

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA TERRA E ENERGIA



**Utilização de Atributos Sísmicos em Sísmica 3D para  
Caracterização da Neotectónica e da Exalação, Acumulação e  
Armazenamento de Flúidos**

Inês Lopes Janeiro

**Mestrado em Ciências Geofísicas**

Dissertação orientada por:  
Professor Doutor Luís Manuel Henriques Marques Matias  
Doutora Ângela Maria Soares Pereira

## Resumo

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Mestrado em Ciências Geofísicas da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), em colaboração com o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). O principal objetivo deste trabalho consistiu na utilização de atributos sísmicos como ferramenta auxiliar à interpretação de dados de reflexão sísmica, visando caracterizar e mapear estruturas geológicas associadas à Neotectónica e exalação de fluído na bacia do Algarve, com foco na identificação de falhas e diapiros, como potenciais zonas de migração de fluidos.

A metodologia aplicada neste trabalho baseou-se na interpretação de dados de reflexão sísmica 3D, integrando os conceitos da estratigrafia sísmica e utilização de diferentes atributos sísmicos, como Amplitude RMS, Variância, Fase e Frequência Instantânea, que permitiram evidenciar descontinuidades, fácies sísmicas, estruturas diapíricas e anomalias de amplitude, associadas à possível presença de fluídos.

Foram identificadas cinco unidades sísmicas, limitadas por quatro discordâncias, que refletem fases distintas da evolução da bacia. A interpretação das falhas mostrou a existência de diferentes fases da bacia e estruturas complexas, associadas a domos salinos, que confirmam a importância da tectónica salina, na evolução da bacia.

A interpretação dos *Bright Spots* mostrou assimetria na sua distribuição, onde os mais superficiais estão, maioritariamente, associados a MTDs (*Mass Transport Deposits*) e à presença de matéria orgânica nos sedimentos recentes, enquanto os mais profundos indicam possível migração de fluidos desde níveis inferiores, a partir de falhas, indicando a possível existência de sistemas de migração e acumulação de fluidos, influenciados pela interação da tectónica, estruturas diapíricas e processos de sedimentação.

Concluiu-se que a bacia apresenta elevada complexidade tectono-sedimentar, marcada por fases de *rifting* e de compressão. Este trabalho demonstrou ainda a importância da integração de atributos sísmicos, como ferramenta essencial para a interpretação sísmica, permitindo uma melhor caracterização e compreensão geológica da bacia.

## Palavras-chave:

Atributos sísmicos; Bacia do Algarve; Tectónica salina; Bright Spots; Sísmica 3D.

## **Abstract**

This work was developed as part of the master's degree in Geophysical Sciences at the Faculty of Sciences of the University of Lisbon, in collaboration with the Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). The main objective of this work was the use of seismic attributes as a tool to support the interpretation of seismic reflection data, to characterize and map geological structures associated with Neotectonics and fluid migration in the Algarve Basin, with a focus on the identification of faults and diapirs as potential fluid migration pathways.

The methodology applied in this study was based on the interpretation of 3D seismic reflection data, integrating the concepts of seismic stratigraphy and the use of different seismic attributes, such as RMS Amplitude, Variance, Instantaneous Phase and Frequency, among others, which allowed the identification of discontinuities, seismic facies, diapiric structures, and amplitude anomalies associated with possible fluid presence.

Five seismic units were identified, bound by four unconformities, reflecting distinct stages of basin evolution. Fault interpretation revealed the existence of different basin phases and complex structures associated with salt domes, confirming the importance of salt tectonics in the basin's evolution.

The interpretation of Bright Spots showed an asymmetry in their distribution: the shallowest ones are mostly associated with MTDs (Mass Transport Deposits) and the presence of organic matter in recent sediments, while the deeper ones indicate possible fluid migration from lower levels through faults, suggesting the potential existence of fluid migration and accumulation systems influenced by the interaction of tectonics, diapiric structures, and sedimentary processes.

It was concluded that the basin presents high tectono-sedimentary complexity, marked by phases of rifting and compression. This work also demonstrated the importance of integrating seismic attributes as an essential tool for seismic interpretation, enabling better characterization and geological understanding of the basin.

## **Key words:**

Seismic attributes; Algarve Basin; Salt tectonics; Bright Spots; 3D Seismic.

# Índice

1	Introdução.....	8
1.1	Objetivos.....	8
1.2	Interpretação sísmica e análise de atributos.....	8
2	Enquadramento Geológico da Bacia do Algarve.....	9
2.1	Estratigrafia.....	9
2.2	Tectónica.....	11
2.2.1	Tectónica Salina.....	13
3	Metodologia.....	13
3.1	Sísmica de reflexão e aquisição sísmica.....	14
3.2	Interpretação sísmica e Sismoestratigrafia.....	15
3.3	Atributos Sísmicos.....	20
3.3.1	Trace AGC.....	20
3.3.2	Fase instantânea.....	21
3.3.3	Frequência instantânea.....	22
3.3.4	Variância.....	22
3.3.5	Caos.....	23
3.3.6	Gradiente da magnitude.....	24
3.3.7	Amplitude RMS.....	25
3.3.8	Pseudo Relief.....	25
3.3.9	Multiatributos e Mistura de cores RGB.....	27
4	Dados.....	29
5	Resultados.....	30
5.1	Unidades geológicas interpretadas.....	30
5.1.1	Superfícies interpretadas.....	35
5.1.2	Mapas de espessuras.....	38
5.2	Principais falhas interpretadas.....	42
5.3	<i>Bright Spots</i> e exalação de fluídos.....	44
6	Discussão.....	45
7	Conclusões.....	50
	Referências Bibliográficas.....	51

## Lista de Figuras

Figura 2.1 – Representação sintética da estratigrafia da Bacia do Algarve, com os principais eventos tectônicos. (Figura retirada de: Ramos et al., 2017).....	10
Figura 2.2 – A) Principais limites das placas tectônicas e cinemática relativa das placas. B) Mapa geológico do sistema do Rife Bético com as principais unidades tectônicas e bacias associadas (Figura retirada de: Ramos et al., 2016).....	12
Figura 3.1 – Representação esquemática de um sistema de aquisição sísmica em ambiente marinho, onde se observa o percurso das ondas acústicas, a partir da fonte, e a sua reflexão nas diferentes interfaces das camadas geológicas, até serem detetadas pelos recetores acústicos. (retirado de Taylor e Azevedo, 2022).....	14
Figura 3.2 – Esquema representativo de uma sequência deposicional, delimitada pelas linhas a vermelho (A e B), que passam, ao longo da sequência e que representam os seus limites, que correspondem a discordâncias deposicionais (retirado de Mitchum et al., 1977). .....	16
Figura 3.3 – Esquemas representativos de diferentes tipos de terminações das reflexões sísmicas, e a sua respetiva interpretação geológica (retirado de Roque, 2007). .....	17
Figura 3.4 – Tipos de configurações internas das reflexões sísmicas, e os respetivos ambientes deposicionais. (retirado de Roque, 2007).....	17
Figura 3.5 – Tipos de configurações internas progradantes, e os seus respetivos ambientes deposicionais. (retirado de Roque, 2007).....	18
Figura 3.6 – Representação dos principais tipos de formas externas das unidades sísmicas. (retirado de Mitchum et al., 1977) .....	19
Figura 3.7 – A) Perfil sísmico de uma crossline; B) O mesmo perfil sísmico de (A), com a aplicação do atributo sísmico Trace AGC, onde é possível de notar uma ampliação dos refletores sísmicos. ....	20
Figura 3.8 - A) Perfil sísmico de uma crossline, onde foi aplicado o atributo sísmico Fase Instantânea, no qual se pode observar zonas de falha; B) Time slice, ao qual foi aplicado o atributo sísmico Fase Instantânea; C) O mesmo perfil sísmico de (A), sem a aplicação de atributos sísmicos. ....	21
Figura 3.9 – A) Perfil sísmico de uma inline; B) O mesmo perfil sísmico de (A), com a aplicação do atributo sísmico Frequência Instantânea, onde é possível de notar zonas de falhas e claras diferenças na litologia, com a mudança da frequência. ....	22
Figura 3.10 - A) Perfil sísmico de uma crossline; B) O mesmo perfil sísmico de (A), com a aplicação do atributo sísmico Variância, evidenciando falhas; C) Time slice, ao qual foi aplicado o atributo sísmico Variância, evidenciando zonas de falha e diapiros. ....	23
Figura 3.11 - A) Perfil sísmico de uma crossline; B) O mesmo perfil sísmico de (A), com a aplicação do atributo sísmico Caos, evidenciando zonas de falha e fácies caóticas, como o sal. ....	24
Figura 3.12 - A) Perfil sísmico de uma crossline; B) O mesmo perfil sísmico de (A), com a aplicação do atributo sísmico Gradiente da Magnitude, evidenciando horizontes sísmicos. ....	24
Figura 3.13 - A) Perfil sísmico de uma crossline; B) O mesmo perfil sísmico de (A), com a aplicação do atributo sísmico Amplitude RMS, evidenciando os Bright Spots e refletores sísmicos de amplitudes elevadas; C) Time slice; D) A mesma time slice de (C), com a aplicação do atributo sísmico Amplitude RMS. ....	25
Figura 3.14 – Sequencia de criação do atributo sísmico Pseudo Relief: A) Perfil sísmico de uma crossline; B) O mesmo perfil sísmico, aplicando à sísmica a Amplitude RMS; C) O mesmo perfil sísmico, aplicando ao atributo Amplitude RMS, uma rotação de fase. ....	26
Figura 3.15 - A) Time slice, com o atributo sísmico Curvatura 3D – most positive; B) Time slice, com o atributo sísmico Curvatura 3D – most negative. ....	27

Figura 3.16 - A) Time slice; B) A mesma time slice de (A), com o atributo sísmico Contraste de Amplitudes, aplicado em RGB, extraído de três janelas verticais de amplitudes de 5, 10 e 15, de modo a realçar os diápiros salinos, bem como zonas de falha. ....	28
Figura 4.1 – A) Imagem da Península Ibérica (retirada de: Google Earth); B) Margem SW Ibérica com o fundo da batimetria, da EMODnet, e a carta geológica 1:100.000 do LNEG; C) Área de estudo, de onde foram retirados os dados sísmicos. ....	29
Figura 5.1 – Perfil de uma crossline (SW-NE), com o atributo sísmico Gradiente da Magnitude, para realçar os refletores sísmicos. Para localização ver mapa na Figura 5.2B. ....	30
Figura 5.2 – A) Perfil sísmico de uma crossline (SW-NE), localizado na metade norte da zona de estudo, indicado no mapa em B com linha a vermelho; B) O mesmo perfil de (A), com a interpretação das unidades sísmicas e discordâncias. ....	31
Figura 5.3 – Perfil de uma crossline (SW-NE), com o atributo sísmico Pseudo Relief, para realçar os refletores sísmicos. Perfil localizado na metade norte da zona de estudo, indicado no mapa da Figura 5.4B com linha a vermelho. ....	32
Figura 5.4 – A) Perfil sísmico de uma crossline (SW-NE), localizado na metade norte da zona de estudo, indicado no mapa em B com linha a vermelho; B) O mesmo perfil de (A), com a interpretação das unidades sísmicas e discordâncias. ....	32
Figura 5.5 – Perfil de uma crossline, com o atributo sísmico Caos, para realçar as fácies caóticas associadas às estruturas salíferas e a falhas (zonas a preto indicam valores altos de caos). Para localização ver mapa na Figura 5.6B. ....	33
Figura 5.6 – A) Perfil sísmico de uma crossline (SW-NE), localizado na metade norte da zona de estudo, indicado no mapa em B com linha a vermelho; B) O mesmo perfil de (A), com a interpretação das unidades sísmicas, discordâncias e falhas. ....	33
Figura 5.7 - Perfil de uma crossline, com o atributo sísmico Amplitude RMS, para realçar refletores de maiores amplitudes e os Bright Spots (zonas a azul-escuro). Para localização ver mapa na Figura 5.8B. ....	35
Figura 5.8 – A) Perfil sísmico de uma crossline (SW-NE), localizado na metade norte da zona de estudo, indicado no mapa em B com linha a vermelho; B) O mesmo perfil de (A), com a interpretação das unidades sísmicas, discordâncias e Bright Spots. ....	35
Figura 5.9 – Imagem da superfície S1, com a escala das suas profundidades em milissegundos. Limite superior da escala -2800 ms; Limite inferior da escala -4200 ms. ....	36
Figura 5.10 – Imagem da superfície S2, com a escala das suas profundidades em milissegundos. Limite superior da escala -2500 ms; Limite inferior da escala -3600 ms. ....	36
Figura 5.11 – Imagem da superfície S3, com a escala das suas profundidades em milissegundos. Limite superior da escala -1250 ms; Limite inferior da escala -3750 ms. ....	36
Figura 5.12 - Imagem da superfície S4, com a escala das suas profundidades em milissegundos. Limite superior da escala -1000 ms; Limite inferior da escala -2600 ms. ....	37
Figura 5.13 – Imagem do mapa de espessuras, para a unidade sísmica U2, com a sua escala de espessuras em milissegundos, linha de costa e falhas. Limite superior da escala 900 ms; Limite inferior da escala 0 ms. ....	38
Figura 5.14 – Imagem do mapa de espessuras, para a unidade sísmica U3, com a sua escala de espessuras em milissegundos, linha de costa e falhas. Limite superior da escala 1800 ms; Limite inferior da escala 0 ms. ....	39
Figura 5.15 – Imagem do mapa de espessuras, para a unidade sísmica U4, com a sua escala de espessuras em milissegundos, linha de costa e falhas. Limite superior da escala 1400 ms; Limite inferior da escala 0 ms. ....	40

Figura 5.16 – Imagem do mapa de espessuras, para a unidade sísmica U5, com a sua escala de espessuras em milissegundos, linha de costa e falhas. Limite superior da escala 1800 ms; Limite inferior da escala 400 ms. ....	41
Figura 5.17 – A) Time slice (-1652 ms TWT), com o atributo sísmico Contraste de amplitudes, que realça a branco (ou zonas mais claras), as falhas e domos salinos; B) A mesmo time slice de (A), com as falhas interpretadas; C) A mesmo time slice, com o atributo sísmico Variância, para o realce das falhas ; D) A mesmo time slice, sem o atributo sísmico e com as falhas interpretadas. As cores das falhas representam a sua profundidade (Vermelho mais superficiais; Verde e azul mais profundo). ....	42
Figura 5.18 – A) Perfil sísmico de uma crossline (SW-NE), com o atributo sísmico Variância; B) Mesmo perfil de (A), sem o atributo sísmico, com interpretação de um conjunto de falhas transtensivas; C) Time slice (-1652 ms TWT) com a localização das falhas em (B) com o atributo sísmico Fase Instantânea.	43
Figura 5.19 – A) Time slice (-1652 ms TWT), com o atributo sísmico curvatura 3D (blend de most positive (vermelho) e most negative (azul)); B) Mesma time slice de (A), com o atributo sísmico Contraste de Amplitudes. ....	43
Figura 5.20 – Time slice (-1652 ms TWT), com uma mistura dos atributos sísmicos Amplitude RMS e Variância, com os Bright Spots interpretados, em profundidade, e realce das falhas. ....	44
Figura 5.21 – A) Perfil sísmico de uma crossline (SW-NE), com o atributo sísmico Amplitude RMS, a realçar os Bright Spots; B) O mesmo perfil de (A), com a interpretação da sísmica. O perfil localiza-se na zona centro da área de estudo. ....	45
Figura 6.1 – Superfície da BFU, com uma sobreposição dos atributos sísmicos Amplitude RMS e Variância, de modo a mostrar todos os Bright Spots acima desta superfície. ....	46
Figura 6.2 – Perfil sísmico de crossline (E-W), localizado na zona NE da área de estudo, que demonstra os Bright Spots de profundidades vermelha, aqui representados a verde. O perfil localiza-se na área dos pontos a vermelho no mapa da Figura 6.1.....	46
Figura 6.3 – Perfil sísmico de crossline (E-W), localizado na zona NE da área de estudo, que demonstra os Bright Spots de profundidades laranja, aqui representados a verde. O perfil localiza-se na área dos pontos laranjas abaixo dos pontos vermelhos, no mapa da Figura 6.1.....	47
Figura 6.4 – A) Perfil sísmico (NW-SE), com o atributo sísmico Amplitude RMS; B) O mesmo perfil de (A), sem o atributo sísmico, salientando o alinhamento de Bright Spots (a verde). O perfil localiza-se na área indicada no mapa com circulo a vermelho e acompanha o alinhamento de pontos laranjas no mapa com direcção NW-SE. ....	48
Figura 6.5 – A) Perfil sísmico (SW-NE), com o atributo sísmico Amplitude RMS; B) O mesmo perfil de (A), sem o atributo sísmico, salientando o alinhamento de Bright Spots (a verde) ao longo da base amarela. O perfil localiza-se na área indicada no mapa com elipse a vermelho e acompanha o alinhamento de pontos amarelos no mapa com direcção SW-NE. ....	48
Figura 6.6 – A) Perfil sísmico (E-W), com o atributo sísmico Variância, a realçar zonas de falha e fácies caóticas; B) O mesmo perfil de (A), sem o atributo sísmico, salientando os alinhamentos de Bright Spots amarelos (superior) e verdes (inferior). O perfil localiza-se na área indicada no mapa com elipse a vermelho e acompanha o alinhamento de pontos indicados no mapa com direcção aproximada E-W. ....	49

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Tabela com diferentes tipos de formas externas das unidades sísmicas, e os respetivos ambientes deposicionais. (retirado de Roque, 2007).....	19
Tabela 2 – Características dos dados sísmicos .....	29

# 1 Introdução

O presente relatório, enquadra-se no âmbito do mestrado em Ciências Geofísicas da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), e realizado no Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) na divisão de Geologia Marinha e Georecursos, sob a orientação do Professor Luís Matias, da FCUL, e da Dra. Ângela Pereira, do IPMA. Este estágio teve início em Outubro de 2024 e foi concluído em Setembro de 2025. É ainda de salientar que este estudo pretendeu apresentar uma nova abordagem à interpretação de dados de sísmica de reflexão 3D da Bacia do Algarve, a partir da utilização da análise de atributos sísmicos, tentando assim contribuir para conhecimento geológico da bacia.

## 1.1 Objetivos

Este estágio teve como objetivo, a utilização da análise de atributos sísmicos, como suporte à interpretação sísmica 3D e a exploração do seu potencial, na identificação e caracterização de estruturas geológicas, associadas à Neotectónica e à exalação de fluidos, no contexto da Bacia do Algarve, tentando contribuir assim, para uma melhor compreensão da geodinâmica da bacia.

Com este trabalho pretendeu-se mapear e caracterizar as principais unidades geológicas, falhas, estruturas salíferas e estruturas associadas à exalação de fluidos, numa área do *offshore* da Bacia do Algarve, bem como analisar possíveis interações entre as diversas estruturas. Para isso, foram interpretados dados de reflexão sísmica 3D, tendo por base os princípios da sismo-estratigrafia e a utilização de atributos sísmicos no auxílio à interpretação sísmica de estruturas geológicas.

## 1.2 Interpretação sísmica e análise de atributos

A interpretação sísmica constitui uma ferramenta essencial para a análise de registos sedimentares, em perfis sísmicos, permitindo a identificação e caracterização de sequências deposicionais, e a compreensão da evolução de bacias sedimentares. Segundo Mitchum et al., 1977, uma sequência deposicional corresponde a um conjunto de camadas sedimentares limitadas por discordâncias que representam superfícies de erosão ou de não deposição de sedimentos.

A metodologia para a interpretação sísmica tem por base quatro principais etapas: a identificação das terminações das reflexões sísmicas, a análise das configurações e da geometria interna, a definição da forma externa das unidades sísmicas, e a caracterização do comportamento sísmico (Mitchum et al., 1977).

Deste modo, a interpretação sísmica viabiliza uma integração entre os dados da sísmica e os modelos deposicionais, o que constitui um método para a reconstrução da história geológica local, e para a análise de bacias sedimentares.

O aparecimento de dados de reflexão sísmica 3D trouxe uma enorme vantagem para a interpretação sísmica, possibilitando uma maior compreensão das estruturas geológicas. Conjuntamente a análise de atributos sísmicos surgem como ferramentas visuais auxiliares da interpretação sísmica, utilizadas como instrumento de análise para identificar litologias, realçar e caracterizar estruturas geológicas (Taner, 2001, Chopra and Marfurt, 2006).

A sísmica 3D constituiu uma evolução face à sísmica 2D, que permitiu a obtenção de imagens tridimensionais mais detalhadas do subsolo. Nos levantamentos de dados de sísmica 3D, os recetores

estão dispostos numa grelha retangular, registando as posições da fonte, ao longo de duas direções ortogonais (*inlines* e *crosslines*), resultando em volumes sísmicos mais completos, reduzindo o nível de incerteza das interpretações. O volume sísmico 3D resultante pode ser visualizado em secções 2D verticais (*inlines* e *crosslines*) e em secções horizontais correspondentes a tempos duplos de chegada constantes (*time slices*). Estas duas direções distinguem-se por: *inline*, que correspondem ao sentido dos disparos (trajetória de levantamentos marinhos), e *crossline*, que corresponde à direção perpendicular às *inlines* (Yilmaz, 2001).

Os atributos sísmicos representam informações retiradas a partir de dados sísmicos, obtidos por computações feitas sobre as amplitudes sísmicas de modo a realçar variações de amplitudes correspondentes a variações litológicas, de conteúdo em fluídos ou estruturais, podendo ser classificados com base na sua origem e/ou com base nas suas características computacionais. fornecendo informação para a interpretação estrutural, estratigráfica e litológica de dados sísmicos (Taner, 2001).

O principal objetivo da utilização dos atributos sísmicos, é a obtenção de informação mais detalhada e precisa sobre diversos parâmetros estruturais, estratigráfico e litológicos, presentes nos dados sísmicos (Taner, 2001). Podem ser ainda ser utilizados para a identificação de anomalias de amplitude sísmica (*Bright Spots*), que podem indicar a presença de acumulação de fluido ou gases (*Bright\_spot*, 2025; Matias et al., 2011).

## 2 Enquadramento Geológico da Bacia do Algarve

A Bacia do Algarve está situada na Margem Sudoeste Ibérica, acima do limite entre as placas africana e ibérica. É uma bacia sedimentar meso-cenozoica formada durante a separação da Pangeia e durante a abertura dos oceanos Atlântico e Tétis (Ramos et al., 2016). Esta estende-se desde o Cabo de São Vicente ao rio Guadiana, numa extensão de aproximadamente 140 km (Terrinha et al., 2006).

A bacia está preenchida por sedimentos que abrangem os períodos desde o Triássico superior (~237 Ma) ao Cretácico inferior (~145 Ma), com o principal depocentros sedimentar localizado na região central do *offshore* da bacia (Ramos et al., 2016). Esta apresenta um afinamento crustal ao Sul, onde também ocorre um aprofundamento do “*basement*”, devido ao período de *rifting* Mesozoico (251,9 Ma – 66 Ma) (Ramos et al., 2020).

A evolução da bacia foi dominada por duas fases tectónicas principais. Uma fase de *rifting* no Mesozoico, relacionada com a abertura dos oceanos Atlântico e Tétis, e uma fase de compressão no Cenozoico (66 Ma), associada à colisão entre as placas africana e ibérica (Ramos et al., 2016).

A tectónica salina desempenhou um papel importante no desenvolvimento da bacia sedimentar durante o período de *rifting* e de inversão tectónica, na bacia (Matias et al., 2011).

### 2.1 Estratigrafia

A base da bacia do Algarve, de idade Paleozoica (538,8 Ma – 251,9 Ma), é formada por rochas carboníferas deformadas do tipo *flysh* (Ramos et al., 2020) (Figura 2.1).

Existe um hiato entre as rochas do Paleozoico e o Triássico superior (Ramos et al., 2020). No Triássico superior (~237 Ma – 201.4 Ma) deu-se início à sedimentação de depósitos continentais de carácter

aluvial, sendo estes essencialmente arenitos, depositados em regime extensivo (Ramos et al., 2016; Ramos et al., 2020).

A unidade evaporítica do Hetangiano (Jurássico inferior, 201,4 Ma), está sobreposta aos sedimentos do Triássico superior, possuindo uma espessura máxima de aproximadamente 600 metros, sendo mais fina na região norte da bacia (Ramos et al., 2020). Esta unidade é composta por sedimentos aluviais e lacustres, dolomites, e por uma sequência evaporítica (halite, anidrite e gesso) (Ramos et al., 2016). Estes sedimentos apresentam influencia da tectónica local, que levou à formação de estruturas salíferas (diapiros), que tiveram um papel importante no controlo da distribuição e da espessura sedimentar (depocentros) (Ramos et al., 2020). Na transição entre o Hetangiano e o Sinemuriano (199.5 Ma), no Jurássico inferior, está presente um complexo Vulcano-sedimentar, composto por lavas basálticas, piroclastos, argilas e dolomites (Figura 2.1) (Ramos et al., 2016).

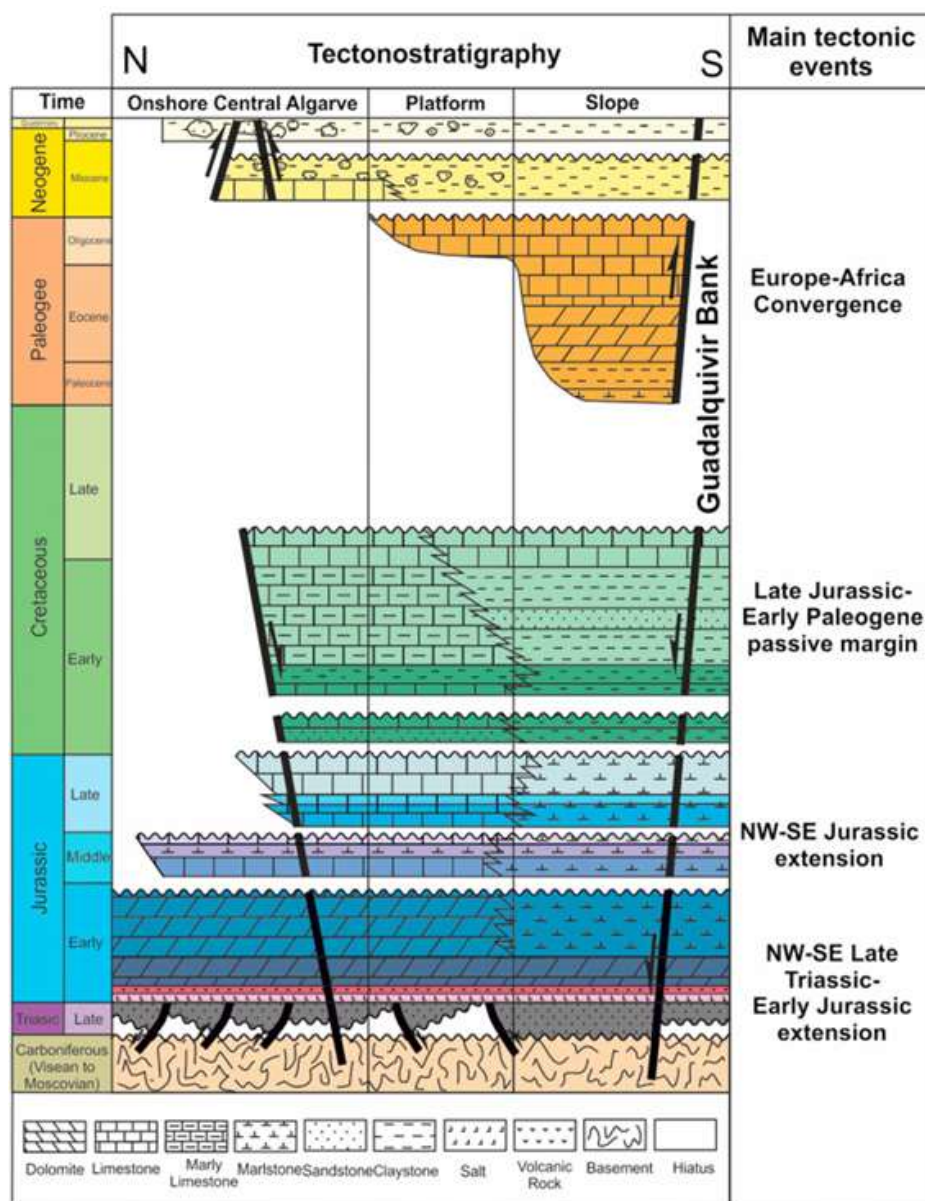


Figura 2.1 – Representação sintética da estratigrafia da Bacia do Algarve, com os principais eventos tectónicos. (Figura retirada de: Ramos et al., 2017)

O Jurássico inferior a médio (201.4 Ma – 161.5 Ma), é composto essencialmente por unidades de calcários e calcários dolomíticos, que vão gradualmente passando a unidades margosas. No Jurássico superior (161,5 Ma – ~145 Ma) volta-se a ter a presença de unidades compostas por calcários (Ramos et al., 2016).

O Cretácico inferior (~145 Ma – 100.5 Ma) é composto por sucessões mistas de sedimentos carbonatados e siliciclásticos (Ramos et al., 2016). Já as unidades do Cretácico superior (100,5 Ma – 66 Ma) estão ausentes, tanto no *onshore*, quanto no *offshore* da bacia, havendo um hiato de carácter erosivo, associado ao evento de inversão tectónica (Ramos et al., 2020).

Os sedimentos do Paleogénico (66 Ma – 23.03 Ma) estão ausentes no *onshore* da bacia, devido a processos de erosão e de não deposição de sedimentos, estando apenas presentes no seu *offshore*. Estes sedimentos possuem uma espessura e distribuição irregulares, com influência da tectónica de compressão salina. Acima dos sedimentos do Paleogénico, está presente a BFU (*Basal Foredeep Unconformity*), que marca uma inconformidade regional, associada a intensos períodos de compressão e de erosão, durante o Miocénico (23.03 Ma), marcando a passagem de regime de *rifting* Mesozoico, para um regime de compressão no Cenozóico (Ramos et al., 2017; Ng et al., 2022). Do Miocénico (Neogénico) aos tempos recentes, os sedimentos são, na sua maioria, calcários marinhos, siltes e areias finas, com depósitos turbidíticos e contornitos (Ramos et al., 2020; Ng et al., 2022). Acima da BFU e das unidade do Miocénico inferior, existe uma estrutura caótica (olistostroma) na zona sul da bacia, com origem no Golfo de Cádiz, designada por AUGC (*Allochthonous Unit of the Gulf of Cadiz*), formado a partir de fluxos gravitacionais derivados de uma outra estrutura com a mesma origem, o AWGC (*Accretionary Wedge of the Gulf of Cadiz*), de idades do Tortoniano inferior (11,6 Ma), constituída por formações rochosas caóticas de idades Meso-Cenozoicas, que migraram de este para SW (Ramos et al., 2020).

## 2.2 Tectónica

A bacia do Algarve (Figura 2.2) apresenta uma tectónica caracterizada por uma sobreposição de estruturas extensivas e compressivas (Terrinha et al., 2006; Ramos et al., 2016). A bacia desenvolveu-se durante um processo de *rifting* durante o Mesozoico, relacionado com a abertura dos oceanos Atlântico e Tétis (Terrinha et al., 2006). Este período de *rifting* teve início no Triássico (Ramos et al., 2020) e foi caracterizado por estiramento da crosta, formação de bacias de subsidência, e atividade vulcânica, do Triássico superior ao Jurássico inferior, tendo ocorrido também a instalação de unidades evaporíticas e a posterior formação de diapiros (Terrinha et al., 2006; Ramos et al., 2016). A tectónica salina bem como as forças de extensão controlaram a configuração da bacia durante os períodos do Jurássico inferior e médio, afetando a distribuição de sedimentos e a espessura das bacias sedimentares (Ramos et al., 2017).

Na passagem para o Cenozoico ocorreu um processo de inversão tectónica, relacionada com a alteração do vetor de movimento da placa africana em relação à Euroasiática, condicionada por estruturas obliquas de direção NW-SE, passando de um regime extensivo a um regime compressivo de direção N-S (Terrinha et al., 2006; Ramos et al., 2017; Ramos et al., 2020). Este período de inversão é identificado pela discordância BFU (*Basal Foredeep Unconformity*), que indica um período de forças de compressão intensas e de processos de erosão (Ng et al., 2022). Neste período ocorreu a formação de estruturas compressivas e dobras, e a reativação de falhas normais e inversas, bem como a formação de cadeias montanhosas na Península Ibérica (Terrinha et al., 2006; Ramos et al., 2017). Este processo de compressão que se iniciou durante o Cenozoico, foi fortemente controlado por heterogeneidades herdadas de períodos tectónicos anteriores, sendo os principais o “*basement*” Paleozoico herdado da

orogenia Varisca, a presença de falhas extensivas associadas ao anterior período de *rifting*, e as camadas evaporíticas formadas durante o Mesozoico (Ramos et al., 2017).

A margem SW portuguesa, é uma margem continental transformante, que inclui falhas ativas e estruturas de compressão que vão desde o *offshore* do Algarve ao Golfo de Cádiz (Terrinha et al., 2006). A bacia foi segmentada por zonas de cisalhamento oblíquas, de direção NW-SE, que influenciaram o processo de *rifting* e a inversão tectónica posterior (Ramos et al., 2020). Estas principais zonas incluem, a falha de S. Marcos-Quarteira, a zona de Cisalhamento de Querença, de S. Vicente, de Gorringe-GoC e do Golfo de Cádiz-Bética (Ramos et al., 2020).

Atualmente, a bacia do Algarve é uma região sísmicamente ativa com deformação, estando esta associada a falhas compressivas no *offshore*, reativadas da orogenia Varisca, com direções N-S e NE-SW, e do Mesozoico (Ramos et al., 2017; Terrinha et al., 2009; Terrinha et al., 2006). Estes dois sistemas de falhas atuam de forma diferente, com o sistema N-S e NE-SW a atuar como falhas inversas, e o sistema WNW-ESE e E-W a atuar como falhas desligantes profundas (Terrinha et al., 2009). As principais estruturas tectónicas atuais, ativas na bacia, desde o período neogénico, são os bancos de Guadalquivir e de Portimão, sendo estas duas estruturas de soerguimento e deformação (Ramos et al., 2017). A Zona de Fratura Açores-Gibraltar (ZFAG ou AGFZ (na Figura 2.2)), na Margem SW Ibérica, representa a fronteira atual entre as placas da Núbia e Ibérica (Ramos et al., 2017).

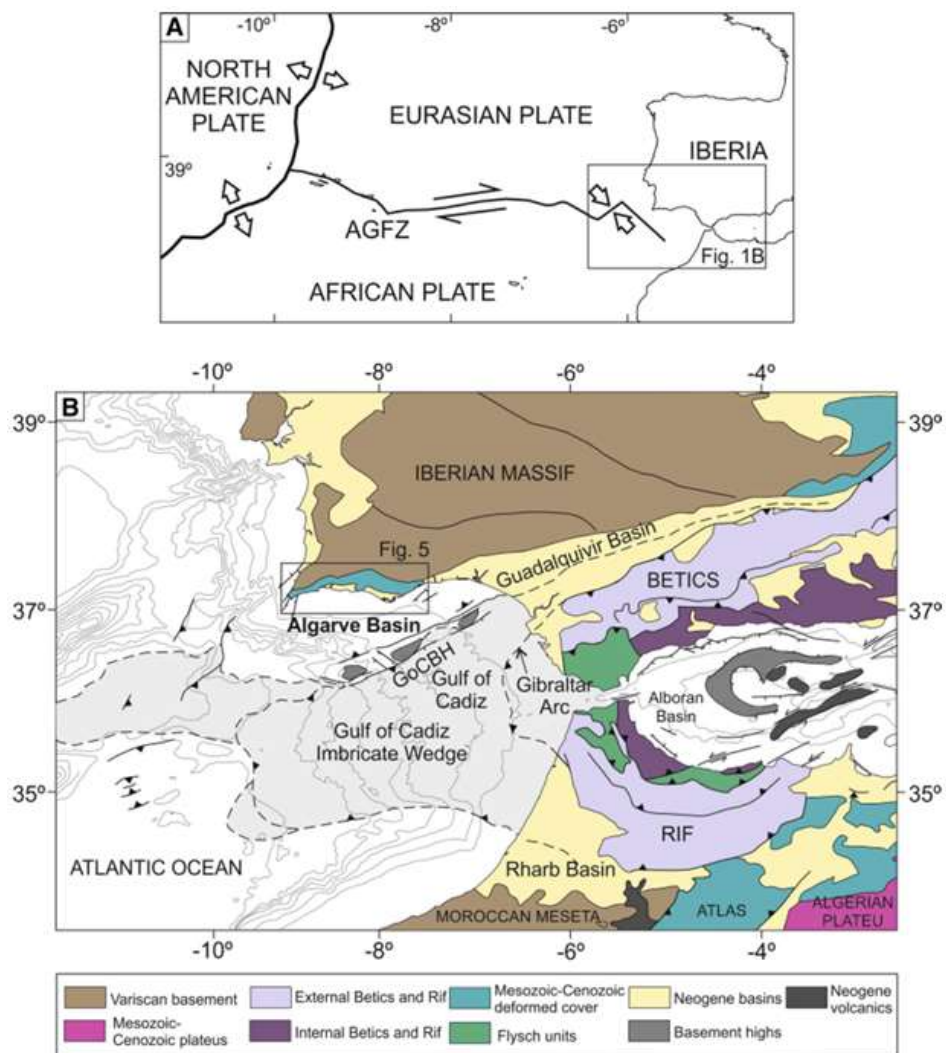


Figura 2.2 – A) Principais limites das placas tectónicas e cinemática relativa das placas. B) Mapa geológico do sistema do Rife Bético com as principais unidades tectónicas e bacias associadas (Figura retirada de: Ramos et al., 2016)

### 2.2.1 Tectónica Salina

A bacia do Algarve está inserida num sistema salífero atlântico, que é resultante de um período de *rifting*, ativo durante o Triássico ao Jurássico e que precedeu a abertura do oceano Atlântico (Matias et al., 2011). A tectónica salina na região da bacia do Algarve teve início no Jurássico inferior (Hetangiano), e esteve ativa até ao Cretácico inferior, sendo mais intensa nos períodos do Jurássico inferior a médio. Esta controlou a geometria dos depocentros da bacia, durante o Mesozoico, a evolução e migração dos diapiros, bem como a distribuição da espessura das unidades sedimentares superiores (Ramos et al., 2020; Ramos et al., 2017).

A unidade evaporítica é mais fina na zona norte da bacia, correspondente ao *onshore*, tornando-se mais espessa à medida que passa para sul, no *offshore*, sendo esta região mais afetada pela tectónica. Esta unidade atuou como nível de deslocamento para as falhas distensivas (Ramos et al., 2020).

A tectónica salina alimentou uma importante estrutura, designada por Diapiro de Esperança, descrita como um corpo salino alóctone, de idades do Hetangiano, que se desenvolveu na região centro-este do *offshore* da bacia do Algarve, a norte do Banco de Guadalquivir e que foi uma estrutura ativa desde o Jurássico médio ao Miocénico, ocupando uma área de cerca de 1400 m<sup>2</sup>, com uma espessura média de 600 m (Ramos et al., 2017; Ramos et al., 2020; Matias et al., 2011). Este corpo de sal apresenta uma estrutura irregular, sendo em alguns casos considerado como uma estrutura diapirica alóctone, tendo origem na região mais a Este da bacia, expandindo-se para SW (Matias et al., 2011). Durante o Miocénico superior, o Diapiro de Esperança agiu como uma divisória na região este da bacia do Algarve, subdividindo-a em duas sub-bacias, norte e sul, isto devido à presença de cristas diapiricas (Ng et al., 2022).

## 3 Metodologia

Para a interpretação sísmica realizada neste trabalho, foi utilizado o software PETREL, da Schlumberger, um software de interpretação sísmica. Os atributos sísmicos utilizados neste trabalho foram os disponíveis neste software. Na interpretação sísmica foram utilizados os conceitos da sismostratografia e de análise de atributos sísmicos, para a interpretação das unidades geológicas, falhas e *Bright Spots*. Foram interpretadas unidades sísmicas atribuídas ao Meso-Cenozoico (incluindo uma unidade de sal) e as respetivas discordâncias, bem como estruturas geológicas, como é o caso das falhas e *Bright Spots*.

Os *Bright Spots* são definidos como anomalias de amplitude sísmica (ou de elevada amplitude), implicando um aumento local de amplitudes, que normalmente podem estar associados à presença de fluídos. Estes resultam de grandes discrepâncias de impedância acústica (*Bright\_spot*, 2025; Matias et al., 2011).

Para a realização deste trabalho, foram seguidas as seguintes etapas:

- i. Cálculo de atributos sísmicos para auxiliar a interpretação sísmica, em particular atributos geométricos que permitem realçar padrões, contornos de estruturas e discontinuidades, visando a identificação de estruturas geológicas, como falhas e diapiros. Foram também calculados atributos físicos, para a identificação de variações litológicas ou de conteúdos em fluídos, muitas vezes associadas à presença de *Bright Spots*.
- ii. Interpretação sísmica das principais unidades sismostratigráficas presentes nos dados de reflexão sísmica 3D;

- iii. Interpretação das falhas e dos *Bright Spots*.
- iv. Criação de superfícies geológicas a partir dos horizontes sísmicos interpretados;
- v. Cálculo de mapas de espessura das unidades geológicas interpretadas;
- vi. Análise da distribuição dos *Bright Spots*.

### 3.1 Sísmica de reflexão e aquisição sísmica

A sísmica de reflexão é um método geofísico, amplamente utilizado por geólogos e geofísicos, que lhes permite indiretamente investigar a geologia do subsolo e avaliar as propriedades das rochas constituintes. Ao longo dos anos esta metodologia teve vários desenvolvimentos tecnológicos e com o aparecimento de dados de reflexão sísmica 3D, permitiu indiretamente visualizar as estruturas geológicas em toda a sua extensão, facilitando assim a criação de modelos geológicos, utilizados na exploração e armazenamento de georecursos e auxiliando estudos relacionados com bacias sedimentares e sua geodinâmica (Hart, 2000; Taylor e Azevedo, 2022). A aquisição de dados de sísmica de reflexão pode ser efetuada em ambiente terrestre ou marinho. Esta metodologia baseia-se nos princípios da propagação das ondas sísmicas, com vista à caracterização das propriedades das rochas do subsolo (Figura 3.1). Na aquisição sísmica é utilizada uma fonte de emissão acústica, a partir de uma fonte de disparo, designada por “*shot point*”, a partir da qual é gerada uma onda acústica, em intervalos de tempo e espaçamento regulares. Esta onda acústica, propaga-se através das diferentes camadas do subsolo e ao encontrar interfaces entre camadas rochosas com diferentes propriedades, parte da onda é refletida, de volta à superfície, onde é captada por um recetor acústico, enquanto a restante parte continua a sua propagação no subsolo. O tempo que a onda acústica demora a percorrer o percurso desde a fonte de disparo até à interface rochosa e depois regressar de volta à superfície é denominado como “*two-way time*” (TWT) (Yilmaz, 2001; Taylor e Azevedo, 2022).

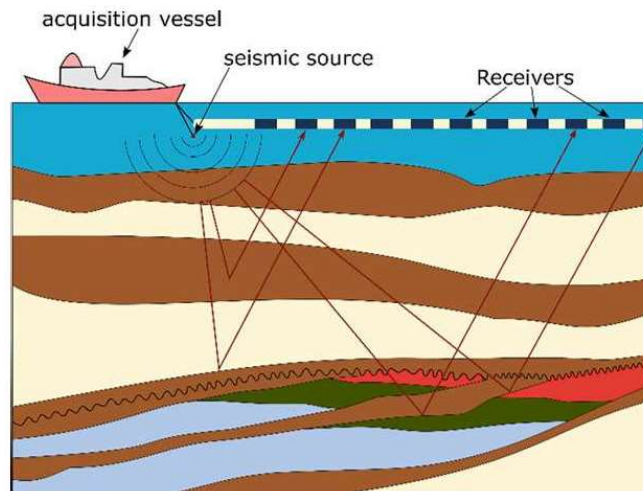


Figura 3.1 – Representação esquemática de um sistema de aquisição sísmica em ambiente marinho, onde se observa o percurso das ondas acústicas, a partir da fonte, e a sua reflexão nas diferentes interfaces das camadas geológicas, até serem detetadas pelos recetores acústicos. (retirado de Taylor e Azevedo, 2022)

Ao propagar-se no subsolo a velocidade e amplitude das ondas vai variar também, consoante a litologia, devido à diferença de densidade dos materiais ou fluido atravessados. Esta característica relaciona-se com uma propriedade das rochas, designada por impedância acústica ( $I$ ).

A impedância acústica é uma propriedade elástica das rochas, que está relacionada com a resistência do material rochoso à passagem de uma onda acústica. Esta propriedade (Equação 3.1) depende da densidade ( $\rho$ , g/cm<sup>3</sup>) do material atravessado e da velocidade ( $V$ , m/s) de propagação da onda nesse material, sendo por isso uma propriedade, utilizada na caracterização de camadas geológicas, devido ao seu comportamento ser condicionado pelas características litológicas e conteúdo em fluidos dessas camadas (Taylor e Azevedo, 2022).

$$I = \rho \times V \quad (\text{Equação 3.1})$$

A interface entre as camadas rochosas com diferentes litologias ou conteúdo em fluidos, representa uma zona de mudança de velocidade de propagação e de densidade do material rochoso, assim como, uma diferença de valores de impedância acústica. Nesta interface que separa diferentes camadas geológicas, parte da onda é refletida de volta à superfície, enquanto outra parte desta onda é refratada para camadas mais profundas (Taylor e Azevedo, 2022). A parte refletida da onda acústica, devido ao contraste de impedância acústica entre camadas do subsolo, é medida pelo coeficiente de reflexão ( $R$ ), representado pela Equação 3.2, sendo esta apenas válida quando a incidência da onda acústica no subsolo é feita na vertical. Este mede a intensidade da reflexão da onda, com base na diferença de impedância acústica entre duas camadas distintas. Deste modo, quanto maior for a diferença de valores de impedância acústica entre as duas camadas, maior vai ser a energia refletida (Taylor e Azevedo, 2022).

$$R = \frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1} \quad (\text{Equação 3.2})$$

Os dados sísmicos adquiridos são posteriormente processados e interpretados de modo a terem um significado geológico.

## 3.2 Interpretação sísmica e Sismoestratigrafia

A interpretação sísmica, tem como base os princípios da sismoestratigrafia, que usa conceitos da estratigrafia, aplicados aos dados de reflexão sísmica, com o objetivo de identificar e correlacionar variações na amplitude ou nas terminações dos refletores sísmicos, como sequências deposicionais ou eventos geológicos datados no tempo (Roque, 2007).

Uma sequência deposicional entende-se como um conjunto de camadas sedimentares, delimitadas superior e inferiormente por duas superfícies, normalmente designadas por discordâncias. Estas discordâncias representam superfícies de erosão ou superfícies de não deposição de sedimentos, que podem estar relacionadas, por exemplo, com mudanças relativas do nível do mar. As sequências deposicionais possuem um valor cronostratigráfico, devido às discordâncias que as delimitam, que podem ser ou não isócronas, permitindo assim subdividir o registo sismoestratigráfico em unidades interpretáveis associadas a uma determinada idade geológica (Mitchum et al., 1977). Segundo Mitchum et al., 1977, os limites de sequências deposicionais podem ser distinguidos segundo o seu critério físico, podendo corresponder a discordâncias, hiatos ou conformidades (Figura 3.2). A discordância, é uma superfície identificável à escala da bacia, que indica um período erosivo ou de não deposição, representando uma lacuna temporal entre os estratos mais antigos e mais recentes. O hiato representa um intervalo de tempo geológico sem representação ao longo do registo estratigráfico. Este pode ser devido a erosão e/ou à não deposição. Já as conformidades, correspondem a superfícies que separam sequências deposicionais recentes de mais antigas, sem que haja evidências de erosão ou de não deposição de sedimentos (Mitchum et al., 1977; Roque, 2007).

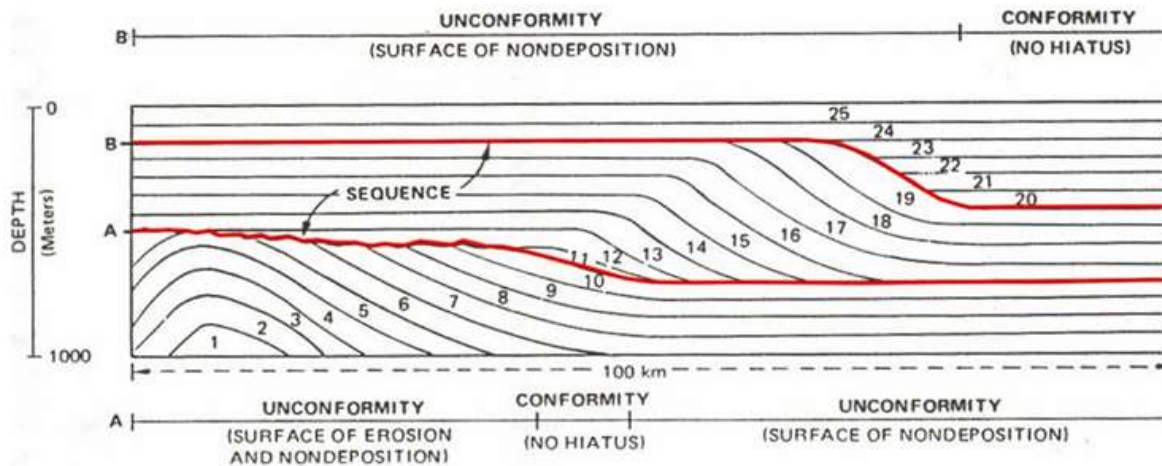


Figura 3.2 – Esquema representativo de uma sequência deposicional, delimitada pelas linhas a vermelho (A e B), que passam, ao longo da sequência e que representam os seus limites, que correspondem a discordâncias deposicionais (retirado de Mitchum et al., 1977).

Dentro da análise sismoestratigráfica, a caracterização das fácies sísmica é uma etapa importante, que permite compreender os eventos geológicos e ambiente deposicional de um determinado período de tempo, a partir da análise das características dos refletores sísmicos.

Na análise das fácies sísmicas, são consideradas várias características dos refletores sísmicos, que auxiliam na interpretação geológica de dados de reflexão sísmica, entre os quais:

- a) Identificação das terminações das reflexões sísmicas;
- b) Identificação da configuração das reflexões sísmicas;
- c) Identificação da forma externa das unidades sísmicas;
- d) Identificação do carácter das reflexões sísmicas.

Os tipos de terminação das reflexões sísmicas, estão associadas à sua posição relativamente ao topo ou base da sequência sísmica e permitem inferir acerca do tipo de ambiente deposicional (Figura 3.3). Quando as terminações dos refletores sísmicos, terminam no topo da sequência deposicional, podem distinguir-se três tipos de terminações: *Toplap*, *Truncatura* e *Concordância*, sendo que a última também pode estar presente na base de uma sequência deposicional. Para além da *Concordância*, podem se distinguir mais dois tipos de terminações, na base de uma sequência, nomeadamente: *Onlap* e *Downlap*. Quando a distinção entre *Onlap* e *Downlap* não é possível, utiliza-se o termo *Baselap*, para a designação da terminação. A presença de diferentes tipos de terminações, no topo da sequência ou na base, possui um significado sismoestratigráfico, permitindo identificar a ocorrência de discordâncias ou hiatos deposicionais (Mitchum et al., 1977; Roque, 2007). A configuração das reflexões sísmicas e a sua geometria, estão relacionadas com processos de deposição de sedimentos, erosão e com a paleotopografia, tendo ainda relação com a presença de fluidos nos estratos (Mitchum et al., 1977; Roque, 2007). As Figuras 3.4 e 3.5, representam os vários tipos de configurações que se podem distinguir nas sequências sísmicas. Esta característica das fácies sísmicas é de grande importância para tentar identificar o tipo de paleoambiente, avaliar taxas de sedimentação ou inferir por exemplo direção de progradação de uma sequência sedimentar.

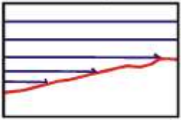
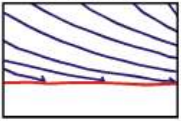
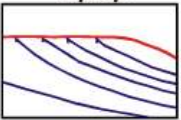
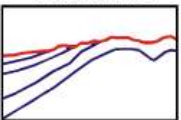
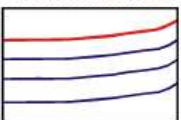
Terminação das reflexões	Definição	Interpretação geológica
<p><b>Onlap</b></p> 	Terminação lateral progressiva de reflexões inicialmente horizontais ou inclinadas contra uma superfície com inclinação superior.	É indicador de não deposição. Em alguns locais este padrão de terminação de reflexões é controlado pelas irregularidades do fundo. Constitui o indicador mais fiável para identificar o limite inferior de uma sequência sísmica.
<p><b>Downlap</b></p> 	Terminação lateral de uma reflexão inicialmente inclinada contra uma superfície de menor inclinação ou horizontal.	É frequentemente indicador de um hiato de não deposição.
<p><b>Toplap</b></p> 	Terminação tangencial de reflexões inclinadas contra uma superfície suprajacente com menor inclinação.	É considerado uma evidência de não deposição ( <i>sedimentary bypassing</i> ). Raramente resulta de erosão.
<p><b>Truncatura</b></p> 	Terminação lateral das reflexões contra uma superfície discordante de origem erosiva ou estrutural que limita superiormente uma sequência sísmica.	Indica a presença de uma superfície erosiva ou estrutural. Trata-se do critério mais fiável para identificar o limite superior de uma sequência deposicional.
<p><b>Concordância</b></p> 	As reflexões apresentam uma disposição sensivelmente paralela ao limite superior/inferior de uma sequência sísmica, estando ausente qualquer descontinuidade angular.	Manutenção das condições deposicionais.

Figura 3.3 – Esquemas representativos de diferentes tipos de terminações das reflexões sísmicas, e a sua respetiva interpretação geológica (retirado de Roque, 2007).

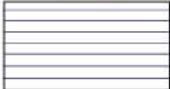

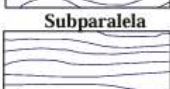
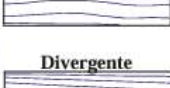

Configurações das reflexões	Descrição	Ambiente sedimentar
<p><b>Paralela</b></p> 	As reflexões dispõem-se paralelamente, apresentando boa amplitude e continuidade.	A sua presença sugere sedimentação segundo taxas uniformes ou a ocorrência de subsidência gradual e regular. Ocorrem frequentemente nas plataformas continentais ou em bacias estáveis.
<p><b>Subparalela</b></p> 		
<p><b>Divergente</b></p> 	As reflexões apresentam um padrão divergente ou convergente, verificando-se variações laterais de espessura das unidades, a qual aumenta ou diminui, respectivamente em direção à bacia.	Ambos os tipos de configuração estão associados a variações laterais da taxa de sedimentação ou à progressiva inclinação da superfície de deposição.
<p><b>Caótica</b></p> 		
<p><b>Transparente</b></p> 	Este tipo de configuração caracteriza-se pela ausência total ou parcial de reflexões ou pela inexistência de continuidade lateral.	Traduz a presença de litologias muito homogêneas (sem contraste de impedância acústica), ou fortemente deformadas e/ou metamorfozadas, ou a ocorrência de corpos ígneos ou massas salinas. Uma sedimentação rápida e uniforme de depósitos argilosos apresenta igualmente este tipo de resposta acústica.

Figura 3.4 – Tipos de configurações internas das reflexões sísmicas, e os respetivos ambientes deposicionais. (retirado de Roque, 2007)

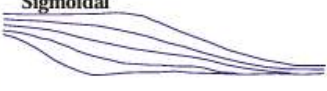

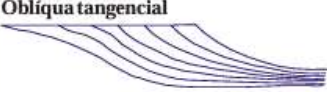
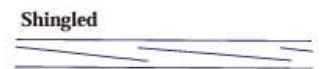
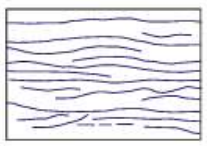
Configurações Progradantes	Descrição	Ambiente Sedimentar
<p><b>Sigmoidal</b></p> 	<p>As reflexões dispõem-se em sigmoide, apresentando inclinação e espessura mais elevada nos segmentos médios, terminando em concordância relativamente ao limite superior e em <i>downlap</i> em relação ao limite inferior da unidade.</p>	<p>Esta configuração testemunha um ambiente de deposição de baixa energia e escasso acarreo sedimentar, sujeito a subsidência rápida</p>
<p><b>Obliqua paralela</b></p> 	<p>O conjunto das reflexões é interpretado como exclusivamente progradante (sem agradação). Em ambos os casos, as reflexões terminam em <i>toplap</i> em relação ao limite superior da unidade. Considerando a terminação das reflexões na base da unidade distinguem-se dois tipos de configuração:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Paralela:</b> as reflexões apresentam inclinação constante com terminação em <i>downlap</i>.</li> <li>- <b>Tangencial:</b> a inclinação das reflexões diminui progressivamente do topo para a base da sequência progradante terminando em concordância.</li> </ul>	<p>A gênese deste padrão de reflexões progradantes está dependente da conjugação de diversos factores, em particular, de um importante acarreo sedimentar num ambiente de alta energia, subsidência nula ou insignificante, e estabilidade do nível do mar.</p>
<p><b>Obliqua tangencial</b></p> 	<p>Este tipo de configuração progradante resulta de combinações de progradações sigmoidais e oblíquas, reflectindo a alternância de episódios agradacionais e de não deposição, respectivamente.</p>	<p>O seu desenvolvimento está associado a um ambiente deposicional dominado por energia elevada.</p>
<p><b>Shingled</b></p> 	<p>As reflexões apresentam geometria oblíqua, embora com pequena inclinação.</p>	<p>Geram-se por progradação em águas pouco profundas.</p>
<p><b>Hummocky</b></p> 	<p>As reflexões são descontínuas e irregulares, geralmente com inclinações opostas.</p>	<p>Esta configuração é interpretada como resultante da interdigitação de pequenos lóbulos de progradação desenvolvidos em ambiente de plataforma interna, em águas pouco profundas numa posição prodeltaica ou interdeltáica.</p>

Figura 3.5 – Tipos de configurações internas progradantes, e os seus respetivos ambientes deposicionais. (retirado de Roque, 2007)

A forma externa das unidades sísmicas contribui para a identificação de uma dada unidade sísmica em relação às unidades adjacentes. Esta permite distinguir o tipo de ambiente deposicional em que os sedimentos foram depositados (Mitchum et al., 1977). Na Figura 3.6 estão representados os diversos tipos de formas externas, segundo Mitchum et al., 1977. A Tabela 1 sumariza os principais aspetos que distinguem as formas externas das sequências sísmicas.

O carácter das reflexões sísmicas está dependente de variações geológicas nas unidades sísmicas, apresentando um significado geológico que pode ser variado, por exemplo associado a variações de conteúdo em fluídos das formações rochosas e variações laterais de fácies litológica. Este carácter das reflexões sísmicas traduz-se em diferentes parâmetros sísmicos, como a continuidade das reflexões, as suas amplitudes, a sua frequência, ou a sua assinatura (Mitchum et al., 1977; Roque, 2007).

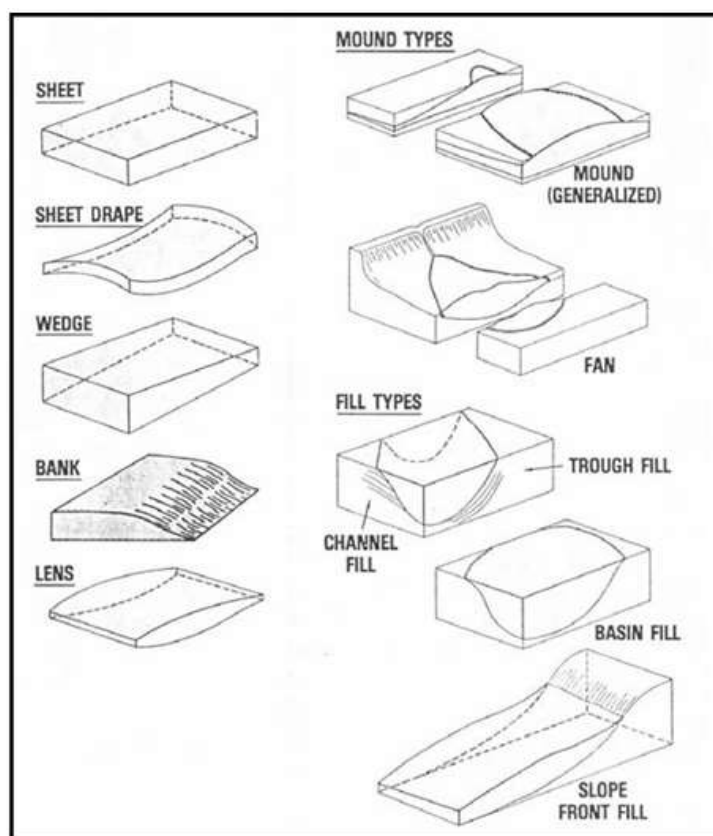


Figura 3.6 – Representação dos principais tipos de formas externas das unidades sísmicas. (retirado de Mitchum et al., 1977)

Tabela 1 - Tabela com diferentes tipos de formas externas das unidades sísmicas, e os respectivos ambientes deposicionais. (retirado de Roque, 2007)

FORMA EXTERNA	AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO
<b>Lâmina paralela</b> <b>Cunha</b> <b>Banco</b>	Estas formas podem atingir grandes dimensões e ocorrem com frequência associadas a depósitos de plataforma, apresentando configurações paralelas, divergentes ou progradantes.
<b>Lâmina ondulada</b>	Correspondem geralmente a sedimentos pelágicos ou hemipelágicos depositados em ambiente profundo e de fraca energia.
<b>Lóbulo</b>	Ocorre com frequência em depósitos de talude.
<b>Montes</b> <b>Montículos</b>	Estas formas apresentam uma origem variada (ex.: edificações carbonatadas, diapiros, deslizamentos). As suas dimensões são geralmente pequenas e a configuração das reflexões é variada, mas geralmente quando a origem é detrítica traduz um nível de energia elevado.
<b>Preenchimento</b>	À semelhança das formas acima descritas, a configuração das reflexões internas pode ser variada (ex.: preenchimento em <i>onlap</i> , caótico, progradante, divergente). Podem atingir grande extensão, correspondendo a bacias ou apresentar dimensões mais restritas (ex. canais).

### 3.3 Atributos Sísmicos

Os atributos sísmicos foram inicialmente introduzidos na década de 1970, desde então, são uma ferramenta visual, usada como auxílio à interpretação sísmica, ajudando na identificação e caracterização de estruturas geológicas, a partir de dados de reflexão sísmica (Taner, 2001).

Segundo Taner, 2001, os atributos sísmicos são toda a informação extraída de dados sísmicos, quer por medições diretas, quer por inferência lógica, que permitem fornecer informação com significado geológico, como informação estrutural, estratigráfica e litológica, ou simplesmente melhorar a qualidade visual dos dados, equilibrando por exemplo a razão sinal-ruído (Taner, 2001; Chopra and Marfurt, 2006).

Inicialmente Taner, 2001 dividiu os atributos sísmicos em dois grandes grupos de atributos sísmicos – os atributos físicos e geométricos. Os atributos físicos, que estão relacionados com as propriedades físicas do subsolo, dependendo por isso das características litológicas, que influenciam por exemplo a amplitude ou fase dos refletores sísmicos. Estes atributos, podem ajudar a identificar e a enaltecer variações litológicas, de porosidade e acumulações de líquidos ou gases (*bright spots*). Os atributos geométricos, são outra classe de atributos sísmicos, que permitem realçar os padrões e as relações geométricas dos refletores sísmicos (e.g. inclinação, azimute e continuidade), ajudando a identificar qual a configuração dos refletores, a quantificar padrões de deposição sedimentar e a associar estas características a possíveis variações na litologia (Taner, 2001; Chopra and Marfurt 2005).

Nas últimas décadas, houve uma enorme proliferação de atributos sísmicos e sua classificação foi-se alterando no tempo, podem no entanto e de uma forma geral, serem classificados com base na sua origem e com base forma como são calculados.

#### 3.3.1 Trace AGC

O Trace AGC (*Automatic Gain Control*) é um método de controlo automático de ganho que ajusta dinamicamente a amplitude dos traços sísmicos para equilibrar o RMS (*Root Mean Square*), numa janela de dados especificada (Figura 3.7).

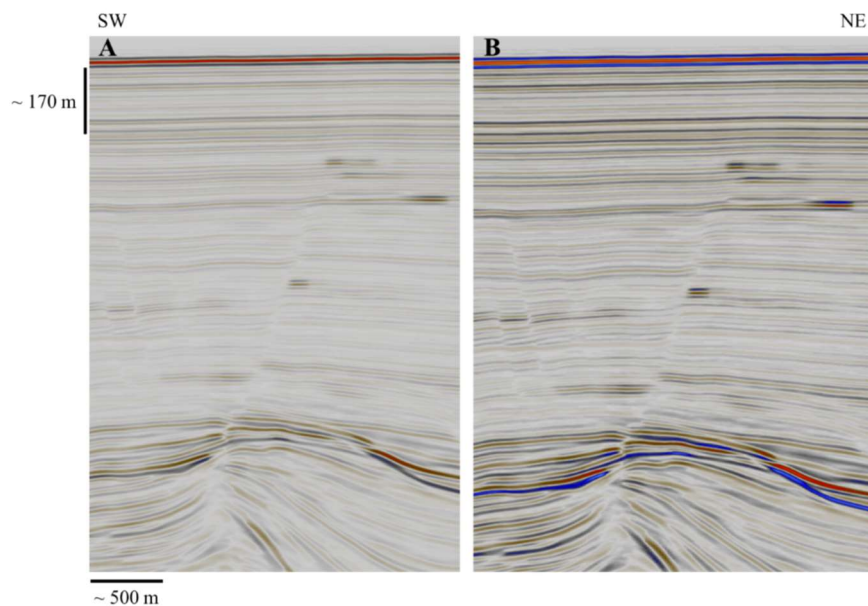


Figura 3.7 – A) Perfil sísmico de uma crossline; B) O mesmo perfil sísmico de (A), com a aplicação do atributo sísmico Trace AGC, onde é possível de notar uma ampliação dos refletores sísmicos.

É dado pela equação:

$$TraceAGC = f(t) \times \left[ 1,5 - \frac{A_{RMS}(t)}{S_{max}} \right] \quad (\text{Equação 3.3})$$

Onde  $S_{max}$  representa o valor máximo da totalidade dos dados sísmicos.

Este melhora a interpretação dos eventos sísmicos fracos, tornando-os mais visíveis. Por este motivo, pode amplificar ruído, sendo necessária a aplicação de uma suavização para minimizar este efeito. É aplicado em volumes de dados sísmicos *post-stack* para uma normalização das amplitudes sísmicas (Schlumberger, 2007).

### 3.3.2 Fase instantânea

A fase instantânea ( $\phi(t)$ ), é definida como uma função analítica complexa do traço sísmico, sendo calculada partir da equação:

$$\phi(t) = \tan^{-1} \left( \frac{g(t)}{f(t)} \right) \quad (\text{Equação 3.5})$$

Onde  $f(t)$  representa o traço sísmico original, sendo que  $g(t)$  é obtido pela transformada de Hilbert de  $f(t)$ .

A fase instantânea, tal como a frequência instantânea, é independente da amplitude. Esta aplica a mesma intensidade a eventos fortes e fracos, permitindo que sejam detetadas estruturas mais subtis (Figura 3.8), sendo útil na identificação de descontinuidades estruturais e estratigráficas (Schlumberger, 2007).

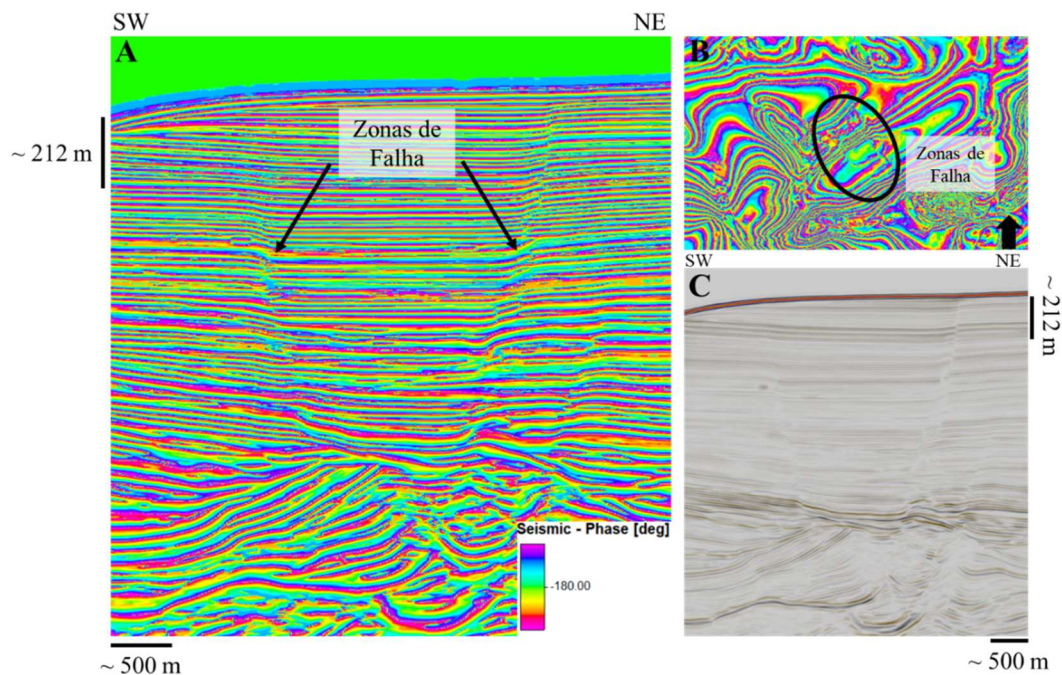


Figura 3.8 - A) Perfil sísmico de uma crossline, onde foi aplicado o atributo sísmico Fase Instantânea, no qual se pode observar zonas de falha; B) Time slice, ao qual foi aplicado o atributo sísmico Fase Instantânea; C) O mesmo perfil sísmico de (A), sem a aplicação de atributos sísmicos.

### 3.3.3 Frequência instantânea

A frequência instantânea ( $\omega_c(t)$ ), representa a taxa de variação da fase instantânea da onda sísmica, sendo definida pela equação:

$$\omega_c(t) = \frac{d\phi(t)}{dt} \quad (\text{Equação 3.4})$$

Onde  $\phi(t)$  representa a fase instantânea.

A frequência instantânea representa a frequência média do espectro sísmico, no tempo, sendo esta independente da amplitude e da fase do mesmo.

É um bom indicador para a identificação de zonas com presença de “*Bright-spots*”, zonas de fratura e de canais, bem como na identificação de alterações na litologia e na espessura das camadas geológicas (Figura 3.9) (Schlumberger, 2007).

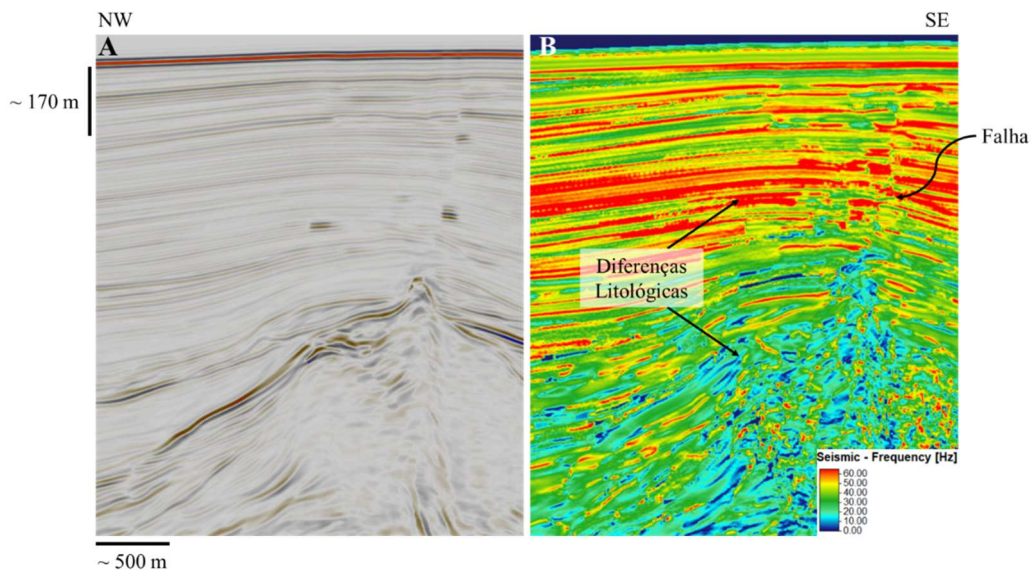


Figura 3.9 – A) Perfil sísmico de uma inline; B) O mesmo perfil sísmico de (A), com a aplicação do atributo sísmico Frequência Instantânea, onde é possível de notar zonas de falhas e claras diferenças na litologia, com a mudança da frequência.

### 3.3.4 Variância

A Variância é um método utilizado para identificar descontinuidades nos dados sísmicos, sendo eficaz para a identificação de falhas, canais e limites geológicos (Figura 3.10).

Esta mede a diferença entre valores de amplitude em torno de um ponto, fazendo o destaque das regiões com mudanças de amplitude abrupta. Quanto maior a variância, maior vai ser a probabilidade da existência de uma descontinuidade estrutural.

A Variância é um método patenteado (van Bemmél et al., 2000), que calcula a variabilidade das amplitudes dos dados sísmicos numa janela de dados 3D, utilizando a equação normalizada:

$$\sigma_t^2 = \frac{\sum_{j=t-L/2}^{j=t+L/2} w_{j-t} \sum_{i=1}^L (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{\sum_{j=t-L/2}^{j=t+L/2} w_{j-t} \sum_{i=1}^L (x_{ij})^2} \quad (\text{Equação 3.6})$$

Onde  $x_{ij}$  é o valor da amostra, na posição horizontal  $i$  e vertical  $j$ , e  $w_{j-t}$  é o termo da suavização vertical, ao longo de uma janela de valores de comprimento  $L$  (Schlumberger, 2007).

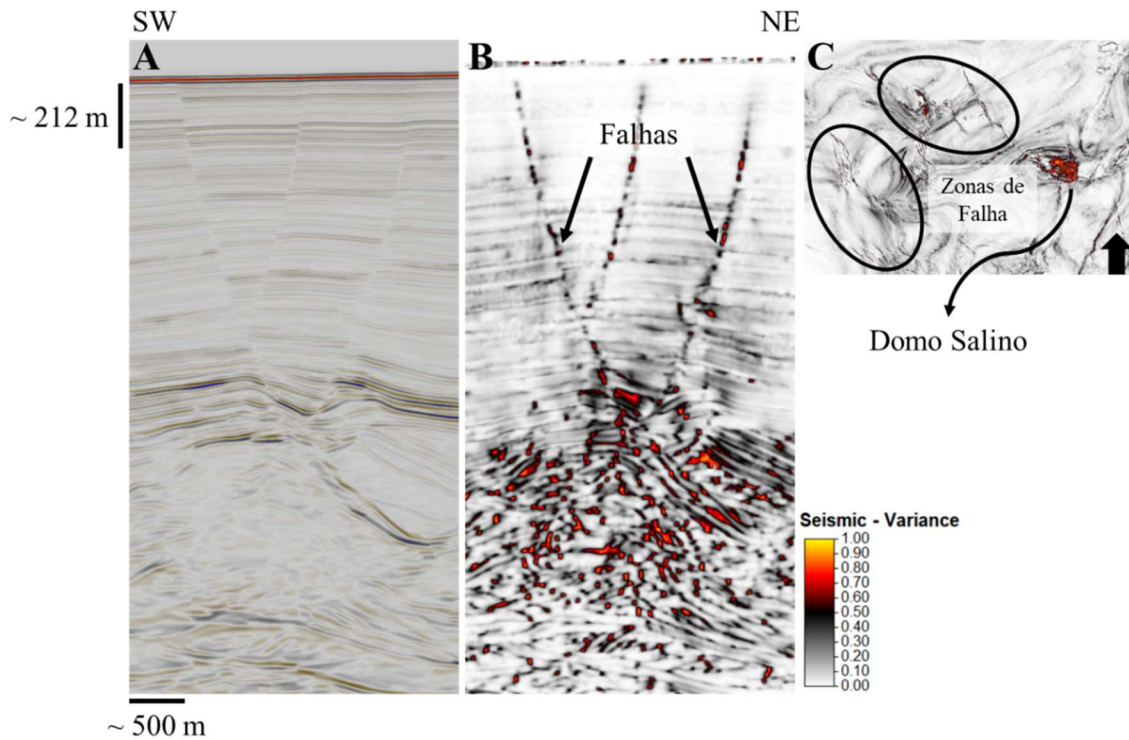


Figura 3.10 - A) Perfil sísmico de uma crossline; B) O mesmo perfil sísmico de (A), com a aplicação do atributo sísmico Variância, evidenciando falhas; C) Time slice, ao qual foi aplicado o atributo sísmico Variância, evidenciando zonas de falha e diapíros.

### 3.3.5 Caos

O Caos mede o grau de desorganização do sinal sísmico, numa janela de dados 3D, sendo útil para a identificação de descontinuidades estruturais e estratigráficas.

Este baseia-se na estimativa de orientações locais das estruturas geológicas. Quanto maior a variabilidade das orientações dentro da janela de dados em análise, maior o valor deste atributo. Regiões com padrões sísmicos bem definidos apresentam valores mais baixos, enquanto regiões como zonas de falhas, colapsos estruturas ou depósitos caóticos, apresentam valores mais elevados.

Este é calculado a partir da equação:

$$J = \frac{2\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_3} - 1 \quad (\text{Equação 3.7})$$

Onde  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  e  $\lambda_3$ , representam três autovetores que descrevem o mergulho e o azimute, assumindo-se  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$ .

O Caos ajuda na interpretação de zonas de fratura e falhas, e permite identificar fácies estratigráficas complexas (Figura 3.11), como é o caso de depósitos turbidíticos, e regiões com elevado grau de distorção sísmica (Schlumberger, 2007).

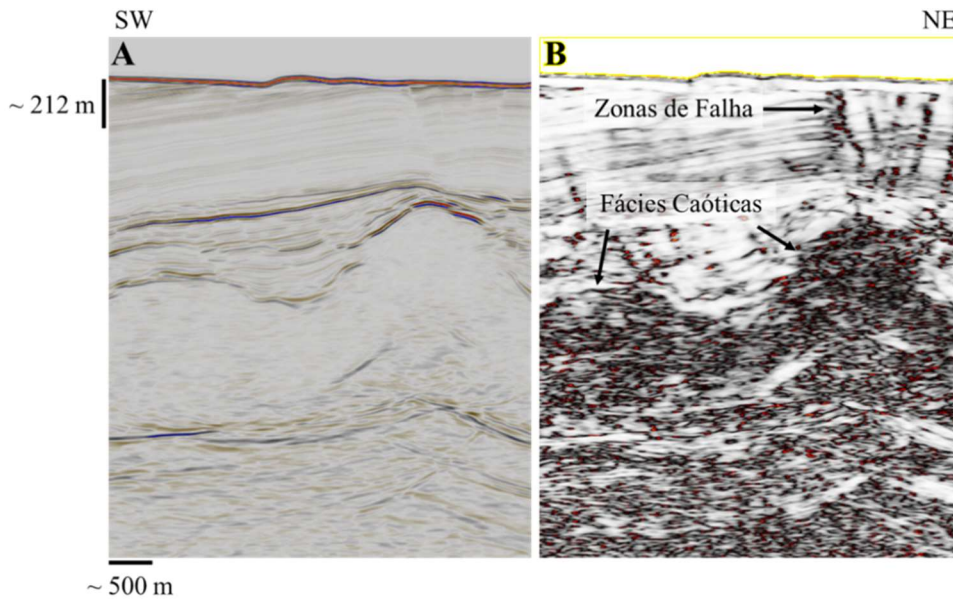


Figura 3.11 - A) Perfil sísmico de uma crossline; B) O mesmo perfil sísmico de (A), com a aplicação do atributo sísmico Caos, evidenciando zonas de falha e fácies caóticas, como o sal.

### 3.3.6 Gradiente da magnitude

O gradiente da magnitude (Figura 3.12) representa a intensidade do gradiente do traço sísmico, a três dimensões, sendo representado pela equação:

$$\text{GradientMagnitude} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2} \quad (\text{Equação 3.8})$$

Onde,  $f$  representa a amplitude sísmica,  $x$  a direção das *inlines*,  $y$  a direção das *crosslines* e  $z$  a direção vertical, ou seja, o tempo (profundidade).

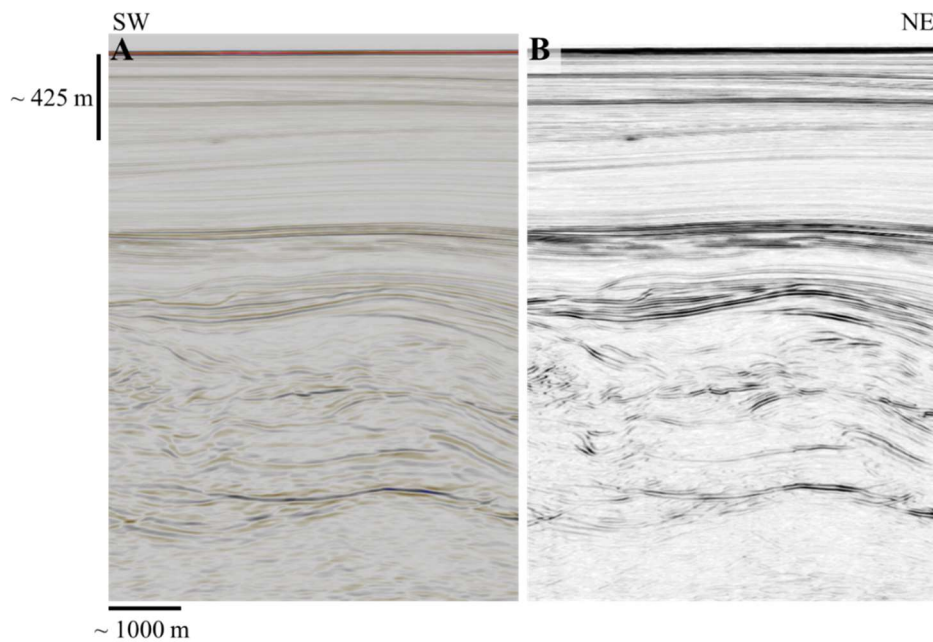


Figura 3.12 - A) Perfil sísmico de uma crossline; B) O mesmo perfil sísmico de (A), com a aplicação do atributo sísmico Gradiente da Magnitude, evidenciando horizontes sísmicos.

Este atributo é útil para a identificação de regiões com uma refletividade mais forte, devido a este ser um atributo sensível à amplitude (Schlumberger, 2007).

### 3.3.7 Amplitude RMS

O RMS (*Root Mean Square*) calcula a média quadrática das amplitudes sísmicas, dentro de uma janela de dados especificada. Este método fornece uma medida de energia dos sinais sísmicos e é útil para evidenciar variações na litologia e zonas de interesse geológico e económico.

Este é calculado pela equação:

$$A_{RMS}(t) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=-N/2}^{N/2} f^2(t+k)} \quad (\text{Equação 3.9})$$

Onde  $f(t)$  representa os valores de amplitude sísmica, e  $N$  é o número de amostras na janela de dados.

A Amplitude RMS é utilizada na identificação de zonas de maior energia, que podem estar associadas a reservatórios, sendo também útil na identificação de *bright spots*, que podem estar associados à presença de fluidos ou gases (Figura 3.13) (Schlumberger, 2007).

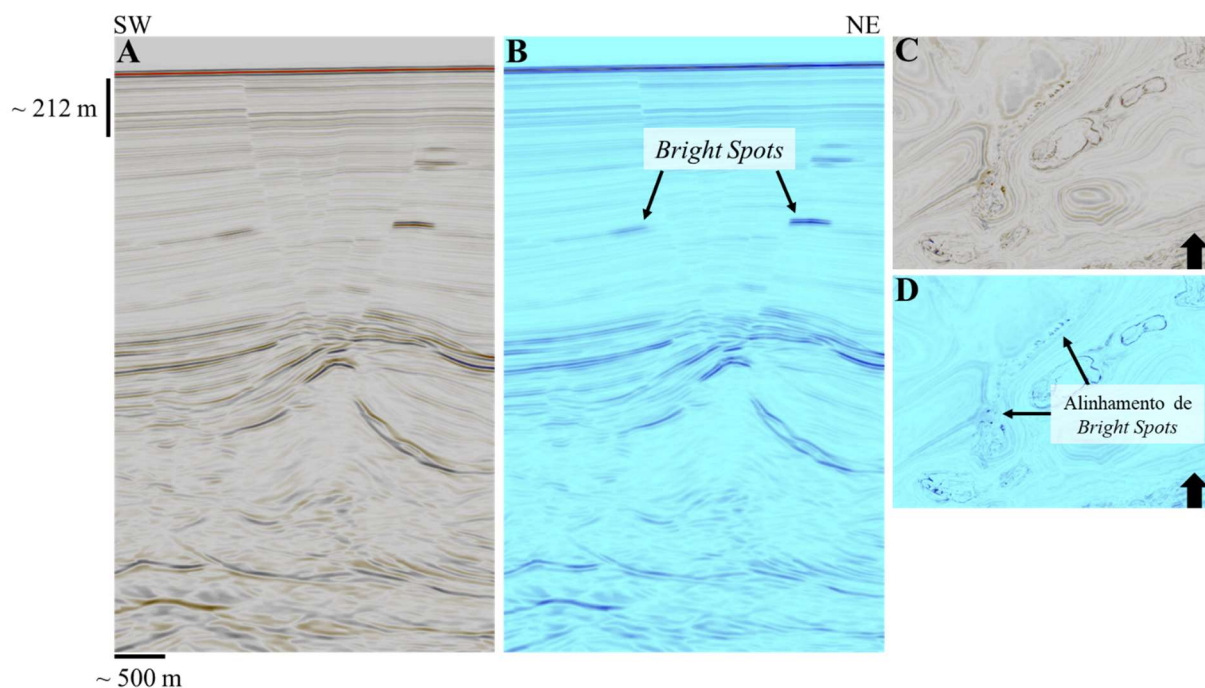


Figura 3.13 - A) Perfil sísmico de uma crossline; B) O mesmo perfil sísmico de (A), com a aplicação do atributo sísmico Amplitude RMS, evidenciando os *Bright Spots* e refletores sísmicos de amplitudes elevadas; C) Time slice; D) A mesma time slice de (C), com a aplicação do atributo sísmico Amplitude RMS.

### 3.3.8 Pseudo Relief

Este é um atributo sísmico foi desenvolvido para gerar mapas de amplitude das secções sísmicas, que reflitam o melhor possível a geologia da subsuperfície. É útil em áreas de exploração onde o conhecimento geológico está, na sua maioria, dependente dos dados sísmicos, permitindo uma melhor visualização da geometria de reservatórios.

Este baseia-se na extração do envelope de traços sísmicos, assumindo que as reflexões sísmicas (positivas e negativas) possuem significado geológico, apresentada inicialmente como uma forma de mapear variações laterais de fácies sísmicas. O *Pseudo Relief* permite a identificação de falhas, canais e outras estruturas geológicas.

O *Pseudo Relief* envolve uma rotação de fase (*phase shift*), aplicada à Amplitude RMS, para ressaltar altos contrastes de impedância, que apresentam semelhanças com perfis de afloramentos geológicos observados à superfície (Figura 3.14).

Este é calculado utilizando as seguintes equações:

$$\bar{X}_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{j=i+M/2}^{i+M/2} x_j^2}{M}} \quad (\text{Equação 3.10})$$

$$\bar{X}_{-90^\circ} = \mathcal{H}^{-1}\{\bar{X}_{RMS}\} \quad (\text{Equação 3.11})$$

Onde  $X_{RMS}$  é a média das amplitudes RMS, à qual é aplicada uma rotação de fase de  $-90^\circ$ , pela transformada de Hilbert (M. Bulhões et al., 2020).

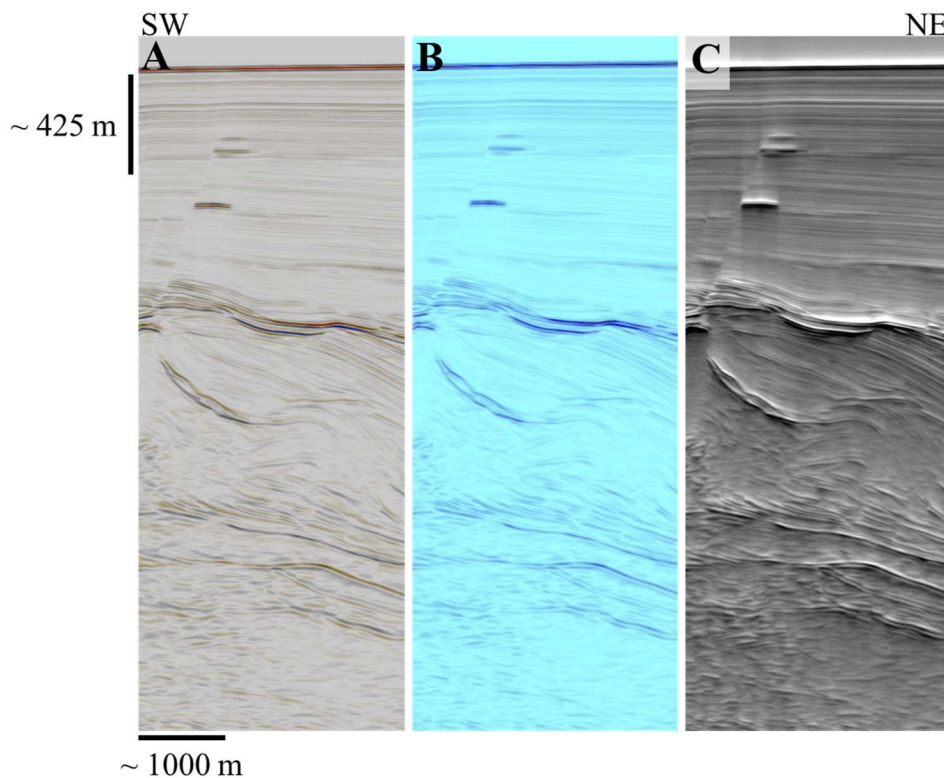


Figura 3.14 – Sequencia de criação do atributo sísmico *Pseudo Relief*: A) Perfil sísmico de uma crossline; B) O mesmo perfil sísmico, aplicando à sísmica a Amplitude RMS; C) O mesmo perfil sísmico, aplicando ao atributo Amplitude RMS, uma rotação de fase.

### 3.3.9 Multiatributos e Mistura de cores RGB

A mistura de cores, na sísmica, é uma técnica computacional, em que se recorre aos atributos sísmicos para permitir interpretar e visualizar, secções sísmicas de forma mais rigorosa, exibindo dois ou mais atributos simultaneamente ao longo de uma secção (*Seismic color blending*, 2025).

Algumas formas de aplicação desta técnica consistem: no “*coblanding*”, que permite combinar dois atributos em simultâneo, podendo estes ser de tipos diferentes, como por exemplo, a combinação de um atributo físico e um geométrico; a mistura de cores RGB (vermelho-verde-azul), consiste em atribuir a cada conjunto de dados do volume sísmico, um valor específico do RGB. Este modelo de cores é utilizado pois permite geral uma cor única, mais ou menos intensa, resultado da combinação mais ou menos favorável dos atributos utilizados (Chopra et al., 2007).

#### 3.3.9.1 Curvatura 3D

A Curvatura 3D, é um atributo que quantifica o quanto uma linha num determinado ponto, “curva” ou “dobra”. Pode ser definida com uma taxa de variação de direção, relacionada à segunda derivada. A curvatura, é derivada a partir de estimativas do *dip* (inclinação) e do azimute dos refletores sísmicos (Chopra, 2007). Anticlinais apresentam uma curvatura positiva e sinclinais apresentam uma curvatura negativa, enquanto horizontes planos com inclinação ou horizontais, não apresentam curvatura, ou seja, esta é nula.

Existem vários métodos e algoritmos que podem ser aplicados, com foco em diferentes características do atributo. Foram utilizados dois desses métodos, a curvatura “*most positive*” e “*most negative*” (Figura 3.15).

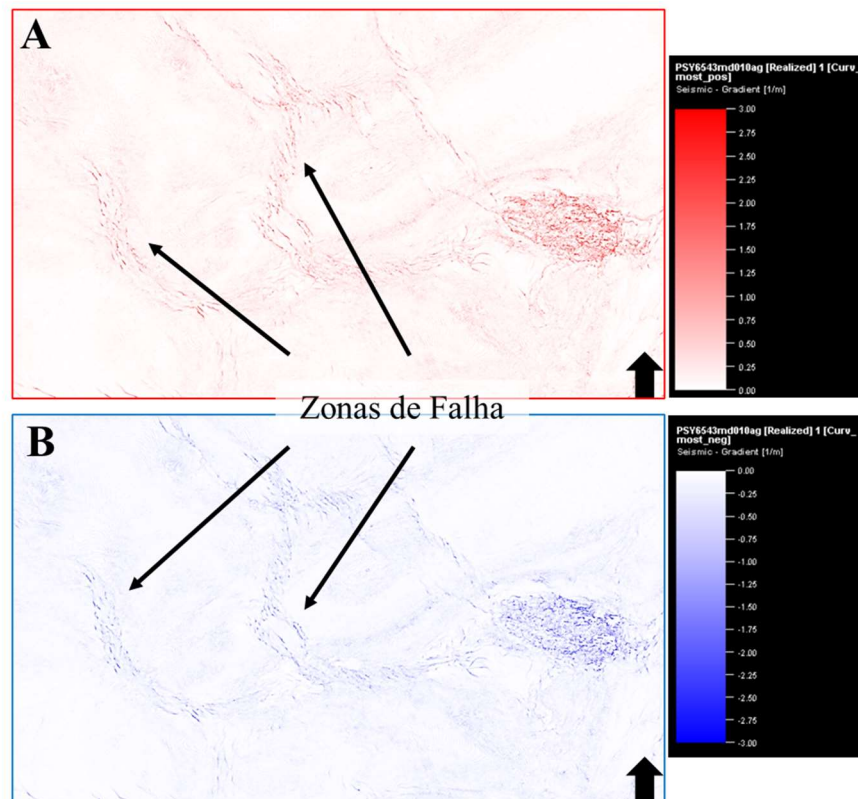


Figura 3.15 - A) Time slice, com o atributo sísmico Curvatura 3D – most positive; B) Time slice, com o atributo sísmico Curvatura 3D – most negative.

A curvatura “*most positive*”, calcula as áreas no volume sísmico que apresentam maior curvatura convexa, que podem representar fácies como, anticlinais e topos de domos salinos, bem como alguma deformação causada por fraturas.

A curvatura “*most negative*”, calcula o oposto da “*most positive*”, ou seja, calcula as áreas no volume sísmico que apresentam maior curvatura côncava, que podem representar fácies como, sinclinais e bacias de deposição (Schlumberger, 2007).

### 3.3.9.2 *Contraste de Amplitudes*

Este atributo procura extrair e realçar estruturas salíferas presentes nos dados sísmicos. Como estas estruturas tendem a apresentar uma aparência de ruído, nos dados sísmicos, outros atributos de detecção estrutural acabam por identificar apenas parte da estrutura, enquanto o contraste de amplitudes realça toda a estrutura (Figura 3.16).

Este atributo baseia-se no cálculo de derivadas a três dimensões, passando por uma normalização e suavização vertical dos resultados.

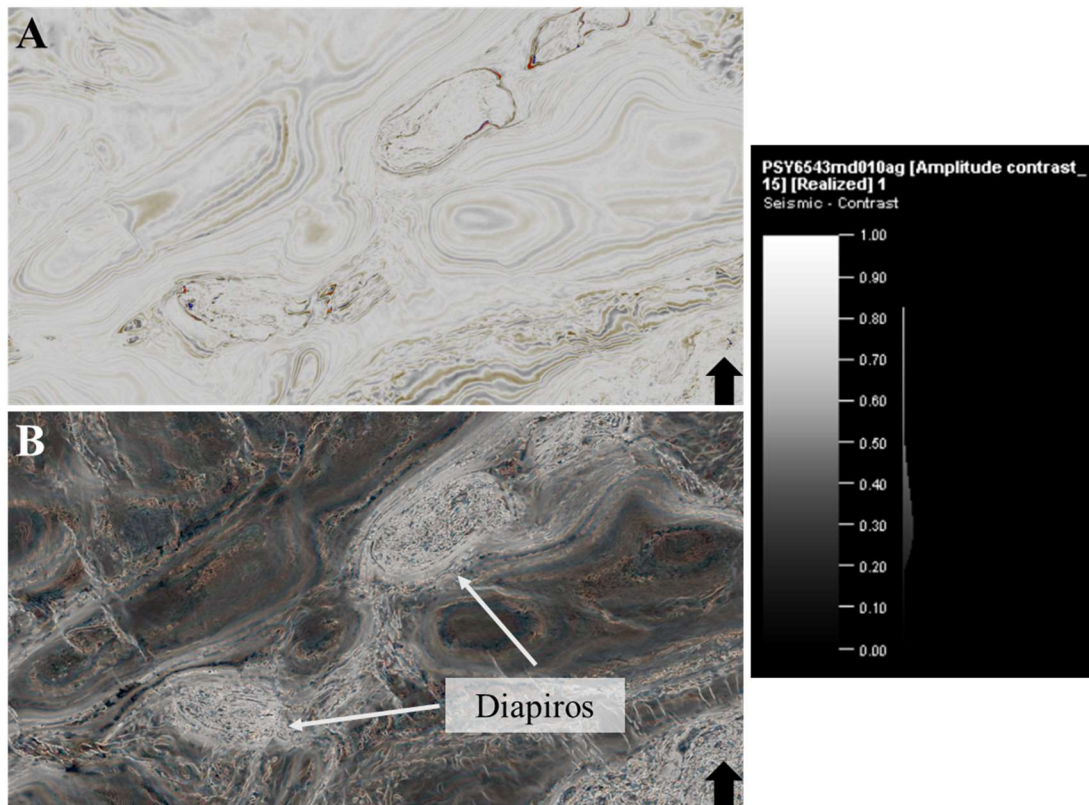


Figura 3.16 - A) Time slice; B) A mesma time slice de (A), com o atributo sísmico *Contraste de Amplitudes*, aplicado em RGB, extraído de três janelas verticais de amplitudes de 5, 10 e 15, de modo a realçar os diápiros salinos, bem como zonas de falha.

## 4 Dados

Os dados utilizados neste projeto foram dados *post-stack* de sísmica de reflexão 3D, fornecidos pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) e localizados numa área *offshore* da Bacia do Algarve, na zona SW da margem Ibérica (Figura 4.1). Estes dados foram integrados num projeto de interpretação sísmica, utilizando o software PETREL. As propriedades dos dados sísmicos estão designadas na Tabela 2. Foram ainda utilizados dados de batimetria da *EMODnet* e a carta geológica da região do Algarve de 1:100.000 do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG). Estes dados foram integrados num projeto de interpretação sísmica, utilizando o software PETREL (Sclumberger).

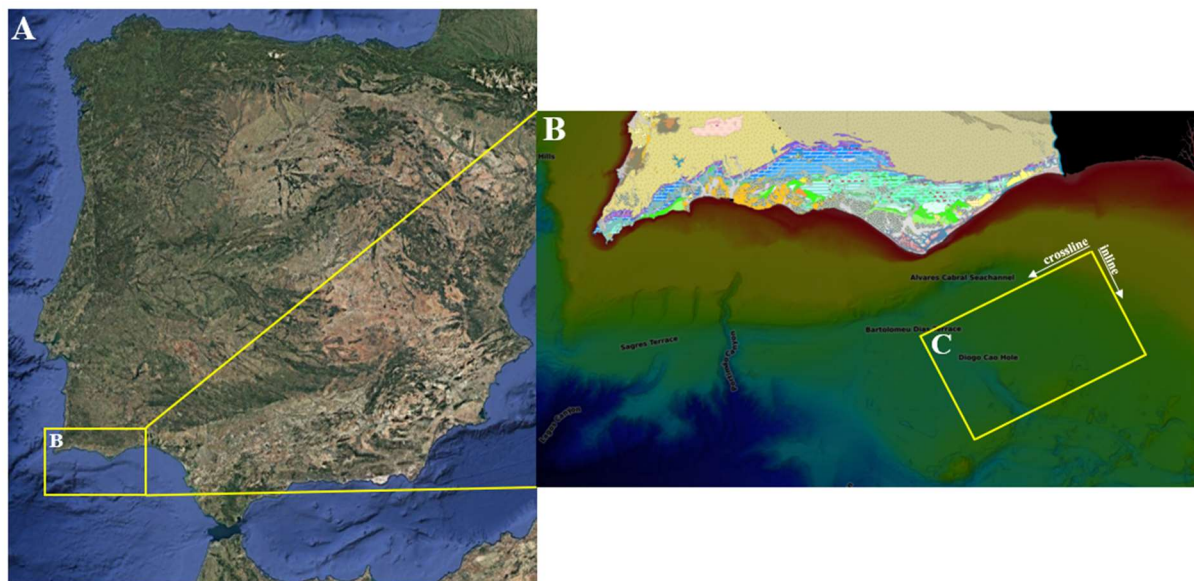


Figura 4.1 – A) Imagem da Península Ibérica (retirada de: Google Earth); B) Margem SW Ibérica com o fundo da batimetria, da *EMODnet*, e a carta geológica 1:100.000 do LNEG; C) Área de estudo, de onde foram retirados os dados sísmicos.

As propriedades dos dados de reflexão sísmica estão designadas na Tabela 2. A área de estudo, tem uma profundidade mínima do fundo do mar de, aproximadamente, 255 metros e máxima de, aproximadamente, 935 metros, havendo assim uma diferença de profundidades de aproximadamente 680 metros.

Tabela 2 – Características dos dados sísmicos

Propriedades	
Área (km <sup>2</sup> )	± 2080
Sistema de Coordenadas de Referência	WGS 1984 UTM Zone29N (ESPG, 32629)
Tempo (ms)	-6999                      1.00
Amplitude	-192489.55                      227038.94
Número de Inlines	3071
Comprimento da Inline (m)	36225.02
Intervalo de Inlines (m)	18.75
Número de Crosslines	2899
Comprimento da Crossline (m)	5762.50
Intervalo de Crosslines (m)	12.50

## 5 Resultados

### 5.1 Unidades geológicas interpretadas

Nesta secção estão descritas as principais unidades geológicas, que se encontram dentro da área de estudo e que possuem relevância para o presente trabalho, bem como as respetivas discordâncias que as delimitam. A descrição destas unidades foi realizada com base nas metodologias apresentadas no Capítulo 3. Foram identificadas e mapeadas cinco principais unidades, e quatro discordâncias, realizada da base da secção sísmica, para o topo.

A **unidade sísmica U1**, consiste dos períodos do Triássico e do “*basement*” de idades do Paleozoico. É a unidade identificada, mais antiga, representando um período de *rifting* Mesozoico. O limite superior desta unidade sísmica é a topo do Triássico, ou a base do Jurássico inferior (**D1**). Este refletor é bastante descontínuo e pouco definido, por vezes apresentando amplitudes menores na região mais central do horizonte sísmico e mais elevadas nas margens SW e NE, do mesmo.

A análise da sísmica, com os atributos sísmicos, como a Amplitude RMS, o Gradiente da Magnitude (Figura 5.1) e o *Pseudo Relief*, ajudaram a ampliar o refletor do limite superior desta unidade, para a sua interpretação. As configurações internas das reflexões desta unidade incluem configurações *hummocky* a caótica, por vezes semi-transparentes. Esta unidade apresenta amplitudes sísmicas baixas, no geral.

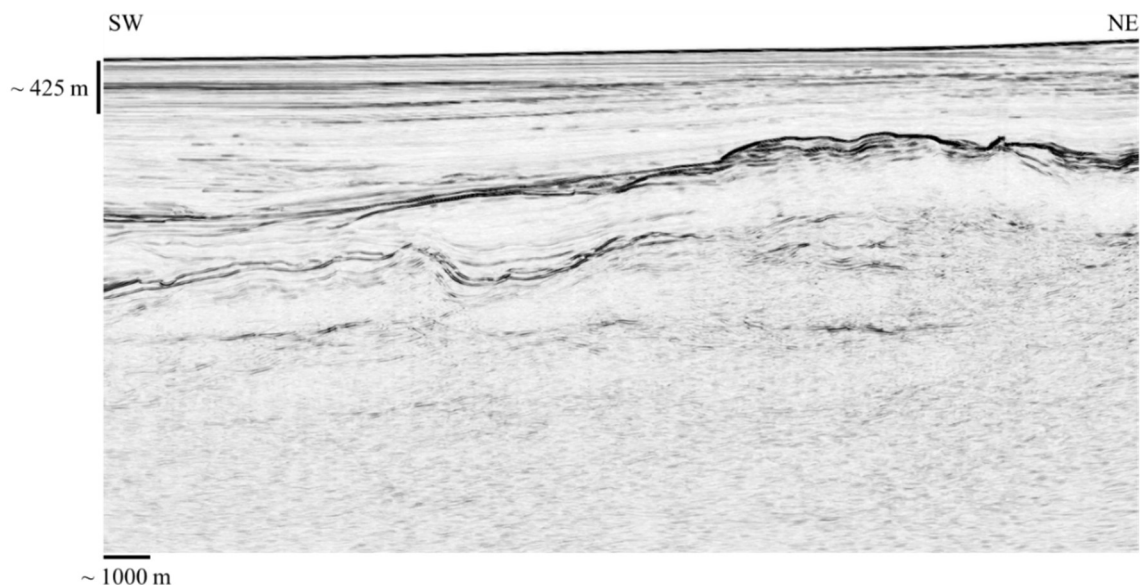


Figura 5.1 – Perfil de uma crossline (SW-NE), com o atributo sísmico Gradiente da Magnitude, para realçar os refletores sísmicos. Para localização ver mapa na Figura 5.2B.

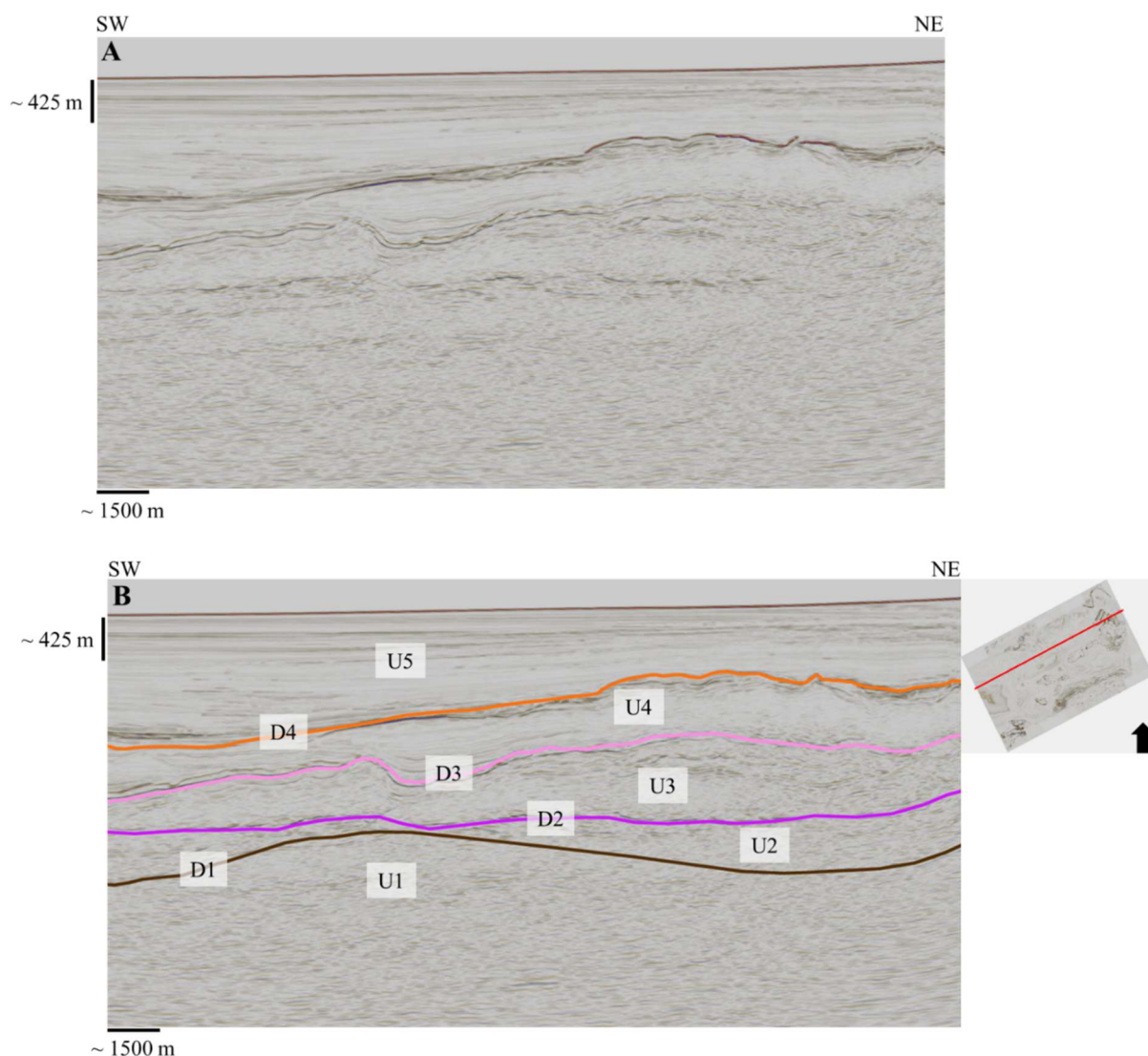


Figura 5.2 – A) Perfil sísmico de uma crossline (SW-NE), localizado na metade norte da zona de estudo, indicado no mapa em B com linha a vermelho; B) O mesmo perfil de (A), com a interpretação das unidades sísmicas e discordâncias.

A **unidade sísmica U2**, consiste no período do Jurássico inferior. Esta unidade está limitada pela discordância **D1** (limite inferior) e, superiormente, pela base de diapíros salinos (**discordância D2**) (Figura 5.4). Este refletor superior apresenta amplitudes elevadas, na maioria da sua extensão, sendo que as extremidades deste refletor apresentam amplitudes menores e por vezes descontinuidade.

Analisando a sísmica com os atributos sísmicos, como é o caso da Amplitude RMS, Gradiente da Magnitude, *Pseudo Relief* (Figura 5.3) e Fase Instantânea, é possível inferir a presença de **D2**, nos locais onde apresenta baixa amplitude e descontinuidades, devido à presença da unidade diapírica acima. As configurações internas das reflexões sísmicas desta unidade incluem fácies paralelas a sub-paralelas, onduladas e semitransparentes. As terminações, no limite inferior, são em *downlap* e as terminações no limite superior, são em concordância e em *toplap*. Esta unidade apresenta ainda uma fina camada salina, junto à discordância **D2**, com idades do Hetangiano (Jurássico inferior), de difícil identificação, sendo apenas identificada em algumas regiões a SW, confundindo-se com o refletor **D2** ou **D3**, quando a unidade é mais fina. Esta unidade formou-se no período de *rifting* no Mesozoico.

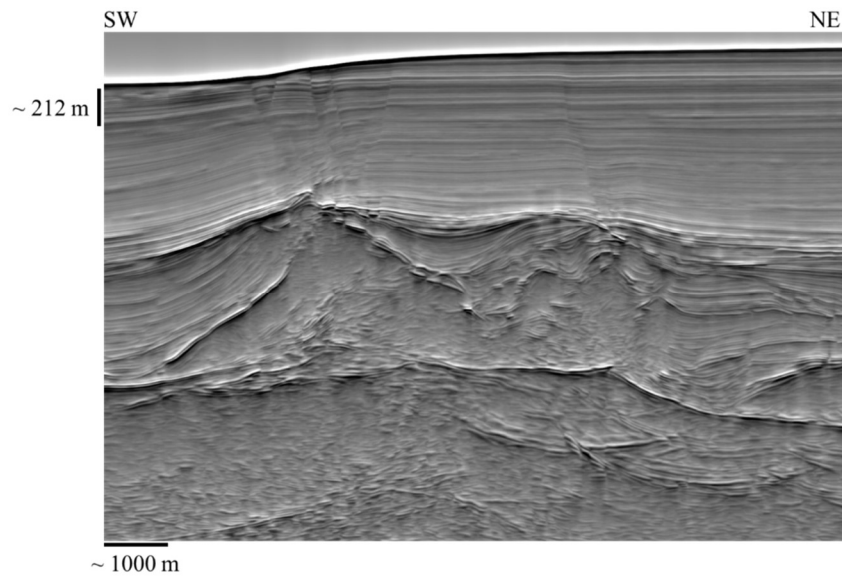


Figura 5.3 – Perfil de uma crossline (SW-NE), com o atributo sísmico Pseudo Relief, para realçar os refletores sísmicos. Perfil localizado na metade norte da zona de estudo, indicado no mapa da Figura 5.4B com linha a vermelho.

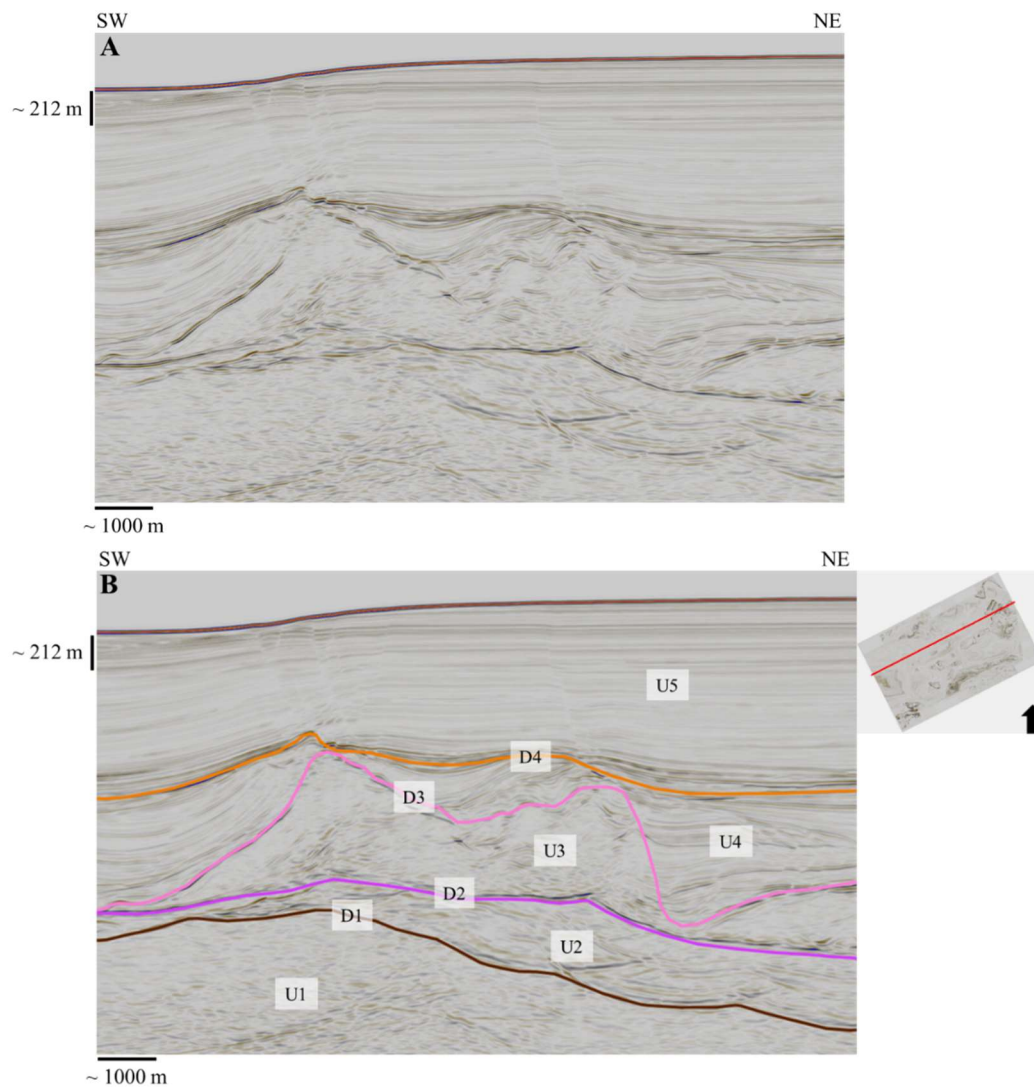


Figura 5.4 – A) Perfil sísmico de uma crossline (SW-NE), localizado na metade norte da zona de estudo, indicado no mapa em B com linha a vermelho; B) O mesmo perfil de (A), com a interpretação das unidades sísmicas e discordâncias.

A **unidade sísmica U3**, consiste num corpo diapirico alóctone, correspondente ao Diapiro de Esperança de idades do Hetangiano (Jurássico inferior), que interrompe as unidades do Jurássico médio até ao Miocénico (Ramos et al., 2017). Esta unidades está confinada pela discordância **D2**, inferiormente, e pela **discordância D3**, superiormente, referente ao topo dos diapiros salinos (Figura 5.6). O refletor referente a **D3** é visível na maioria da sua extensão, apesar de ter alguma descontinuidade, devido à influência do sal, apresentando maior amplitude no topo dos domos salinos.

As configurações internas das reflexões sísmicas desta unidade, são de fácies caóticas, apresentando alguma transparência, características típicas do sal. Esta transparência é mais aparente junto ao topo dos domos salinos, enquanto no restante é possível ter uma melhor visualização das fácies caóticas. Com os atributos sísmicos Caos e Variância, é possível ter uma melhor visualização destas estruturas salíferas (Figura 5.5).

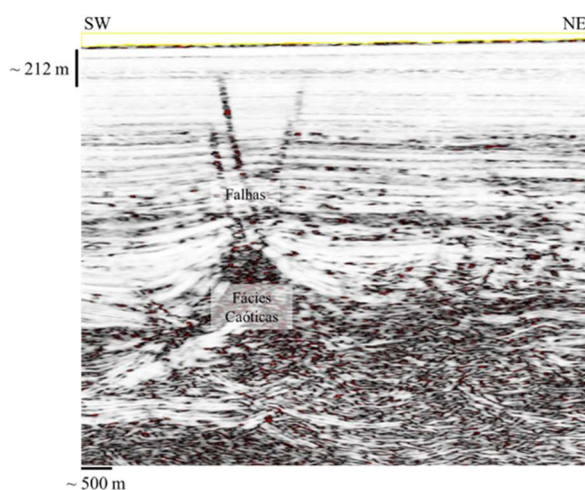


Figura 5.5 – Perfil de uma crossline, com o atributo sísmico Caos, para realçar as fácies caóticas associadas às estruturas salíferas e a falhas (zonas a preto indicam valores altos de caos). Para localização ver mapa na Figura 5.6B.

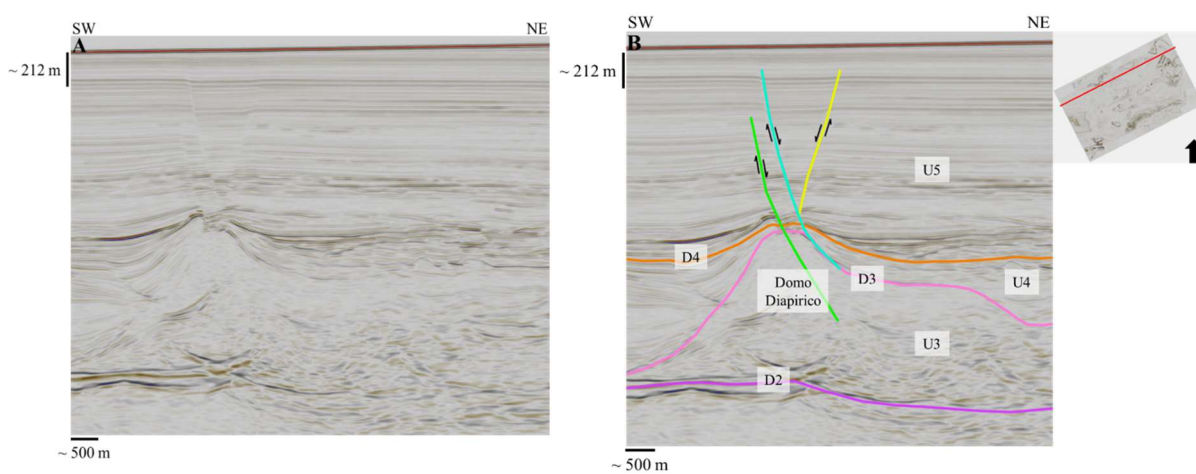


Figura 5.6 – A) Perfil sísmico de uma crossline (SW-NE), localizada na metade norte da zona de estudo, indicado no mapa em B com linha a vermelho; B) O mesmo perfil de (A), com a interpretação das unidades sísmicas, discordâncias e falhas.

A **unidade sísmica U4**, corresponde ao período do Jurássico médio a superior, bem como ao Cretácico inferior e Paleogénico. Esta unidade abaixo está limitada pela discordância **D3** e acima pela **discordância D4**, que corresponde à BFU (*Basal Foredeep Unconformity*), tendo sido esta datada no Tortoniano (Miocénico superior) (Ramos et al., 2017; Ng et al., 2022), que marca a passagem de um regime distensivo para um regime compressivo e que pode ser visualizado nas Figuras 5.3 e 5.4. Este refletor superior (**D4**), apresenta amplitudes elevadas, de fácil identificação e sem grandes descontinuidades. Nos locais onde este é menos perceptível, os atributos sísmicos *Pseudo Relief*, Gradiente da Magnitude, Fase Instantânea ou Amplitude RMS, auxiliam na sua visualização. As configurações internas das reflexões sísmicas nesta unidade incluem fácies paralelas a subparalelas, onduladas, encontrando-se deformada pelos efeitos da unidade diapirica **U3**, abaixo. As terminações dos refletores são em *onlap* e *downlap*, contra a discordância **D3**, e em *toplap* e truncatura, com a BFU (**D4**). Esta unidade está enquadrada no final do período de *rifting* Mesozoico.

A **unidade sísmica U5**, consiste aos períodos do Neogénico e Quaternário, incluindo as unidades de sedimentos mais recentes. Esta unidade está limitada pela BFU (**D4**) na base e pelo **fundo do mar (FM)** a topo (Figura 5.8), sendo este representado por um refletor contínuo e de amplitudes muito altas.

Nesta unidade é onde se pode observar com mais clareza as falhas presentes na região, tendo como auxílio o atributo sísmico da Variância. É ainda nesta unidade que estão presentes os *Bright Spots*. Esta unidade, tem ainda presente uma unidade turbidítica, datada do Burdigaliano inferior ao Serravaliano superior, segundo Pais et al., 2012, que em certas regiões da bacia, se encontra junto à BFU. Os turbiditos são representados nos perfis sísmicos por refletores contínuos, de elevadas amplitudes, e com configurações internas subparalelas, por vezes onduladas. Dentro desta unidade existe um corpo representado por refletores de fácies caóticas, que corresponde a um olistostroma, designado por AUGC e que se encontra implantado acima da BFU, no SE da bacia. Para melhor visualização dos corpos turbidíticos e caótico, teve-se o auxílio dos atributos sísmicos da Amplitude RMS e o Caos, respetivamente (Figura 5.7). Na generalidade, as configurações internas das reflexões sísmicas desta unidade são paralelas a subparalelas, como é o caso das sequências turbidíticas e ainda regiões de refletores de fácies caóticas, correspondentes ao olistostroma e a MTDs (*Mass Transport Deposits*) a NE. As terminações, no refletor inferior (BFU) estão em *onlap*, e em concordância e em *toplap* com o fundo do mar.

Por estar acima da BFU, discordância que marca o período de inversão tectónica e a passagem de um regime distensivo para um regime compressivo, esta unidade representa esse período de compressão.

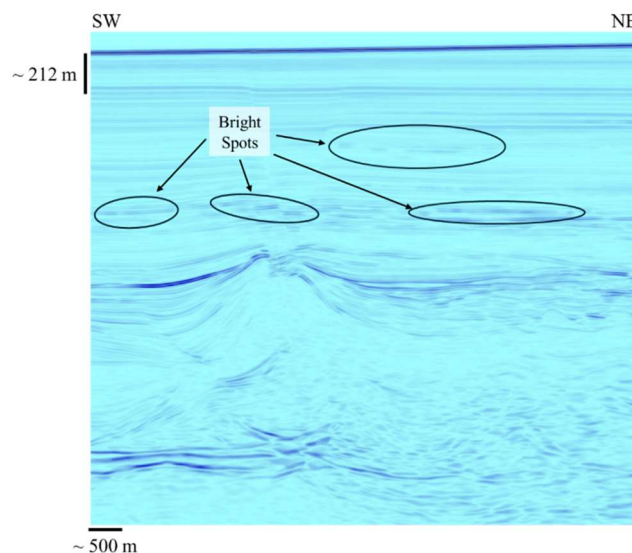


Figura 5.7 - Perfil de uma crossline, com o atributo sísmico Amplitude RMS, para realçar refletores de maiores amplitudes e os Bright Spots (zonas a azul-escuro). Para localização ver mapa na Figura 5.8B.

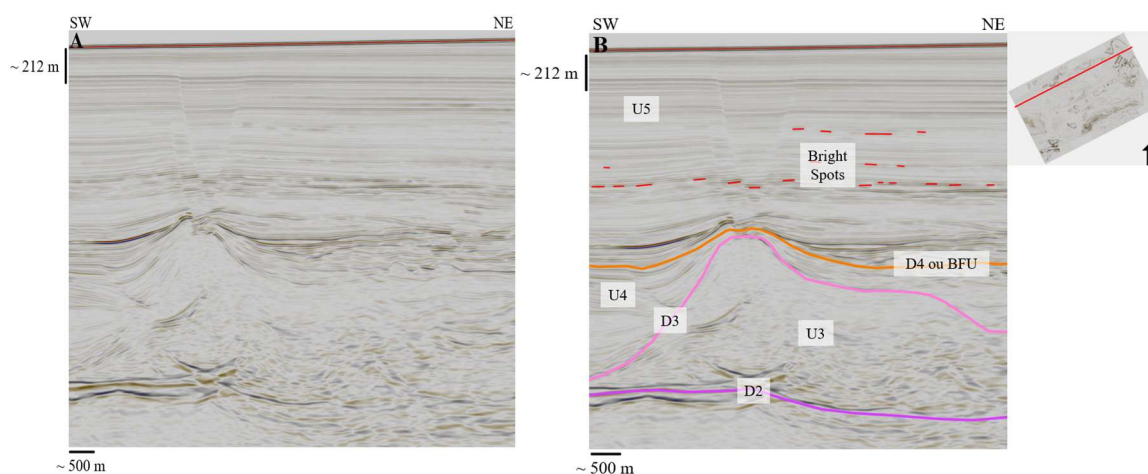


Figura 5.8 – A) Perfil sísmico de uma crossline (SW-NE), localizado na metade norte da zona de estudo, indicado no mapa em B com linha a vermelho; B) O mesmo perfil de (A), com a interpretação das unidades sísmicas, discordâncias e Bright Spots.

### 5.1.1 Superfícies interpretadas

Nesta secção estão descritas as superfícies sísmicas criadas a partir das discordâncias interpretadas, relevantes para o presente trabalho. Foram assim criadas quatro superfícies sísmicas, que limitam a base e o topo das unidades sísmicas descritas anteriormente.

A **superfície sísmica S1**, é correspondente à discordância **D1** (Figura 5.9). Esta superfície apresenta uma menor profundidade na região Oeste e na região NE a central, na área interpreta da bacia. A profundidade máxima desta superfície é de aproximadamente -3700 metros e a mínima é de -2240 metros, havendo uma diferença de profundidades de cerca de 1460 metros.

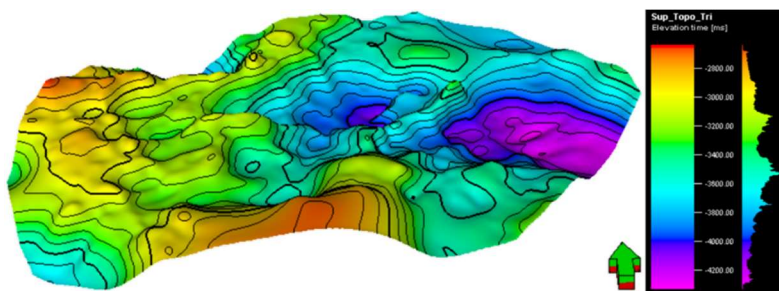


Figura 5.9 – Imagem da superfície S1, com a escala das suas profundidades em milissegundos. Limite superior da escala - 2800 ms; Limite inferior da escala -4200 ms.

A **superfície sísmica S2**, é correspondente à discordância **D2** (Figura 5.10). Esta superfície apresenta menor profundidade nas regiões S e SW da área interpretada, apresentando uma maior profundidade na região central e NE da bacia. A profundidade mínima desta superfície é de -2125 metros e máxima de aproximadamente -3060 metros, o que corresponde a uma diferença de cerca de 935 metros.

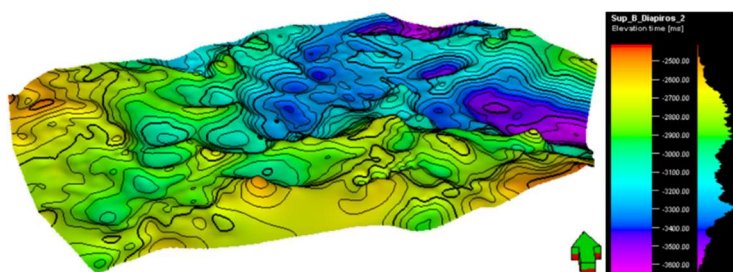


Figura 5.10 – Imagem da superfície S2, com a escala das suas profundidades em milissegundos. Limite superior da escala - 2500 ms; Limite inferior da escala -3600 ms.

A **superfície sísmica S3**, corresponde à discordância **D3** (Figura 5.11). Esta superfície apresenta menor profundidade a S e SW da bacia, bem como na região central, sendo os altos correspondentes ao alinhamento NE-SW do topo da crista diapirica do Diapiro de Esperança. A menor elevação encontra-se a este, e em outras bacias de sedimentação, entre os domos diapiricos. A profundidade mínima é de cerca de -1060 metros, e a profundidade máxima é de -3180 metros aproximadamente, havendo uma diferença de cerca de 2120 metros.

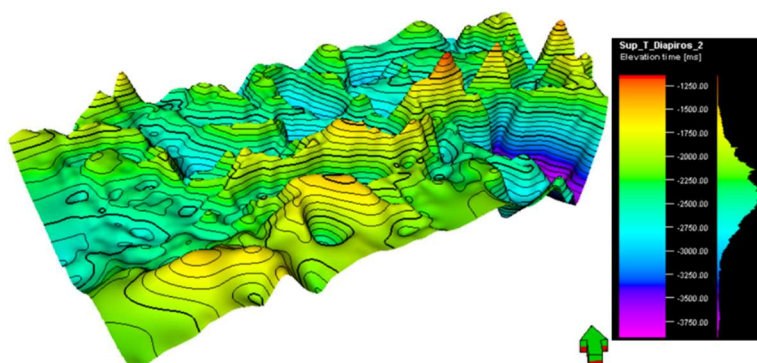


Figura 5.11 – Imagem da superfície S3, com a escala das suas profundidades em milissegundos. Limite superior da escala - 1250 ms; Limite inferior da escala -3750 ms.

A **superfície sísmica S4**, corresponde à discordância **D4** (Figura 5.12). Nesta superfície existe um alto a NE, que se estende numa faixa à região central da bacia, estando associado presença dos diapiros salinos. A maior profundidade, encontram-se a SE e a NW desta faixa central. A menor profundidade desta superfície é de -850 metros e a maior é de -2210 metros, aproximadamente, havendo assim, uma diferença de 1360 metros, ao longo desta superfície sísmica.

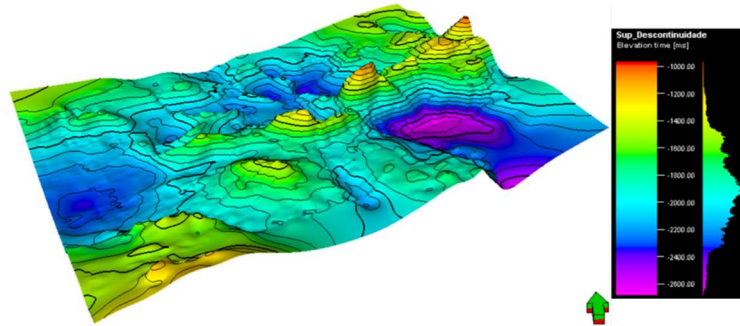


Figura 5.12 - Imagem da superfície S4, com a escala das suas profundidades em milissegundos. Limite superior da escala - 1000 ms; Limite inferior da escala -2600 ms.

### 5.1.2 Mapas de espessuras

Nesta secção estão descritos os mapas de espessura correspondentes às unidades sísmicas interpretadas. Estes mapas de espessura foram criados entre duas superfícies sísmicas, de modo a mostrar a espessura aproximada, de cada uma das unidades interpretadas, mostrando onde estas unidades apresentam adelgaçamento e onde são mais espessas. Assim, foram criados quatro mapas de espessura, excluindo a **unidade sísmica U1**, pois esta apenas teve interpretado o limite superior da unidade.

O mapa de espessuras na Figura 5.13, corresponde à **unidade sísmica U2**. Esta unidades apresenta maior espessura E-SE a central, sendo o restante da área da unidade relativamente fina. A maior espessura desta unidade é de cerca de 765 metros e as menores sendo quase nulas.

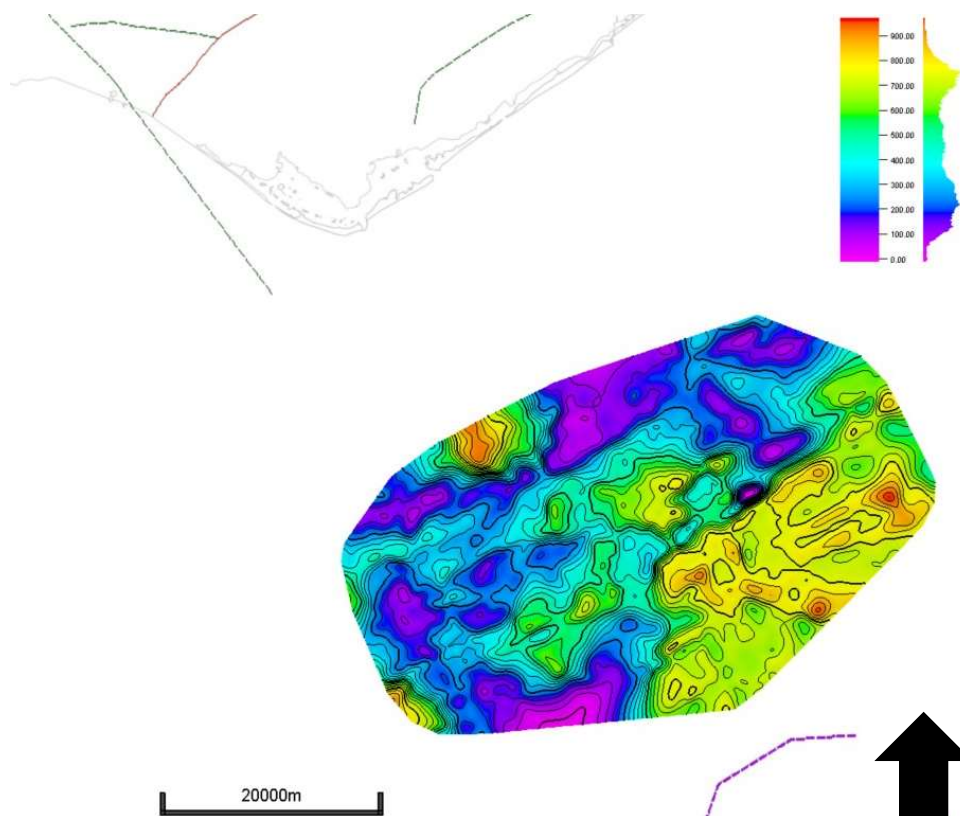


Figura 5.13 – Imagem do mapa de espessuras, para a unidade sísmica U2, com a sua escala de espessuras em milissegundos, linha de costa e falhas. Limite superior da escala 900 ms; Limite inferior da escala 0 ms.

O mapa de espessuras correspondente à **unidade sísmica U3** (Figura 5.14), apresenta maior espessura na região NE e central da unidade, onde estão localizados de NE para SW os domos das cristas diapíricas do Diapiro da Esperança. Já as regiões menos espessas, estão localizadas nas bacias de deposição, a norte e a sul, do Diapiro da Esperança. A maior espessura é de 1480 metros aproximadamente e a menor quase nula.

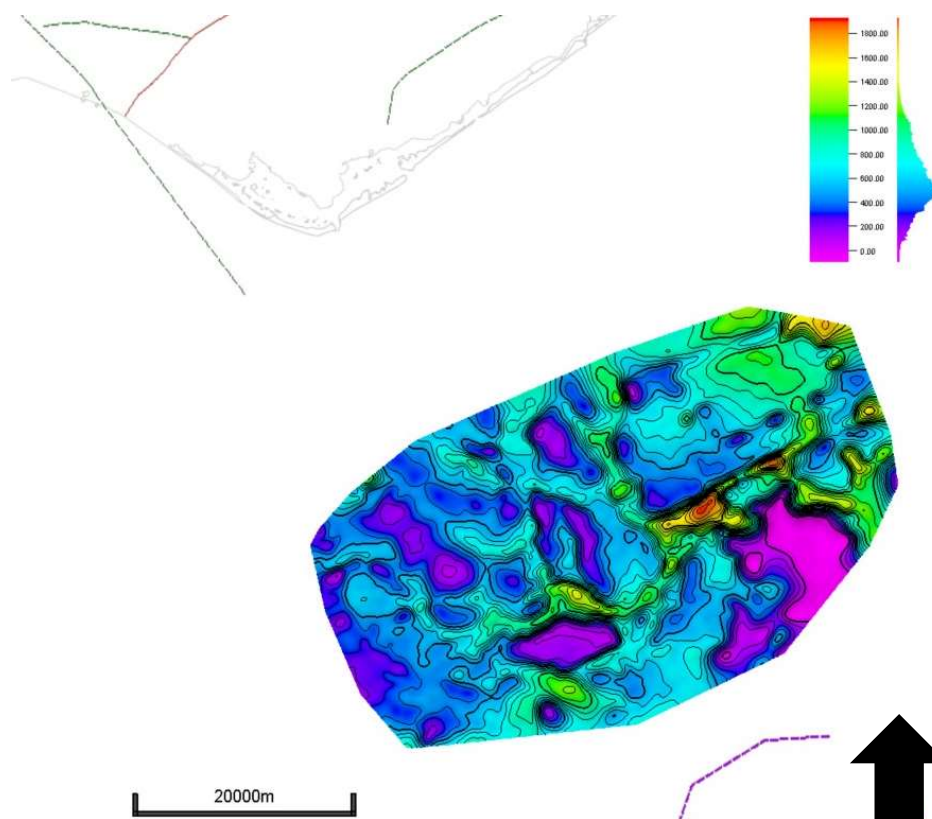


Figura 5.14 – Imagem do mapa de espessuras, para a unidade sísmica U3, com a sua escala de espessuras em milissegundos, linha de costa e falhas. Limite superior da escala 1800 ms; Limite inferior da escala 0 ms.

O mapa de espessuras que corresponde à **unidade sísmica U4** (Figura 5.15), ao contrário da unidade U3, apresenta menores espessuras nas regiões onde estão localizados os domos salinos, e maiores espessuras nas bacias de sedimentação. A maior espessura é de cerca de 1190 metros e a menor é quase nula.

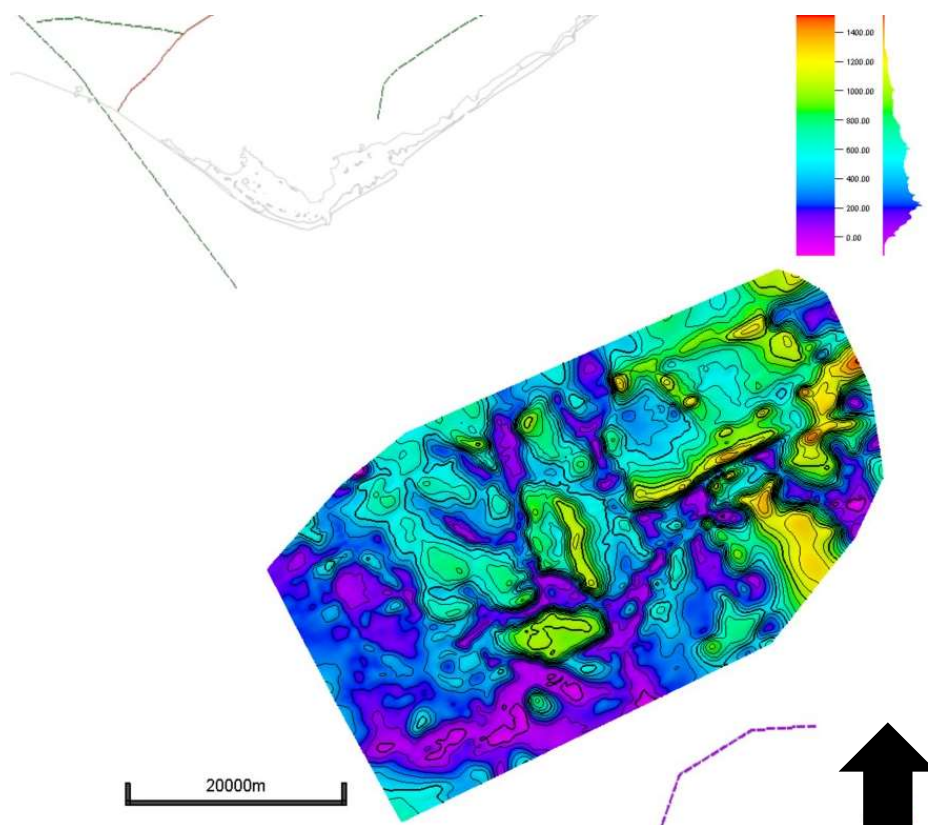


Figura 5.15 – Imagem do mapa de espessuras, para a unidade sísmica U4, com a sua escala de espessuras em milissegundos, linha de costa e falhas. Limite superior da escala 1400 ms; Limite inferior da escala 0 ms.

Por fim, na Figura 5.16, é representado o mapa de espessuras correspondente à **unidade sísmica U5**. Esta unidade apresenta maiores espessuras, a norte e a sul, do alinhamento central de diapiros, onde as espessuras, no geral, são menores. As maiores espessuras são de cerca de 1530 metros, enquanto as menores espessuras rondam os 340 metros.

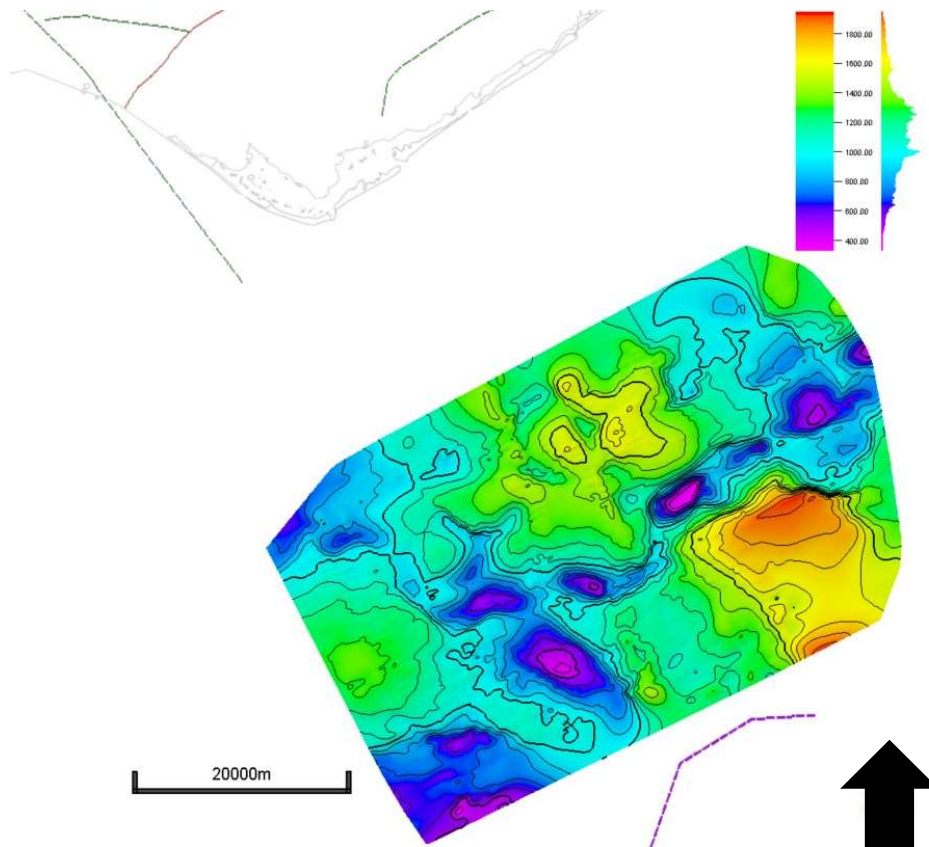


Figura 5.16 – Imagem do mapa de espessuras, para a unidade sísmica U5, com a sua escala de espessuras em milissegundos, linha de costa e falhas. Limite superior da escala 1800 ms; Limite inferior da escala 400 ms.

## 5.2 Principais falhas interpretadas

Na *time slice* apresentada na Figura 5.17 estão descritas as principais famílias de falhas interpretadas, no decorrer deste trabalho. A área interpretada, apresenta uma rede de falhas que condicionou o relevo e a tectônica da região.

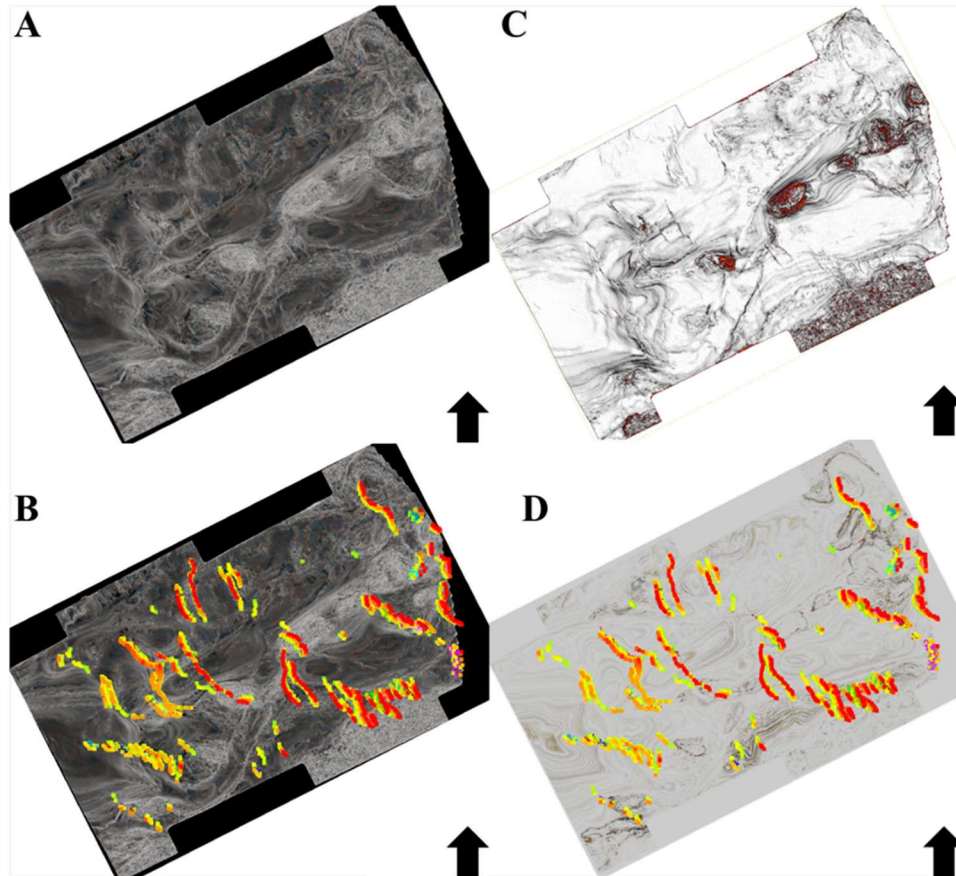


Figura 5.17 – A) *Time slice* (-1652 ms TWT), com o atributo sísmico Contraste de amplitudes, que realça a branco (ou zonas mais claras), as falhas e domos salinos; B) A mesmo *time slice* de (A), com as falhas interpretadas; C) A mesmo *time slice*, com o atributo sísmico Variância, para o realce das falhas ; D) A mesmo *time slice*, sem o atributo sísmico e com as falhas interpretadas. As cores das falhas representam a sua profundidade (Vermelho mais superficiais; Verde e azul mais profundo).

As principais famílias de falhas estão distribuídas em dois sistemas dominantes. A grande maioria das falhas interpretadas, faz parte de uma família de falhas com direções NW-SE, bem como algumas que chegam quase a ter direção N-S. Uma seleção menor das falhas interpretadas, estão associadas a uma família de falhas com direções NE-SW.

Quanto ao estilo de movimento das falhas, foram interpretadas falhas normais, dominantes nesta região, sendo a grande maioria, associadas a episódios de distensão, enquanto as falhas inversas, associadas a episódios de compressão, são bem menos frequentes. Tanto as falhas normais quanto as inversas, estão, na sua maioria sob a influencia de forças desligantes, resultando em sistemas de falhas transtensivas e transpressivas. Este movimento cisalhante é observado com facilidade na *time slice* e com a visualização do atributo sísmico da Fase instantânea (Figura 5.18).

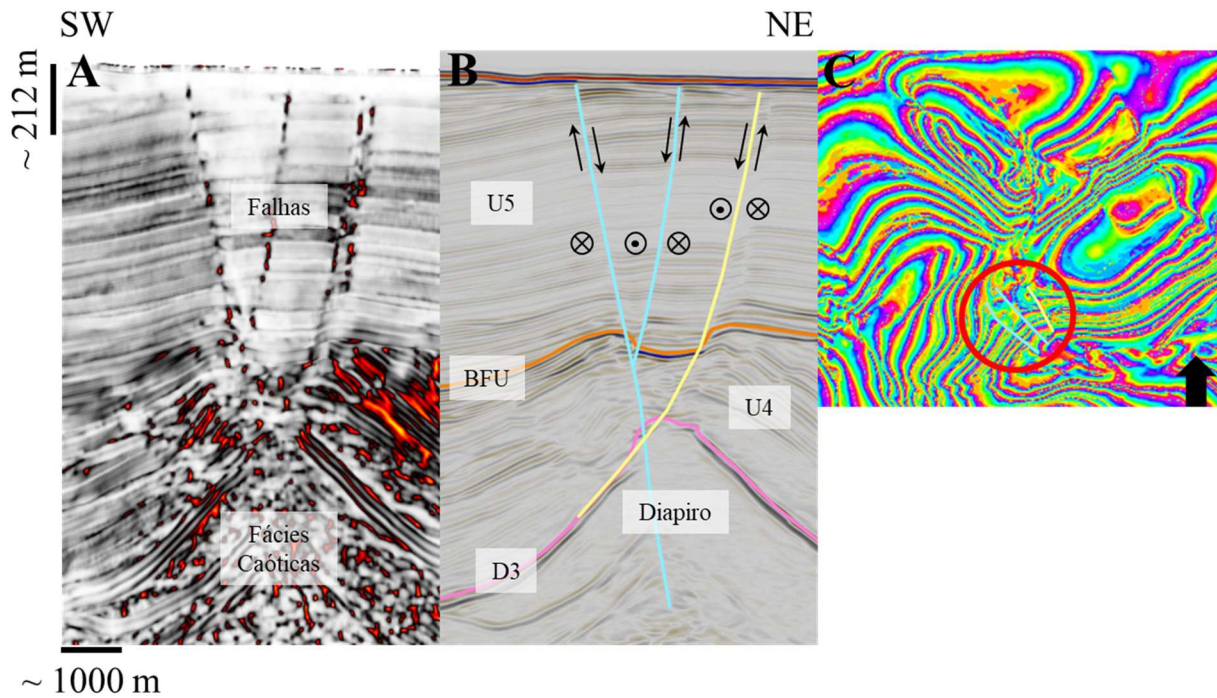


Figura 5.18 – A) Perfil sísmico de uma crossline (SW-NE), com o atributo sísmico Variância; B) Mesmo perfil de (A), sem o atributo sísmico, com interpretação de um conjunto de falhas transensivas; C) Time slice (-1652 ms TWT) com a localização das falhas em (B) com o atributo sísmico Fase Instantânea.

Para a identificação e interpretação destas falhas, foram utilizados atributos sísmicos como modo de auxílio à sua visualização. Foram utilizados principalmente a Variância, a Curvatura 3D e o RGB do Contraste de Amplitudes (Figura 5.19).

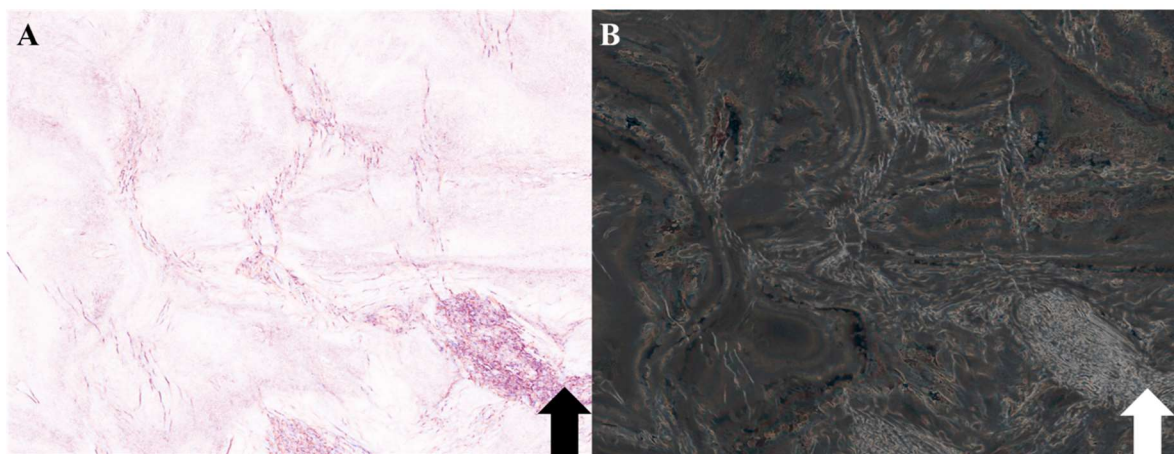


Figura 5.19 – A) Time slice (-1652 ms TWT), com o atributo sísmico curvatura 3D (blend de most positive (vermelho) e most negative (azul)); B) Mesma time slice de (A), com o atributo sísmico Contraste de Amplitudes.

Muitas das vezes estes conjuntos de falhas estão associadas à presença de domos salinos, em particular aparecem no seu topo, sendo isto possível de observar com o auxílio dos atributos sísmicos da Variância (em perfil sísmico) e do Contraste de Amplitudes (em time slice).

### 5.3 *Bright Spots* e exalação de fluídos

Na *time slice* apresentada na Figura 5.20 estão descritos os *Bright Spots* identificados e interpretados, no decorrer do trabalho, encontrando-se estes apenas na **unidade sísmica U5**. Foi utilizado o atributo sísmico da Amplitude RMS, como método de auxílio para a melhor visualização dos *Bright Spots* (Figura 5.21), uma vez que estes apresentam elevadas amplitudes.

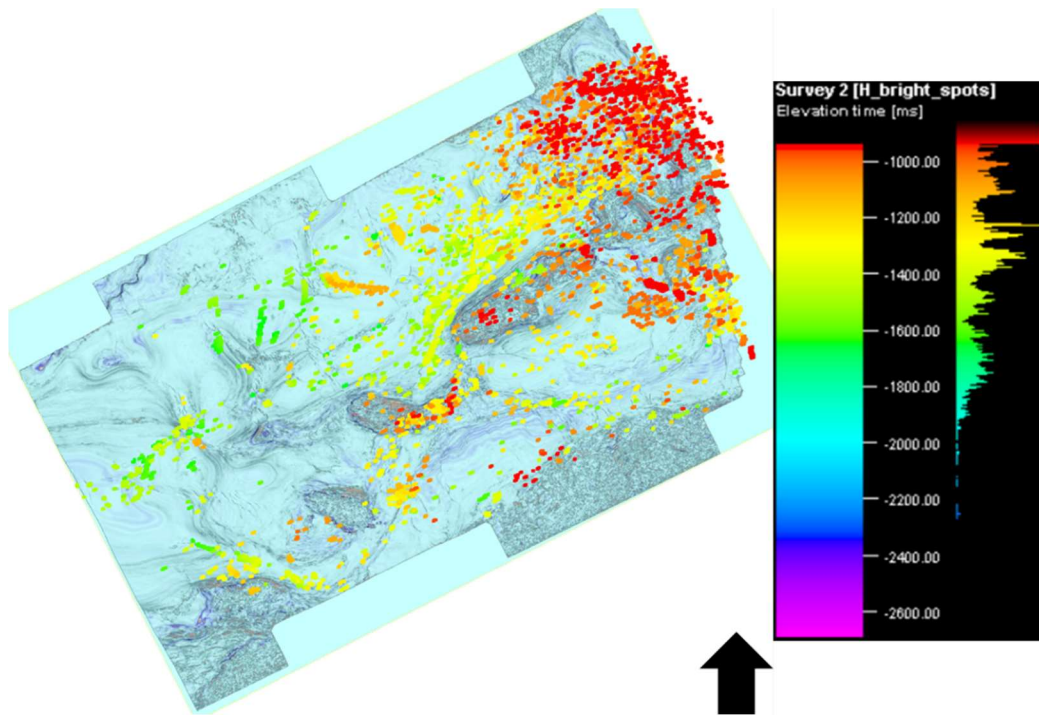


Figura 5.20 – *Time slice* (-1652 ms TWT), com uma mistura dos atributos sísmicos Amplitude RMS e Variância, com os *Bright Spots* interpretados, em profundidade, e realce das falhas.

Como observado na Figura 5.20, a distribuição dos *Bright Spots* encontra-se a menores profundidades na região NE da bacia, aumentando de profundidade para SW. Estes podem ocorrer junto a armadilhas estruturais controladas pelas falhas e pelo levantamento dos diapíros, podendo ocorrer alinhamentos de *Bright Spots* nestas regiões (Figura 5.21), uma vez que as falhas podem funcionar como caminhos para a migração de fluídos a partir de sequências mais profundas.

Podem também ser observados em regiões sem presença de falhas, sugerindo que provêm de uma sedimentação heterogênea, possivelmente associados a MDTs, onde existe um forte contraste entre as litologias, que podem selar e favorecem a acumulação de fluídos nessas camadas.

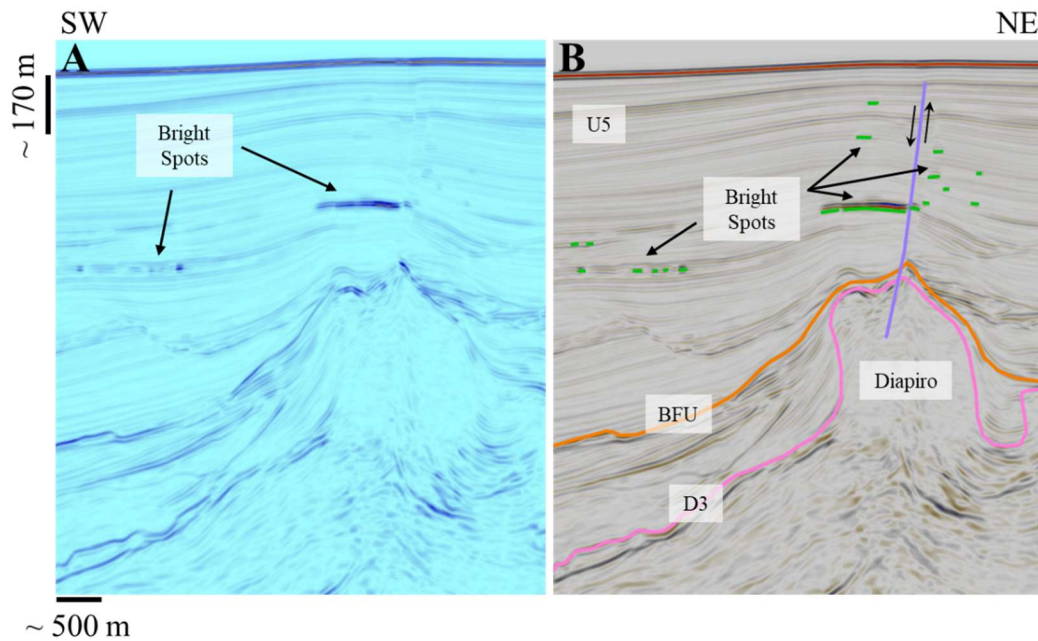


Figura 5.21 – A) Perfil sísmico de uma crossline (SW-NE), com o atributo sísmico Amplitude RMS, a realçar os *Bright Spots*; B) O mesmo perfil de (A), com a interpretação da sísmica. O perfil localiza-se na zona centro da área de estudo.

## 6 Discussão

Ao longo deste trabalho, foram interpretadas diversas estruturas, como falhas, unidades diapíricas e a ocorrência de *Bright Spots*, que destacam uma configuração geológica complexa da bacia do Algarve. Estes *Bright Spots* encontram-se a diferentes níveis de profundidade, associados a diferentes estruturas dependendo do nível de profundidade a que se encontram. Para auxiliar a sua identificação e foi usado o atributo sísmico Amplitude RMS.

Como foi referido no Capítulo 5.3, independente da profundidade, todos os *Bright Spots* interpretados estão inseridos na **unidade sísmica U5**, acima da **discordância D4**, tendo-se interpretado cinco níveis de *Bright Spots* (Figura 6.1), representados pelas cores, vermelho, laranja, amarelo, verde e azul.

Observando a Figura 6.1, é perceptível uma concentração de *Bright Spots* a vermelho na região NE da área de estudo. Os *Bright Spots* desta região aparentam estar relacionados a movimentos de massas, ou *MTDs* (*Mass Transport Deposits*), como é o caso dos turbiditos, desmoronamentos e deslizamentos de terra (Figura 6.2).

Todos estes *Bright Spots* aparentam terminar a cerca de -840 metros de profundidade, que por sua vez, coincide com uma camada de refletores de maiores amplitudes (R1). As fácies acima deste são mais caóticas, aparentando também ter uma taxa de sedimentação maior do que o restante perfil. Uma vez que a BFU, tem idade do Tortoniano, cerca de 12 Ma, e com a profundidade deste refletor que limita estes *Bright Spots*, pode-se inferir que este terá idades próximas a 4 Ma. Estes sedimentos de fácies caóticas moveram-se do NE da bacia do Algarve, podendo ter origem em areias dos rios Guadiana e Guadalquivir, que se localizam a NE da bacia, e de transportes de massas originários do Rife Bético. Sendo assim, neste caso, os *Bright Spots* não teriam origem em fluidos profundos, mas em fluidos originários de matéria orgânica trazidos nestes sedimentos.

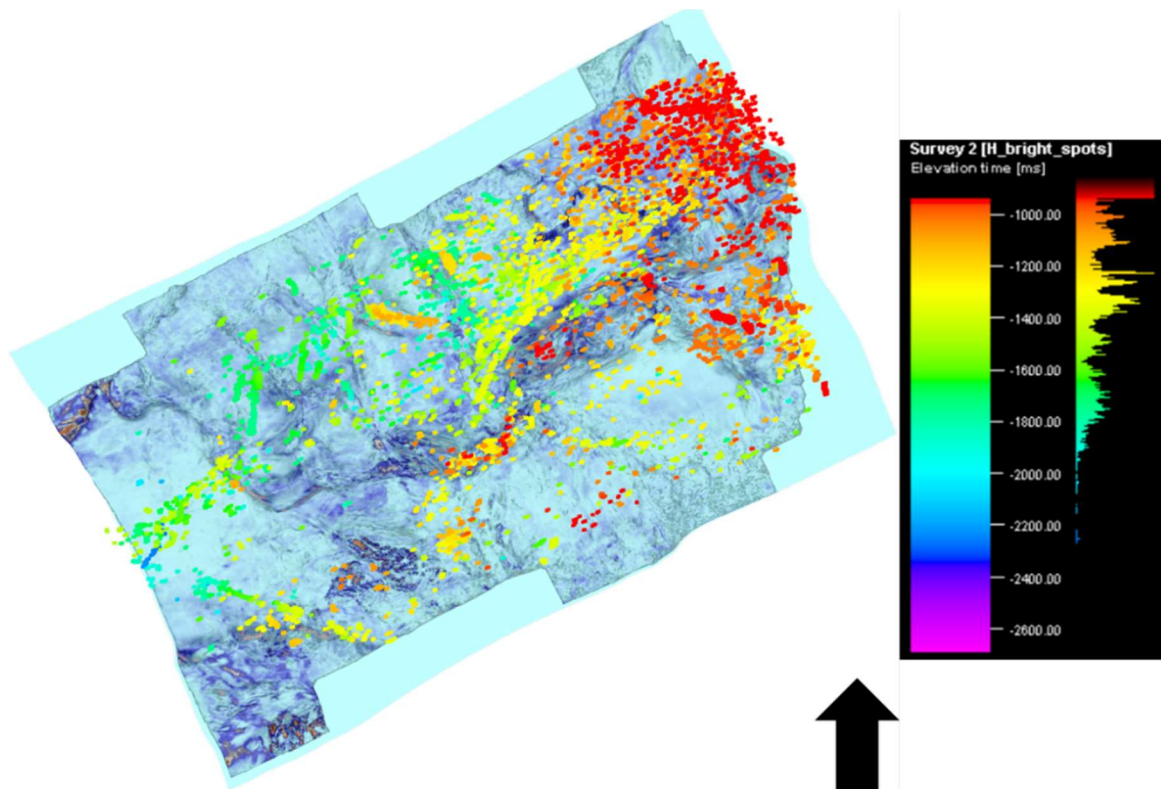


Figura 6.1 – Superfície da BFU, com uma sobreposição dos atributos sísmicos Amplitude RMS e Variância, de modo a mostrar todos os Bright Spots acima desta superfície.

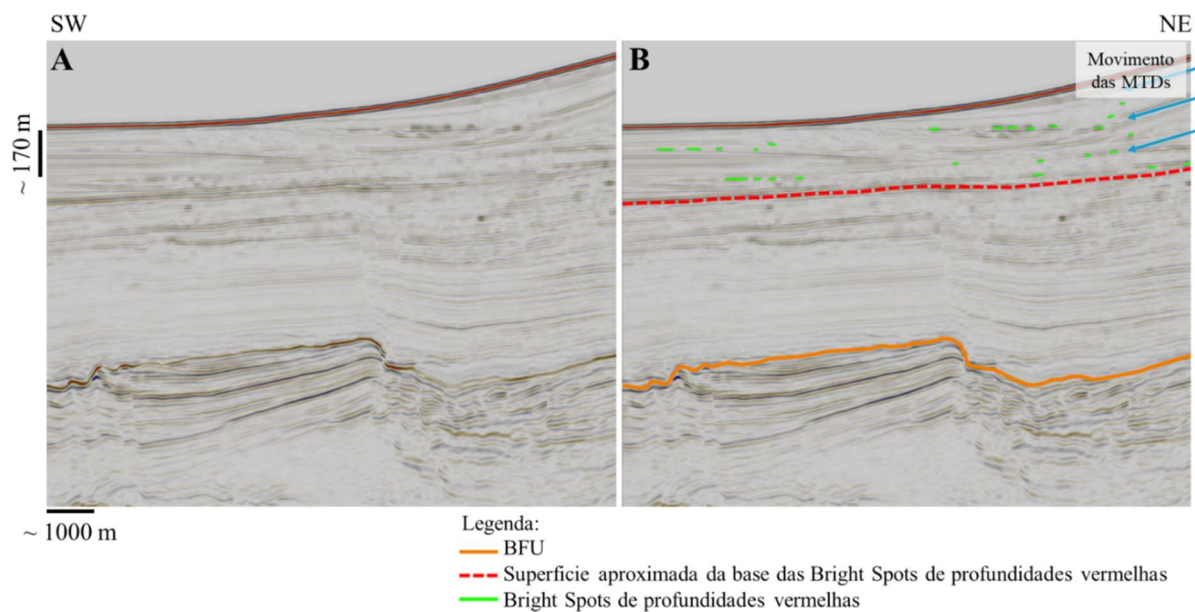


Figura 6.2 – Perfil sísmico de crossline (E-W), localizado na zona NE da área de estudo, que demonstra os Bright Spots de profundidades vermelha, aqui representados a verde. O perfil localiza-se na área dos pontos a vermelho no mapa da Figura 6.1.

Nesta mesma região, onde ocorrem os Bright Spots de profundidades vermelhas (NE), também se encontram a maioria do *Bright Spots* de profundidades laranja, que se encontram deste os -840 metros até aos -1010 metros, aproximadamente (Figura 6.3).

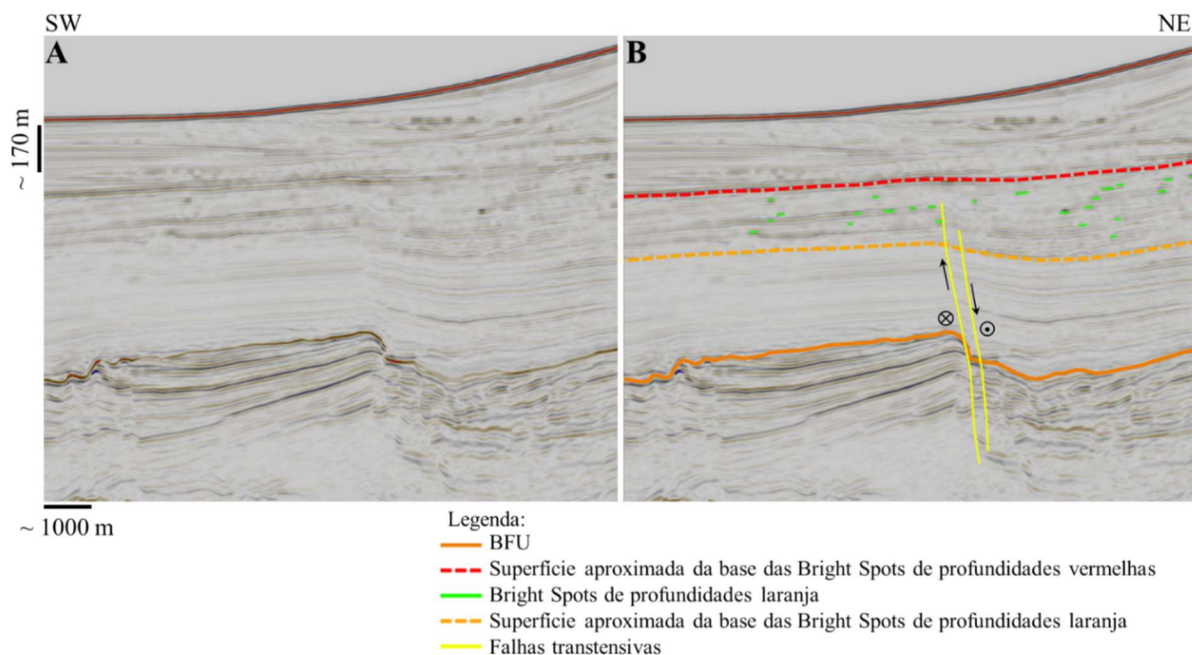


Figura 6.3 – Perfil sísmico de crossline (E-W), localizado na zona NE da área de estudo, que demonstra os *Bright Spots* de profundidades laranja, aqui representados a verde. O perfil localiza-se na área dos pontos laranjas abaixo dos pontos vermelhos, no mapa da Figura 6.1.

Estes *Bright Spots* aparentam estar limitados acima pelo refletor R1, até profundidades de -1010 metros. As fácies da unidade onde estes se encontram também são mais caóticas do que a restante unidade abaixo, onde as fácies são paralelas. Estas fácies caóticas estão limitadas aproximadamente em idades de 5 – 6 Ma. Estes sedimentos podem ter origem similar aos referidos anteriormente, ou seja, transportes de sedimentos originários dos rios Guadiana e Guadalquivir e do Rife Bético, mas de um evento de MTD anterior. Esta unidade também está abatida, em relação à unidade acima. Isto deve-se a esta unidade mais inferior estar influenciada por falhas normais, que fizeram com que parte desta unidade abatesse. A influencia destas falhas está limitada pelo refletor R1, fazendo com que os sedimentos acima deste não estejam também eles abatidos.

Ainda em relação aos *Bright Spots* de profundidades laranja, existe um alinhamento destes na região mais central da bacia (Figura 6.4). Este alinhamento de *Bright Spots*, aparentam ter migrado, numa primeira fase através de falhas transtensivas, de zonas mais profundas, como é o caso do domo diapirioco ao qual estas falhas estão relacionadas. Numa outra fase, estes *Bright Spots* aparentam ter migrado ao longo, e logo abaixo, de dois refletores de maiores amplitudes, a níveis de profundidade próximos dos -1010 metros. A migração ocorre porque os sedimentos porosos facilitam o movimento dos fluidos, enquanto os sedimentos superiores atuam como selantes, retendo-os nas camadas inferiores.

Os *Bright Spots* marcados a amarelo (Figura 6.5), encontram-se distribuídos por quase toda a área da bacia, mas encontram-se em maior concentração, num alinhamento, na região central da bacia, acima dos domos diapiricos do Diapiro de Esperança.

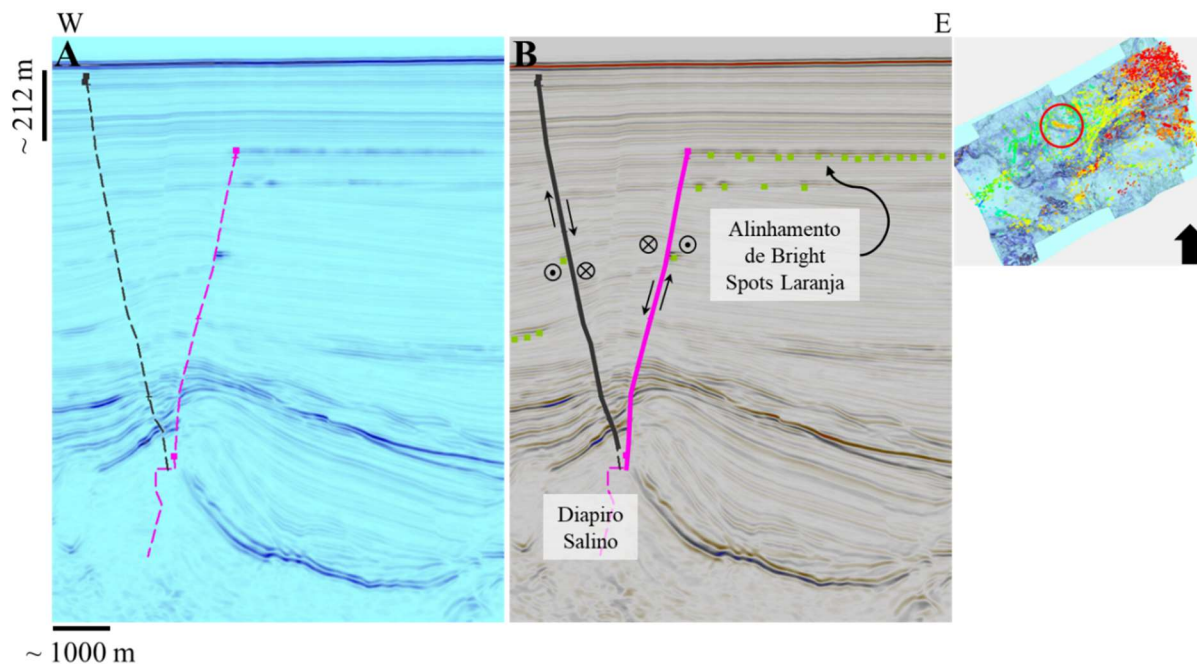


Figura 6.4 – A) Perfil sísmico (NW-SE), com o atributo sísmico Amplitude RMS; B) O mesmo perfil de (A), sem o atributo sísmico, salientando o alinhamento de Bright Spots (a verde). O perfil localiza-se na área indicada no mapa com círculo a vermelho e acompanha o alinhamento de pontos laranjas no mapa com direcção NW-SE.

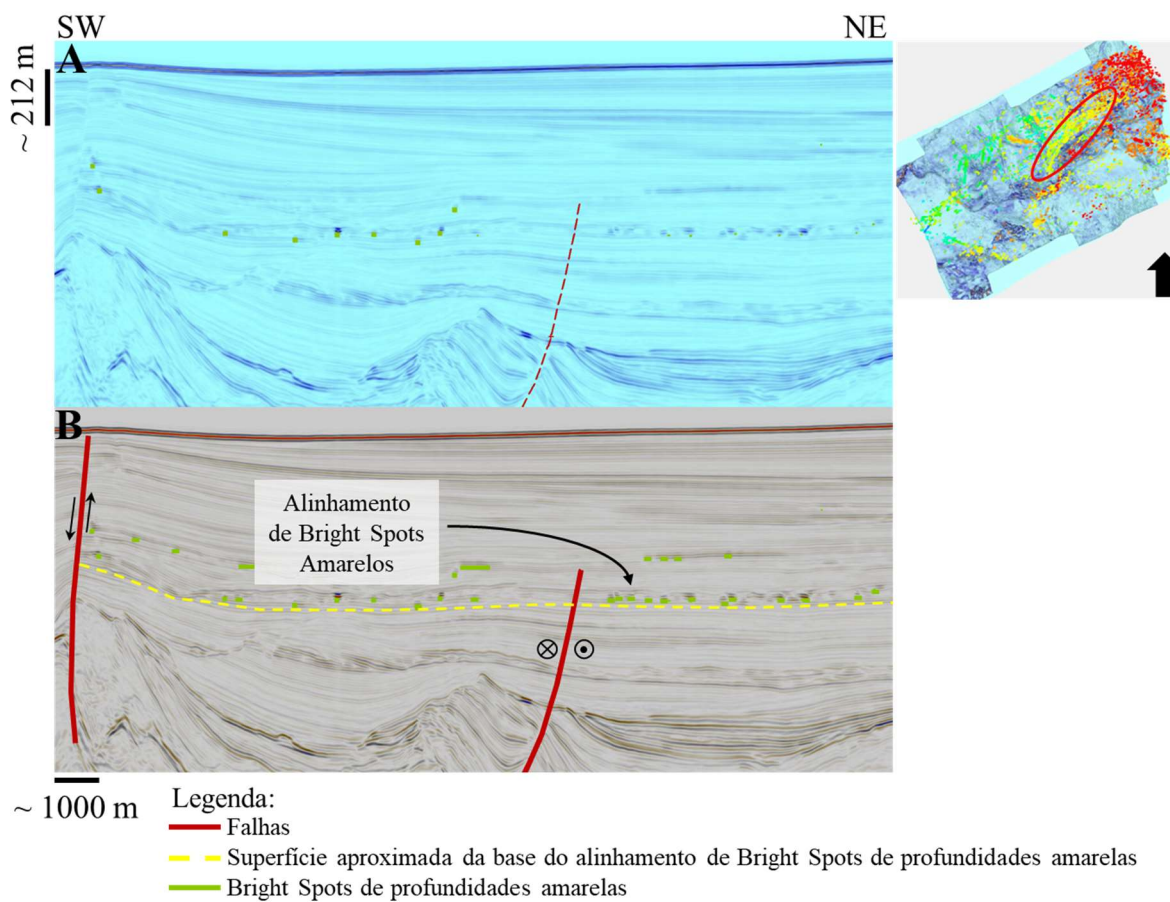


Figura 6.5 – A) Perfil sísmico (SW-NE), com o atributo sísmico Amplitude RMS; B) O mesmo perfil de (A), sem o atributo sísmico, salientando o alinhamento de Bright Spots (a verde) ao longo da base amarela. O perfil localiza-se na área indicada no mapa com elipse a vermelho e acompanha o alinhamento de pontos amarelos no mapa com direcção SW-NE.

Os *Bright Spots* representados por esta cor, encontram-se entre profundidades de -1010 metros a -1275 metros, aproximadamente. Este alinhamento, tal como o referido anteriormente, aparentam migrar, numa primeira fase, através das falhas que se encontram relacionadas com os topos dos diapiros salinos, de níveis mais profundos. Este migram ao longo de uma fina unidade de fácies caóticas, cujo refletor superior aparenta ter maiores amplitudes. Tal como a anterior, isto pode-se explicar devido à maior porosidade da fina unidade onde os *Bright Spots* estão implantados, facilitando a sua migração e retenção nesta camada, por uma com propriedades selantes.

Os *Bright Spots* de profundidades, representada pela cor verde, tal como as de profundidades amarelas, estão presentes em quase toda a área da bacia, muitas vezes a níveis inferiores a estes. Estes *Bright Spots* encontram-se entre profundidades de -1275 e -1500 metros, aproximadamente.

No caso apresentado na Figura 6.6, os *Bright Spots* verdes encontram-se numa sequência de refletos de maiores amplitudes e de fácies caóticas, possivelmente uma unidade turbidítica, a uma profundidade de cerca de -1360 metros. Os fluidos representados pelos *Bright Spots* podem ter migrado ao longo de zonas de falhas presentes na região, ficando retidos nos sedimentos caóticos, e ficando aí armazenados.

Por sua vez, logo acima desta unidade, está presente um refletor de maiores amplitudes, onde também estão presentes *Bright Spots*. A profundidade a que estes se encontram é de cerca de -1190 metros, fazendo com que estes estejam a profundidades de *Bright Spots* amarelos. Estes fluidos, do mesmo modo que os verdes referidos anteriormente, deverão ter migrado de zonas mais profundas através das diversas zonas de falha nesta região, até profundidades superiores, onde ficaram armazenados.

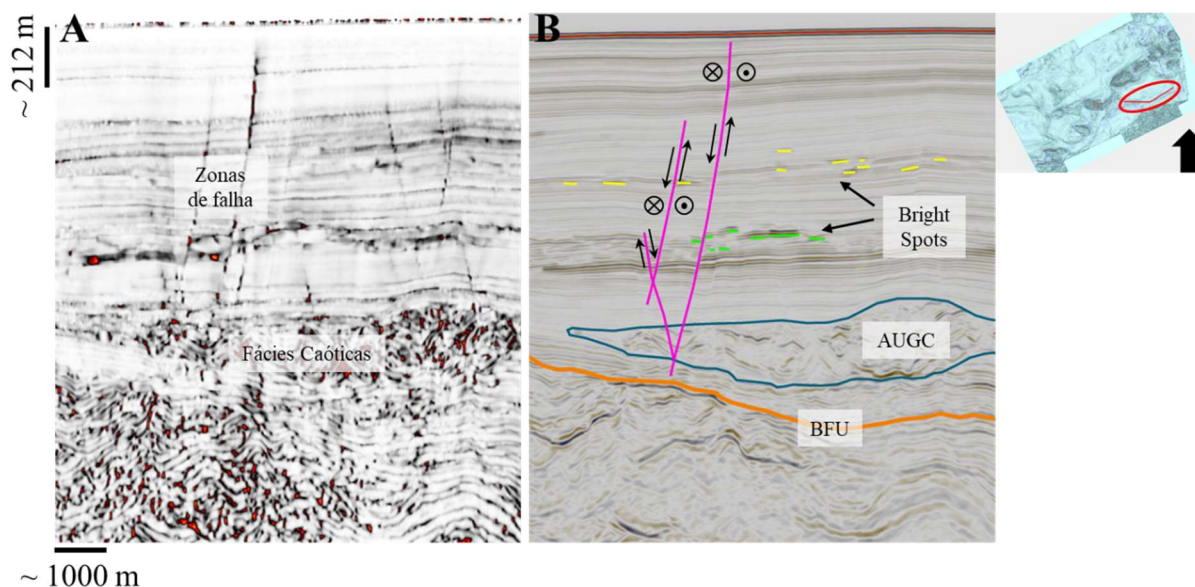


Figura 6.6 – A) Perfil sísmico (E-W), com o atributo sísmico Variância, a realçar zonas de falha e fácies caóticas; B) O mesmo perfil de (A), sem o atributo sísmico, salientando os alinhamentos de *Bright Spots* amarelos (superior) e verdes (inferior). O perfil localiza-se na área indicada no mapa com elipse a vermelho e acompanha o alinhamento de pontos indicados no mapa com direcção aproximada E-W.

Os *Bright Spots* representados pela cor azul, aparecem muito pouco ao longo da bacia, apenas se encontram na extremidade SW da área de estudo, indo até profundidades de cerca de -1940 metros, profundidade máxima a que os *Bright Spots* nesta região se encontram.

Deste modo, pode se inferir que a natureza dos *Bright Spots* está dependente das profundidades a que estes se encontram, sendo que os *Bright Spots* mais superficiais, na sua maioria foram originados possivelmente por MTDs (*Mass Transport Deposits*) e pelos gases produzidos pela matéria orgânica presente nos sedimentos. Enquanto isso, os *Bright Spots* a maiores profundidades, aparentam, na sua maioria, estar associados a fluidos ou gases profundos, que migraram através dos flancos dos diapiros e das zonas de falha, que favorecem esta migração para níveis superiores, tendo por sua vez, ficado armazenados em sequências de camadas superiores mais porosas, que apresentam uma camada selante acima.

## 7 Conclusões

Este trabalho, permitiu aprofundar os conhecimentos acerca da evolução geológica e estrutural da bacia do Algarve, através da interpretação dos dados de sísmica 3D, em conjunto com a aplicação da análise de diferentes atributos sísmicos. A integração da informação obtida a partir da sísmica, do enquadramento geológico da região e da análise estrutural da bacia, permitiu a identificação de unidades sísmicas, falhas e de fenómenos associados à tectónica salina e à exalação de fluidos (*Bright Spots*).

A interpretação sísmica permitiu a interpretação e identificação de cinco unidades sísmicas principais para este trabalho, bem como as discordâncias que as limitam e que refletem diferentes fases da evolução tectónica e sedimentar da bacia do Algarve, destacando o corpo salino Diapiro de Esperança, que teve um papel fundamental na reorganização estrutural da bacia, tendo atuado como controlador da espessura de sedimentos e da migração de fluidos. A interpretação das falhas revelou estruturas que influenciaram a evolução da bacia, e que funcionaram como estruturas que potencializaram a migração de fluidos. A sua distribuição na bacia, está associada à presença de domos salinos, reforçando a importância da tectónica salina no que é a configuração atual da bacia do Algarve.

A utilização dos atributos sísmicos como ferramenta de auxílio à interpretação sísmica, foi essencial para a identificação das diferentes estruturas geológicas, como de discontinuidades, domos salinos e depósitos caóticos, e principalmente das anomalias de amplitude (*Bright Spots*). A análise destes *Bright Spots* revelou diferentes níveis de profundidade para a possível presença de fluidos, e a sua relação com estruturas tectónicas e sedimentares, podendo-se assim concluir que os *Bright Spots* mais superficiais estão, na sua maioria, relacionados a depósitos de MTDs e com a matéria orgânica presentes nos seus sedimentos, enquanto os *Bright Spots* mais profundos sugerem a sua migração, a partir de níveis inferiores, controlada pelas falhas e pela deformação salina. Deste modo, a distribuição espacial dos *Bright Spots* e a sua relação com as falhas e com estruturas diapíricas, apontam para potenciais sistemas de migração de fluidos e armadilhas de acumulação dos mesmos.

Em suma, este trabalho confirma que a bacia do Algarve é uma região com uma elevada complexidade tectónica e sedimentar, onde se dá a interação entre a tectónica salina, fases de *rifting* e de compressão, e processos de movimento de massa (MTD) recentes, que desempenharam um importante papel na configuração atual da bacia. É ainda de salientar, a relevância da utilização dos atributos sísmicos para a interpretação estruturas geológicas em dados de reflexão sísmica, tendo permitido interpretar e caracterizar de uma maneira mais precisa estruturas geológicas e a presença de acumulações de fluidos, na bacia do Algarve.

## Referências Bibliográficas

*bright\_spot*. (2025). Slb.com. [https://glossary.slb.com/en/terms/b/bright\\_spot](https://glossary.slb.com/en/terms/b/bright_spot)

Bulhões, É. M., & Amorim, W. N. de. (2005). Princípio da SismoCamada Elementar e sua aplicação à Técnica Volume de Amplitudes (tecVA). In *9th international congress of the Brazilian geophysical society* (pp. cp-160). European Association of Geoscientists & Engineers.

Chopra, S., and Marfurt, K.J. (2005) – Seismic attributes – a historical perspective. *Geophysics*, 70, 3SO-28SO.

Chopra, S., and Marfurt, K.J. (2006) – Seismic Attributes – a promising aid for geological prediction. *Canadian Society of Exploration Geophysicists Recorder*, 31 (5), 110-121 pp.

Chopra, S., & Marfurt, K. J. (2007). *Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization*. Society of Exploration Geophysicists and European Association of Geoscientists and Engineers.

Hart, B. S. (2000) – 3-D Seismic Interpretation: A Primer for Geologists. *SEPM Short Course Notes*, 48.

Matias, H., Kress, P., Terrinha, P., Mohriak, W., Menezes, P. T., Matias, L., ... & Sandnes, F. (2011). Salt tectonics in the western Gulf of Cadiz, southwest Iberia. *AAPG bulletin*, 95(10), 1667-1698.

Mitchum, R. M. Jr., Vail, P. R. e Thompson III, S. (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 1: Overview. In *Seismic Stratigraphy-Applications to Hydrocarbon Exploration*. Payton, C. E. (Ed). American Association Petroleum Geologists, 51-52 pp.

Ng, Z. L., Hernández-Molina, F. J., Ledesma, S., Sierro, F. J., Duarte, D., Llave, E., ... & Arnáiz, Á. (2022). Late Miocene evolution of the eastern Deep Algarve basin: Interaction of bottom currents and gravitational processes in a foredeep setting. *Marine and Petroleum Geology*, 141, 105695.

Pais, J., Cunha, P. P., Pereira, D., Legoinha, P., Dias, R., Moura, D., ... & González-Delgado, J. A. (2011). The Paleogene and Neogene of western Iberia (Portugal): a Cenozoic record in the European Atlantic domain. In *The Paleogene and Neogene of Western Iberia (Portugal) A Cenozoic record in the European Atlantic domain* (pp. 1-138). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Ramos, A., Fernández, O., Terrinha, P., & Muñoz, J. A. (2016). Extension and inversion structures in the Tethys–Atlantic linkage zone, Algarve Basin, Portugal. *International Journal of Earth Sciences*, 105, 1663-1679.

Ramos, A., Fernández, O., Terrinha, P., & Muñoz, J. A. (2017). Neogene to recent contraction and basin inversion along the Nubia-Iberia boundary in SW Iberia. *Tectonics*, 36(2), 257-286.

Ramos, A., Fernández, O., Terrinha, P., Muñoz, J. A., & Arnaiz, Á. (2020). Paleogeographic evolution of a segmented oblique passive margin: the case of the SW Iberian margin. *International Journal of Earth Sciences*, 109, 1871-1895.

*Reflection seismology*. (n.d.). In SEG Wiki. Retrieved August 15, 2025, from [https://wiki.seg.org/wiki/Reflection\\_seismology](https://wiki.seg.org/wiki/Reflection_seismology)

Roque, C. (2007). Tectonpestratigrafia do Cenozóico das Margens Continentais Sul e Sudoeste Portuguesas: um modelo de correlação sismoestratigráfica. PhD thesis, University of Lisbon.

Schlumberger. (2007). Interpreter's guide to seismic attributes (Petrel 2007.1). Schlumberger.

*Seismic color blending*. (2025, July 15). In SEG Wiki. Retrieved August 5, 2025, from [https://wiki.seg.org/w/index.php?title=Seismic\\_color\\_blending&oldid=1234567](https://wiki.seg.org/w/index.php?title=Seismic_color_blending&oldid=1234567)

*Seismic reflection*. (n.d.). In SEG Wiki. Retrieved August 15, 2025, from [https://wiki.seg.org/wiki/Seismic\\_reflection](https://wiki.seg.org/wiki/Seismic_reflection)

Taner, M. T. (2001). *Seismic Attributes*. VOL. 26 No. 07.

Terrinha, P., Rocha, R., Rey, J., Cachão, M., Moura, D., Roque, C., ... & Bensalah, M. K. (2006). A Bacia do Algarve: Estratigrafia, paleogeografia e tectónica. *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*, 1-138.

Terrinha, P., Matias, L., Vicente, J., Duarte, J., Luis, J., Pinheiro, L., ... & Matespro Team. (2009). Morphotectonics and strain partitioning at the Iberia–Africa plate boundary from multibeam and seismic reflection data. *Marine Geology*, 267(3-4), 156-174.

Tylor-Jones, T. e Azevedo, L. (2022). *A Practical Guide to Seismic Reservoir Characterization*. Advances in Oil and Gas Exploration & Production.

Yilmaz, Ö. (2001). *Seismic data analysis: Processing, inversion, and interpretation of seismic data*. Society of exploration geophysicists.