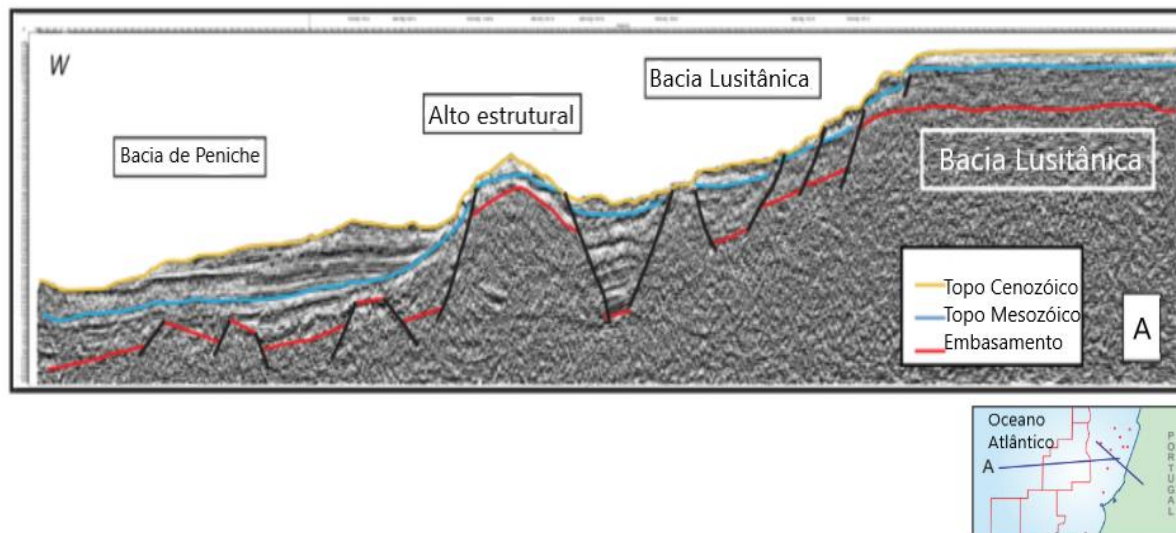


Figura 2.2. Exemplo de uma interpretação geológica de rochas estratificadas e não aflorantes da Bacia de Peniche e da Bacia Lusitânica baseada num perfil sísmico de uma linha sísmica obtida no *offshore* de Portugal (modificado de Pimentel *et al.*, 2016).

2.1.2 Sismoestratigrafia

A Sismoestratigrafia, ou Estratigrafia Sísmica, é um termo que foi introduzido no mundo científico por Mitchum e Vail em 1977, para formalmente caracterizar a ciência que estuda os traços estratigráficos e de fácies sedimentares a partir de perfis sísmicos (fácies sísmicas). Recorre a informação obtida através de sísmica de reflexão, que permite a interpretação e modelização estratigráfica das fácies de uma bacia sedimentar, bem como a interpretação da sua história geológica (Vera Torres, *op. cit.*).

A Estratigrafia Sísmica segue os mesmos princípios fundamentais da Estratigrafia (ICS, 2019a). Inspirada no conceito de fácies sedimentares, na Estratigrafia Sísmica utiliza-se o conceito de fácies sísmicas que, num perfil sísmico, pretende definir o ambiente deposicional de uma unidade sedimentar, entender a sua história, bem como prever e localizar potenciais reservas de hidrocarbonetos e armadilhas estruturais. Isso é possível uma vez que as fácies sísmicas estão associadas a uma configuração geométrica específica do padrão de reflexão (Fig. 2.3). Cada configuração contém informação sobre os padrões de estratificação (*bedding patterns*), bem como as superfícies de erosão e de deformação penecontemporâneas (Reading, 1986).

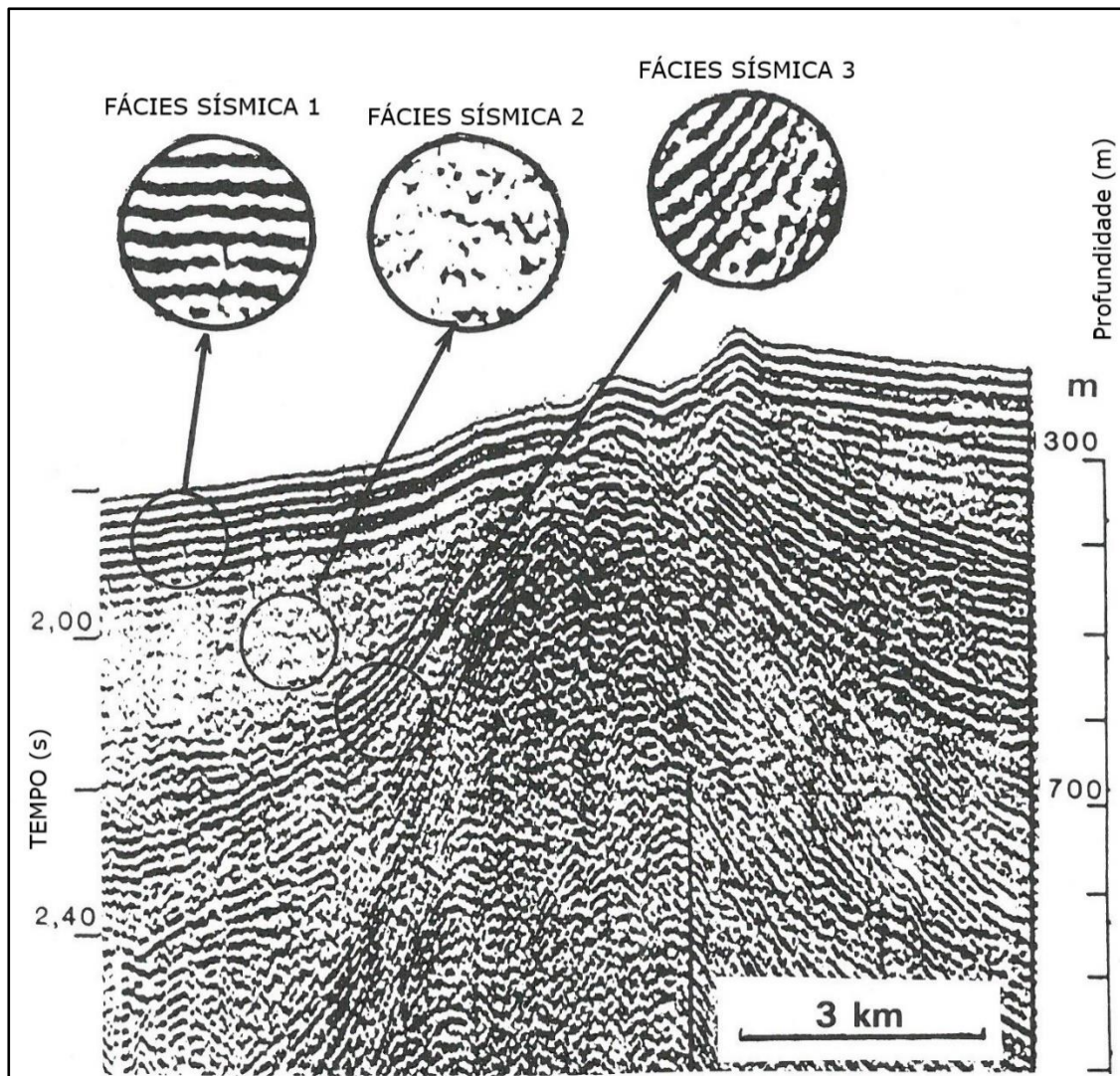


Figura 2.3. Exemplo de fácies sísmicas. Neste perfil sísmico conseguem diferenciar-se 3 tipos de materiais em função da geometria dos refletores sísmicos, o que permite delimitar unidades litossísmicas (modificado de Vera Cruz, 1994).

À semelhança de outras unidades estratigráficas, também é possível classificar corpos rochosos com base em propriedades e impedâncias acústicas, tal como defende o *International Stratigraphical Guide* (ICS, 2003), que refere que tais unidades informais se deverão designar pelo termo -zona, precedido do prefixo apropriado, neste caso, sismozonas (Fig. 2.4). Contudo, Vera Torres (1994) utiliza o termo unidade litossísmica para designar um volume ocupado pelos materiais de uma mesma fácies sísmica (Fig. 2.3).

Stratigraphic Categories	Principal Stratigraphic Unit-terms	
Lithostratigraphic	Group Formation Member Bed(s), Flow(s)	
Unconformity-bounded	Synthem	
Biostratigraphic	Biozones: Range zones Interval zones Lineage zones Assemblage zones Abundance zones Other kinds of biozones	
Magnetostratigraphic polarity	Polarity zone	
Other (informal) stratigraphic categories (mineralogic, stable isotope, environmental, seismic, etc.)	-zone (with appropriate prefix)	
		Equivalent Geochronologic Units
Chronostratigraphic	Eonothem Erathem System Series Stage Substage (Chronozone)	Eon Era Period Epoch Age Subage (or Age) (Chron)

Figura 2.4. Categorias e termos da classificação de unidades estratigráficas (retirado de ICS, 2019b).

A Sismoestratigrafia é assim uma ferramenta de grande relevância na análise de bacias sedimentares com potencial em hidrocarbonetos pois, através da interpretação de perfis sísmicos, obtêm-se mapas estruturais que refletem a variação em profundidade das diferentes rochas estratificadas, designadamente armadilhas estruturais, que são da maior importância na geologia de hidrocarbonetos. A integração de diferentes perfis sísmicos permite fundamentar modelos 3D de subsuperfície, igualmente cruciais no cálculo de volumes de unidades com interesse comercial.

2.2. A Sísmica de Reflexão nas Bacias Meso-cenozoicas Lusitânica e de Peniche da Margem Ocidental da Placa Ibérica

A evolução mesozoica da margem Ocidental da Placa Ibérica é marcada pela fracturação do supercontinente Pangeia e pela influência de dois oceanos, um primitivo a

este (o Tétis) e a oeste e sul, o Atlântico (Pena Reis *et al.*, 2012). Daqui resultou a formação de bacias sedimentares peri-atlânticas (Galiza, Porto, Peniche, Lusitânica, Alentejo, Algarve e Bacia do Golfo de Cádiz; Fig. 2.5), algumas das quais terão continuado a evoluir durante o Cenozoico, ao passo que outras foram sujeitas a inversão tectónica em resultado da orogenia Alpina (Ribeiro *et al.*, 1980; Wilson *et al.*, 1989).

Estas últimas incluem as bacias Lusitânica e de Peniche, objeto de análise sismostratigráfica no presente trabalho, e consideradas homólogas (bacias conjugadas) da Bacia dos Grandes Bancos – sub-bacias Jeanne d’Arc e Flemish - localizadas na Terra Nova, Canadá (Pena Reis *et al.*, 2011).

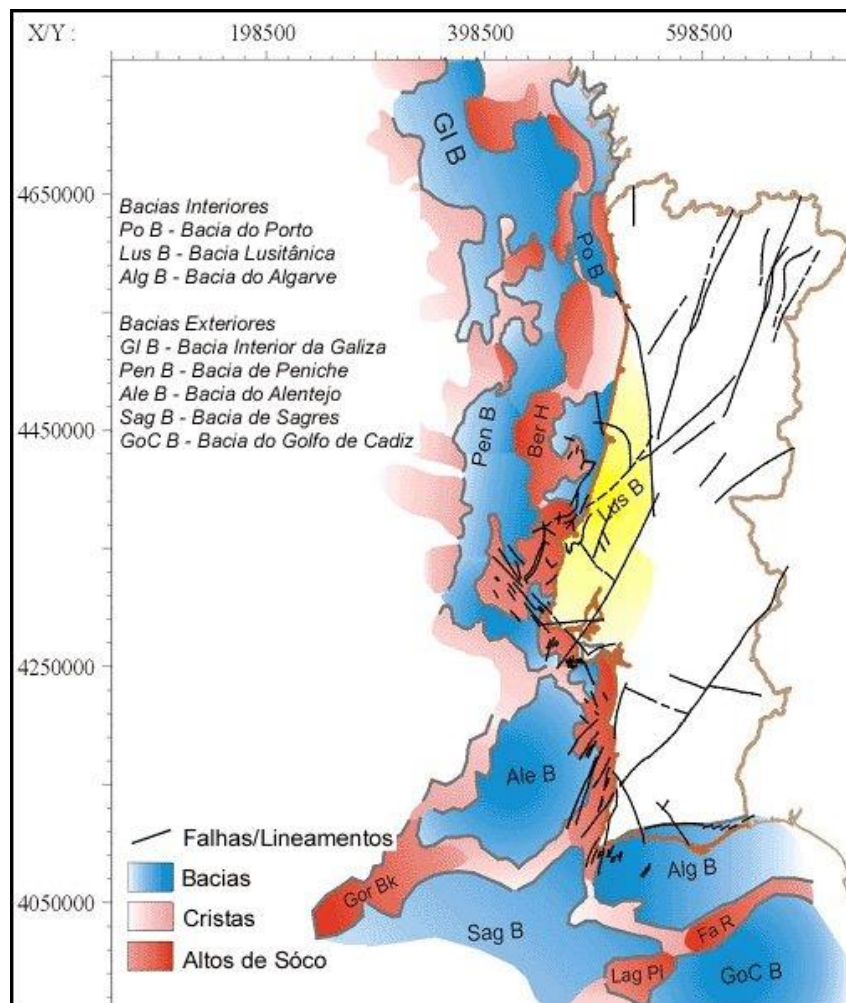


Figura 2.5. Localização das bacias meso-cenozoicas Atlânticas da Margem Ocidental da Placa Ibérica (retirado de ENMC, 2016).

A descoberta de *plays* nestas bacias localizadas na margem conjugada canadiana vieram despertar o interesse, mais recente, por parte das empresas petrolíferas na exploração do *offshore* profundo do território português (Fig. 2.6).

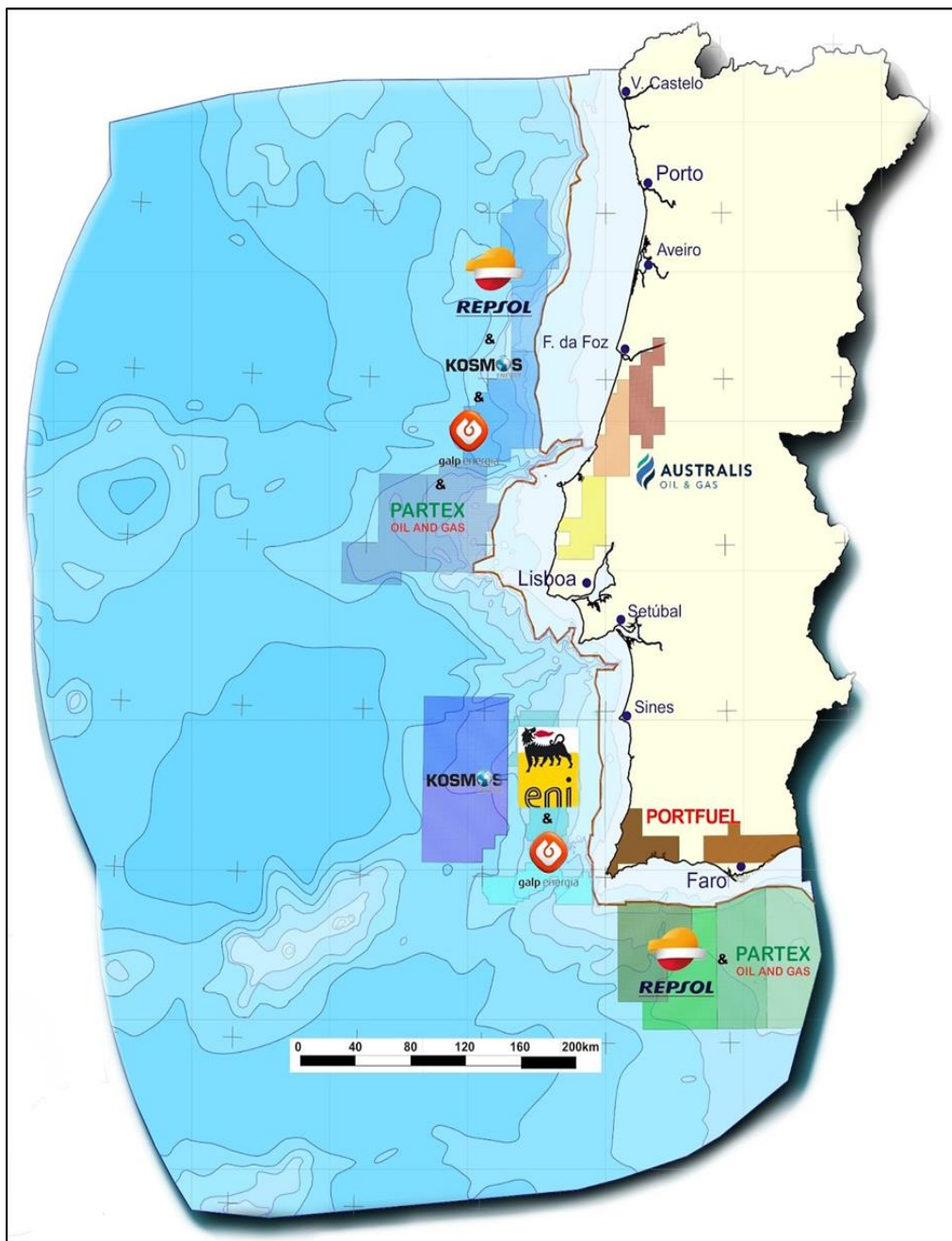


Figura 2.6. Mapa das concessões licenciadas e atribuídas em Portugal até 2016 (retirado de ENMC, 2016).

No entanto, a utilização da sísmica de reflexão como método de prospeção e sondagem, foi introduzida em meados do século XX, também pelos principais consórcios de empresas petrolíferas com interesse económico na Margem Ocidental Ibérica. Desde então, e de acordo com a Direção Geral de Energia e Geologia (ENMC, 2016) foram já efetuados cerca de 17.600 km em prospeção sísmica regional 2D, dos quais 5.865 km em *onshore* e 67.009 km em *offshore*. Além de aquisição de sísmica 2D, foram também adquiridos 7.000 km² em linhas sísmicas 3D (em regiões de menor risco geológico e economicamente mais viáveis em termos de descoberta comercial de hidrocarbonetos) e 175 furos de sondagem (Fig. 2.7).

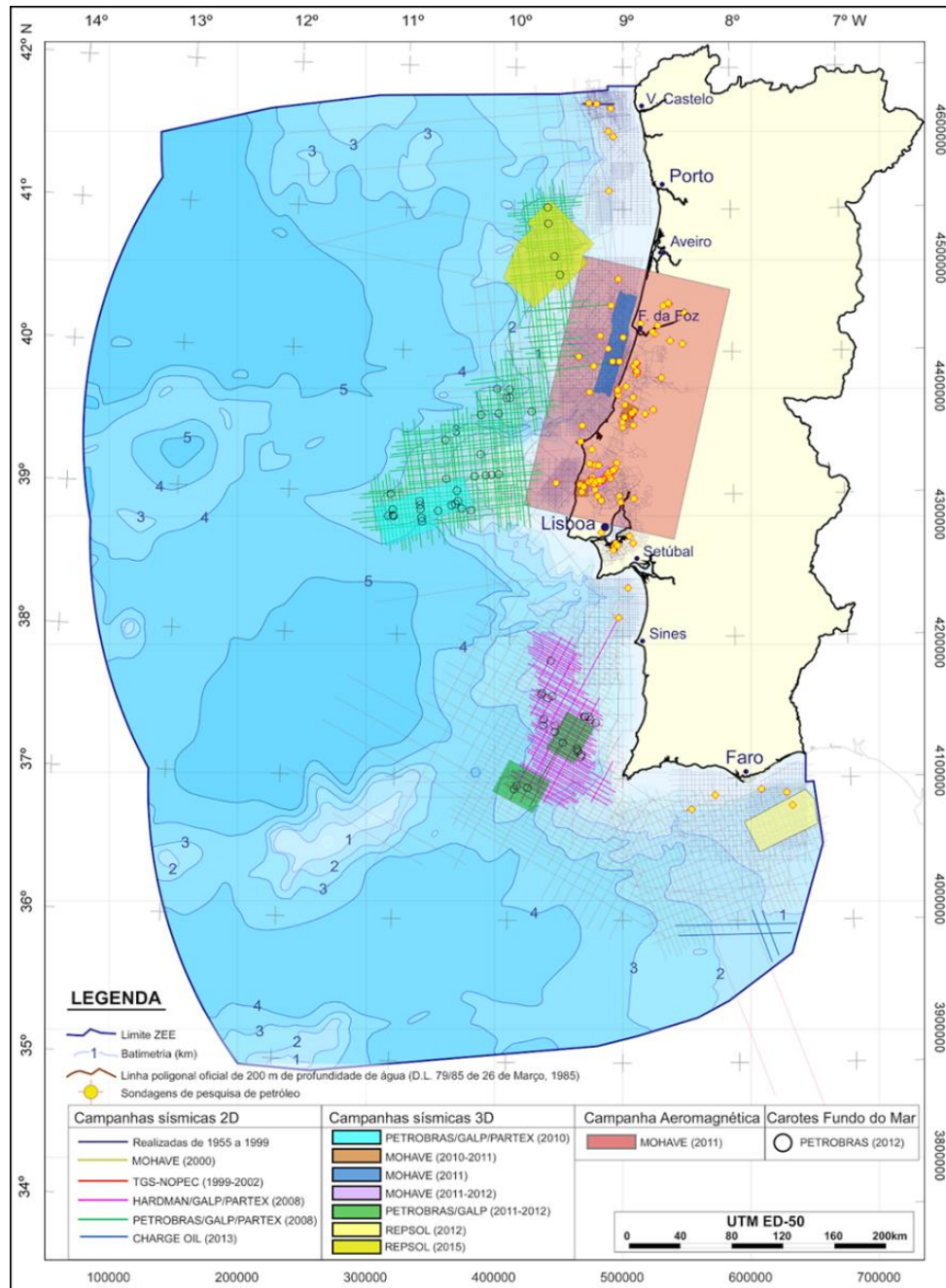


Figura 2.7. Localização das linhas sísmicas 2D e 3D e de furos de sondagens adquiridos no território português até ao ano de 2016 (retirado de ENMC, 2016).

A Bacia Lusitânica, aflorante em território litoral português, apesar de subavaliada, é a bacia sedimentar portuguesa com mais sondagens sísmicas realizadas por quilometro quadrado, atingindo uma média de 2,4 (sondagens) por 1000 km² (GovPT, 2012). Já na Bacia de Peniche, localizada no *offshore* profundo de Portugal, a situação reverte-se; o conhecimento que sobre ela se detém provém, na sua totalidade, da interpretação de resultados obtidos através de métodos geofísicos, tais como os gravimétricos, sísmicos de reflexão e magnéticos, e por comparação com a Lusitânica, abordagem que se seguirá no presente estudo, recorrendo à sismoestratigrafia.

CAPÍTULO 3

ANTECEDENTES



3. ANTECEDENTES

Neste capítulo procede-se a uma revisão de literatura considerada pertinente para o enquadramento do presente estudo, centrada no conhecimento já existente sobre interpretação sismoestratigráfica das unidades que compõem as bacias Lusitânica e de Peniche. Os primeiros trabalhos de síntese acerca do Meso-Cenozoico da Bacia Lusitânica foram publicados Ribeiro *et al.* (1979) e Teixeira & Gonçalves (1980). Desde então, foram publicados inúmeros trabalhos de estratigrafia relativos às diversas unidades da Bacia Lusitânica que são detalhadamente referidos, por exemplo, em Kullberg *et al.* (2006) e Pena Reis *et al.* (2011).

De entre os principais estudos sismoestratigráficos daquelas unidades destaca-se o trabalho de Mauffret *et al.* (1989). Neste trabalho, os autores identificam na planície abissal do Tejo seis sequências sedimentares que abarcam desde o Jurássico superior até ao Quaternário. Estas sequências foram interpretadas a partir de novas aquisições de sísmica de reflexão multicanal para aquela área que, articuladas com outras metodologias no âmbito da geofísica, permitiram explicar a sua evolução e contexto geodinâmico.

No mesmo ano, Wilson *et al.* (1989), utilizando como metodologia principal a sísmica de reflexão, estudaram o Mesozoico e o Cenozoico da Bacia Lusitânica com foco na tectónica, na estratigrafia e na história de subsidência. Neste trabalho, os autores analisaram as espessuras dos pacotes sedimentares observáveis nos perfis sísmicos em articulação com informação obtida a partir da análise de sondagens realizadas no âmbito do programa ODP (*Ocean Drilling Project*) Leg 103. Os autores concluem que a história geológica do Mesozoico e do Cenozoico da Margem Ocidental Ibérica expressa no registo estratigráfico da Bacia Lusitânica e que esta compreende cinco UBS (*unconformity-bounded sequences*): do Triássico ao Caloviano, do Oxfordiano médio ao Berriasiano, do início do Valanginiano-Aptiano ao Aptiano-Turoniano tardio e, por fim, do final do Cretácico superior até ao Miocénico.

Na década de 90, Pinheiro *et al.* (1996) procuram correlacionar, dos pontos de vista geológico e geofísico, as unidades aflorantes no *onshore* da Margem Ocidental Ibérica (MOI) com as do *offshore*, em particular as da margem portuguesa. Os autores utilizaram os dados de sísmica de reflexão em articulação com os dados obtidos no âmbito das atividades dos projetos ODP Leg 103/147 e DSDP (*Deep Sea Drilling Project*) Leg 47b como metodologia para descrever as unidades que refletem a transição continente/oceano da margem passiva não-vulcânica Ibérica Ocidental (Fig. 3.1).

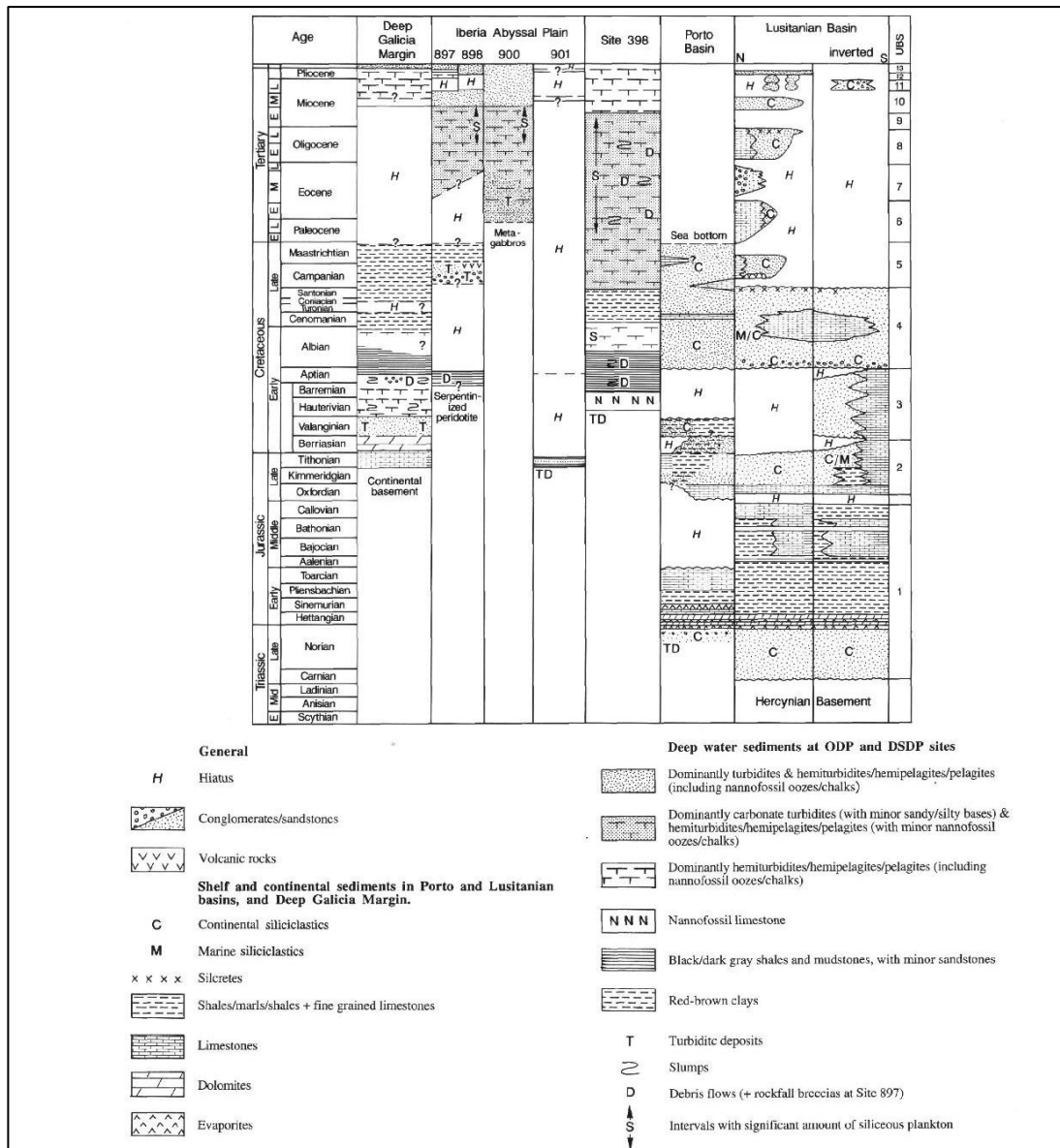


Figura 3.1. Quadro de síntese das unidades Meso-Cenozoicas da Margem Ibérica Ocidental (modificado de Pinheiro *et al.*, 1996).

Ainda na mesma década, Rasmussen *et al.* (1998), através da sísmica de reflexão convencional, procuraram correlacionar horizontes sísmicos obtidos no *offshore* da parte central da Bacia Lusitânica (da plataforma continental até ao talude) com unidades estratigráficas estabelecidas para o *onshore* (Fig. 3.2). No mesmo trabalho, os autores incluem a interpretação de um perfil sísmico da linha S84-23, situada a sudoeste do *offshore* da Figueira da Foz, e muito próxima de uma das linhas sísmicas analisadas no presente estudo, na qual identificam um possível *graben* datado do Triássico e o desenvolvimento proeminente do *half-graben* do Jurássico tardio. Estes autores destacam a discordância intra-Jurássico superior, que separa a Formação Montejuento da Formação de Alcobaça, e que corresponde ao final do evento tectónico do Oxfordiano tardio (Fig. 3.3).

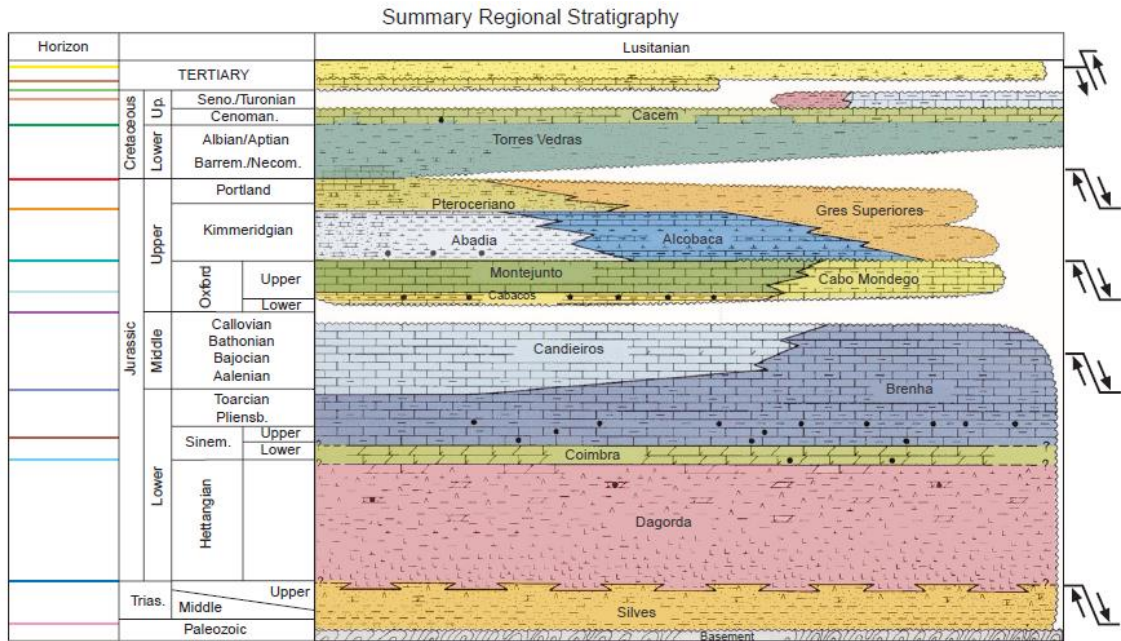


Figura 3.2. Quadro de correlação entre as unidades estratigráficas da Bacia Lusitânica e os horizontes sísmicos estabelecidos por Rasmussen *et al.* (1998).

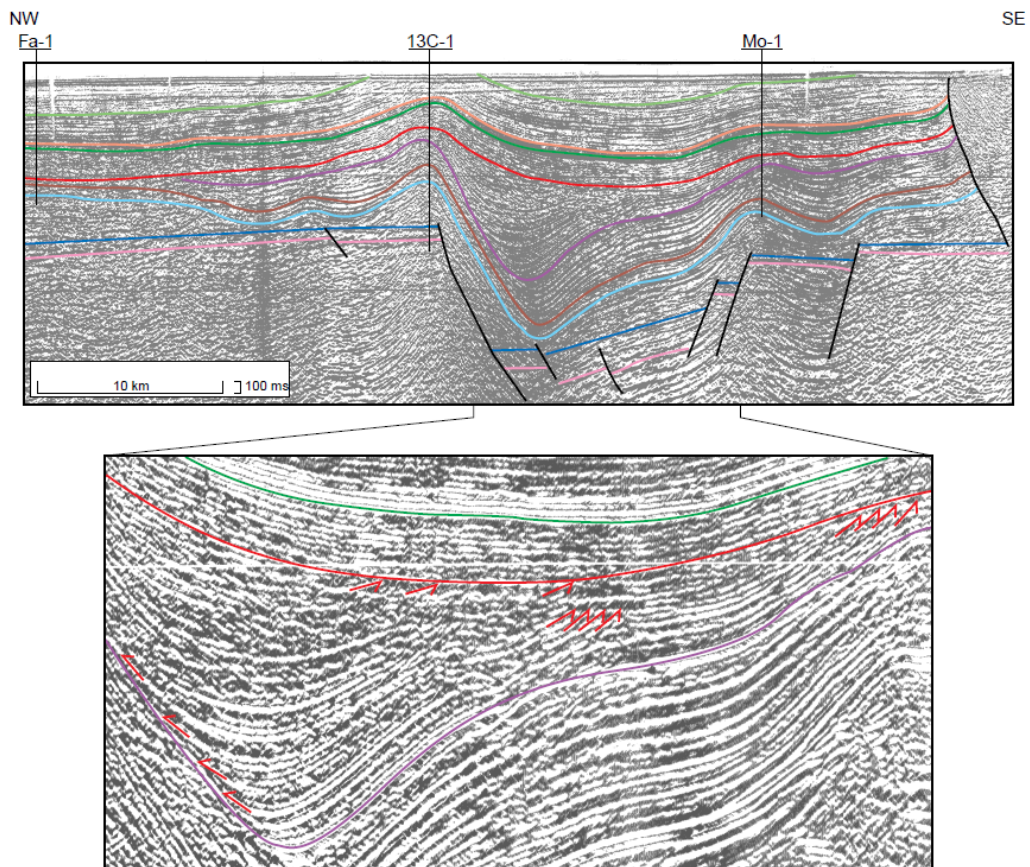


Figura 3.3. Interpretação da linha S84-23, localizada a sudoeste da Figueira da Foz, na qual se representam os horizontes sísmicos estabelecidos na Figura 3.1. (retirado de Rasmussen *et al.*, 1998).

Mais tarde, Alves *et al.* (2013) descrevem, de acordo com Mauffret *et al.* (1989) e publicações suas mais antigas (2003, 2006, 2009), as oito megassequências que podem ser interpretadas ao longo da Margem Ibérica Oeste, com base em sismoestratigrafia:

- Megassequência T/J1: esta megassequência, datada do Triássico ao Caloviano, contém os depósitos mais antigos acumulados nas bacias sedimentares com vertente continental, e apresenta uma espessura máxima de 4 quilómetros;
- Megassequência J3: esta megassequência, datada do Caloviano Superior ao Oxfordiano Inferior, atinge quer no *onshore* quer no *offshore* uma espessura máxima de 3 quilómetros;
- Megassequência J4/K1: datada do Kimmeridgiano terminal ao Berriasiano Superior, esta megassequência só se encontra na Bacia do Alentejo;
- Megassequência K1: de idade Berriasiano Superior/Valanginiano Inferior, atingindo o Aptiano na Bacia de Peniche, esta megassequência atinge uma espessura com cerca de 3 quilómetros, na qual se encontra uma série de refletores internos com geometrias típicas de unidades *rift-clímax* (Fig. 3.3);
- Megassequência K2: é nesta megassequência que os autores encontram os primeiros depósitos acumulados após o fim da separação entre a MOI e a Terra Nova, no Canadá; na Bacia do Alentejo é datada do Valanginiano Superior ao Cenomaniano, e na Bacia de Peniche, abrange desde o Albiano até ao Cenomaniano;
- Megassequência K3/C1: com uma espessura mais reduzida (cerca de 750 metros), nesta megassequência encontram-se refletores internos com geometria sigmoidal e progradante em direção a oeste, sendo a sua idade do Cenomaniano Superior/Turoniano a Eocénico;
- Megassequência C2: a espessura desta megassequência, que abarca desde o Cenomaniano ao Miocénico Médio/Inferior, atinge, em termos absolutos, uma espessura com cerca de 500 metros, mas apresenta variações significativas que os autores atribuem à evolução de um substrato móvel que foi sujeito a deformações tectónicas importantes;
- Megassequência C3: é caracterizada por incluir uma sucessão espessa de unidades sub-horizontais, paralelas ao fundo submarino atual e apresenta uma espessura absoluta de cerca 1,5 quilómetros.

Na tabela 1 representam-se as oito megassequências, os seus limites geocronológicos, bem como as respetivas espessuras para as bacias Lusitânica e de Peniche, que serviram de referencial para a interpretação das linhas sísmicas que são objeto de estudo no presente trabalho.

Tabela 1. Quadro de síntese sobre as oito megassequências descritas em Alves *et al.* (2013) (Legenda: ±- Parcialmente registada; ✓- encontra-se registada; x- não se encontra registada)

MEGASEQUÊNCIA	IDADE	ESPESSURA MÁX. ATINGIDA	BACIA DE PENICHE	BACIA LUSITÂNICA
C3	Holocénico Miocénico Médio	1,5 Km	±	±
C2	Miocénico Inferior/Médio Eocénico	500 m	✓	±
K3/C1	Eocénico Turoniano Cenomaniano Superior	750 m	✓	x
K2	Cenomaniano Valanginiano Superior (BA) Albiano (BP)	800 m	✓	✓
K1	Aptiano (BP) Valanginiano Inferior Berriasiano Superior	3,1 Km	✓	x
J4/K1	Berriasiano Superior Kimmeridgiano tardio	2 Km	x	x
J3	Kimmeridgiano (BA) ou Berriasiano (BP) Caloviano/Oxfordiano	3 Km	✓	✓
T/J2	Caloviano Triássico	4 Km	✓	±

Na mesma publicação, Alves *et al.* (2013) apresentam a interpretação de um perfil sísmico situado na vertente continental da MOI, a oeste da Figueira da Foz (Fig. 3.4), numa posição geográfica muito próxima da de uma das linhas analisadas no presente estudo. Os autores destacam a presença de um diapiro localizado perto do sistema de falhas que separa as bacias da vertente da plataforma continental, situada a oeste.

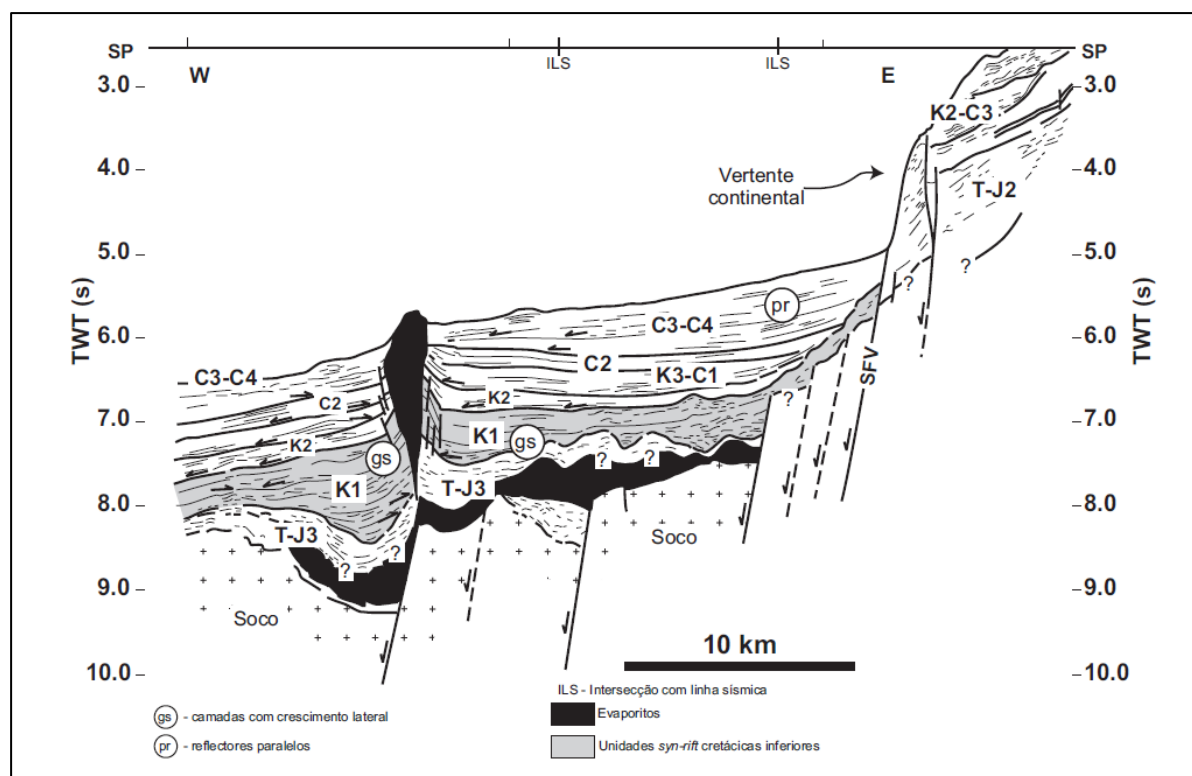


Figura 3.4. As megassequências identificadas no *offshore* profundo, a oeste da Figueira da Foz, na Bacia de Peniche (retirado de Alves *et al.*, 2013).

Mais recentemente e com base em trabalhos de Wilson *et al.* (1989), Rasmussen *et al.* (1998), Alves *et al.* (2009) e Pena dos Reis *et al.* (2011), Cardoso *et al.* (2014) definem 7 unidades sismoestratigráficas na Bacia de Peniche, que os autores consideram correlativas de sequências presentes na Bacia Lusitânica. Para a datação destas unidades, que correspondem a etapas de enchimento e pacotes sedimentares observáveis nos perfis sísmicos, os autores basearam-se em estudos paleontológicos de Ramalho (1971), Azerêdo *et al.* (2003) e Dinis *et al.* (2008). As 7 unidades são: 1. Triásico-Hetangiano (Silves + Dagorda); Sinemuriano-Caloviano (Coimbra + Brenha + Candeeiros); Oxfordiano-Berriasiano (Cabaços+ Montejunto + Abadia + Lourinhã); Berriasiano-Aptiano (Torres Vedras); Aptiano-Campaniano (Figueira da Foz + Cacém); Campaniano-Eoceno (Taveiro + Silveirinha); Eocénico-Miocénico (Benfica + Bom Sucesso + Alcoentre/Amor). A publicação

deste artigo é de grande importância para o presente trabalho pois nele são definidas unidades sismoestratigráficas que os autores consideram como equivalentes nas duas bacias sedimentares que são também alvo do presente estudo.

CAPÍTULO 4

ENQUADRAMENTO DA
ÁREA DE ESTUDO



4. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo apresenta-se a localização geográfica das bacias sedimentares em estudo (em 4.1), a Bacia Lusitânica e a Bacia de Peniche, e descrevem-se os respetivos enquadramentos geológicos e evolução geodinâmica (em 4.2), de modo a contextualizar o presente estudo.

4.1 Enquadramento Geográfico

As bacias Lusitânica e Peniche localizam-se na Margem Ocidental Ibérica, mais concretamente, em território português. Apresentam uma disposição relativamente paralela entre si e correspondem respetivamente ao setor central interior e exterior da margem portuguesa (Pena Reis *et al.*, 2017). As duas bacias estão separadas fisicamente por um alto estrutural conhecido como o bloco das Berlengas (bB) (Fig. 4.1).

4.2. Enquadramento Geológico

A Península Ibérica encontra-se situada na placa Euroasiática, a norte do limite atual entre a placa Africana e a placa Euroasiática (Pinheiro *et al.*, 1996). A sua evolução geodinâmica, tal como acontece com a do globo em geral, é explicada pelos Ciclos de Wilson (ciclo de formação, abertura e fecho de um oceano), que se baseiam na Teoria da Tectónica de Placas (Ribeiro, 2006). A Ibéria exhibe estes ciclos há pelo menos 1000 Ma (Ribeiro, 2006), e o seu registo meso-cenozoico (250 Ma – 0 Ma) é influenciado pelo Ciclo de Wilson do Tétis e do Atlântico (Ribeiro, 2013). O seu soco é maioritariamente condicionado pela influência da Orogenia Varisca (Ciclo de Wilson Varisco), também conhecido na Ibéria como o Maciço Hespérico. Este constitui o fragmento mais contínuo do soco hercínio na Europa. (Ribeiro *et al.*, 1979). O último ciclo (no Meso-Cenozoico) caracteriza-se pela reativação de elementos estruturais da sua herança hercínica (Wilson *et al.*, 1989) e por episódios de compressão variada, devido à Orogenia Alpina, que deram origem à Bacia Lusitânica, à Bacia de Peniche e a outras bacias peri-atlânticas, já anteriormente referidas (ver capítulo 2).

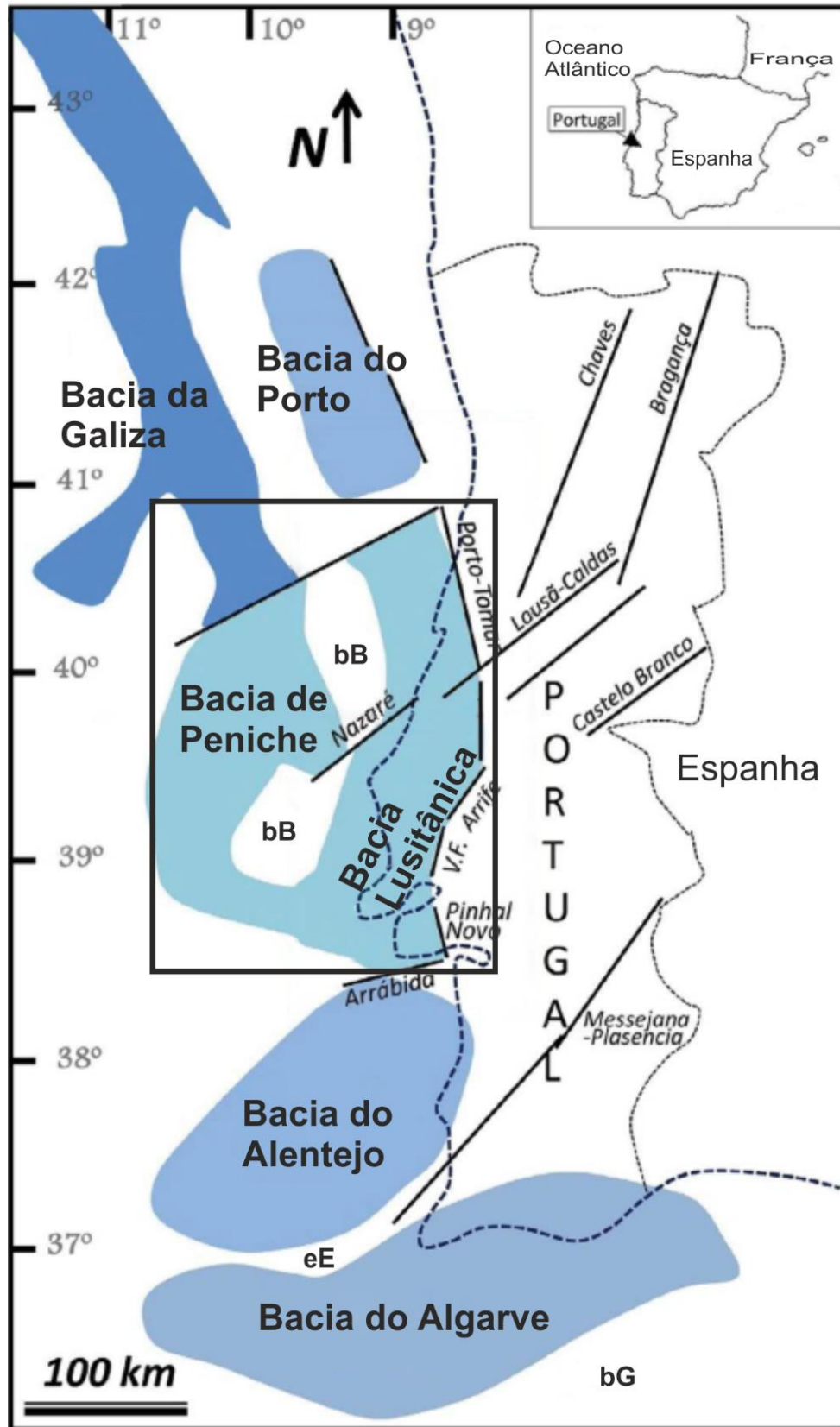


Figura 4.1. Enquadramento geográfico das bacias em estudo na Margem Ocidental Ibérica. (bB - bloco das Berlengas; eE - esporão da Estremadura; bG - bloco de Guadalquivir) (modificado de Pena Reis *et al.*, 2017).

4.2.1. Bacia Lusitânica

A Bacia Lusitânica, que se localiza na parte central da Margem Ibérica Ocidental, ocupa no *onshore* e *offshore* raso português mais de 20 000 quilómetros quadrados, estendendo-se cerca de 200 quilómetros segundo uma direção NNW-SSE e por mais de 100 quilómetros na direção perpendicular (Kullberg *et al.*, 2013). Esta configuração compreende como limite a este o Maciço Hespérico, como bordo oriental a falha Porto-Tomar, como limite a oeste o sistema de *horsts* que aflora no arquipélago Berlengas - Farilhões (Wilson, 1988) e como limite a sul a falha da Arrábida (Fig. 4.1).

A sua evolução tectónica foi condicionada pela distensão mesozoica (Kullberg *et al.*, 2006), relacionada com a abertura do Oceano Atlântico Norte e com a fragmentação do supercontinente Pangeia (separação dos continentes Laurásia, a norte, e Gondwana a sul), contexto gerador desta bacia. O processo de geração teve início no Triássico Superior e a sua evolução durou cerca de 100 milhões de anos (Pena Reis *et al.*, 2012). A estratigrafia da Bacia Lusitânica compreende sedimentos datados do Triássico Superior até ao Cenozoico, que atingem cerca de 5 quilómetros de espessura e são, na maior parte, do Jurássico Superior (cerca de 3 quilómetros) (Pena Reis *et al.*, 2011). Estes sedimentos estão depositados sobre um substrato rochoso do Paleozoico; em algumas partes da bacia o preenchimento sedimentar (do Mesozoico) encontra-se exposto, aflorando *onshore* (Pena Reis *et al.*, 2016).

A história geológica da Bacia Lusitânica (Fig. 4.2) compreende quatro episódios importantes e que influenciaram a sua geometria: Triássico Superior- Jurássico Inferior; Jurássico Médio – Jurássico Superior; Jurássico Superior – Cretácico Inferior; Cretácico Superior – Cenozoico (Wilson, 1988; Rasmussen *et al.*, 1998; Pena Reis *et al.*, 2011). De acordo com Rasmussen *et al.* (1998), o primeiro episódio de *rifting*, que se encontra registado em toda a área da bacia, teve início no Triássico Superior. Este primeiro episódio levou ao desenvolvimento de *grabens* e de *semi-grabens*. A deposição de sedimentos aconteceu sobre este sistema de blocos estruturais por sedimentos de carácter siliciclástico – Grupo de Silves. No Hettangiano, depositaram-se sedimentos argilosos de fácies evaporíticas evidenciando já uma possível comunicação com o Tétis – Formação de Dagorda –, seguindo-se a Formação de Coimbra, marcada por uma espessa acumulação de calcários fossilíferos e dolomíticos – os primeiros níveis correspondentes a ambiente marinho raso (Pena Reis *et al.*, 2010). Ainda no Jurássico Inferior, desenvolveu-se uma rampa epicontinental carbonatada com direção NW -Grupo de Brenha - que traduz a atenuação de subsidência tectónica triássica (Pena Reis *et al.*, 2011).

A passagem do Calloviano (Jurássico Médio) ao Oxfordiano (Jurássico Superior) é marcada por um hiato na deposição sedimentar na Bacia Lusitânica e que está relacionado

com o seu soerguimento e exposição subaérea (Pena Reis *et al.*, 2012). Mas antes, sobre os depósitos do Grupo de Brenha, assenta o Grupo de Candeeiros, também de carácter carbonatado costeiro, dando continuidade a um ambiente deposicional maioritariamente marinho (Pena Reis *et al.*, 2017). São fácies de natureza mais profunda e ricas em matéria orgânica, mas de origem continental, que marcam outra etapa de subsidência tectónica da Bacia Lusitânica. No Jurássico Superior, um segundo episódio de *rifting*, relacionado com a abertura do Atlântico Norte afetou, à escala regional, a Bacia Lusitânica, (Wilson, 1988).

Depois do segundo episódio de *rifting*, a sedimentação retomou no Oxfordiano Médio com a Formação de Cabaços, de carácter margo-calcário, e no Oxfordiano Superior com a Formação de Montejunto de natureza carbonatada (Pena Reis *et al.*, 2011). No Kimmeridgiano, a deposição de origem marinha franca foi interrompida por uma sedimentação maioritariamente terrígena – depósitos aluvio-deltaicos da Formação Boa Viagem e Alcobaça e leques turbidíticos da Formação da Abadia (Pena Reis *et al.*, 2016).

Pena Reis *et al.* (2011) destacam a possibilidade de que esta etapa de sedimentação, bem como a do grupo de Candeeiros, tenha conduzido a uma espessa acumulação de sedimentos, podendo ter acentuado a pressão e a plasticidade desses materiais e promovido, assim, o movimento horizontal e vertical (pelas fraturas regionais) dos evaporitos da Formação Dagorda.

A última etapa de evolução da Bacia Lusitânica é marcada por uma série de discordâncias relacionadas com a finalização da abertura do Oceano Atlântico. Depositaram-se sedimentos carbonatados e siliciclásticos em grande parte da bacia, especialmente no norte, contrariando a deposição de sedimentos clásticos que até então dominavam. Esta etapa deve-se a um episódio de transgressão, que está representado pela Formação do Cacém – carbonatos marinhos que se encontram depositados sobre sedimentos lagunares – Formação de Torres Vedras (Rasmussen *et al.*, 1998) -, evolução que corresponde ao desenvolvimento clássico de uma margem passiva controlada pelo soerguimento de áreas continentais e variação no nível eustático (Pena Reis *et al.*, 2016).

No final do Cretácico Superior, grandes eventos compressivos – relacionados com a orogenia Pirenaica e Alpina - dominaram a Margem Ibérica Ocidental, os quais resultaram em longos períodos de inversão tectónica na Bacia Lusitânica. Tais eventos, que continuam até ao Cenozoico, aconteceram com especial incidência no Miocénico Superior, o que pode ter eliminado registos do Eocénico e do Oligocénico (Rasmussen *et al.*, 1998).

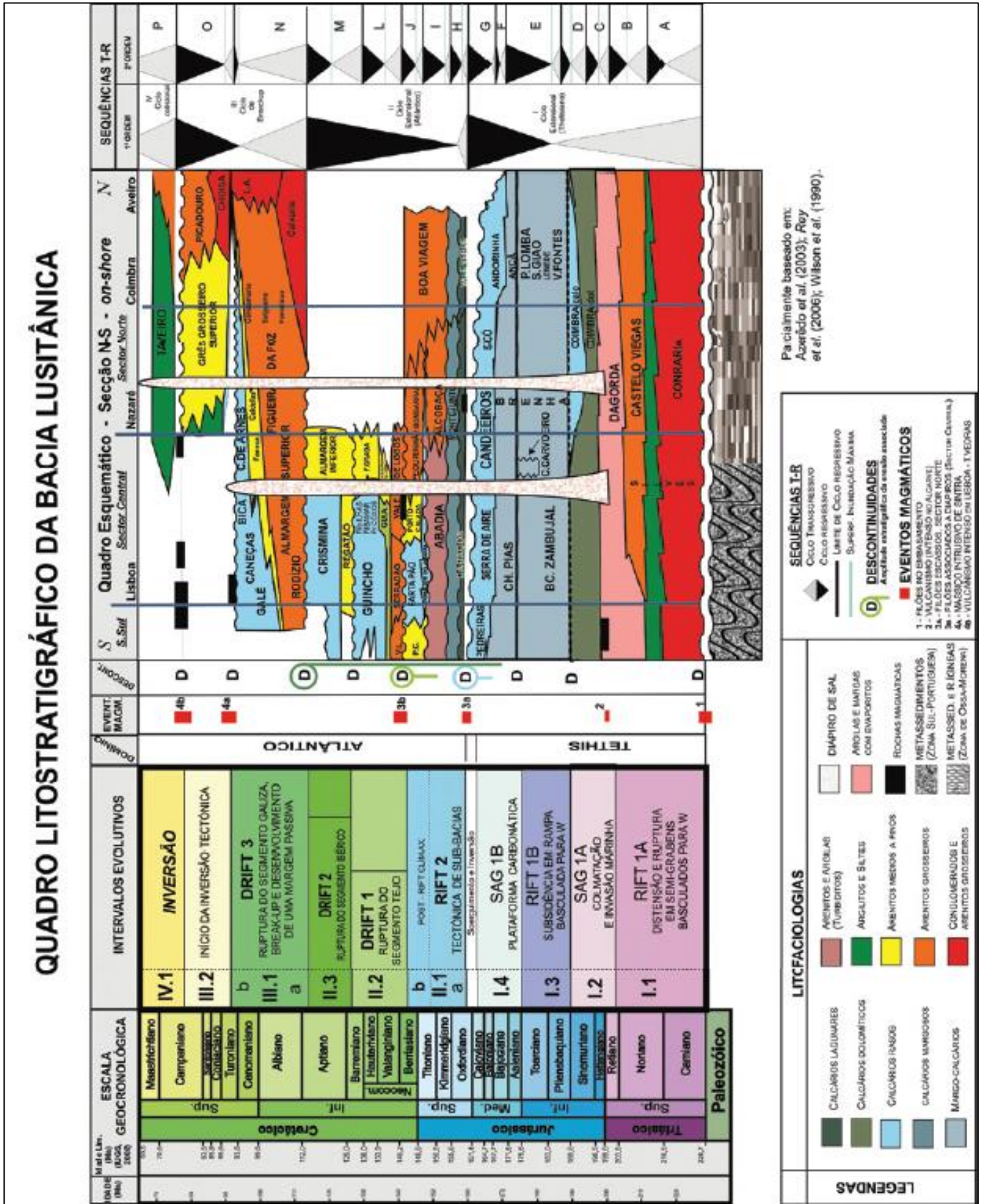


Figura 4.2. Quadro estratigráfico da evolução geodinâmica da Bacia Lusitânica (modificado de Pena Reis et al., 2011).

4.2.2 Bacia de Peniche

De acordo com Alves *et al.* (2006), a Bacia de Peniche situa-se no *offshore* profundo da Margem Ocidental Ibérica, em território português, ocupando uma área com cerca de 300 quilómetros, e apresenta um alinhamento estrutural que segue maioritariamente uma direção N-S (Fig. 4.1). É composta por diferentes setores que se encontram divididos por alinhamentos tectónicos, os quais correspondem à localização de canhões submarinos com grande relevo.

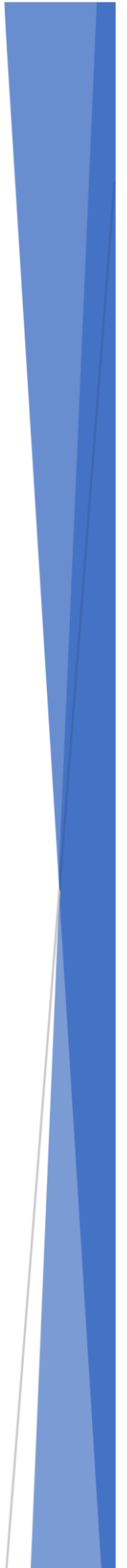
O setor mais setentrional da Bacia de Peniche é limitado pela falha de Aveiro, que a separa da bacia interior da Galiza. O setor 2 corresponde à parte central e é separado do setor 3, a sul, pela falha da Nazaré. No setor 1 a bacia é composta maioritariamente por mini-bacias, e no setor 2 apresenta a maior incidência de extrusão de diapiros. Reconhecem-se, na bacia, três tipos de falhas normais, com direção dominante de NE-SW, e secundária de N-NW-SSE e N-S.

Alves *et al.* (*op. cit.*) referem que a fase inicial de *rifting* na Bacia de Peniche está representada pela deposição de unidades do Triássico ao Berriasiano sobre uma série de blocos basculados – a primeira unidade depositada, T-J1, é caracterizada por sedimentos siliciclásticos de origem continental a marinhos pouco profundos e ainda evaporitos, que se depositaram sobre um sistema de *grabens* e *semi-grabens*. Sobre esta a unidade, assenta a unidade J2, no Sinemuriano, com sedimentos carbonatados marinhos e xistos argilosos. Segue-se a unidade J3, do Oxfordiano Inferior, que é caracterizada por sedimentos pré-rifte siliciclásticos e carbonatados no setor 2 e feições turbidíticas na parte mais profunda dos setores 1 e 2. No Cretácico Inferior, a Bacia de Peniche apresenta sub-bacias caracterizadas por sedimentos de rifte-clímax – Unidades K1 e K2. Estas encontram-se limitadas a uma área alongada, de aproximadamente 100 quilómetros, ao longo do talude continental.

No Cretácico Superior e no Cenozoico, o transporte de sedimentos para a bacia derivou de regiões pouco profundas da margem ibérica ocidental - Unidades C1, C2, C3 e C4, que apresentam, no geral, sedimentos pelágicos, hemipelágicos e intercalação de turbiditos arenosos e argilosos. Após o Cenozoico, a bacia foi afetada pelo tectonismo associado à Orogenia Alpina, o que resultou, localmente, numa inversão tectónica, causando levantamento regional e, por conseguinte, rejuvenescimento da fonte de sedimentos em áreas pouco profundas na margem. Este tectonismo promoveu, também, a reativação das estruturas herdadas do Mesozoico.

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA



5. METODOLOGIA

Neste capítulo serão abordadas as metodologias adotadas para a realização da componente prática referente ao presente estudo. Este projeto teve como base trabalho de gabinete, durante o qual se procedeu à revisão de literatura relevante para a interpretação sismoestratigráfica de bacias sedimentares, nomeadamente acerca dos fundamentos teóricos da sismoestratigrafia (em 5.1.), que permitem sustentar a análise das reflexões num perfil sísmico (em 5.2): o estudo dos padrões de terminação (em 5.2.1.) e dos parâmetros sísmicos (em 5.2.2.). Em 5.3. apresenta-se e descreve-se a ferramenta informática utilizada na presente investigação, o software PETREL® Schlumberger 2017.

5.1. Fundamentos Teóricos da Sismoestratigrafia

Em sismoestratigrafia, tal como referido anteriormente (ver capítulo 2), aplicam-se os conceitos da estratigrafia clássica. O conceito de sequência deposicional – “unidade estratigráfica composta por uma sucessão contínua de estratos que se encontram geneticamente relacionados e limitados no seu topo e base por discordâncias ou pelas suas conformidades correlativas” (Mitchum *et al.*, 1977a, p. 53) – apresenta o mesmo significado que o de uma sequência sísmica definida numa secção sísmica. O conceito de sequência deposicional, sequência sísmica em sismoestratigrafia, assume significado cronostratigráfico, pois os seus limites (em estratigrafia: discordância, hiato e conformidade) permitem inferir e delimitar o intervalo de tempo geológico durante o qual as rochas que compõem os estratos foram depositadas (Mitchum *et al.*, *op. cit.*).

O método de estudo num perfil sísmico compreende o estabelecimento das sequências acima mencionadas e a identificação de fácies sísmicas (Alonso, 1989). Para estabelecer uma sequência sísmica é necessário subdividir uma secção sísmica em pacotes de reflexões que sejam limitados por superfícies discordantes e que apresentem reflexões significativamente concordantes e características similares; esta informação é dada pelo estudo do padrão de terminação. Após a delimitação dos limites superiores e inferiores de um pacote sísmico segue-se o reconhecimento das fácies sísmicas. Estas caracterizam-se pela análise dos parâmetros sísmicos, tais como configuração, continuidade, amplitude, frequência, intervalo de velocidade e geometria do pacote de reflexões. A partir desta análise inferem-se o ambiente deposicional, a energia associada ao momento da deposição e o potencial litológico da interface sísmica associada ao padrão de reflexão único, o qual é sinónimo de estratificação em sismoestratigrafia (Mitchum *et al.*, 1977b), sendo possível definir, posteriormente, as unidades litossísmicas (ver capítulo 2).

5.2. Análise das Reflexões Sísmicas

Mitchum *et al.* (*op.cit.*) estabelecem uma nomenclatura sismoestratigráfica utilizada no presente estudo e que, de seguida, se descreve em detalhe. Assim, os autores definem cinco tipos de padrões específicos de terminação para as reflexões: *onlap*, *downlap*, *toplap*, truncatura e concordância. Relativamente às configurações internas que um grupo de reflexões pode exibir, os mesmos autores distinguem: paralela a subparalela, divergente, caótica e transparente; para configurações progradantes diferenciam: sigmoidal, oblíqua paralela/tangencial, sigmoidal oblíqua, *shingel* e *hummocky*. Já para a forma externa, definem: laminar paralela, em cunha, em banco, laminar ondulada, lenticular (*lens*), em montículo (*mound*) e de preenchimento (*fill form*).

5.2.1. Padrões de Terminação

Relativamente ao padrão de terminação distinguem-se dois grandes tipos: *lapout* e truncatura. *Lapout* representa uma terminação de um pacote sísmico no seu limite deposicional original, e truncatura refere-se à terminação lateral de um pacote sísmico que foi retirado do seu limite deposicional original (Fig. 5.1.).

O padrão em *onlap* e *downlap* (quando não é possível diferenciar assumem o termo *baselap*) são uma terminação em *lapout* na interface inferior de um refletor sísmico. O padrão em *onlap* representa-se por um estrato inicialmente horizontal, que termina lateralmente contra uma superfície de maior inclinação, contrariando o padrão de terminação *downlap*, que termina contra uma superfície de menor inclinação ou até horizontal. Estes padrões são bons indicadores de hiatos de não-deposição. *Toplap* representa uma terminação em *lapout* no limite superior de um refletor sísmico. Este padrão é observado em pacotes de reflexões que se encontram inicialmente inclinados e que terminam contra uma superfície suprajacente de menor inclinação como resultado de não-deposição e de pouca erosão.

Numa terminação em truncatura o pacote de reflexões termina contra uma superfície discordante, que provém de um limite estrutural ou erosivo e assim, torna-se no critério mais fiável para a identificação do limite superior do refletor sísmico. Para finalizar, a terminação em concordância representa a manutenção das condições de deposição, pois o pacote de reflexões apresenta-se paralelo ou subparalela contra o limite superior ou inferior, sem demonstrar qualquer tipo de discordância ou descontinuidade.

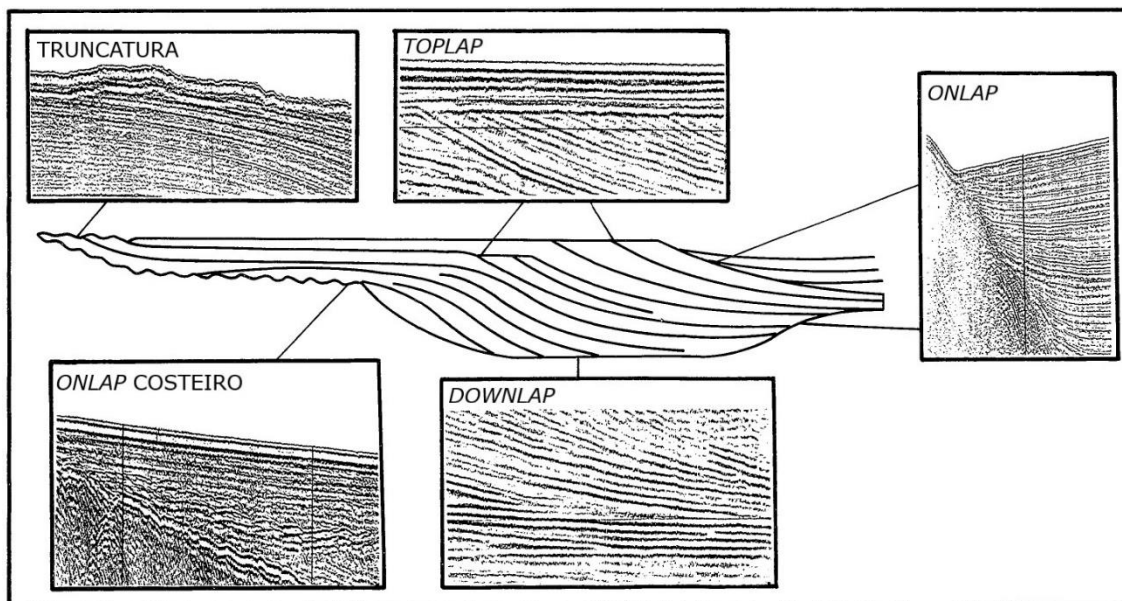


Figura 5.1. Esquema representativo de uma configuração progredente sigmoidal com cinco exemplos de padrões de terminações importantes para o estudo em sísmoestratigrafia (modificado de Alonso *et al.*, 1989).

5.2.2. Parâmetros Sísmicos

Uma fácies sísmica é caracterizada pelo pacote de reflexões que apresentam um conjunto de parâmetros sísmicos específicos e que a permitem diferenciar dos pacotes adjacentes. Esses parâmetros são: configuração, amplitude, continuidade, frequência e intervalo de velocidade, e cada um deles traduz informação sobre a geologia da subsuperfície (Mitchum *et al.*, *op.cit.*).

A continuidade está associada à continuação física de reflexões no mesmo horizonte, pelo que uma ampla continuidade representa extensão lateral e um depósito estratificado relativamente uniforme. A amplitude é utilizada para prever mudanças laterais de espaço e ocorrências de hidrocarbonetos – conteúdos em fluidos – pois este parâmetro oferece informação sobre possíveis contrastes na velocidade e densidade (impedância acústica) em refletores individuais. A frequência está relacionada com o pulso sísmico e representa, numa relação inversamente proporcional, a espessura da camada, isto é, quanto maior a frequência, menor a espessura do estrato. O intervalo de velocidade, que traduz mudanças bruscas na velocidade de reflexão, quando apresenta mudanças laterais, pode constituir um indicador da presença de gás.

As configurações geométricas das reflexões revelam o padrão de estratificação das camadas, o que permite interpretar os processos de deposição, a existência não de erosão significativa, a paleotopografia e o contacto com fluidos (Mitchum *et al.*, *op.cit.*). A análise da configuração de uma fácies sísmica compreende o estudo da configuração interna (2D; Figs. 5.2-5.4) e a forma externa (3D), e ambas têm de ser descritas para se compreender a

relação geométrica e o ambiente deposicional de uma fácies sísmica. Numa só forma externa é possível reconhecerem-se vários padrões de configuração interna.

5.2.2.1. Configurações Internas

Uma configuração interna de reflexões paralela a subparalela sugere uma taxa de deposição uniforme, especialmente associada a plataformas continentais e bacias sedimentares que apresentem uma geomorfologia simples. Reflexões que apresentem uma configuração em padrão divergente significam a perda de espaço lateral de acomodação e alterações na taxa de sedimentação ou a progressiva inclinação, para a direção que convergem, da superfície de deposição (Fig. 5.2.).

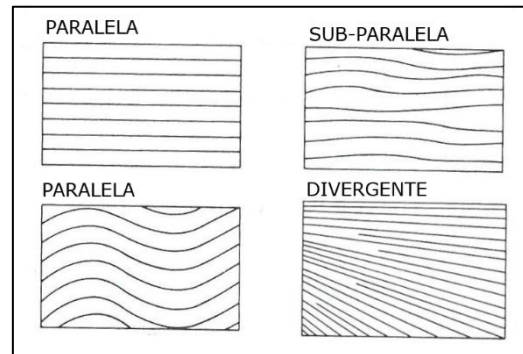


Figura 5.2. Tipos de configuração interna que as reflexões podem apresentar (modificado de Mitchum *et al.*,1977b).

As reflexões que apresentem um arranjo desordenado, descontínuo e discordante são caracterizadas por uma configuração caótica (Fig. 5.3). Esta configuração representa estratos que se depositaram num ambiente variado associado a alta energia ou estratos que foram deformados posteriormente (deformação penecontemporânea) e cuja deposição contínua original foi interrompida. Uma configuração transparente caracteriza-se por um padrão homogêneo, de não estratificação, revelando uma ausência de reflexões (Fig. 5.3). Esta configuração é comum quando estas reflexões penetram grandes massas de intrusões ígneas ou domos salinos.

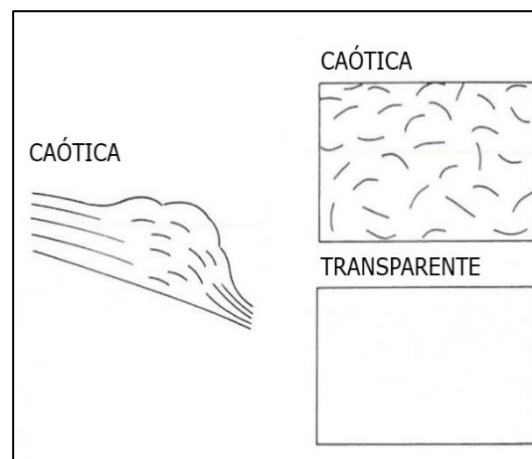


Figura 5.3. Tipos de configuração caótica interna que as reflexões podem apresentar (modificado de Mitchum *et al.*,1977b).

As configurações internas progradantes apresentam-se mais complexas, estando associadas a clinofórmulas, nas quais se regista um desenvolvimento lateral progressivo de superfícies de deposição ligeiramente inclinadas (Fig. 5.4). As diferenças nos padrões de configurações progradantes resultam, em grande parte, das variações na taxa de deposição e na profundidade da água, sendo possível que, em alguns casos, o ambiente de deposição possa também interferir.

Uma configuração sigmoidal é um padrão em clinofoma progradante formado pela justaposição de reflexões em forma de S, e é interpretada como um conjunto de estratos ligeiramente inclinados e estreitos nos segmentos inferiores, e mais espessos e inclinados nos segmentos médios. Esta configuração sugere uma taxa de fornecimento de sedimentos baixa, e/ou uma subsidência relativamente rápida na bacia em estudo, e/ou uma rápida subida do nível do mar de modo a permitir deposição e preservação do limite superior. Uma configuração oblíqua é um padrão progradante interpretado como representativo de estratos com uma elevada inclinação, que terminam no seu limite superior em *toplap* e no seu limite inferior em *downlap*, estreitando próximo da terminação da unidade. Esta configuração divide-se em oblíqua tangencial e oblíqua paralela. Uma configuração oblíqua tangencial é um padrão progradante em que o mergulho dos estratos diminui gradualmente do topo para a sua base, terminando em concordância. Com forma oblíqua paralela, os estratos são relativamente paralelos e terminam no refletor inferior com um mergulho acentuado, perfazendo um ângulo elevado contra esse mesmo refletor. A configuração progradante oblíqua implica alternâncias nas condições de deposição e fornecimento de sedimentos, subsidência total ou parcialmente ausente e uma estabilização do nível do mar. Uma configuração oblíqua sigmoidal é um padrão em clinofoma progradante que combina alternadamente o padrão sigmoidal e o padrão oblíquo dentro de uma mesma fácies sísmica. Este padrão está normalmente associado a um ambiente de deposição de elevada energia. Uma configuração em *shingled* é caracterizada por um padrão sísmico progradante estreito, em que os limites superior e inferior se apresentam relativamente paralelos entre si; os seus refletores internos apresentam uma geometria oblíqua, mas de pequena inclinação, o que sugere progradação das unidades em águas pouco profundas. Por fim, numa configuração progradante em *hummocky* a geometria interna das reflexões é irregular e descontínua, apresentando assim uma configuração aleatória. É uma configuração comum na representação de estratos depositados em águas profundas, por exemplo canais de turbiditos, de ambientes deposicionais pro-deltaicos a inter-deltaicos.

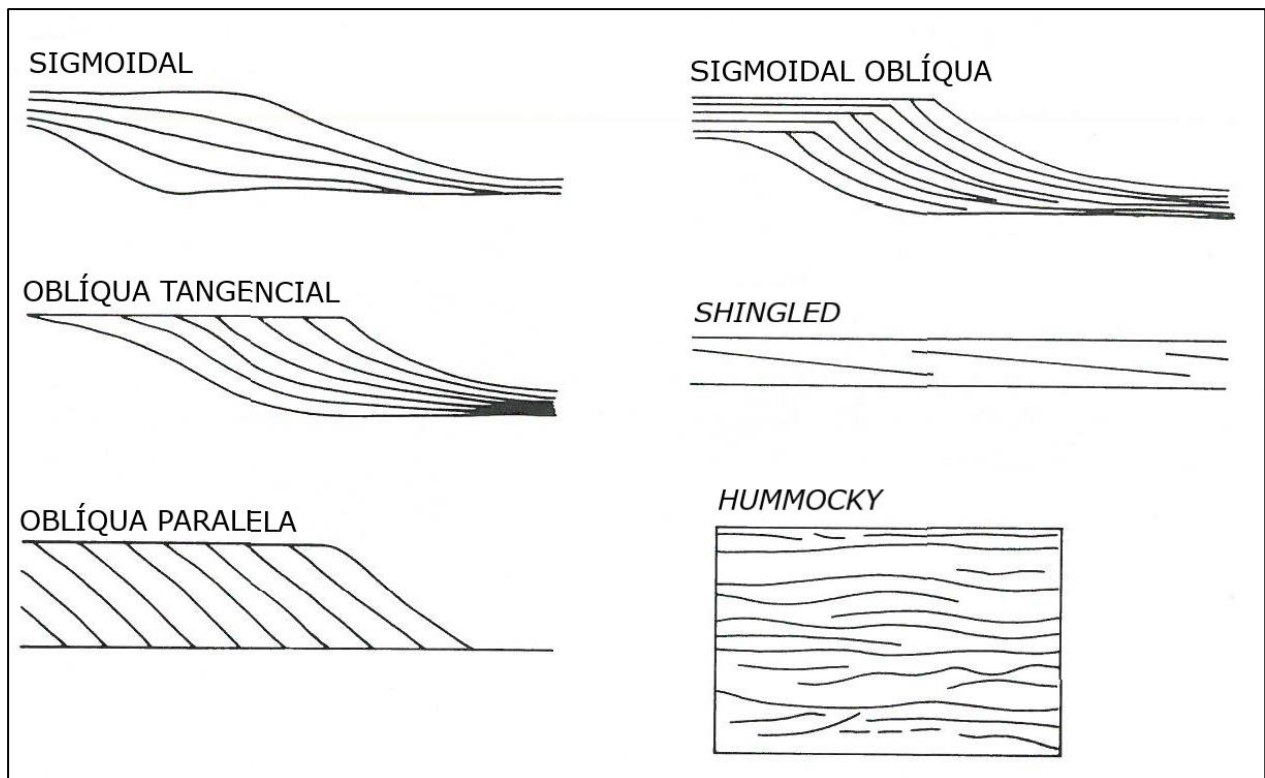


Figura 5.4. Tipos de configurações internas progradantes (modificado de Mitchum *et al.*, 1977b).

5.2.2.2. Configurações Externas

Os pacotes de reflexões podem exibir vários tipos de formas externas (Fig. 5.5). As formas externas em lâmina, cunha e banco são de grande dimensão e as mais comuns em fácies sísmicas de plataforma. Consistem, normalmente, em reflexões paralelas interpretadas como estratos dispostos sobre uma topografia uniforme, de baixa energia. A forma externa lenticular (*lens*) pode ocorrer em muitas associações de fácies sísmicas, mas o mais comum é estar associada a fácies que apresentem uma configuração progradante em clinofoma. As formas em montículo e de preenchimento podem ser divididas de acordo com a sua origem, com a sua configuração interna e com modificações na forma. Os montículos são configurações externas de reflexões representativas de estratos topograficamente elevados em relação aos estratos adjacentes. As pequenas dimensões dos montículos permitem que os seus limites externos possam ser reconhecidos numa secção sísmica, sendo caracterizados por padrões *onlap* ou *downlap* que terminam contra os estratos sobrepostos que o rodeiam. O preenchimento é uma forma externa que se caracteriza pelo enchimento de depressões nos estratos adjacentes, representando estruturas como canais de erosão, canhões submarinos, aluviões e outros tipos de depressões.

O estudo das relações geométricas, genéticas e comportamentais das reflexões sísmicas é a base da sismoestratigrafia, e constitui uma ferramenta fulcral para o estudo da subsuperfície terrestre. Estas relações geométricas, subjacentes a cada parâmetro sísmico, traduzem informação geológica específica, tal como se apresenta, de forma sintética, na tabela 2. A análise destes parâmetros fundamenta a interpretação das linhas sísmicas utilizadas no presente estudo, e que se apresenta no capítulo 6.

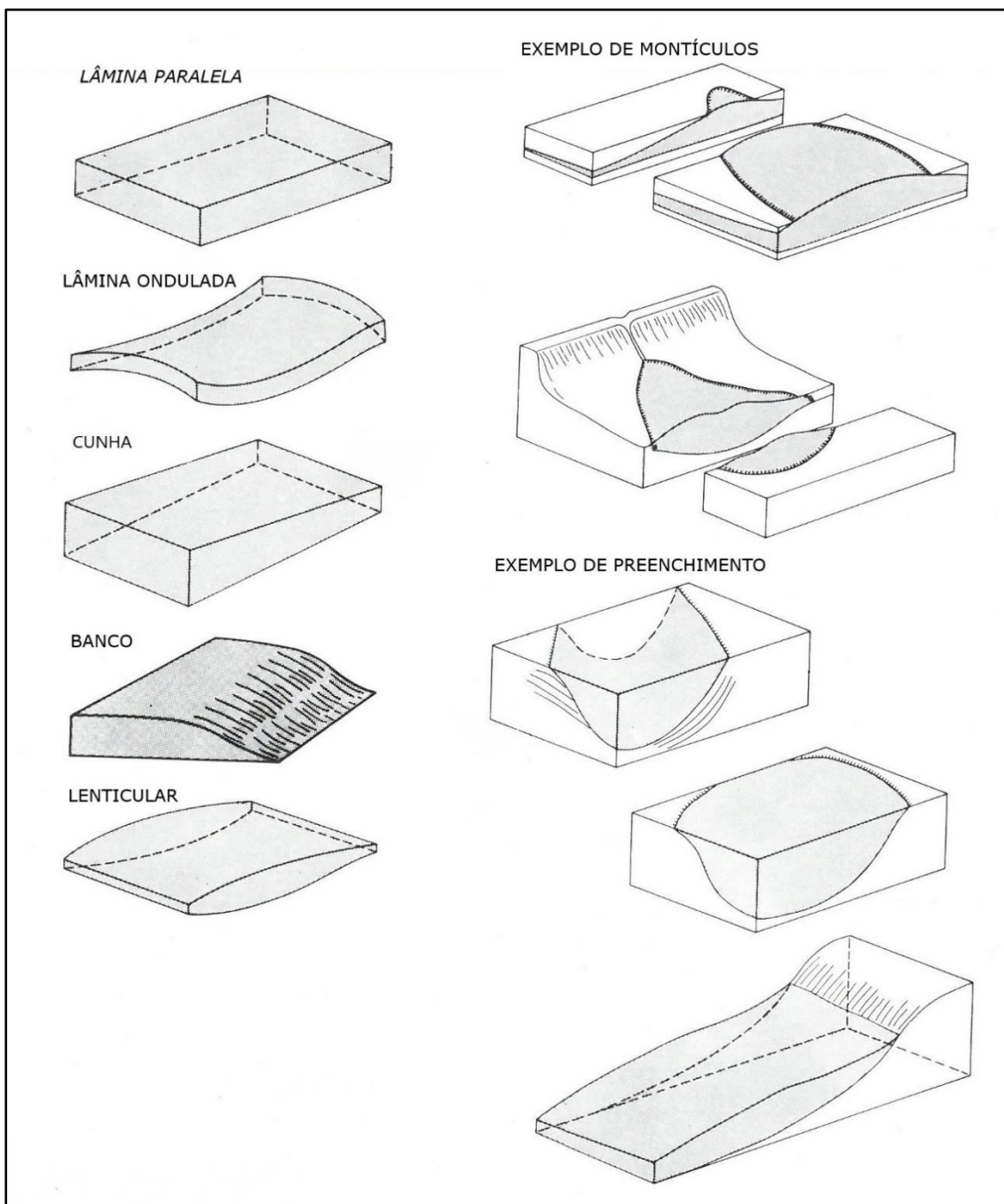


Figura 5.5. Exemplo de alguns tipos de formas externas que os pacotes de reflexões podem exibir (modificado de Mitchum *et al.*, 1977b).

Tabela 2. Parâmetros sísmicos e o respetivo significado geológico (baseado em Mitchum *et al.*, 1977b).

Parâmetros Sísmicos	Significado Geológico
Configuração	Padrão de Estratificação Processos de Deposição Erosão e Paleotopografia Contacto com Fluídos
Continuidade	Continuidade da Estratificação Processos de Deposição
Amplitude	Contraste na Impedância Acústica Espaço entre Camadas Conteúdo em Fluídos
Frequência	Espessura dos Estratos Conteúdo em Fluídos
Intervalo de Velocidade	Estimação de Litologia Estimação da Porosidade Conteúdo em Fluídos
Forma Externa	Ambiente de Deposição Fornecimento de Sedimentos Enquadramento Geológico

5.3. O Software PETREL® Schlumberger 2017

A análise sismoestratigráfica das linhas adquiridas na Bacia Lusitânica foi efetuada com o auxílio do software PETREL® Schlumberger 2017 ao abrigo da Licença Académica fornecida ao Professor Doutor Roberto Fainstein. Este é um programa de Prospeção e Pesquisa (P&P) criado pela *start-up* norueguesa Technoguide em 1996, tendo sido lançado ao público em dezembro de 1998. A partir desta data, a empresa francesa Schlumberger desenvolveu e tornou este software numa ferramenta geológica interdisciplinar, essencial para a integração multiescalar de reservatório, cuja importância tem vindo a destacar-se ao longo dos últimos anos (Lomas *et al.*, 2018).

O software PETREL® Schlumberger 2017 é utilizado, principalmente, no âmbito da indústria dos hidrocarbonetos. Esta plataforma de P&P abrange competências tais como, a

interpretação dos dados de aquisição sísmica (2D/3D/4D), a correlação com sondagens de perfuração, a simulação de modelos de reservatório, a inserção e visualização de resultados de simulação, o cálculo de volumes, a criação de mapas e o desenvolvimento de estratégias para maximizar a prospecção de reservatórios com o fim de prever melhor a qualidade dos mesmos (Fainstein, 2020, *comunicação pessoal*).

Para a análise sismoestratigráfica realizada no presente estudo procedeu-se à inserção das linhas sísmicas da Bacia Lusitânica com a respetiva referência geográfica no *software*. Para tal, utilizou-se o ícone de interpretação para o reconhecimento dos horizontes e falhas, efetuou-se o *tie* para as diversas linhas no que diz respeito aos horizontes e falhas e definiu-se o aspeto estrutural regional com base nas linhas interpretadas e na análise detalhada que teve por base os princípios geológicos e sismoestratigráficos (Figura 5.6).

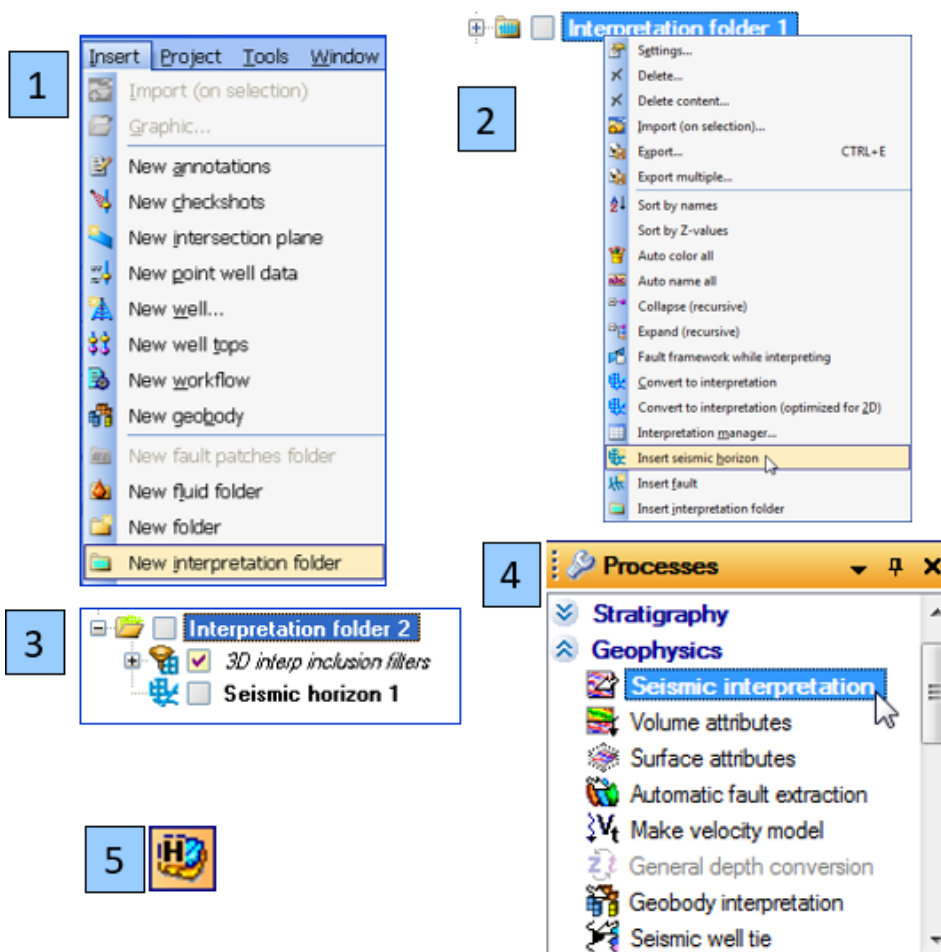
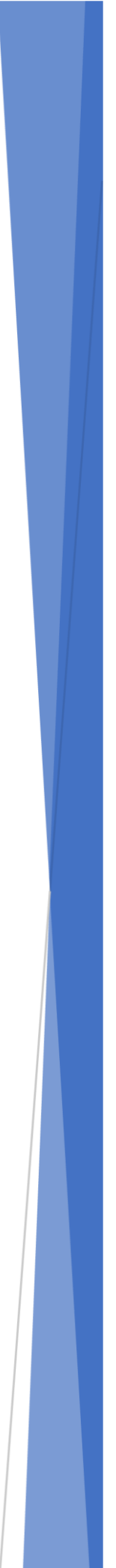


Figura 5.6. Procedimentos utilizados para o reconhecimento de horizontes sísmicos através do *software* PETREL® Schlumberger 2017 (Fainstein, 2020, *comunicação pessoal*).

Para a Bacia de Peniche, analisaram-se as linhas impressas em papel para determinar as amplitudes sísmicas, definir os horizontes sempre que possível e inferir o seu significado geológico. Por fim, procedeu-se à compilação e integração dos resultados para o estudo comparativo das áreas do presente trabalho, que são objeto de apresentação e discussão no capítulo 6.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS E
DISCUSSÃO



6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo procede-se à descrição dos horizontes sísmicos reconhecidos (em 6.1), bem como à interpretação das linhas sísmicas utilizadas neste estudo na Bacia Lusitânica e na Bacia Peniche (em 6.2). Por fim, apresentam-se os resultados obtidos a partir da integração da informação (inédita e publicada) para as duas bacias e num contexto regional (em 6.3).

6.1. Horizontes Sísmicos

As linhas sísmicas analisadas no presente estudo não foram objeto de tratamento e processamento por parte da autora. Os horizontes sísmicos reconhecidos (Tabela 3) basearam-se em Alves *et al.* (2006), Cardoso *et al.* (2014) e Pimentel *et al.* (2016), bem como na metodologia subjacente à estratigrafia sísmica referida na literatura e anteriormente discutida (ver capítulo 5).

Os horizontes reconhecidos estão definidos pelo limite do topo da unidade que representam; o seu limite inferior está definido pelo limite superior da unidade infra-jacente. Este reconhecimento foi estabelecido a partir de uma análise mais abrangente devido à fraca resolução das linhas sísmicas, o que não permite uma análise mais detalhada dos pacotes sísmicos que compõem cada unidade litossísmica. Além desta limitação, reconhece-se uma outra. Ao contrário da Bacia Lusitânica, a Bacia de Peniche nunca foi alvo de qualquer tipo de furo de prospeção, pelo que a informação obtida a partir da análise das respetivas linhas sísmicas tem um carácter mais interpretativo.

Nas linhas da Bacia Lusitânica não é possível reconhecer o horizonte que engloba o Triássico Superior e que contém o sal. O limite entre este e o soco do Paleozoico também não é possível de delimitar devido à fraca resolução das linhas sísmicas. E, sendo assim, o topo do Triássico não está representado nas interpretações que se apresentam, sendo considerado como soco acústico. Os autores acima referidos conseguem nas linhas que analisaram reconhecer duas descontinuidades importantes, a do Caloviano e a do Aptiano; no entanto, no presente trabalho, tal não foi possível, mais uma vez devido à fraca resolução das linhas sísmicas. O enchimento do Jurássico e do Cretácico encontra-se, na generalidade, deformado, o que facilitou o seu reconhecimento. Já as camadas que apresentam refletores mais horizontais são características do Cenozoico.

Nas linhas da Bacia de Peniche também não é possível reconhecer o horizonte que engloba o Triássico Superior. Mesmo as restantes unidades litossísmicas são de difícil reconhecimento. A exceção é o enchimento do Jurássico e do Cretácico, com a deformação

que lhe é característica, e o Cenozoico, com os refletores mais horizontais, e bem expresso no setor oriental da linha.

Tabela 3. Unidades reconhecidas da Bacia Lusitânica no presente estudo.

UNIDADE SÍSMICA	IDADE
HORIZONTE 5 (H5)	Cenozoico
HORIZONTE 4 (H4)	Cretácico Superior
HORIZONTE 3 (H3)	Cretácico Inferior
HORIZONTE 2 (H2)	Jurássico Superior
HORIZONTE 1 (H1)	Jurássico Inferior a Médio

A descrição e a interpretação das unidades reconhecidas no presente estudo permitiram a identificação de estruturas geológicas nas bacias de Peniche e Lusitânica, que serão analisadas na secção seguinte.

6.2. Interpretação das Linhas Sísmicas

Para o estudo do *offshore* da Bacia Lusitânica foram seleccionadas cinco linhas sísmicas 2D multicanais, cuja localização aproximada está representada na figura 6.1. Este conjunto de linhas é composto por duas linhas *deep* W-E (D1 e D2) e três linhas transversais com direcções NW-SE (T2 e T3) e com direcção SW-NE (T1). Para a Bacia de Peniche foram disponibilizadas duas linhas sísmicas, ambas com direcção WSW-ENE e localizadas no setor a sul da bacia.

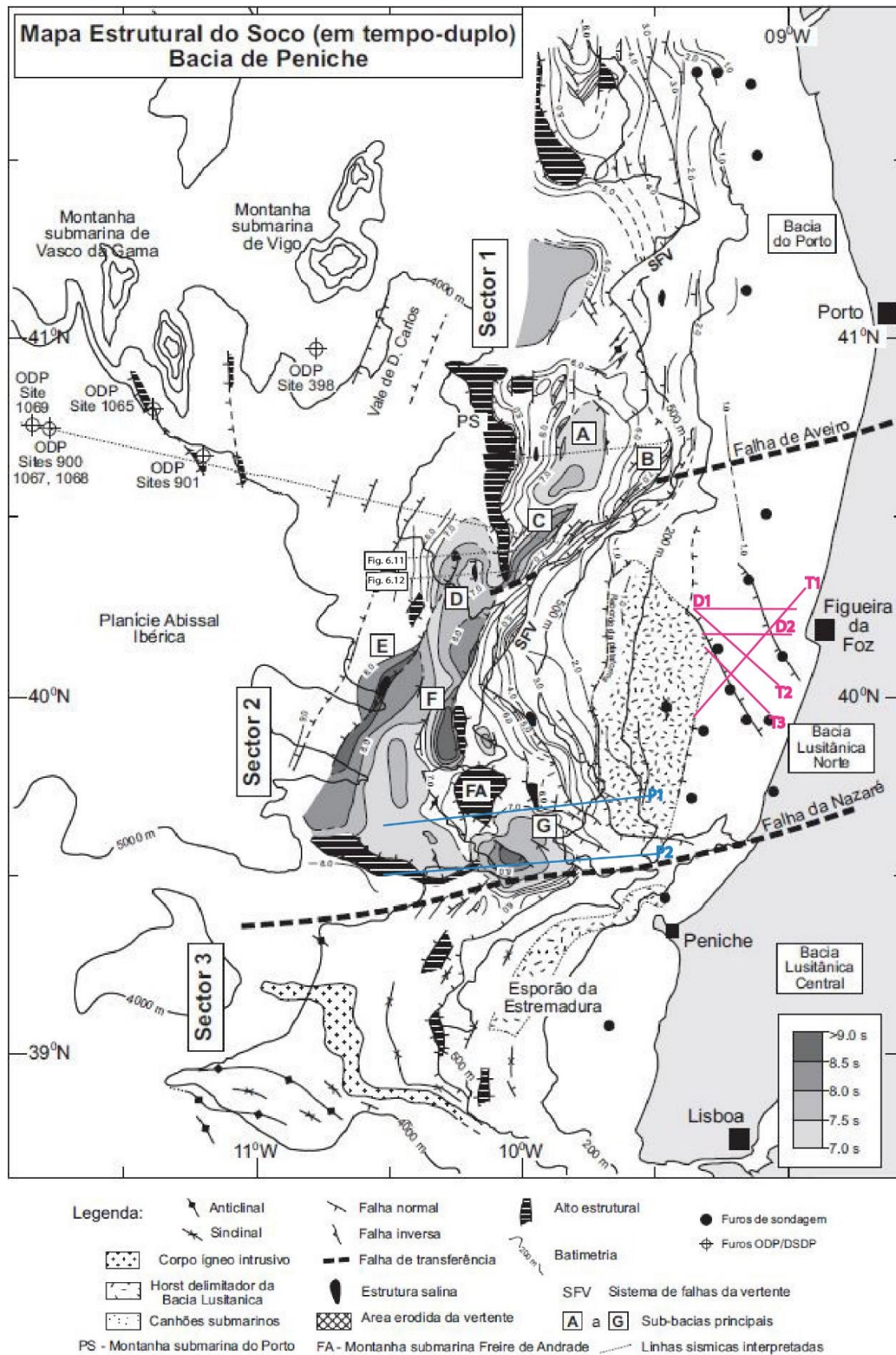


Figura 6.1. Localização das linhas sísmicas analisadas. A linha D1, D2, T1, T2 e T3 localizam-se na Bacia Lusitânica. As linhas P1 e P2 situam-se no setor a sul da Bacia de Peniche (modificado de Alves *et al.*, 2013).

6.2.1. Interpretação da linha S84-19 (T1) da Bacia Lusitânica

Na parte central deste perfil, localizado na figura 6.1, reconhecem-se estruturas de arqueamento de camadas que aparentam ser dois domos estreitos de sal. Estes apresentam feições penetrativas, aflorando ao nível do mar, e criando assim duas mini-bacias de pouca profundidade. Estes domos mergulham em direção ao sul, em estrutura monoclinal. A norte do domo central, no flanco norte, encontra-se uma estrutura em *turtle-neck*, isto é, um sinclinal levemente invertido devido ao movimento do domo de sal mais próximo, o que indica uma inversão tectónica (possivelmente no fim do Cretácico).

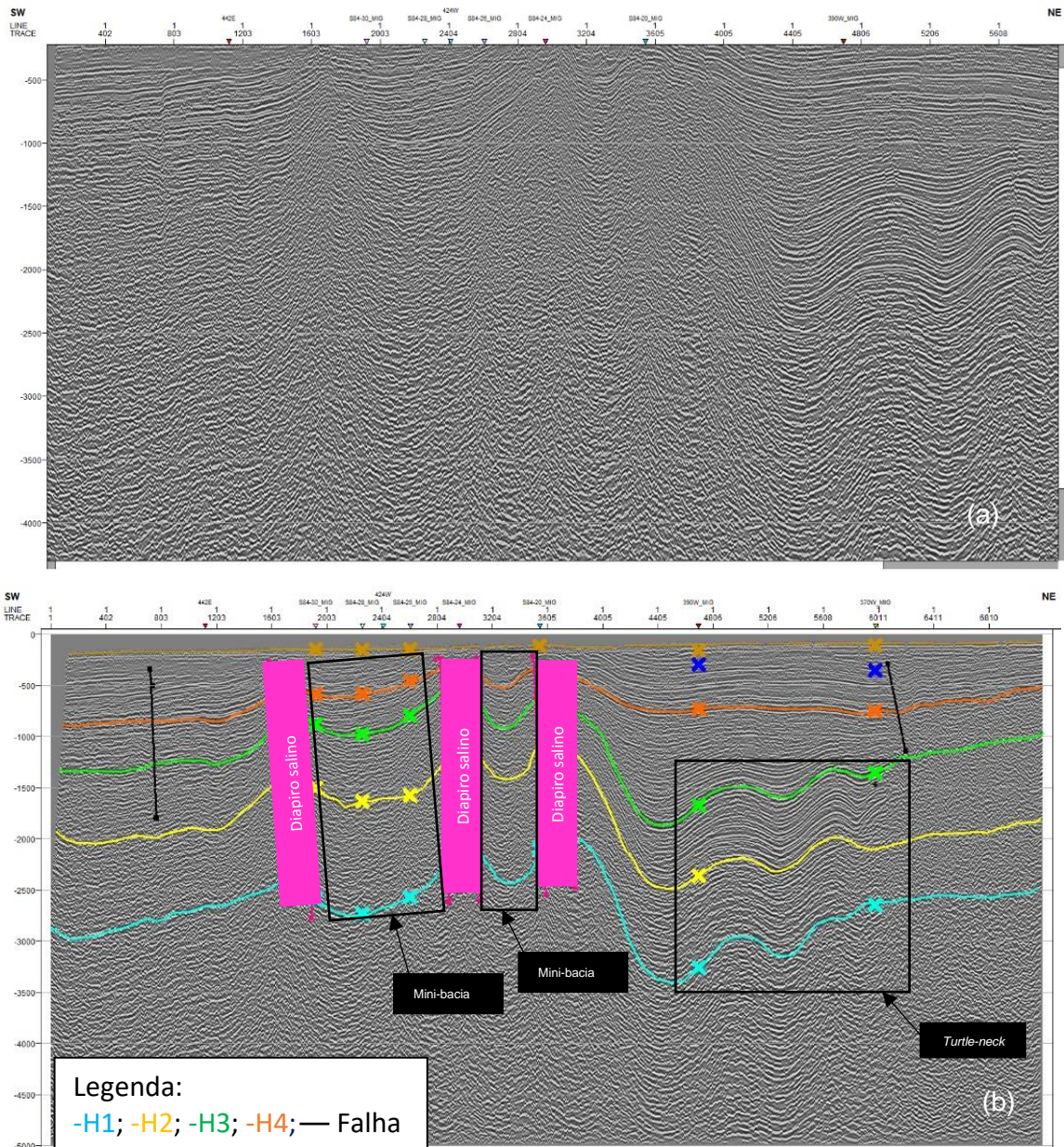


Figura 6.2. (a) Secção sísmica e (b) respetiva interpretação da linha sísmica S84-19 transversal adquirida ao largo da Figueira Da Foz. Ver figura 6.1 para a sua localização.

6.2.2 Interpretação da linha S84-26 (T2) da Bacia Lusitânica

Neste perfil continuam em evidência dois domos salinos como feições principais, bem como a modificação estrutural a eles associada, nomeadamente uma “mini-bacia” na zona sudeste do perfil. O domo na parte central chegou a penetrar a superfície ocorrendo inversão tectónica nas camadas mais próximas. É possível reconhecer pelo menos um *pinch-out* (redução de espessura da unidade perante uma terminação em *onlap*) na zona noroeste do perfil.

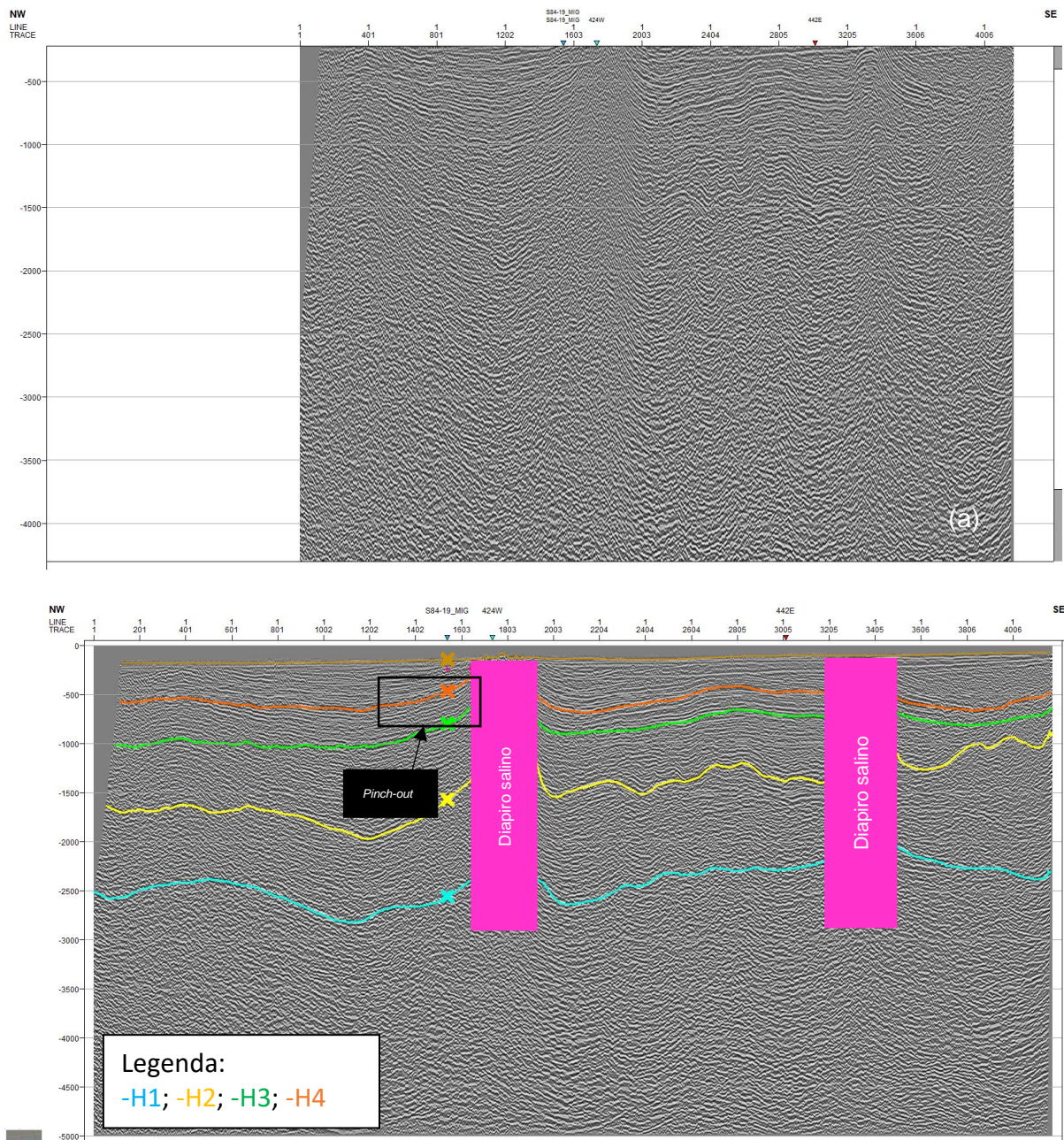


Fig. 6.3. (a) Secção sísmica e (b) respetiva interpretação da linha sísmica transversal S84-26 adquirida ao largo da Figueira Da Foz. Ver figura 6.1 para a sua localização.

6.2.3. Interpretação da linha S84-28 (T3) da Bacia Lusitânica

Este perfil encontra-se numa posição oblíqua relativamente ao mergulho principal das bacias estudadas. Apresenta inversão tectónica causada pela influência salina na parte NE do perfil um domo de sal. Neste perfil, na direção SE reconhece-se ainda uma feição sísmica característica de um escape de fluido em direção ao fundo do mar.

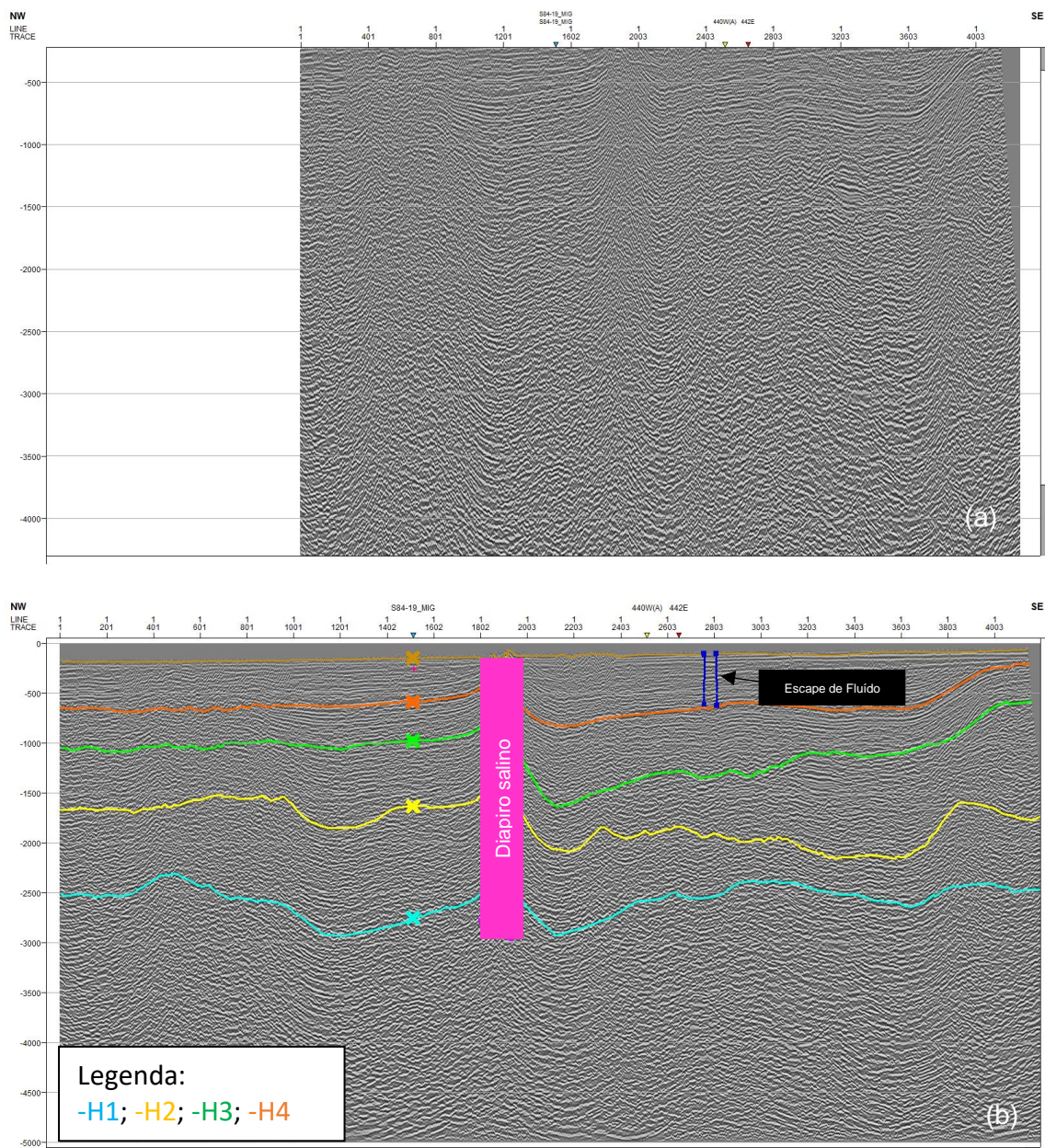


Fig. 6.4. (a) Secção sísmica e (b) respetiva interpretação da linha sísmica transversal S84-30+30A adquirida ao largo da Figueira Da Foz. Ver figura 6.1 para a sua localização.

6.2.4. Interpretação da linha SUN73-370W (D1) da Bacia Lusitânica

Este perfil apresenta muitos dobramentos em consequência da tectónica salina. A aquisição desta linha sísmica foi realizada num setor onde a presença de sal se encontra a grande profundidade, não atingindo os estratos mais superficiais, o que resulta numa suave deformação daqueles, sem, contudo, os romper.

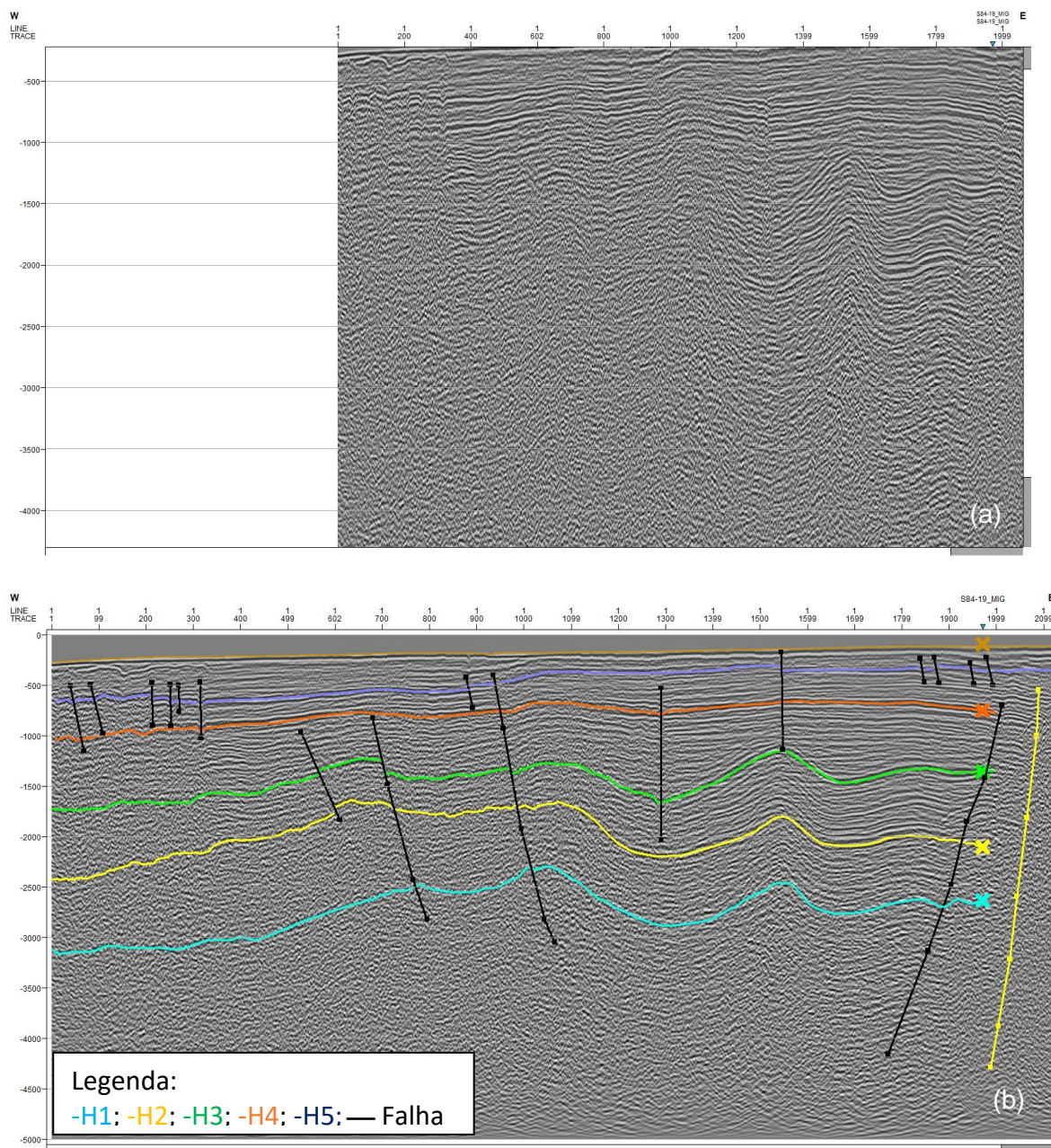


Fig. 6.5. (a) Secção sísmica e (b) respetiva interpretação da linha sísmica *deep* SUN73-370W adquirida ao largo da Figueira Da Foz. Ver figura 6.1 para a sua localização.

6.2.5. Interpretação da linha SUN73-390W (D2) da Bacia Lusitânica

Este perfil apresenta as camadas já mais deformadas em resultado direto da tectónica salina, cuja presença se encontra a menores profundidades. No setor oeste do perfil reconhece-se uma série de falhas que sugerem estrutura em flor.

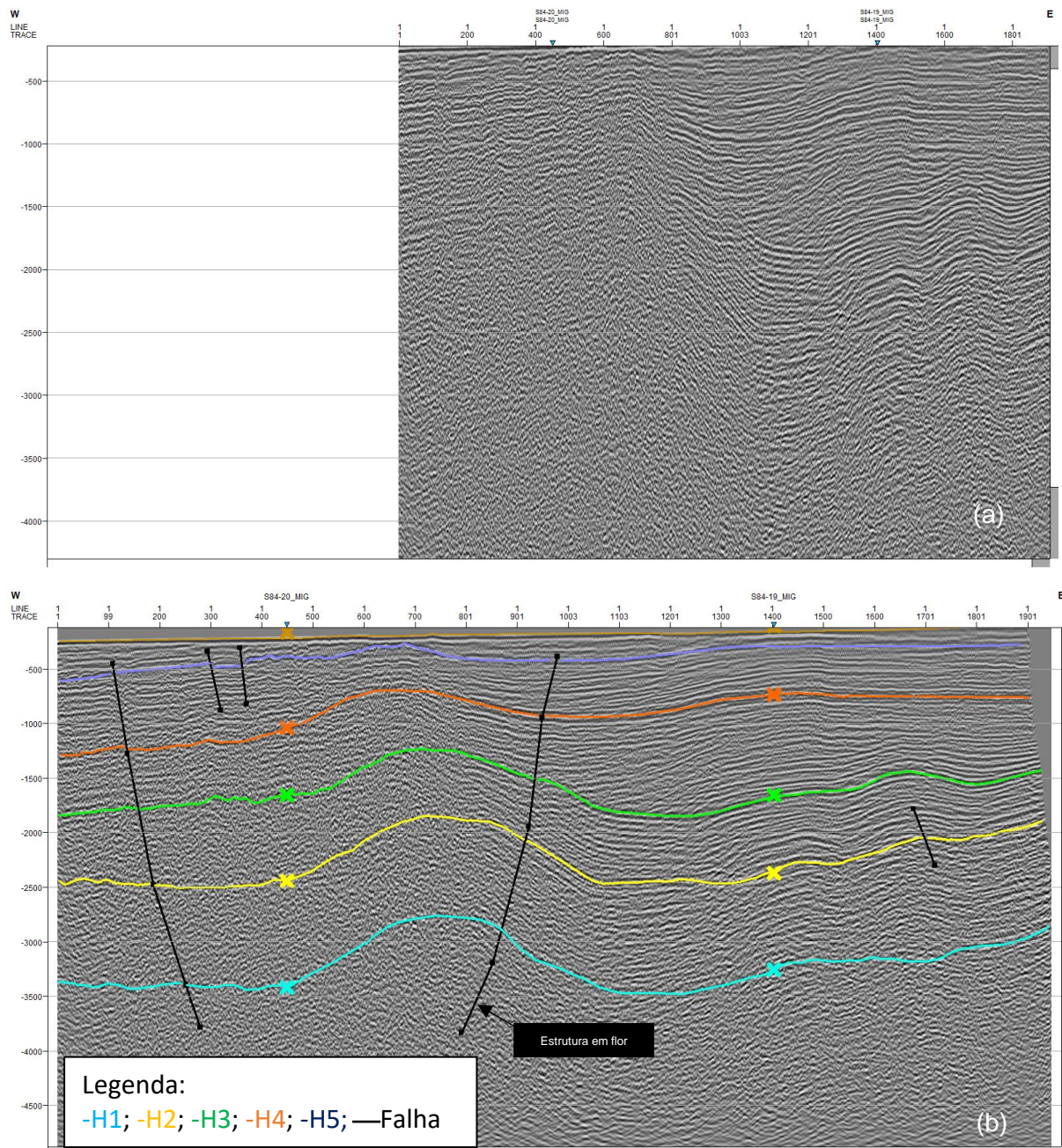


Fig. 6.6. (a) Secção sísmica e (b) respetiva interpretação da linha sísmica transversal SUN73-390W adquirida ao largo da Figueira Da Foz. Ver figura 6.1 para a sua localização.

6.2.6. Interpretação da linha sísmica P1 da Bacia de Peniche

No lado este deste perfil sísmico é possível distinguir uma secção que representa a parte oeste da Bacia Lusitânica (*offshore* raso), e que integra a Bacia de Peniche. Na parte oeste deste perfil é possível interpretar superfícies/refletores sísmicos do Mesozoico, que exibem aspetos de carácter erosivo por incisões que parecem preenchidas por depósitos do Cenozoico. Este aspeto será abordado em detalhe em 6.3. É possível também reconhecer um *horst* de material do soco. As camadas na zona este apresentam padrões internos sub-horizontais bem evidentes.

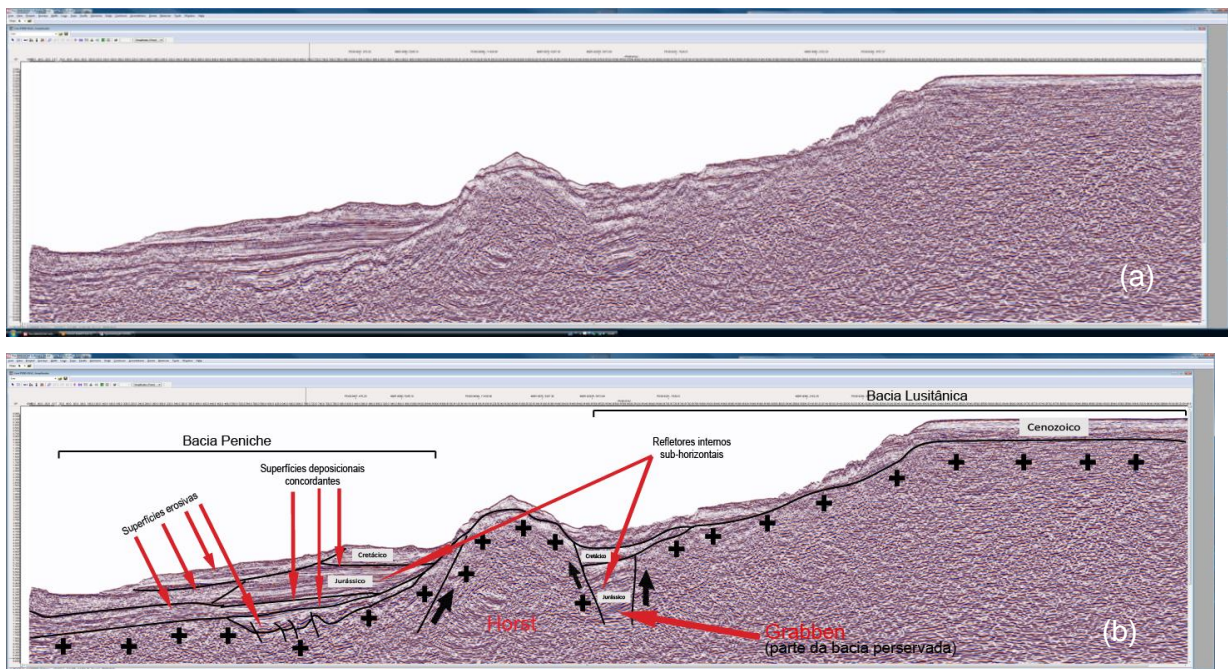


Figura 6.7. (a) Secção sísmica e (b) respetiva interpretação da linha sísmica regional 2D P1 da Bacia de Peniche. Ver figura 6.1 para a sua localização (legenda: + soco acústico).

6.2.7 Interpretação da linha sísmica P2 da Bacia de Peniche

Este perfil, situado um pouco mais a sul de P1, é claramente controlado pela elevação do soco e pela presença de um *horst* que faz parte do sistema de *grabens* e *half-grabens* em que assenta a Bacia de Peniche. Reconhecem-se indícios claros da inversão tectónica característica do Cenozoico, que afetou as camadas mais antigas do Mesozoico. Na porção sul dos dois perfis analisados não se reconhecem evidências da presença de sal.

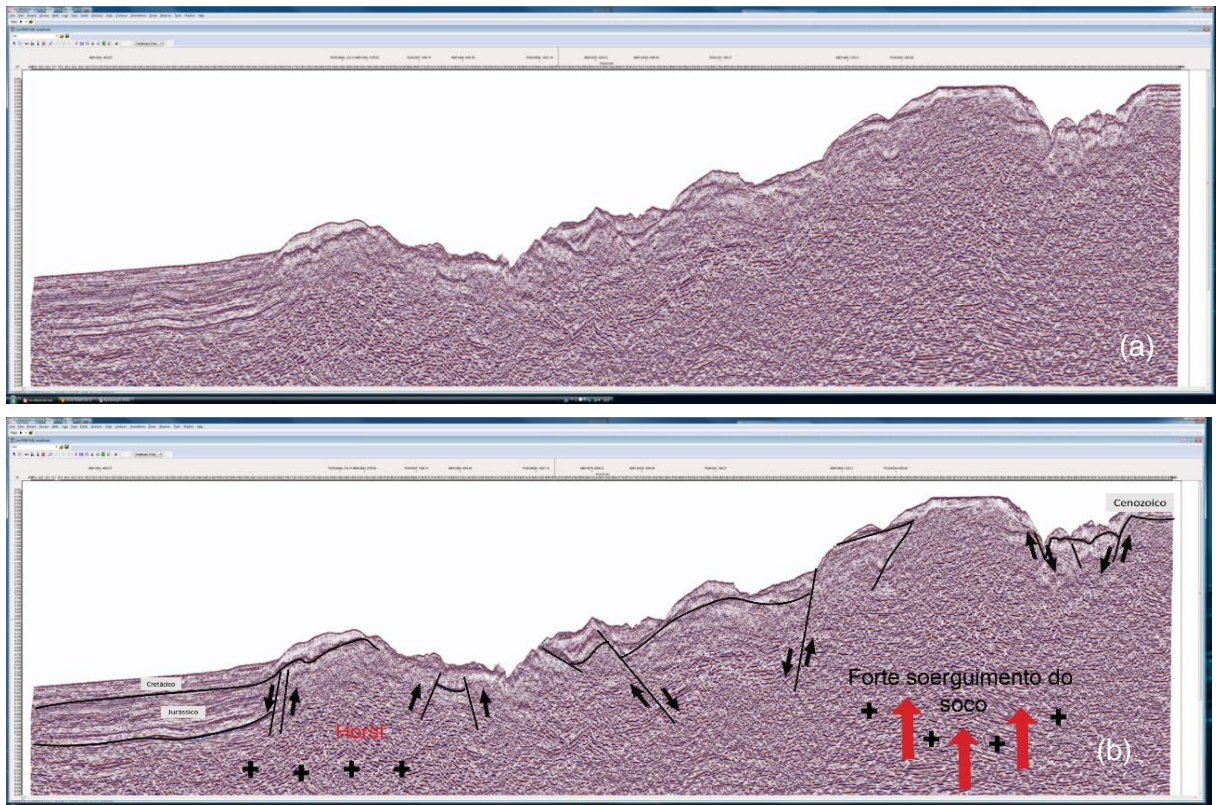


Figura 6.8. (a) Secção sísmica e (b) respetiva interpretação da linha sísmica regional 2D P2. Ver figura 6.1 para a sua localização (legenda: + soco acústico).

6.3. Integração da Informação

Nesta secção, pretende estabelecer-se o quadro estrutural e tectónico da Bacia Lusitânica (BL) no *offshore* raso ao largo da Figueira da Foz e o da Bacia de Peniche (BP) no setor estudado (Fig. 6.1) com base na interpretação das linhas sísmicas atrás analisadas (D1-T3 da BL e P1-P2 da BP) e tendo em conta conhecimento anteriormente publicado.

A linha D1 e D2 mostram claramente uma influência do diapirismo nos níveis mais profundos das unidades representadas, o que é mais evidente na zona mais a este do perfil sísmico D1. No perfil sísmico D2 verifica-se uma maior proximidade dos diapiros, situados a menor profundidade, o que provoca maior deformação, que se traduz com a estrutura em flor situada a oeste (Fig. 6.9). Já os perfis sísmicos transversais (T1, T2 e T3) são marcadas por uma deformação mais acentuada devido à presença de diapiros a menos de 1 Km de profundidade, isto é, num nível crustal menos profundo do que em D1 e D2, de acordo com Pena Reis *et al.* (2017). Nalguns casos, os diapiros chegam a penetrar a crosta, provocando uma deformação mais acentuada nas unidades. A linha T1, que corta lateralmente as linhas transversais T2 e T3, é a que evidencia maior influência do diapirismo, exibindo feições penetrativas que indicam que os diapiros chegaram a romper a superfície.

Na linha T1 (Fig. 6.2) também se reconhecem feições características do encurvamento do refletor, que estão associadas a um padrão de “ruído” do sinal sísmico. Isto sugere algo proveniente de níveis mais inferiores ao sal do Triássico da unidade Dagorda, compatível com um eventual escape de gás do Paleozoico, tal como já mencionado em Pena Reis *et al.* (2017).

Em suma, o *offshore* raso da Bacia Lusitânica, junto ao largo da Figueira da Foz, é localmente controlado pelo domínio do sal, sendo os diapiros a estrutura salífera principal. A sua ascensão atravessa toda a sequência mesozoica levando, nalguns locais, à sua penetração até à superfície.

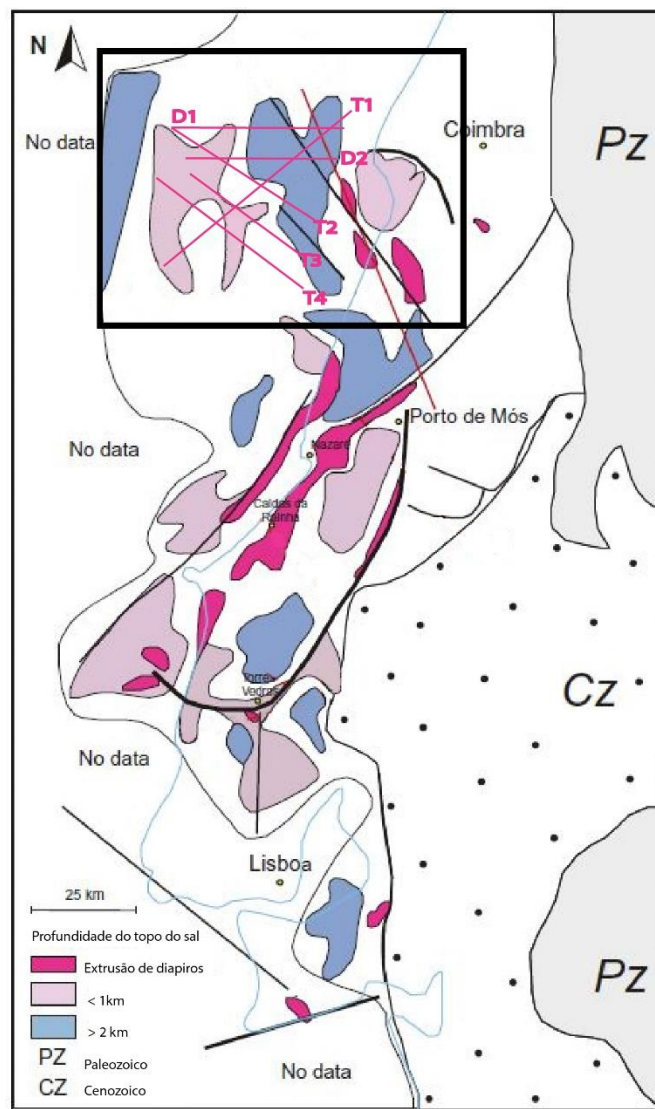


Figura 6.9. Mapa de controlo tectónico e salífero da unidade Dagorda da Bacia Lusitânica que mostra a profundidade a que se situa o sal (modificado de Pena Reis *et al.*, 2017).

A Bacia de Peniche, tal como referido anteriormente, assenta num sistema de *grabens* e *half-grabens*, que pode ser reconhecido facilmente a partir da análise das linhas

sísmicas interpretadas (P1 e P2), adquiridas a norte da falha da Nazaré e nas proximidades do canhão da Nazaré. As feições reconhecidas na região mais oeste do perfil P1 indiciam a influência da ação dinâmica associada ao canhão da Nazaré; no entanto, as feições erosivas possam ser caracterizadas como conturitos que fazem parte de um possível corredor de correntes de contorno/fundo situado mais a sudoeste.

Em suma, no setor da Bacia de Peniche analisado não há registo de sal, nem de indícios tectónicos típicos de movimento salino. Aquilo que se reconhece são indícios do soerguimento do soco do Paleozoico, tal como mostra a Fig. 6.10, inserida no trabalho de Alves *et al.* (2006). Estes autores dão ênfase à ausência de sal neste setor e à presença de um *half-graben* do Cretácico inferior, ao contrário do que foi registado no setor norte desta bacia por Alves *et al.* (2006, 2013; Figuras 6.11 e 6.12).

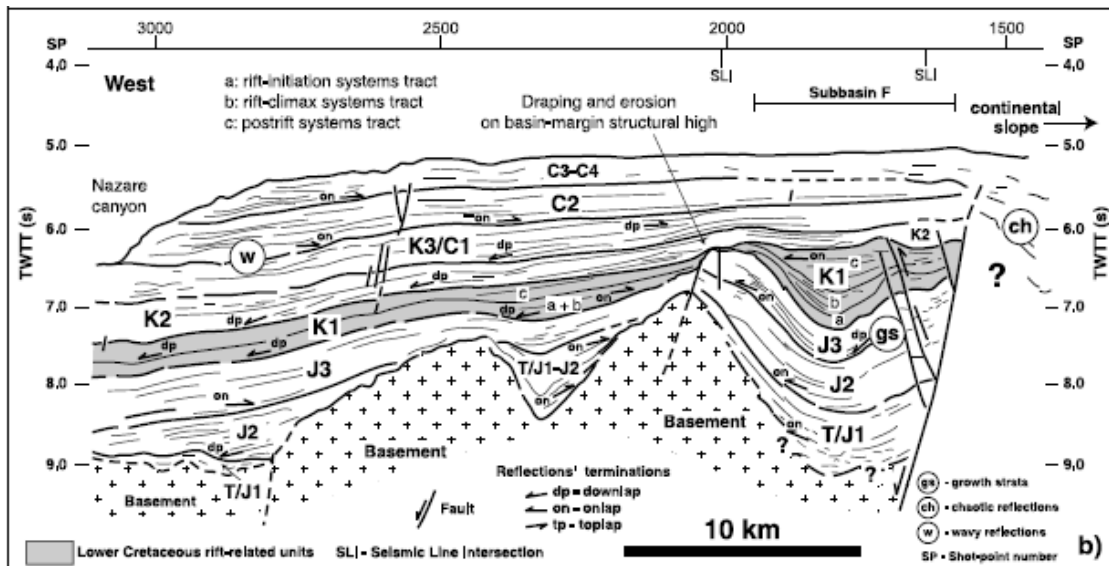


Figura 6.10 Perfil sísmico interpretado dentro da área em estudo da Bacia de Peniche que permite demonstrar a ausência de sal (Alves *et al.*, 2006). Ver figura 6.11 para localização.

Assim, e a partir da análise integrada da informação obtida, e que se refere a um setor localizado no offshore raso ao largo da Figueira da Foz, pode afirmar-se que se registam diferenças substantivas relativamente ao quadro estrutural e tectónico das bacias Lusitânica e Peniche. Na verdade, enquanto o setor setentrional da área estudada é controlado pela atividade diapírica, o setor meridional é dominado por intensa atividade tectónica (Fig. 6.13).

Tal não se verifica em outros setores das mesmas bacias. Na verdade, comparando os perfis sísmicos da Bacia Lusitânica do presente trabalho com as interpretações do setor norte da Bacia de Peniche (Alves *et al.*, 2013; Fig. 6.11 e 6.12), é possível reconhecer

semelhanças entre elas, nomeadamente através da presença de diapíros alimentados pelo sal do Triássico (Formação Dagorda).

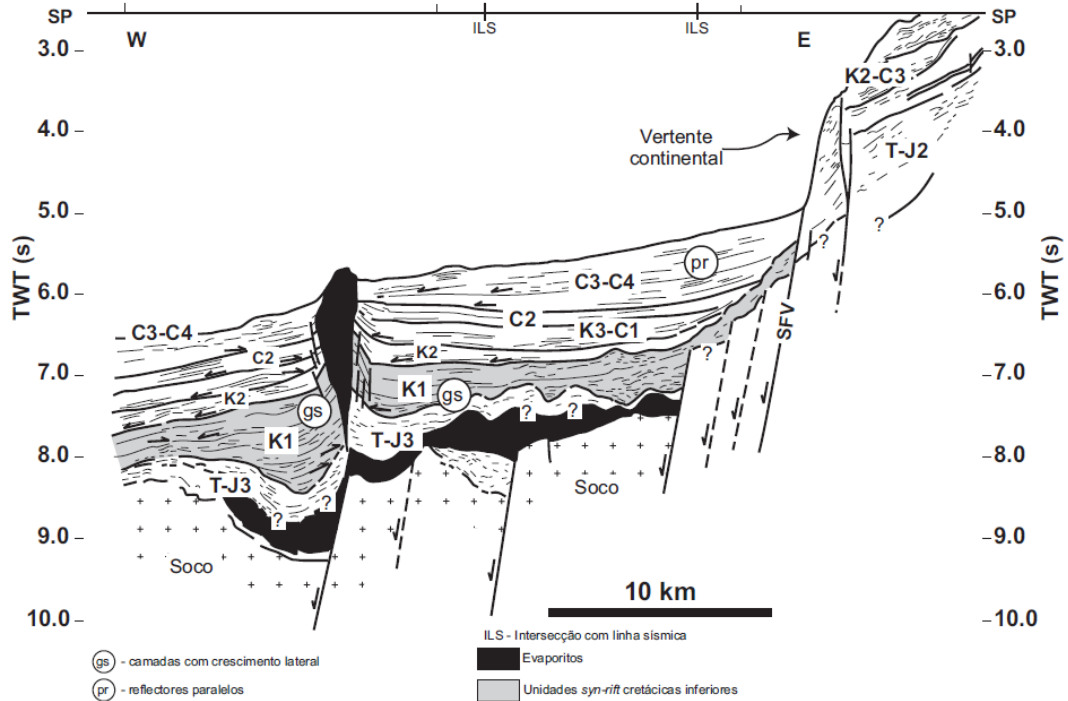


Figura 6.11. Interpretação de um perfil sísmico localizado no setor que apresenta analogias com o setor estudado da Bacia Lusitânica (Alves *et al.*, 2013). Ver figura 6.11 para a localização.

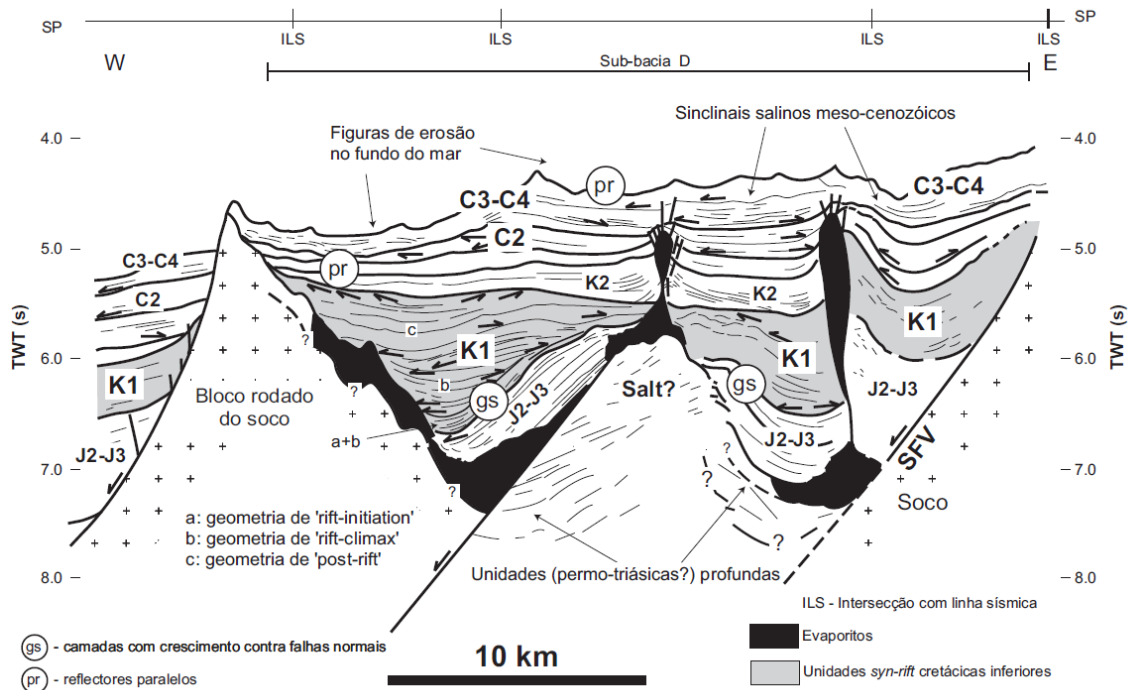


Figura 6.12. Interpretação de um perfil sísmico localizado no setor que apresenta analogias com o setor estudado da Bacia Lusitânica (Alves *et al.*, 2013). Ver figura 6.11 para a localização.

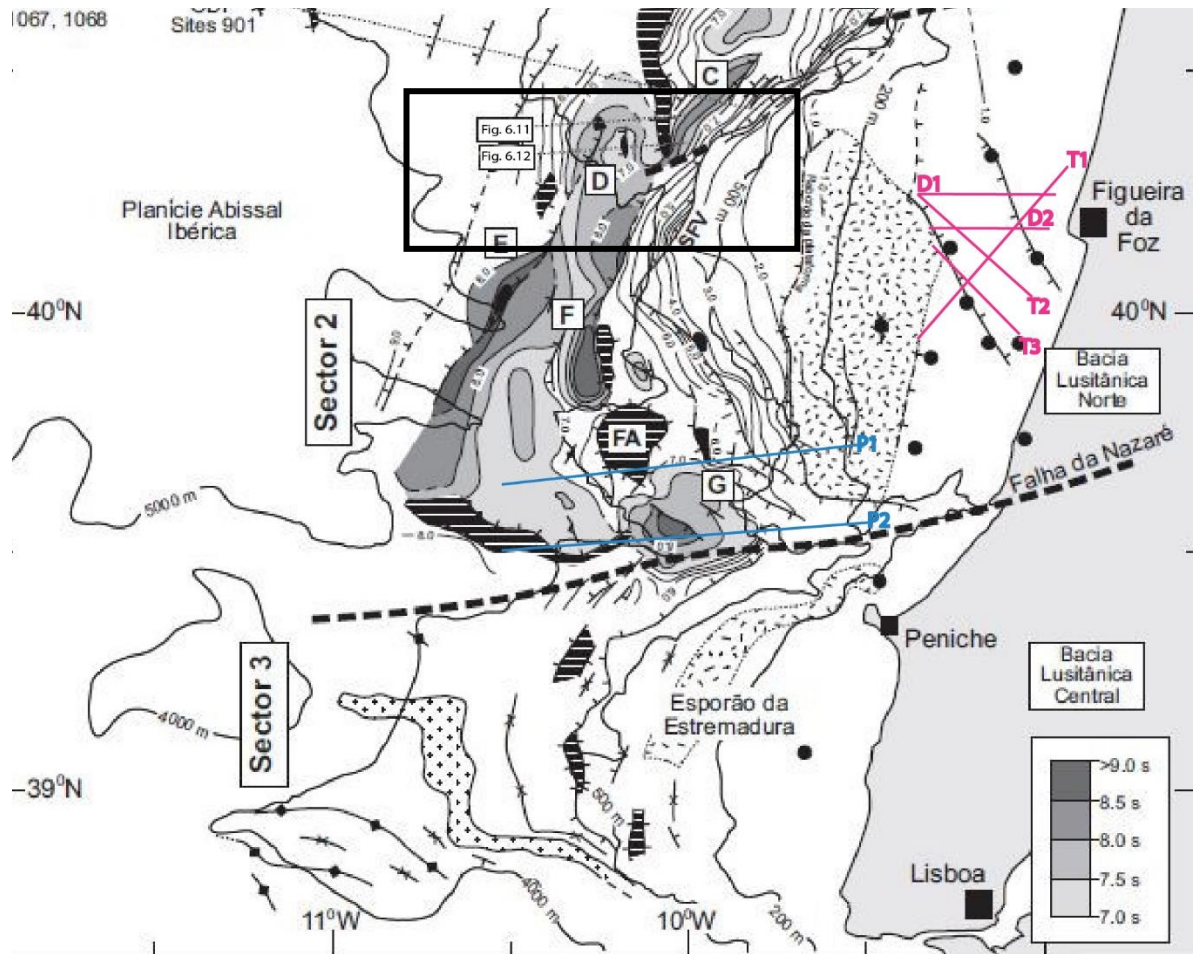


Figura 6.13. Mapa estrutural do soco da Bacia de Peniche com a localização das linhas sísmicas do presente estudo. Representam-se igualmente as linhas sísmicas consideradas relevantes para a discussão dos resultados obtidos. Ver respetiva legenda na figura 6.1 (modificado de Alves *et al.*, 2013).

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES,
LIMITAÇÕES E
IMPLICAÇÕES

7. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E IMPLICAÇÕES

Neste capítulo apresentam-se as conclusões obtidas a partir da realização do presente trabalho (em 7.1), as limitações impostas desde o início e durante a sua realização em 7.2) e as implicações que surgiram ao longo do desenvolvimento do projeto (em 7.3).

7.1. Conclusões

Esta dissertação de mestrado permitiu estabelecer uma correlação, por análise sísmoestratigráfica, entre a Bacia Lusitânica e a Bacia de Peniche. Ao longo do presente trabalho foram alcançados os objetivos propostos, tais como: a análise de perfis sísmicos daquelas duas bacias; o estabelecimento e reconhecimento dos horizontes sísmicos; a localização das estruturas salíferas e o seu comportamento; e, por fim, a integração dos resultados obtidos num contexto mais regional. Esta linha de trabalho permitiu chegar as conclusões que, de seguida, se apresentam.

Vários autores já reconheceram que as Bacias Lusitânica e de Peniche registaram uma evolução co-genética durante o Triássico e enchimento do Jurássico. Contudo, no Cenozoico a evolução destas duas bacias diverge substancialmente, tal como é referido no Capítulo 6. Esta divergência acontece, não só, mas também, devido à influência dos canhões submarinos que se encontram distribuídos pelos diferentes setores no *offshore* da Margem Ibérica Ocidental, pois as movimentações tectónicas que originaram o período de inversão são equivalentes nas duas bacias. A evolução tectónica cenozoica posterior à formação do sistema de *grabens* e *half-grabens* mesozoicos mostra a presença de sistemas erosivos no setor mais a sudoeste da Bacia de Peniche, o que não é evidenciado no setor mais a norte desta, conforme se discute no Capítulo 6.

A deposição e acumulação do sal também ocorreu em diferentes períodos. Na Bacia de Peniche o sal é, em parte, datado do Jurássico Inferior (Alves *et al.*, 2013; Walker *et al.*, 2021), enquanto na Bacia Lusitânica é do Triássico Superior (Formação Dagorda). Além disso, o tipo de estruturas salinas na Bacia Lusitânica parece ser influenciado por diapirismo e pela deformação das camadas associadas à sua ascensão e penetração (halocinese). Já na Bacia de Peniche o sal está representado, a norte, por estruturas em almofada e em paredes, enquanto que mais a sul, perto do canhão da Nazaré, não é possível reconhecer refletores que apresentem resoluções sísmicas características da presença de sal.

No entanto, a Bacia de Peniche, no setor referenciado na figura 6.11 publicada em Alves *et al.* (2006; 2013), mostra também a presença de diapiros de sal e uma estrutura semelhante à do *offshore* raso da área estudada da Bacia Lusitânica. Isto permite admitir relações de correlação entre as duas bacias, que só parecem ser mais claras a oeste da

Bacia Lusitânica e não mais a sul, isto é, na área que foi objeto de estudo no presente trabalho.

7.2. Limitações

A presente dissertação apresenta algumas limitações que decorrem, desde logo, da fraca cobertura em linhas sísmicas da área abrangida no presente estudo. Seria desejável o acesso a linhas sísmicas que intercetem furos de sondagem já realizados e os seus respetivos relatórios e *logs* de modo a obter horizontes menos subjetivos. Por outro lado, a Bacia de Peniche nunca foi alvo de realização de furos de sondagens e a malha disponibilizada (duas linhas sísmicas) não permite a criação de pseudo-poços.

O acesso limitado ao software PETREL® Schlumberger 2017 não permitiu uma interpretação mais detalhada das linhas sísmicas analisadas e, dado que estas datam da década de 70 e 80, a resolução é fraca, não permitindo proceder ao seu processamento adequado.

A autora compreende que estes sejam dados sensíveis, mas para desenvolver um trabalho deste calibre, seriam necessárias ferramentas multidisciplinares, tais como: aumentar a malha da aquisição de linhas sísmicas, com melhor qualidade para processamento (aquisição em 3D), possibilidade de integração de informação obtida em furos de sondagem no software PETREL® Schlumberger 2017 e acesso a dados fidedignos de gravimetria, batimetria e *gamma-ray*.

7.3. Implicações

No decorrer do presente trabalho foi constatada a complexidade que a Bacia de Peniche apresenta e a escassez de estudos sobre a sua génese e evolução. Tal facto conduz à necessidade de realização de projetos de investigação futuros que permitam responder a algumas das questões, tais como as que, de seguida, se discriminam:

- Em que zona do *offshore* da Margem Ibérica Ocidental se encontra o limite entre as bacias Lusitânica e de Peniche?
- As diferentes idades atribuídas ao sal nas duas bacias dever-se-á à existência de alguma barreira física entre elas?
- De que forma os canhões submarinos influenciaram o setor sul da Bacia de Peniche?

Além destas, outras questões relevantes para a compreensão da gênese e evolução por setores da Bacia de Peniche poderão vir a contribuir para o estabelecimento de um quadro estratigráfico de referência, ainda inexistente, mas fundamental para a tomada de decisões, quer técnicas quer políticas, acerca do seu potencial em matéria de exploração de hidrocarbonetos.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, B., FARRÁN, M., MALDONADO, A., 1989. Estratigrafía Sísmica de alta resolución en márgenes continentals pasivos: Factores de controlo durante el Cuaternario. In: División de unidades estratigráficas en el análisis de cuencas, Vera, J. (Ed.), *Rev. Soc. España*, 3-4, pp. 269-289.

ALVES, T., GAWTHORPE, R., HUNT, D., MONTEIRO, J., 2002. Jurassic tectono-sedimentary evolution of the Northern Lusitanian Basin (offshore Portugal). *Marine and Petroleum Geology*, v. 19, pp. 727-754.

ALVES, T. M., CUNHA, T. A., MOITA, C., TERRINHA, P., MONTEIRO, J. H., MANUPELLA, G., 2013. A evolução de bacias sedimentares tipo-rift em margens continentais passivas: o exemplo da Margem Ocidental Ibérica. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. & Kullberg, J. C. (Eds.). *Geologia de Portugal, vol. II, Geologia Meso-cenozóica de Portugal*, pp. 349-404. Escolar Editora, Lisboa.

ALVES, T., MOITA, C., SANDNES, F., CUNHA, T., MONTEIRO, J. H., PINHEIRO, L., 2006. Mesozoic-Cenozoic evolution of North Atlântica Contiental Slope basins: The Peniche basin, Western Iberian Margin. *AAPG Bulletin*, v. 90, no. 1, pp. 31–60.

CARDOSO, F., TEIXEIRA, B., PIMENTEL, N., REIS, R., CORTESÃO, A., REIS, M., 2014. Avaliação da maturação térmica de potenciais geradores jurássicos, baseada na modelação de poços na Bacia Lusitânica e pseudo-poços na Bacia de Peniche (Margem Oeste-Ibérica), *Comunicações Geológicas* 101, Especial I, pp.397-400.

ENMC, 2016. *Petroleum Exploration in Portugal*. Entidade Nacional para o Setor Energético, Lisboa, 34 p.

Gov.PT, 2012. *História da Exploração de Petróleo em Portugal*. Acedido em 24 de Outubro de 2019 em

<http://www.acessibilidade.gov.pt/accessmonitor/dir/see/?cD0xOXxvPWF8cz04MDh8dj1wYWdl>.

ICS, 2003. International Stratigraphic Guide, Murphy, M. & Salvador, A. (Eds.), *International Subcommission on Stratigraphic Classification of IUGS International Commission on Stratigraphy* (2003). Acedido em 4 Novembro 2019 disponível em <http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-stratigraphicguide>.

KEAREY, P., BROOKS, M., HILL, I., 2009. *Geofísica de Exploração*, 1ª ed. Tradução Oficina de Textos, São Paulo.

KULLBERG, J.C., ROCHA, R. B., SOARES, A. A., REY, J., TERRINHA, P., CALLAPEZ, P., MARTINS, L., 2006. A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. In: *Geologia de Portugal no contexto da Ibérica*, Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. & Kullberg, J. (Eds.). Univ. Évora, Évora, pp. 317-368.

KULLBERG, J.C., ROCHA, R. B., SOARES, A. F., REY, J., TERRINHA, P., AZERÊDO, A. C., CALLAPEZ, P., DUARTE, L. V., KULLBERG, M. C., MARTINS, L., MIRANDA, R., ALVES, C., MATA, J., MADEIRA, J., MATEUS, O., MOREIRA, M., NOGUEIRA, C. R., 2013. A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J. C., (Eds.), *Geologia de Portugal Volume II Geologia Mesozóica de Portugal*, pp. 349-404. Escolar Editora, Lisboa.

LOMAS, L., SKJERVEN, T., RANDEN, T., 2018. The Petrel Platform History Overview, In: *Petrel 20 Years*, Schlumberger (Ed.), pp. 6-7.

MAUFFRET, A., MOUGENOT, D., MILES, P. R. E MALOT, J. A., 1989. Cenozoic deformation and Mesozoic abandoned spreading center in the Tagus Abyssal Plain (west of Portugal): results of a multichannel seismic survey. *Can. Jour. Earth Sci.*, 26, pp. 1101-1123.

MITCHUM, R. M., VAIL, P. R., THOMPSON, S., 1977a. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 2: The Depositional Sequence as a Basic Unit for Stratigraphy Analysis. In: *Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level* Payton, C. (Ed.), *Memoir 26, The American Association of Petroleum Geologist*, pp. 53-62.

MITCHUM, R. M., VAIL, P. R., SANGREE, J. B., 1977b. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 6: Stratigraphic Interpretation of Seismic Reflection Patterns in Depositional Sequences. In: *Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level*, Payton, C. (Ed.), *Memoir 26, The American Association of Petroleum Geologist*, pp. 117-133.

MONDOL, N., 2010. SEISMIC EXPLORATION. In: K. Bjørlykke (Ed.), *Petroleum Geosciences from Sedimentary, Environments to Rock Physics*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 375-402.

PENA REIS, R., PIMENTEL, N., GARCIA, A., 2011. A Bacia Lusitânica (Portugal): *Análise estratigráfica e evolução geodinâmica*. *Boletim de Geociências – Petrobras*, v. 19, pp. 23-52.

PENA REIS, R., PIMENTEL, N., 2012. Sistemas Petrolíferos no *on-shore* da Bacia Lusitânica – uma visão integradora. In: Andrade, S., Ferreira, M. & Lopes, F. (Eds.), *I Congresso Internacional Geociências CPLP*, Coimbra.

PENA REIS, R., PIMENTEL, N., FAINSTEIN, R., REIS, M., RASMUSSEN, B., 2017. Influence of Salt Diapirism on the Basin Architecture and Hydrocarbon Prospects of the Western Iberian Margin. Soto, J. I., Flinch, J. F. & Tari, G. (Eds.). *Permo-Triassic Salt Provinces of Europe, North Africa and the Atlantic Margins – Tectonics and Hydrocarbon Potential*, Elsevier, pp. 313-329.

PIMENTEL, N., PENA REIS, R., 2016. Petroleum systems of the West Iberian Margin: A review of the Lusitanian Basin and the deep offshore Peniche Basin. *Journal of Petroleum Geology*, v. 39 (3), pp. 305-326.

PINHEIRO, L.M., WILSON, R.C.L., PENA DOS REIS, R., WHITMARSH, R.B., RIBEIRO, A., 1996. The Western Iberia Margin: a geophysical and geological overview. R.B. Whitmarsh, D.S. Sawyer, A. Klaus, D. Masson, (Eds), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 149, pp. 3–23.

RASMUSSEN, E., LOMHOLT, S., ANDERSEN, C., VEJBÆK, O., 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.

READING, H.G., 1986. *Sedimentary Environments and Facies*, 2nd edition, *Blackwell Scientific Publications*, Oxford, 615 p.

RIBEIRO, A., 2006. A Evolução Geodinâmica de Portugal. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. & Kullberg (Eds.). *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*. Univ. Évora, Évora, pp. 1-.27.

RIBEIRO, A., 2013. A Evolução Geodinâmica de Portugal; os Ciclos Meso-Cenozóicos. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J. C., (Eds.), *Geologia de Portugal Volume II Geologia Meso-cenozóica de Portugal*, pp. 349-404. Escolar Editora, Lisboa.

RIBEIRO, A., ANTUNES, M. T., FERREIRA, M. P., ROCHA, R. B., SOARES, A. F., ZBYSZEWSKI, G., MOITINHO DE ALMEIDA, F., CARVALHO, D., MONTEIRO, J. H., 1979. *Introduction à la Géologie générale du Portugal*. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 114 p.

TEIXEIRA, C., GONÇALVES, F., 1980. *Introdução à Geologia de Portugal*. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa, 475 p.

TORRES VERA, J. A., 1994. *Estatigrafía Principios y Metodos*. Editorial Rueda, Madrid, 805 p.

WALKER, O., ALVES, T., HESSELBO, S., PHARAOH, T., NUZZO, M., MATTOS, N., 2021. Significance of Upper Triassic to Lower Jurassic salt in the identification of palaeo-seaways in the North Atlantic. *Marine and Petroleum Geology*, vol.123, 104705.

WILSON, R. C. L., 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. In Tankard, A. J. & Balkwin, H. (Eds.), *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic Margins*. AAP Memoir 46, p. 341-361, Tulsa.