



**Ana Francisca  
Oliveira Lopes  
Marques Velhote**

**Estudo Sismo-estratigráfico do Setor do Cabeço da  
Leitoa, Canal de Espinheiro, Ria de Aveiro**





**Ana Francisca  
Oliveira Lopes  
Marques Velhote**

**Estudo Sismo-estratigráfico do Setor do Cabeço da  
Leitoa, Canal de Espinheiro, Ria de Aveiro**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Luis Menezes Pinheiro, Professor Associado do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.



## **o júri**

presidente

**Prof. Doutora Carla Alexandra de Figueiredo Patinha**  
Professora Associada ao Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

arguente

**Doutor Henrique Canto e Castro Guerreiro Duarte**  
Diretor do Departamento Marinho, GeoSurveys-Consultores em Geofísica, Lda

orientador

**Prof. Doutor Luis Filipe Fuentefria de Menezes Pinheiro**  
Professor associado da Departamento de Geociências Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Gostaria de começar por agradecer ao orientador, meu orientador Professor Luís Menezes Pinheiro. Estou muito grata pela sua orientação, pelos seus conselhos e ideias, pelo apoio incondicional durante a realização desta tese. Deixo aqui um sentido e especial agradecimento por tudo o que me ajudou a alcançar.

Ao Engenheiro Ricardo Correia, por todo o apoio dado nas imensas horas que partilhamos, pela disponibilidade e pela amizade.

A todos os professores do Departamento de Geociências, o meu agradecimento pela disponibilidade e partilha de conhecimento.

Agradeço também aos meus colegas de curso, em especial à Mariana por todo o companheirismo e amizade demonstrada.

Por último, um agradecimento especial ao Fábio, por toda a sua ajuda e encorajamento ao longo da realização desta tese

**palavras-chave**

Secção sísmica, alta resolução, Chirp Sonar, estratigrafia, falhas, compressão

**resumo**

O presente trabalho tem como objetivo principal, conhecer a geologia da subsuperfície da área de estudo, através da interpretação de um conjunto de secções sísmicas adquiridas no sector do Cabeço da Leítoa, Canal de Espinheiro, Ria de Aveiro. Para a concretização, foram recolhidos dados sísmicos na área de estudo, utilizando um sistema combinado de Sonar de Varrimento Lateral e Chirp Sonar de alta resolução. Foram no total adquiridos 39 perfis de sísmica e gravados no formato SEG-Y (Society of Exploration Geophysicists), importados e processados utilizando o software Radex Pro. O processamento de dados consistiu em: análise do sinal e ruído, desconvolução, remoção do sinal da coluna de água, atenuação dos múltiplos, correção da amplitude, migração, correções estáticas, correções de maré e por fim, a correção da navegação. Após o processamento dos dados procedeu-se à sua interpretação, com o uso do software Kingdom Suite da IHS Market, na qual foram interpretadas 16 unidades sísmo estratigráficas principais. Por meio da Carta Geológica e de sondagens feitas na vizinhança foi possível considerar a sua litologia, que correspondem a sedimentos que se depositaram no Quaternário e no Cretácico. Nos perfis sísmicos, foi possível identificar pela primeira vez nesta zona da Bacia Lusitânica evidências claras da deformação compressiva cenozóica.

**keywords**

Seismic section, high resolution, Chirp Sonar, stratigraphy, Ria de Aveiro, faults, compression.

**abstract**

The current work has the main objective to know the geology of the subsurface of the study area, through the interpretation of a set of seismic sections acquired in the sector of Cabeço da Leitoa, Canal de Espinheiro, Ria de Aveiro. For its concretization, seismic data were collected in the study area using a combined system of side scan sonar and high-resolution Sonar Chirp. A total of 39 seismic profiles were acquired and saved in SEG-Y format (Society of Exploration Geophysicists), they were imported and processed using the Radex Pro software. The data processing consisted in: Signal analysis or noise, deconvolution, removal of the water column, multiple removal, amplitude correction, migration, statistic corrections, tide corrections and finally the navigation correction. After the data processing, followed the interpretation process using the Kingdom Software Suite of HIS Market, in which 16 main seism stratigraphic units were interpreted. Through the geological chart and surveys in the neighborhood, made possible to consider its lithology, which corresponds to sediments that correspond to sediments that were deposited in the Quaternary and the Cretaceous. In the seismic profiles, it was possible to identify for the first time in this area of the Lusitanian Basin clear evidence of Cenozoic compressive deformation.

# Índice

|  |    |
|--|----|
| Capítulo I. Introdução .....   | 1  |
| I.1. Natureza e âmbito do trabalho .....   | 1  |
| I.2. Objetivos.....  | 1  |
| I.6. Metodologia .....   | 3  |
| I.5. Estrutura da Dissertação .....  | 3  |
| Capítulo II. Enquadramento Geológico da Área de Estudo.....  | 4  |
| II.1. Bacia Sedimentar de Aveiro .....   | 4  |
| II.1.1. Geologia e Estratigrafia .....   | 4  |
| II.1.2. A formação das Argilas de Aveiro.....  | 6  |
| II.1.3. Cobertura pós-cretácica .....  | 7  |
| II.1.4. Compressão cenozóica .....   | 7  |
| Capítulo III. Fundamentos do método sísmico.....   | 8  |
| III.1. Método de reflexão sísmica de alta resolução.....   | 8  |
| III.2. Resolução sísmica .....   | 10 |
| III.3. Traço sísmico e reflexões múltiplas.....  | 13 |
| III.4. Sistema Chirp de Reflexão Sísmica de Alta Resolução em meio aquático .....                                    | 14 |
| Capítulo IV. Aquisição e Processamento dos Dados Sísmicos.....   | 16 |
| IV.1. Levantamento Geofísico na área de Estudo .....   | 16 |
| IV.2. Fluxo de processamento .....   | 18 |
| IV.2.1. Importação dos Dados .....   | 19 |
| IV.2.2. Desconvolução .....  | 20 |
| IV.2.3. Identificação do Fundo marinho .....   | 23 |
| IV.2.4. Atenuação dos múltiplos.....   | 26 |
| IV.2.5. Correção de amplitudes .....   | 29 |
| IV.2.6. Migração.....  | 32 |
| IV.2.7. Correções estáticas .....  | 34 |
| IV.2.8. Correções da maré .....  | 36 |
| IV.2.9. Correções da Navegação .....   | 39 |
| IV.2.10. Exportação.....   | 39 |
| Capítulo V. Interpretação sísmo-estratigráfica do Sector do Cabeço da Leitoa, Cale do Espinheiro, Ria de Aveiro..... | 41 |
| V.1. Estratigrafia Sísmica .....   | 41 |
| V.2. Interpretação sísmica da área de Estudo.....  | 43 |

|   |    |
|---|----|
| V.3. Interpretação dos Perfis Sísmicos .....  | 43 |
| V.4. Definição da morfologia do fundo e caracterização das unidades sismo-estratigráficas ..... | 48 |
| V.4.1. Definição da morfologia do Fundo.....  | 48 |
| V.4.2. Unidade U1.....  | 49 |
| V.4.3. Unidade U2.....  | 50 |
| V.4.4. Unidade U3.....  | 50 |
| V.4.5. Unidade U4.....  | 50 |
| V.4.6. Unidade U5.....  | 52 |
| V.4.7. Unidade U6.....  | 52 |
| V.4.8. Unidade U7.....  | 52 |
| V.4.9. Unidade U8.....  | 53 |
| V.4.10. Unidade U9.....   | 53 |
| V.4.11. Unidade U10.....  | 54 |
| V.4.12. Unidade U11.....  | 54 |
| V.4.13. Unidade U12.....  | 55 |
| V.4.14. Unidade U13.....  | 55 |
| V.4.15. Unidade U14.....  | 55 |
| V.4.16. Unidade U15.....  | 57 |
| V.4.17. Unidade U16.....  | 57 |
| V.4.18. Superfícies erosivas .....  | 60 |
| V.5. Controlo estrutural.....   | 60 |
| Capítulo VII. Conclusões .....  | 64 |
| VII.1. Trabalho Futuro.....   | 64 |
| Referências Bibliográficas.....   | 66 |
| Anexos .....  | 68 |

## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Localização geográfica da área de estudo.....   | 2  |
| Figura 2. Área de estudo (linhas amarelas correspondem aos perfis sísmicos adquiridos).<br>.....  | 2  |
| Figura 3. Formações litológicas na Ria de Aveiro Fonte: Carta Geológica de Portugal<br>50 000 (Oliveira et al.,1992). ....  | 5  |
| Figura 4. Unidades litoestratigráficas Meso-Cenozóicas definidas na Bacia Sedimentar de<br>Aveiro (Rocha, 1993) .....   | 6  |
| Figura 5. Representação esquemática do princípio do método de reflexão sísmica.<br>Obtido em: <a href="https://ets.wessexarch.co.uk/recs/how-we-study-the-seafloor/geophysical-survey/">https://ets.wessexarch.co.uk/recs/how-we-study-the-seafloor/geophysical-survey/</a> .....   | 8  |
| Figura 6. Reflexão e refração das ondas sísmicas numa interface, segundo a lei de Snell.<br>Segundo a Lei de Snell (Equação 2, onde $\theta_i$ representa o ângulo de incidência, $\theta_r$ o<br>ângulo de refração e $V_1$ e $V_2$ representam as velocidades das ondas sísmicas em dois<br>meios diferentes (modificado de Kearey et al., 2002). ....  | 9  |
| Figura 7. Modelo de uma resposta sísmica (a). Para uma unidade litológica (b), que foi<br>capaz de ser detetada por um sistema e ser registada a sua reflexão do topo e da base,<br>separados apenas se a distância entre eles for pelo menos de $\frac{1}{4}$ do comprimento de<br>onda. Obtida em:<br><a href="https://wiki.seg.org/wiki/Seismic_Resolution:_Vertical_and_Horizonta">https://wiki.seg.org/wiki/Seismic_Resolution:_Vertical_and_Horizonta</a> ..... | 11 |
| Figura 8. Esquema representativo da primeira Zona de Fresnel (modificado de Kearey et<br>al., 2002). ....   | 12 |
| Figura 9. Convolução entre a onda fonte e a função de refletividade dando origem a um<br>traço sísmico. Obtido em Pinto, 2015. ....   | 13 |
| Figura 10. Comparação entre a onda fonte produzida por (a) um sistema sísmico<br>convencional e (b) um sistema Chirp. Adaptado de Shock & Leblanc citado por Pinheiro<br>et al., (2011, p.131).....   | 14 |
| Figura 11. Equipamento a ser transportado para a embarcação.....  | 15 |
| Figura 12. Área de estudo (linhas a amarelo) com representação dos perfis ao longo dos<br>quais foram adquiridos.....   | 16 |
| Figura 13. Sistema integrado Edgetech 512i, que combinar um sistema Chirp Sonar e um<br>sistema de sonar de varrimento lateral. ....  | 17 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 14. Representação esquemática da geometria de aquisição dos dados geofísicos.<br>.....   | 17 |
| Figura 15. Fluxograma da metodologia abordada no processamento dos dados sísmicos.<br>.....   | 18 |
| Figura 16. Ambiente de Trabalho do Software RadexPro. ....  | 19 |
| Figura 17. Análise espectral realizada na linha LT3. Espectro de uma zona com ruído (verde) e espectro da zona com sinal (laranja).....   | 20 |
| Figura 18. Representação do traço sísmico como resultado da convolução da onda fonte, pela sucessão de refletividade do terreno. (Adaptada por Correia,2019).....                               | 21 |
| Figura 19. Função de autocorrelação dos traços sísmicos do 1º e 2º zero da autocorrelação.....  | 22 |
| Figura 20. Perfil sísmico LL8 antes da desconvolução (imagem em cima) e após a desconvolução (imagem em baixo).....   | 23 |
| Figura 21. Parametrização do pick do fundo marinho no software.....   | 24 |
| Figura 22. Parametrização da rotina First Breaks Picking. ....  | 25 |
| Figura 23. Valores colocados na rotina Header Average. ....   | 25 |
| Figura 24. Perfil sísmico LL10 com o pick do fundo feito (imagem em cima) e perfil com a remoção da coluna de água com base no pick feito (imagem em baixo).....                                | 26 |
| Figura 25. Parametrização do modulo Zero-Offset DeMultiple no software. ....  | 27 |
| Figura 26. Perfil sísmico LL10 antes da atenuação de múltiplos (imagem em cima) e após atenuação dos múltiplos (imagem em baixo). Nota-se que teve uma atenuação maior no segundo múltiplo..... | 28 |
| Figura 27. Efeito da divergência esférica.....  | 29 |
| Figura 28. Parametrização da correção de amplitudes na rotina Amplitude Correction.<br>.....  | 30 |
| Figura 29. Perfil sísmico LL10 sem a função do ganho linear (imagem em cima) e com a função aplicada (imagem em baixo). ....  | 31 |
| Figura 30. Secção sísmica LT22 antes da migração (em cima) e secção após a migração (imagem em baixo).....  | 33 |
| Figura 31. Secção sísmica LT23 antes da correção estática (imagem em cima) e secção sísmica após a correção da maré (perfil inferior).....  | 35 |
| Figura 32. Valores disponibilizados pelo Instituto Hidrográfico sobre os dados da maré e, conseqüentemente, as fases da lua. ....   | 36 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 33. Sinusóide da maré obtida através da interpolação dos valores da maré do dia 18 de dezembro de 2020.....   | 37 |
| Figura 34. Ficheiro *.txt com quatro colunas (Horas, Minutos, Segundos, TWT) importado para o RadExPro. ....   | 37 |
| Figura 35. Secção sísmica LT3 antes da correção de maré (secção superior) e secção sísmica após a correção de maré (secção inferior). ....   | 38 |
| Figura 36. Parametrização da rotina Marine Geometry Input no software RadexPro. .  | 39 |
| Figura 37. Na imagem superior está representado o perfil com os dados em bruto da linha LT3, e na imagem inferior o perfil final obtido após o processamento. ....   | 40 |
| Figura 38. Tipos de terminação das reflexões e a respetiva interpretação geológica. (Mitchum et al., 1977).....  | 42 |
| Figura 39. Configurações internas das reflexões e ambientes de deposição relacionados. (Costa, 2018).....  | 43 |
| Figura 40. Mapa com as linhas sísmicas interpretadas no software Kingdom Suite. ....   | 44 |
| Figura 41. Secção sísmica (Linha LL11), ilustrando a interpretação das principais unidades sísmo-estratigráficas, da área de estudo. ....  | 45 |
| Figura 42. Representação do pick fundo marinho, na linha sísmica LL9, a azul claro. ...  | 48 |
| Figura 43. Fundo da Ria da área de estudo, representado num mapa 2D e em visualização 3D, observa-se um aprofundamento da batimetria para NE, assim como uma pequena elevação na zona central à direita, na figura. .... | 48 |
| Figura 44. Linha sísmica LL7 com interpretação da unidade U1. Escala vertical em segundos TWT. ....  | 49 |
| Figura 45. Linha sísmica LL9 com interpretação da unidade U2. ....   | 50 |
| Figura 46. Linha sísmica LL11 com interpretação da unidade U3. ....  | 51 |
| Figura 47. Linha sísmica LL2 com interpretação da unidade U4. ....   | 51 |
| Figura 48. Linha sísmica LL12 com interpretação da unidade U5. ....  | 52 |
| Figura 49. Linha sísmica LT3 com interpretação da unidade U6. ....   | 53 |
| Figura 50. Linha sísmica LT3 com interpretação da unidade U7. ....   | 54 |
| Figura 51. Linha sísmica LT2 com interpretação da unidade U8. ....   | 55 |
| Figura 52. Linha sísmica LL16 com interpretação da unidade U9. ....  | 56 |
| Figura 53. Linha sísmica LL16 com interpretação da unidade U10. ....   | 56 |

|  |               |
|--|---------------|
| Figura 54. Linha sísmica LL14 com interpretação da unidade U11. ....   | 57            |
| Figura 55. Linha sísmica LL14 com interpretação da unidade U12. ....   | 58            |
| Figura 56. Linha sísmica LL4 com interpretação da unidade U13. ....  | 58            |
| Figura 57. Linha sísmica LL8 com interpretação da unidade U14. ....  | 59            |
| Figura 58. Linha sísmica LL8 com interpretação da unidade U15. ....  | 59            |
| Figura 59. Linha sísmica LL3 com interpretação da unidade U16. ....  | 60            |
| Figura 60. Secção sísmica (Linha LL11), ilustrando as camadas erodidas. ....   | <b>Error!</b> |
| <b>Bookmark not defined.</b>   |               |
| Figura 61. Representação da falha F1 (imagem à esquerda) e da falha F2 (imagem à direita) na área de estudo. ....    | 61            |
| Figura 62. Representação da falha F3 (imagem à esquerda) e da falha F4 (imagem à direita) na área de estudo. ....    | 62            |
| Figura 63. Falhas representadas no perfil sísmico (LT1). A azul corresponde a F1, roxo a F2 e a verde a F3. ....     | 62            |
| Figura 64. Falhas representadas no perfil sísmico (LT11). A azul corresponde a F1, vermelho a F4 e a roxo a F3. .... | 63            |



# Capítulo I. Introdução

## I.1. Natureza e âmbito do trabalho

O presente trabalho foi realizado no âmbito do Mestrado em Engenharia Geológica, da Universidade de Aveiro, sob orientação do Professor Doutor Luis Menezes Pinheiro e coorientação do Engenheiro Ricardo Correia, do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

Para a realização desta tese foi planeada e executada uma campanha de aquisição de dados sísmicos monocal de alta resolução na Ria de Aveiro, no Sector Norte do Cabeço da Leitoa, utilizando um sistema integrado de *Chirp Sonar* e Sonar de Varrimento Lateral. Os dados adquiridos foram processados e interpretados no Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

## I.2. Objetivos

A dissertação teve como principal objetivo o processamento e a interpretação dos dados geofísicos adquiridos com o *Chirp Sonar* no Sector Norte do Cabeço da Leitoa, com o intuito de conhecer a geologia de subsuperfície neste setor da Ria de Aveiro. Os objetivos mais específicos do trabalho para a concretização do objetivo principal foram os seguintes:

- Planear e executar a campanha geofísica;
- Georreferenciação dos dados adquiridos;
- Processamento da qualidade do sinal dos dados sísmicos adquiridos;
- Identificar principais estruturas e unidades sismo-estratigráficas para descrever a história evolutiva da região em estudo.

## I.3. Localização da área de estudo

A área em estudo situa-se na Ria de Aveiro, que se prolonga desde Ovar até Mira (Fig. 1). É considerada um sistema lagunar de baixa profundidade localizada a noroeste da costa portuguesa, com uma largura de 11 quilómetros, sendo delimitada a oeste pelo Oceano Atlântico e a este pelo meridiano 8º 26'W. Os 45 quilómetros de comprimento ocupados por este sistema abrangem sete localidades: Ovar, Estarreja, Murtosa, Aveiro, Ílhavo, Vagos e Mira.

## I.4. Dados utilizados

Para a realização deste trabalho foram adquiridos 39 perfis de sísmica monocal de alta resolução, espaçados entre si de 20 metros (Fig. 2). A aquisição dos dados ocorreu no dia 18 De dezembro de 2020, usando um sistema conjugado *Chirp Sonar* e Sonar de Varrimento Lateral e um GPS diferencial (*DGPS Diferential Global Position System*) para o posicionamento da embarcação ao longo da aquisição.



## **I.6. Metodologia**

Para cumprir com os objetivos desta dissertação, a metodologia usada foi a seguinte:

- Planeamento da aquisição sísmica. As linhas correspondentes aos perfis sísmicos foram planeadas e georreferenciadas com recurso ao *software ArcGis*;
- Levantamento dos perfis sísmicos utilizando um sistema integrado de *Chirp Sonar* e *Sonar de Varrimento Lateral*;
- Conversão dos dados do formato JSF para *SEG-Y* (formato *standard* da *Society of Exploration Geophysicists*);
- Processamento da navegação e dos dados sísmicos no programa *RadexPro 2018.14*;
- Interpretação das principais estruturas e unidades sismoestratigráficas, utilizando o *software Kingdom Suite*.

## **I.5. Estrutura da Dissertação**

A dissertação está estruturada da seguinte forma:

Capítulo I- Introdução: enquadramento do trabalho, especificando a sua natureza e âmbito, os objetivos, a metodologia usada, a localização da área de estudo e os dados utilizados, terminando com esta descrição da estrutura do trabalho.

Capítulo II-Enquadramento Geológico: breve descrição da geologia da área em estudo. Inclui referência às principais características litológicas e estratigráficas das diferentes unidades.

Capítulo III- Fundamentos de reflexão sísmica de alta resolução: breve introdução teórica ao princípio de funcionamento do método.

Capítulo IV- Processamento de dados de sísmica de reflexão: descrição do procedimento usado no processamento dos dados de reflexão sísmica adquiridos.

Capítulo V- Interpretação dos dados: interpretação estrutural das unidades sismoestratigráficas nas secções sísmicas.

Capítulo VI-Conclusões: compilação dos resultados obtidos e sugestões de trabalhos futuros.

## **Capítulo II. Enquadramento Geológico da Área de Estudo**

A Ria de Aveiro possui uma área de aproximadamente 530 km<sup>2</sup>, o que a torna no maior sistema lagunar de Portugal inserido ao longo da costa noroeste (Duarte, 2009). É considerado um sistema barreira-lagunar, formado por uma complexa rede de canais de marés, planícies de marés, sapais e ilhas de areia supramarés, separados do mar por uma barreira de areia (Duarte, 2009).

### **II.1. Bacia Sedimentar de Aveiro**

A área de estudo fica situada na parte ocidental da Península Ibérica, numa zona de contacto entre as unidades morfoestruturais do Maciço Antigo e da Orla Mesocenozóica Ocidental (Fig. 3). Durante o Mesozóico instalou-se sobre a Orla Ocidental um fosso alongado com direção NNW-SSE ao longo de 300 km e com uma largura de 150 km, designado de Bacia Lusitânica. Esta sutura foi preenchida por sedimentos que atingem uma espessura máxima de 5 km e que apresentam idades compreendidas entre o Triássico Superior e o Cretácico (Ribeiro et al., 1979; Wilson, 1988; Wilson et al., 1989, Azerêdo et al., 2002).

A evolução da Bacia Lusitânica está associada aos quatro episódios de 'rifting' que marcaram a abertura do Atlântico Norte (Kullberg et al., 2006). Durante o ciclo orogénico alpino, esta sofreu deformação e o seu levantamento está ligado à inversão alpina. A sedimentação de rochas detríticas e carbonatadas durante o Mesozóico efetuou-se sobre um relevo herdado da exumação da cadeia Varisca, em depressões separadas por umbrais, geradas por basculamento de blocos ao longo de falhas normais, do tipo lístrico (Reis, 2003). A leste, encontra-se individualizada do Maciço Ibérico e pela falha Porto-Tomar, a sul pelo braço desta falha, com direção NNE, que se estende até ao canhão de Setúbal, e a ocidente por um Horst hercínico onde a parte emersa está representada no Arquipélago das Berlengas, a qual tem sido interpretada como a última massa continental da abertura do oceano Atlântico.

#### **II.1.1. Geologia e Estratigrafia**

O importante acidente tectónico, a zona de cisalhamento Porto-Tomar, que atravessa a região, separa a Zona Centro Ibérica (ZCI) da Zona de Ossa Morena (ZOM). A ZCI é uma zona heterogénea que inclui áreas com diferentes graus de metamorfismo e com abundantes granitóides que intruíram, essencialmente, uma espessa sequência do tipo flysch, ante-ordovícica, designada por Complexo Xisto-Grauváquico (Carrington da Costa 1950; Teixeira 1995), ou mais recentemente designada por Super Grupo Dúrico-Beirão (Sousa e Sequeira, 1989). A ZOM é uma zona estratigraficamente muito variada do ponto de vista metamórfico, tectónico e paleográfico, com formações que vão desde o pré-Câmbrico até ao Carbonífero. Esta zona constitui o substrato das formações sedimentares da Bacia Lusitânica e as suas características tectónicas têm grande influência quer na espessura quer na disposição dos depósitos Mesozóicos. O enchimento ocorreu de SSE/SE para NNW/NW, com uma progressiva acentuação de

uma segunda direção de alimentação, de NE/ENE para SW/WSE. Os dobramentos são muito poucos acentuados, com inclinações suaves nos flancos (Rocha, 1992).

A região de Aveiro é caracterizada por ser aplanada, baixa, pantanosa e apresentar características sedimentares com um conteúdo detrítico, devido à proximidade da área fonte e às dimensões relativamente reduzidas deste sector da bacia. Estes depósitos têm idades compreendidas entre o Mesozóico e o Holocénico e apresentam diferentes desenvolvimentos (Fig. 3 e Fig. 4).

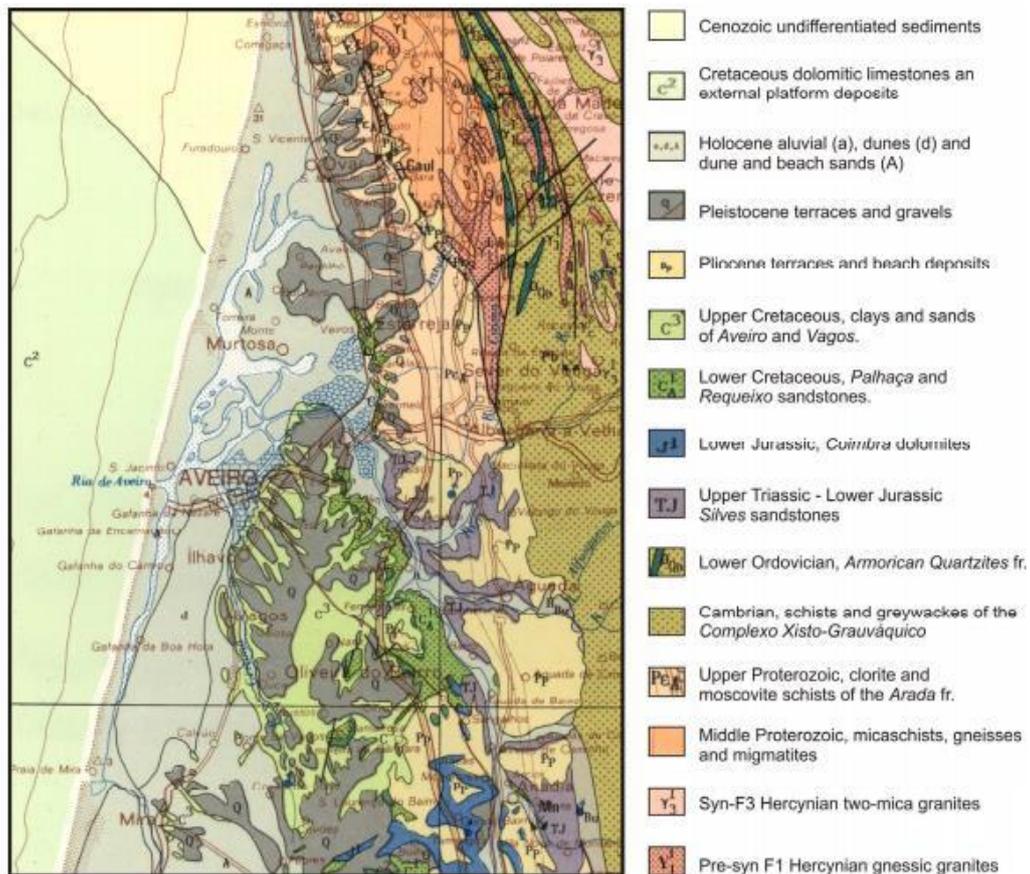


Figura 3. Formações litológicas na Ria de Aveiro Fonte: Carta Geológica de Portugal 50 000 (Oliveira et al.,1992).

A litoestratigrafia mesozóica varia desde o Triásico superior (*Rhaetiano*), que caracteriza os arenitos e conglomerados bem consolidados de tonalidades avermelhadas e que podem ser facilmente identificados devido à sua disposição em bancada, até ao Cretácico Superior (*Campaniano-Maastrichtiano*), caracterizado pela formação “Argilas de Aveiro”, que é constituído essencialmente por argilas, calcários e margas. Os depósitos do Cenozóico são caracterizados por depósitos de praia e terraços fluviais do Pleistoceno e dunas de areia e alúvias recentes do Holocénico (Duarte, 2009) (Fig. 3 e Fig. 4).

## II.1.2. A formação das Argilas de Aveiro

A formação das Argilas de Aveiro é de grande interesse neste trabalho porque os sedimentos do Holocénico ocorrem por cima desta formação e os perfis sísmicos adquiridos nesta área de estudo permitem observar bem esta formação. Segundo Benta (2006), são os mais recentes sedimentos Cretácicos conhecidos nesta região setentrional da Bacia Lusitânica. É uma formação que teve exposta a um ambiente de maré, protegida do mar aberto por uma ilha-barreira, o que permitiu atuar como barreira paleogeográfica, separando o domínio continental de transição no anticlinal de Mogofores-FebresTocha (Bernardes, 1987).

É uma unidade constituída litologicamente por argilas cinzentas esverdeadas, por vezes arenosas, de tons castanhos avermelhados e margas acinzentadas com intercalações de calcários margosas em regra dolomíticos (Fig. 3 e Fig. 4), que afloram em algumas zonas da região de Aveiro. Na formação de Argilas de Aveiro são definidas quatro associações de fácies pertencentes ao complexo mareal de idade Cenozóica (ver Fig. 4) (Bernardes, 1987).

A Figura 4 apresenta uma síntese das formações Meso-Cenozóicas na região de Aveiro, definidas por Rocha (1993).

| Unidades litostratigráficas                     | Litologia   | Idade                                    |
|---|---|--|
| Dunas, areias eólicas, aluviões                 | Areias finas e médias   | Quaternário (Holocénico)                 |
| Depósitos de praias antigas e terraços fluviais | Areias médias a grosseiras, com níveis argilosos                    | Quaternário (Plio-Pleistocénico)         |
| Unidade IV                                      | Areias finas e lodos com cochas                                     | Holocénico                               |
| Unidade III                                     | Areias finas argilosas micáceas c/conchas                           | Pleistocénico                            |
| Unidade II                                      | Areias finas argilosas  | Neogénico                                |
| Unidade I                                       | Calcários margosos e margas com nível superior gresosos, grosseiros | Paleogénico                              |
| Argilas de Aveiro                               | Argilas e margas com níveis calcários                               | Campaniano-Mastrichtiano                 |
| Grés de Verba                                   | Grés margosos e margas gresosas                                     | Coniaciano-Santoniano                    |
| Grés de Oia                                     | Grés argilosos e argilas arenosas                                   | Turoniano superior-Coniaciano Inferior   |
| Grés Micáceo                                    | Grés grosseiros a médios, micáceos, com níveis argilo-margosos      | Cenomaniano superior-Turoniano           |
| Formação Carbonatada                            | Calcários margosos, margas, grés finos margosos                     | Cenomaniano                              |
| Grés da Palhaça                                 | Grés médios e grosseiros, sub-arcósicos                             | Apciano/Albiano-Cenomaniano Inferior     |
| Margas de Eiras                                 | Margas gressosas e grés margosos                                    | Carixiano-Domeriano                      |
| Camadas de S.Miguel                             | Calcários margosos  | Lotaringiano Superior-Carixiano Inferior |
| Camadas de Coimbra                              | Calcários margosos dolomíticos                                      | Sinemuriano-Lotaringiano Inferior        |
| Marga de Dagorda                                | Margas arenosas   | Hetangiano                               |
| Grés de Eirol                                   | Grés argilo_margosas vermelhos                                      | Reciano                                  |

Figura 4. Unidades litoestratigráficas Meso-Cenozóicas definidas na Bacia Sedimentar de Aveiro (Rocha, 1993)

### **II.1.3. Cobertura pós-cretácica**

A cobertura pós-cretácica, como se pode verificar na figura 4 é composta por uma série de calcários margosos e margas de idade e de areias argilosos e lodos.

### **II.1.4. Compressão cenozóica**

Durante o Mesozóico e até ao final do Cretácico Inferior, a Bacia Lusitânica evoluiu de um regime tectónico distensivo, para um regime compressivo com a reativação de falhas. A compressão cenozóica, com 2 picos no Miocénico e Eocénico, produziu-se a deformação das unidades pós-cretácicas.

## Capítulo III. Fundamentos do método sísmico

### III.1. Método de reflexão sísmica de alta resolução

Os métodos de prospeção sísmica baseiam-se na propagação de ondas acústicas, que ao atravessarem diferentes meios sofrem processos de reflexão e refração e regressam subsequentemente à superfície. O registo dos tempos de percurso destas ondas ou eventos sísmicos, geradas artificialmente, permitem estudar a geologia de sub-superfície de forma não invasiva (Figura 5).

Neste trabalho o método utilizado é o de reflexão sísmica monocanal, frequentemente utilizado na prospeção de hidrocarbonetos e obras de engenharia (ex. obras portuárias ou colocação de eólicas em offshore), que dependendo do objetivo ou problema a resolver deve ter como escolha um sistema de aquisição adequado (fonte sísmica e recetores) que permitam obter a resolução ou níveis de profundidade pretendida. Tendo em conta os objetivos deste trabalho o sistema de aquisição utilizado foi o CHIRP sonar que permite obter perfis sísmicos de alta resolução.

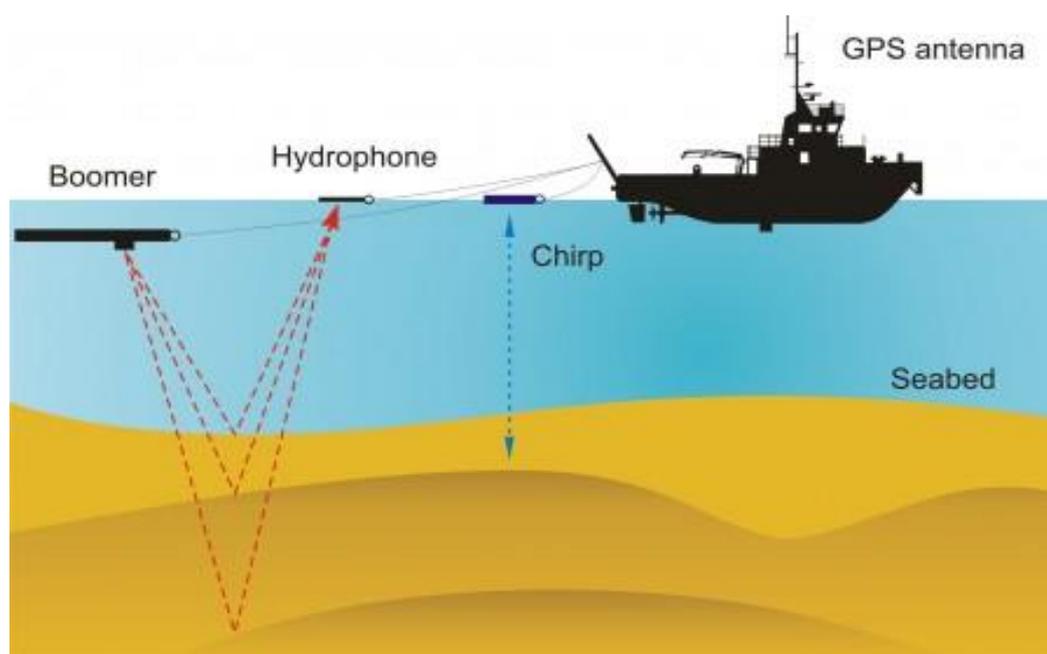


Figura 5. Representação esquemática do princípio do método de reflexão sísmica. Obtido em: <https://ets.wessexarch.co.uk/recs/how-we-study-the-seafloor/geophysical-survey/>

A fonte sísmica utilizada, CHIRP Sonar, gera um sinal sísmico de curta duração (pulso) de frequência modulada, que compreende de uma forma geral frequências entre os 0.5 e os 12 a 15 kHz. As ondas geradas depois de encontrarem interfaces entre meios com contrastes de impedância acústica (Eq. 1), dependentes das velocidades ( $V$ ) de propagação e densidades ( $\rho$ ), uma parte da energia dessa onda sísmica é refratada, dando-se a continuidade de propagação em profundidade, e a outra parte acaba por ser

refletida de acordo com a Lei de Snell, como ilustra a figura 6 (Sheriff e Geldart, 1995) (Eq. 2). A ondas refletidas são depois captadas por um conjunto de recetores, neste caso transdutores, que registam os tempos e amplitude dos eventos de reflexão.

$$Z = \rho V \quad \text{Equação 1}$$

$$\frac{\sin(\theta_i)}{\sin(\theta_r)} = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{Equação 2}$$

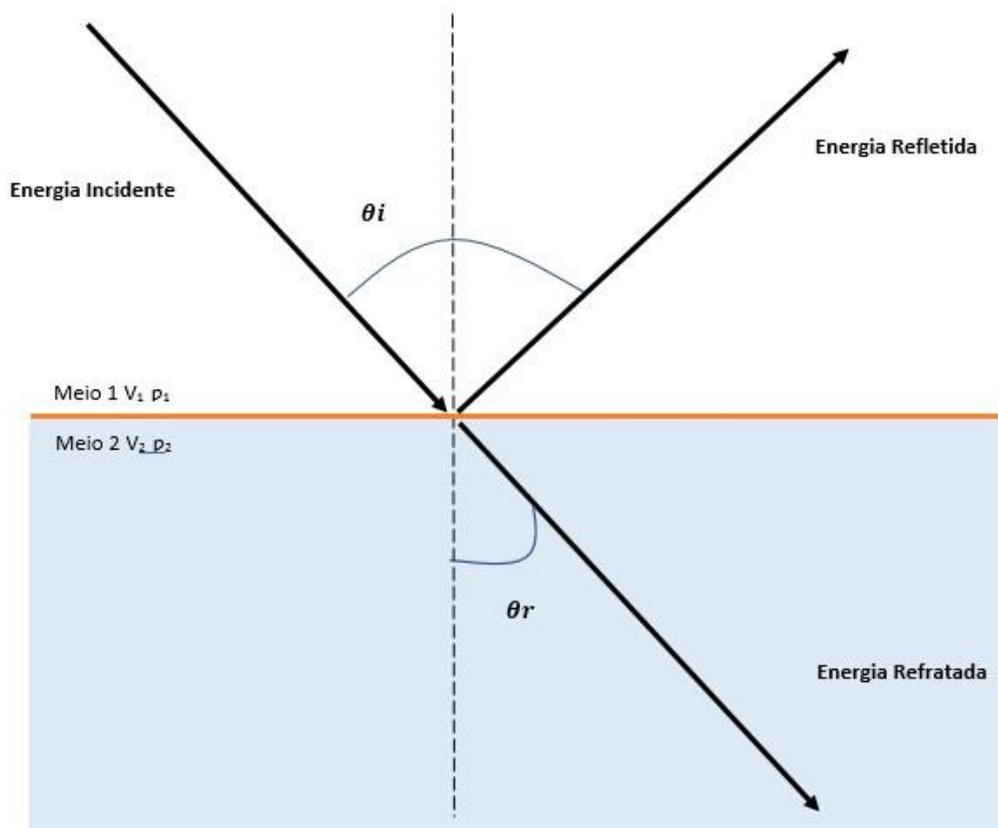


Figura 6. Reflexão e refração das ondas sísmicas numa interface, segundo a lei de Snell. Segundo a Lei de Snell (Equação 2, onde  $\theta_i$  representa o ângulo de incidência,  $\theta_r$  o ângulo de refração e  $V_1$  e  $V_2$  representam as velocidades das ondas sísmicas em dois meios diferentes (modificado de Kearey et al., 2002).

A partição entre a energia refratada e refletida depende do ângulo de incidência. Neste sistema de aquisição, a fonte e o recetor estão muito próximos entre si sendo possível considerar uma situação de incidência normal (Pinheiro *et al.*, 2011). Desta forma o cálculo do coeficiente de reflexão (partição entre a intensidade do sinal transmitido e a do sinal refletido) pode ser feito de uma forma simplificada (Eq. 3). Para esta situação o

coeficiente de reflexão é proporcional ao contraste de impedâncias acústicas como se pode constatar na equação 3.

$$CR = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad \text{Equação 3}$$

### III.2. Resolução sísmica

A resolução sísmica pode ser definida como a capacidade de dois objetos muito próximos entre si poderem ser distinguidos (Yilmaz,2001). Esta capacidade de distinção, ou técnica de visualização, deve ter em conta o comprimento de onda do pulso acústico gerado por um dado sistema de aquisição e a escala do estudo que se pretende realizar. Se os comprimentos de onda dos pulsos acústicos emitidos forem superiores às dimensões e espaçamento entre os objetos de investigação estes não serão resolvidos no perfil sísmico (Yilmaz,2001). Por outro lado, comprimentos de onda inferiores, que se traduzem em frequências mais altas, permitem obter seções sísmicas com maior detalhe, mas com níveis de profundidades de investigação mais limitados, isto porque as altas frequências possuem um decaimento energético superior às baixas frequências (ciclos de maior comprimento de onda).

Para uma mesma potência, sistemas sísmicos com altas frequências possuem uma melhor resolução, mas uma menor penetração. Por outro lado, baixas frequências permitem maior capacidade de penetração, mas uma menor resolução. Assim, deve ser feito sempre um balanço entre a resolução e o nível de profundidade em função dos objetivos do estudo.

A resolução sísmica é subdividida em duas principais componentes: uma componente vertical e outra horizontal. A componente vertical centra-se na distinção da base e do topo de uma camada, e depende da velocidade de propagação das ondas sísmicas do meio e do comprimento de onda do sinal gerado. A resolução vertical, diminui com a profundidade devido ao aumento da velocidade ( $v$ ) e pela atenuação das altas frequências ( $f$ ) do sinal (Eq. 4 e Eq. 5). Dois refletores diferentes podem ser reconhecidos como eventos sísmicos diferentes se a distância entres eles for no mínimo  $\frac{1}{4}$  do comprimento de onda ( $\lambda$ ) (Fig. 7) (McQuillin et al., 1984).

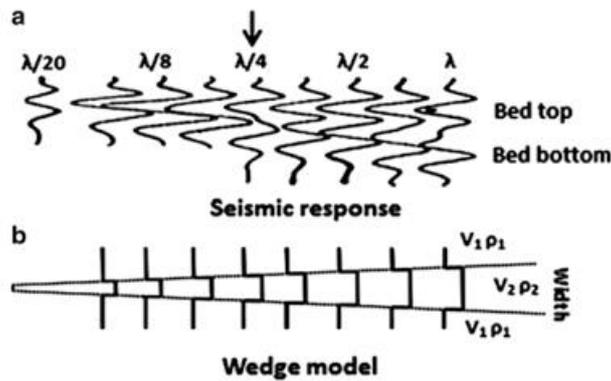


Figura 7. Modelo de uma resposta sísmica (a). Para uma unidade litológica (b), que foi capaz de ser detetada por um sistema e ser registada a sua reflexão do topo e da base, separados apenas se a distância entre eles for pelo menos de  $\frac{1}{4}$  do comprimento de onda. Obtida em: [https://wiki.seg.org/wiki/Seismic\\_Resolution:\\_Vertical\\_and\\_Horizontal](https://wiki.seg.org/wiki/Seismic_Resolution:_Vertical_and_Horizontal)

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad \text{Equação 4}$$

$$R_v = \frac{\lambda}{4} \quad \text{Equação 5}$$

No caso do *Chirp* a resolução vertical depende da largura da banda do pulso acústico emitido. A resolução vertical pode ser melhorada aquando da fase de processamento através da desconvolução (ver Capítulo IV).

A resolução horizontal é fortemente influenciada pelo espaçamento entre os recetores que são atravessados por uma frente de onda. A zona de interseção pela frente de onda, pela qual se avalia a capacidade de distinção lateral, é definida pela Primeira Zona de Fresnel (Fig. 8), que corresponde à área responsável pela maior quantidade de energia refletida após ser atravessada pela frente de onda sísmica depois de um período de meio ciclo (Sheriff, 1996).

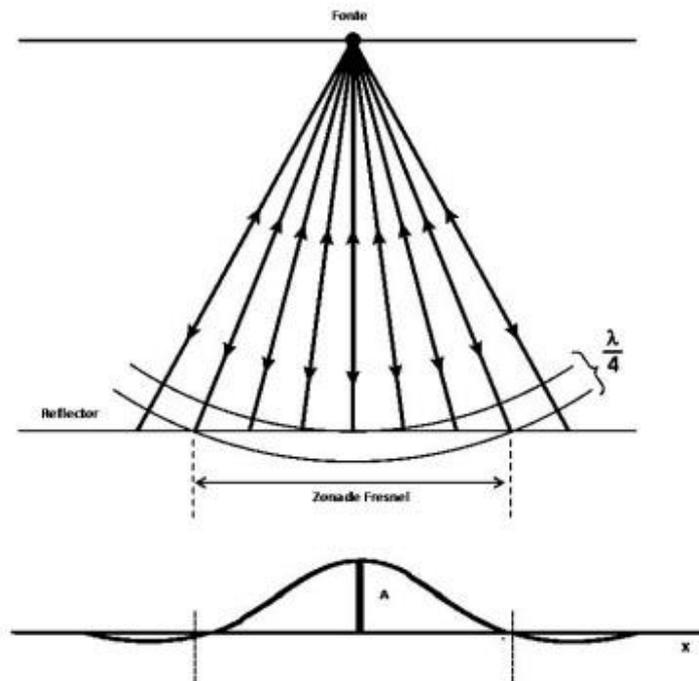


Figura 8. Esquema representativo da primeira Zona de Fresnel (modificado de Kearey et al., 2002).

O raio da Primeira Zona de Fresnel depende da profundidade dos objetos ( $t$ , em TWT), da velocidade de propagação da onda ( $V$ , em m/s) e da frequência do sinal sísmico ( $f$ , em Hz) (Sheriff and Geldart, 1995; Sheriff, 1996), e pode ser calculado através da seguinte equação 6:

$$FR = \frac{V}{2} \sqrt{\frac{t}{f}}$$

Equação 6

A partir da equação 6, é possível concluir que o raio da zona de Fresnel aumenta com o aumento da velocidade, da profundidade e diminuição da frequência. Portanto, quanto maior for a largura da zona de Fresnel menor será a resolução horizontal. A resolução horizontal pode ser melhorada, aquando do processamento pela migração (ver Capítulo IV).

### III.3. Traço sísmico e reflexões múltiplas

#### Traço sísmico

O traço sísmico corresponde à convolução da *wavelet* sísmica pela sucessão dos coeficientes de reflexão em profundidade correspondentes às interfaces das várias camadas (Fig. 9). Os tempos de reflexão variam de traço para traço e dependem da velocidade de propagação das ondas sísmicas, das profundidades a que se encontram as camadas e da distância entre a fonte e os recetores (Hatton *et al.*, 1986).

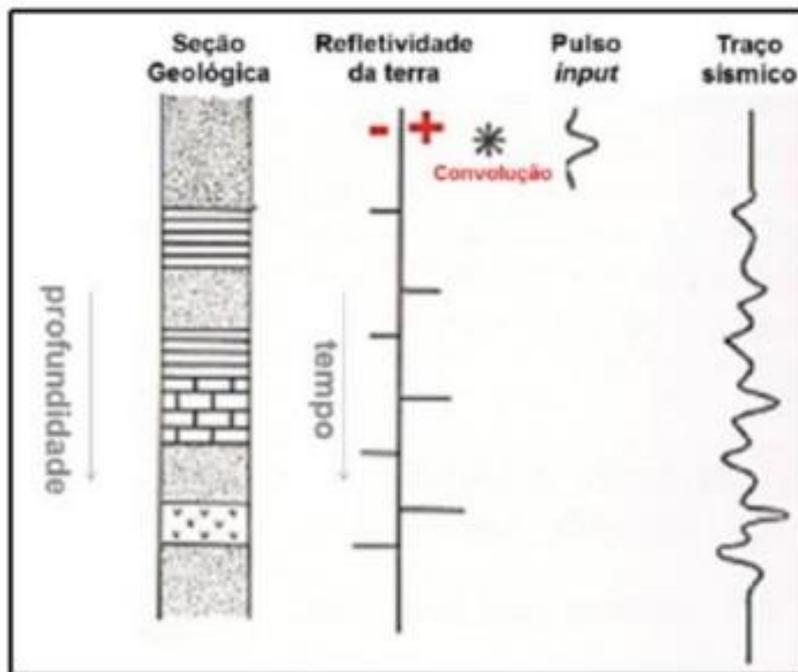


Figura 9. Convolução entre a onda fonte e a função de refletividade dando origem a um traço sísmico. Obtido em Pinto, 2015.

Contudo o registo do traço sísmico não inclui apenas sinal; inclui frequentemente informação indesejada ou ruído. O ruído presente nos traços sísmicos que constituem o perfil sísmico pode apresentar um carácter aleatório, como por exemplo ruído derivado da ondulação existente no cabo que reboca o equipamento e ruído provocado pela maquinaria da embarcação, ou apresentar um carácter coerente, como por exemplo as ondas diretas, ondas refratadas, ondas difratadas e o ruído de interferência. Normalmente recorre-se a filtros bidimensionais para eliminar as frequências indesejáveis no traço sísmico. Estes filtros podem ser desenhados e ou ajustados de forma a atenuar as frequências desejadas. Para desenhar os filtros, há quatro configurações possíveis: o filtro passa-alto que atenua as baixas frequências, o filtro passa-baixo que atenua as altas frequências, o filtro passa banda que rejeita as frequências fora da faixa de valores definidos e o filtro *notch* que é desenhado para remover valores específicos de frequência.

## Reflexões múltiplas

Os traços sísmicos apresentam frequentemente reflexões múltiplas. Os múltiplos são reflexões que aparecem mais que uma vez em zonas com mudanças consideráveis de impedância acústica, na interface entre camadas limitadas por 2 interfaces com elevada impedância acústica, onde a energia não sofre refração e é praticamente toda refletida, e volta à superfície. Normalmente tendem a ter amplitudes mais baixas comparativamente às reflexões primárias devido à perda de energia que ocorre em cada reflexão (Hatton et al., 1986).

Tendo em conta o trajeto adicional efetuado, os múltiplos podem ser divididos em dois grupos: múltiplos de curta duração, por exemplo *ghosts* e *peg-leg*, e múltiplos de longa duração, por exemplo múltiplo do fundo do mar com a camada de água. Os múltiplos de curta duração ocorrem junto à superfície e a sua trajetória sofre apenas uma pequena adição de percurso, enquanto que os múltiplos de longa duração têm a sua trajetória longa comparativamente à reflexão primária, fazendo com que sejam dois eventos separados (Yilmaz, 2000). Os múltiplos, sempre que possível, devem ser removidos/atenuados através de técnicas processamento, especialmente se estes artefactos sobrepõem a reflexões associadas a unidade sísmo-estratigráficas relevantes, facilitando assim a interpretação dos dados (Hatton et al., 1986).

### **III.4. Sistema Chirp de Reflexão Sísmica de Alta Resolução em meio aquático**

Os sistemas sonares Chirp (*Compressed High Intensity Radar Pulse*) são equipamentos de reflexão sísmica de alta resolução (Fig. 11) que pretendem otimizar um equilíbrio entre uma penetração razoável e uma resolução alta. Para que haja tal equilíbrio é usado com sinal sísmico um pulso de frequência modulada, que consiste numa banda de frequências entre os 0.5 e os 12 a 15 kHz (Pinheiro et al., 2011). Distingue-se dos outros sistemas de sísmica convencional devido à natureza de assinatura da fonte, que é bem determinada, regulável e repetível. Na figura 10 é possível ver a comparação de uma onda fonte de um sistema convencional com uma onda fonte de um sistema *Chirp*.

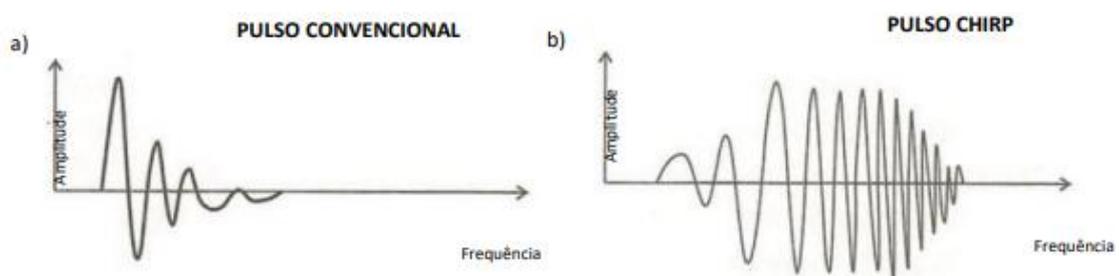


Figura 10. Comparação entre a onda fonte produzida por (a) um sistema sísmico convencional e (b) um sistema Chirp. Adaptado de Shock & Leblanc citado por Pinheiro et al., (2011, p.131).

É rebocado por uma embarcação transferindo os dados adquiridos por um cabo de comunicação que é ligado a um computador que se encontra a bordo.



*Figura 11. Equipamento a ser transportado para a embarcação.*

## Capítulo IV. Aquisição e Processamento dos Dados Sísmicos

### IV.1. Levantamento Geofísico na área de Estudo

Como foi referido no Capítulo I, a campanha de prospeção geofísica realizada, no dia 18 de dezembro de 2020, consistiu na aquisição de uma malha de perfis sísmicos de alta resolução espaçados entre si 20 metros (Fig. 12), com o intuito de investigar e caracterizar a geologia de subsuperfície, e identificar as principais estruturas e unidades sismo-estratigráficas, de modo a descrever a evolução geológica da região em estudo.

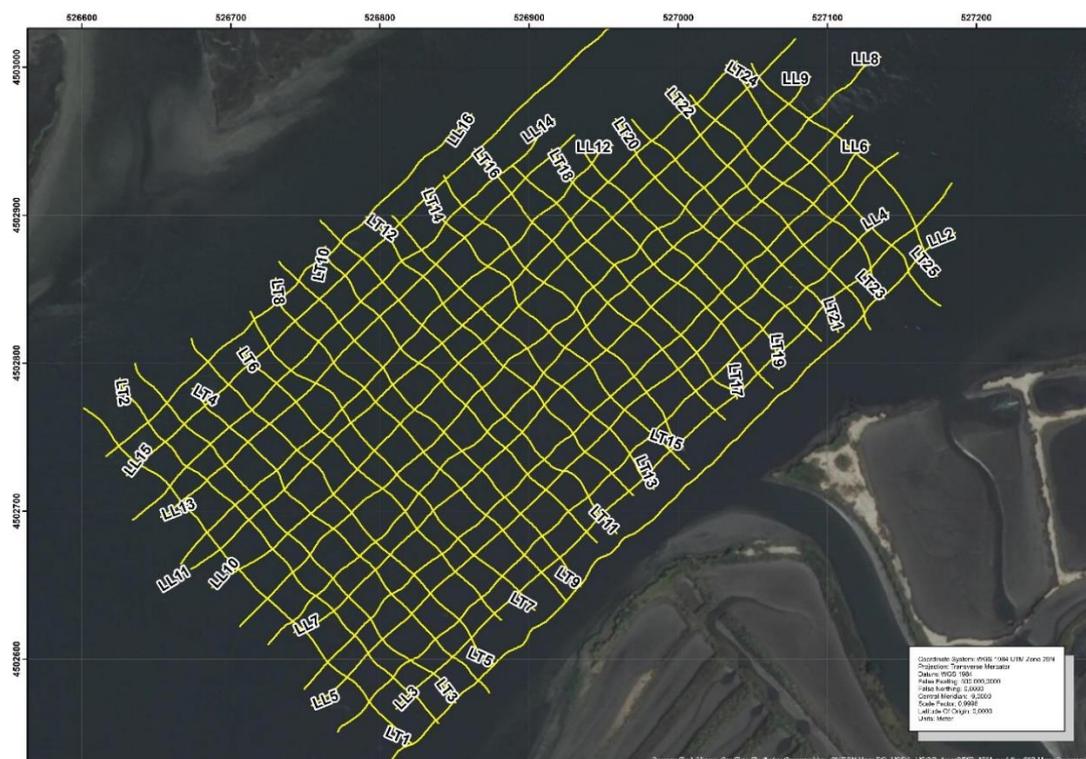


Figura 12. Área de estudo (linhas a amarelo) com representação dos perfis ao longo dos quais foram adquiridos.

A campanha geofísica foi efetuada a bordo da embarcação Nereide, da Universidade de Aveiro, e o equipamento utilizado para o levantamento sísmico foi um sistema integrado que combina um sistema de reflexão sísmica de alta resolução que opera numa gama de frequências entre 0.5 e 12kHz, com um sonar de varrimento lateral, modelo *Edgetech 512i* do Laboratório de Geociências da Universidade de Aveiro e do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha do Laboratório Associado CESAM (Fig.11 e Fig. 13). Na embarcação foi possível seguir o trajeto de cada linha planeada através do *software* ArcPad da ESRI (Fig. 13).

O *Chirp sonar* foi operado na gama de frequências de 0.5-7kHz, o que representa um bom compromisso entre uma boa resolução nas camadas sedimentares e uma penetração de investigação. O equipamento foi rebocado a estibordo da embarcação,

imerso aproximadamente meio metro da superfície e suspenso por uma boia, cerca de 3 metros a ré da embarcação (Fig. 14).



Figura 13. Sistema integrado Edgetech 512i, que combina um sistema Chirp Sonar e um sistema de sonar de varrimento lateral.

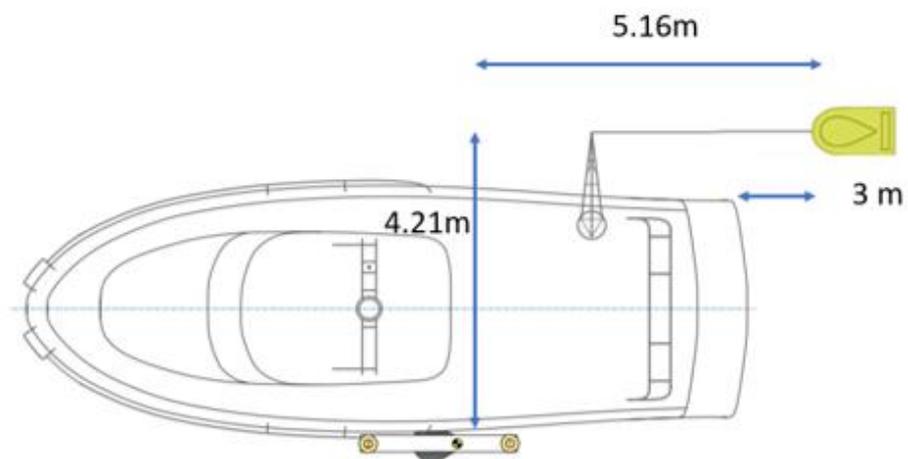


Figura 14. Representação esquemática da geometria de aquisição dos dados geofísicos.

## IV.2. Fluxo de processamento

Apesar de as secções de *Chirp Sonar* apresentarem uma imagem de alta resolução da sub-superfície é possível obter, no entanto imagem do fundo marinho ainda com melhor qualidade e resolução processado os dados do *Chirp Sonar* antes de se proceder à sua interpretação.

Os fluxos padrão de processamento de dados sísmicos usados na indústria são realizados com o objetivo de aumentar a resolução vertical, melhorar a relação sinal/ruído dos dados, colapsar as difrações e mostrar os eventos sísmicos na sua posição espacial correta (McQuillin *et al.*, 1984). O sucesso do processamento não vai depender só dos parâmetros relativos a cada processo, mas também da eficácia das etapas anteriores de processamento (Yilmaz, 2000).

Com o objetivo de obter uma secção sísmica de elevada qualidade e resolução que permita uma boa interpretação geológica, os dados sísmicos foram processados no *Software RadexPro*, versão 2018.1, com a metodologia apresentada na figura 15:

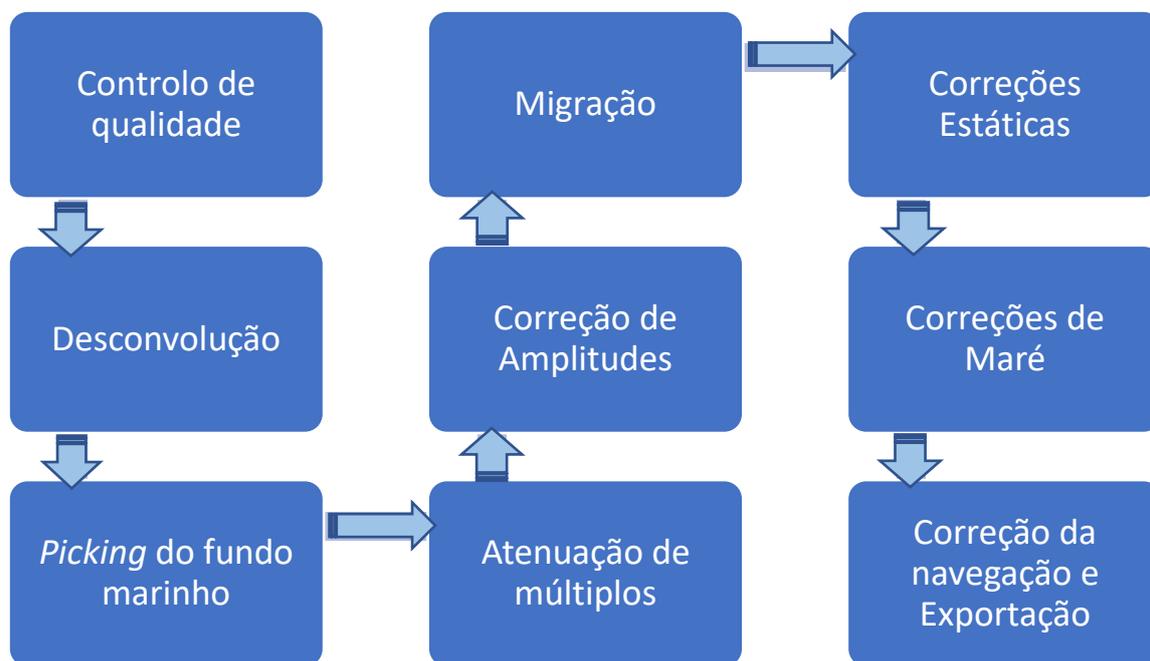


Figura 15. Fluxograma da metodologia abordada no processamento dos dados sísmicos.

Aquando da utilização do software o primeiro passo consistiu na criação de um projeto novo. Este projeto apresenta uma organização hierárquica com a seguinte ordem: Área > Linha > Flow (Fig. 16)

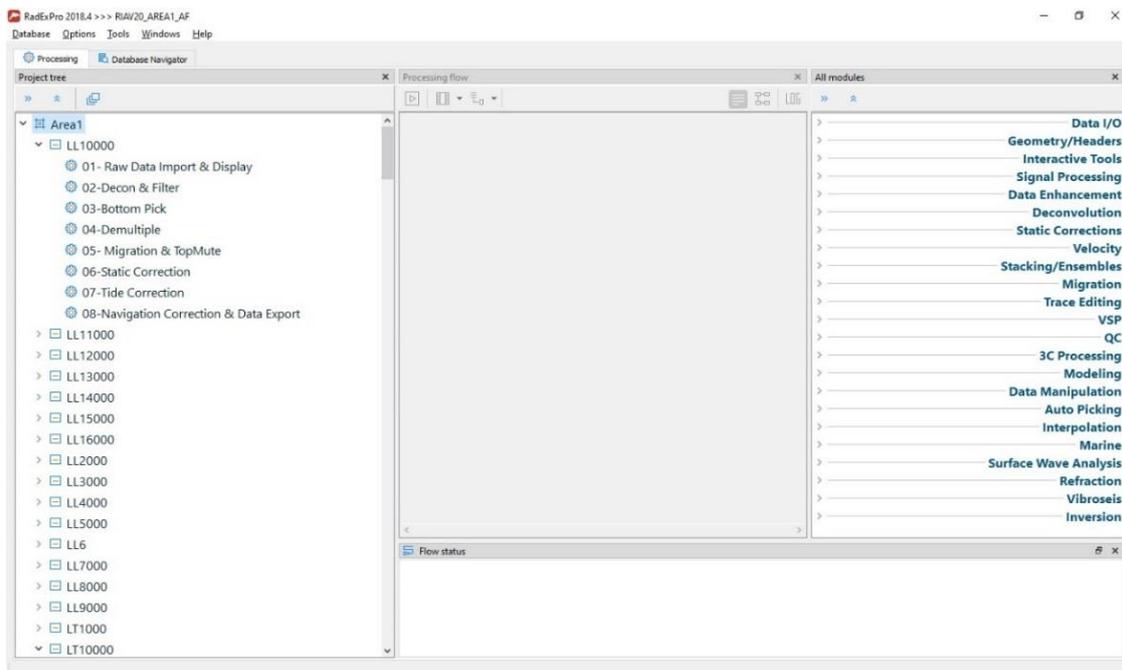


Figura 16. Ambiente de Trabalho do Software RadexPro.

#### IV.2.1. Importação dos Dados

Os dados sísmicos gravados no formato *EdgeTech* (.jsf) foram convertidos para o formato *SEG-Y* (*Society of Exploration Geophysicists*), que é o formato *standard* para a troca de ficheiros sísmicos (Yilmaz, 2001), e de seguida importados para o *software* de processamento *RadExPro*.

O primeiro *flowchart* do fluxo de processamento *Raw Data & Screen Display*, tem como objetivo a visualização dos dados em bruto. Esta etapa é composta por três comandos: *Trace Input* que é usado para introduzir os dados de cada linha ao projeto, o *Screen Display* que permite visualizar os dados carregados, e o *Trace Output* que tem como objetivo gravar a linha com os traços selecionados da linha original no formato interno do *RadExPro*.

Antes de se realizar o processamento dos dados é necessário realizar o controlo de qualidade dos dados. O controlo de qualidade dos dados é efetuado de modo a confirmar que os dados a processar têm a qualidade necessária para produzir o resultado pretendido, ou se houve problemas durante a aquisição. O controlo de qualidade consistiu em verificar os ficheiros *SEG-Y* e analisar o ruído dos dados. Para tal realizou-se uma análise espectral com o intuito de identificar as gamas de frequência do sinal e do ruído. Esta consiste em gerar espetros de amplitudes, com o objetivo de identificar possíveis ruídos no domínio de frequências. Foram calculados espetros na região da coluna de água e na região com o sinal. Após a definição das janelas pretendidas, foi possível gerar espetros de frequências (Fig. 17).

O espectro representa os valores de amplitude dos traços sísmicos para as várias frequências. Ao observar o espectro representado na figura 17 é possível concluir que as amplitudes do ruído encontradas na coluna de água não interferem com o sinal sísmico pois são frequências mais baixas e com menos amplitude do que as encontradas na área de sinal. Assim, atendendo à baixa amplitude das frequências associadas ao ruído optou-se por não aplicar nenhum filtro para eliminar o ruído, nesta fase.

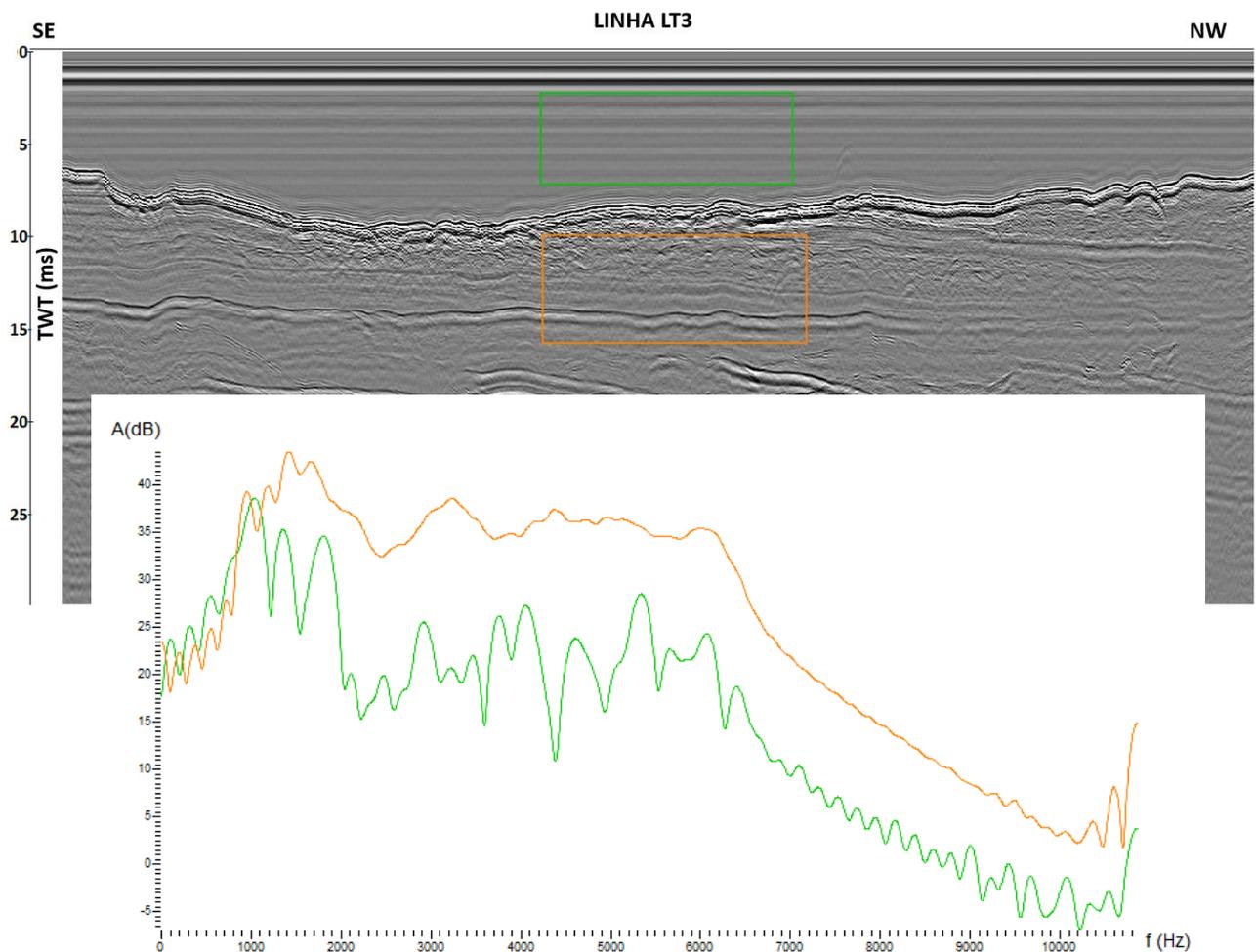


Figura 17. Análise espectral realizada na linha LT3. Espectro de uma zona com ruído (verde) e espectro da zona com sinal (laranja).

#### IV.2.2. Desconvolução

A desconvolução é a operação inversa da convolução e tem como objetivo aumentar a resolução vertical dos refletores, comprimir a forma da *wavelet*, recuperar as altas frequências, atenuar reverberações e múltiplos de período curto e normalizar o espectro de frequências dos dados.

Os dados sísmicos obtidos podem ser matematicamente descritos por uma convolução (ver Capítulo III). Neste modelo, a amplitude do traço é função da convolução do pulso

sísmico com a função de refletividade. O pulso sísmico representa a assinatura da fonte sísmica utilizada e a função de refletividade representa a assinatura da litologia de subsuperfície (Fig. 18). A convolução do traço sísmico é representada matematicamente pela seguinte equação:

$$x(t) = w(t) * e(t) + n(t) \quad \text{Equação 7}$$

onde  $x(t)$  é o traço sísmico,  $w(t)$  é a onda sísmica,  $e(t)$  é a função de refletividade,  $n(t)$  é o ruído aleatório e  $*$  diz respeito ao operador de convolução (Yilmaz, 2000).

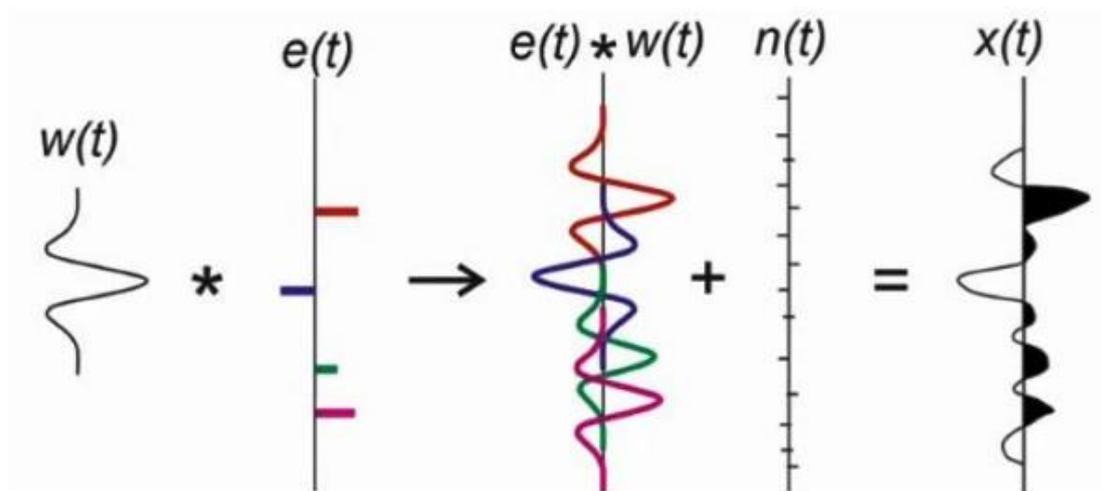


Figura 18. Representação do traço sísmico como resultado da convolução da onda fonte, pela sucessão de refletividade do terreno. (Adaptada por Correia, 2019).

A desconvolução tem, portanto, como finalidade obter a função de refletividade do terreno a partir do traço sísmico. Porém, na maior parte das vezes apenas é conhecida a variável  $x(t)$ , pelo que a refletividade do terreno tem de ser obtida através de uma aproximação. A variável  $w(t)$  geralmente é também desconhecida, pelo que pode ser obtida através da medição do pulso acústico gerado (assinatura da fonte). Caso não haja informação acerca da assinatura da fonte, a *wavelet* é estimada estatisticamente através de funções de autocorrelação. Desta forma, surge o conceito de desconvolução preditiva, que foi utilizada neste trabalho. Esta desconvolução baseia-se no desenho de janelas temporais ao longo dos traços sísmicos, a partir das quais as funções de autocorrelação são calculadas. É geralmente aplicado um operador com um atraso de previsão igual ao primeiro ou segundo zero da função de autocorrelação (Yilmaz, 2000). Este procedimento vai calcular um filtro de *Wiener*, que permite melhorar a resolução

da *wavelet* e atenua os efeitos indesejados. Após aplicada a desconvolução preditiva as reflexões apresentam uma resolução vertical muito maior (Fig. 20).

Assim, foram determinados os *lags* correspondentes ao 1º o 2º zero da autocorrelação, e este atraso de predição é usado para atenuar os múltiplos de curta duração (ver Capítulo III). Após a análise do efeito nos perfis sísmicos, verificou-se que um *prediction gap* de 0.18ms dava os melhores resultados (Fig. 19).

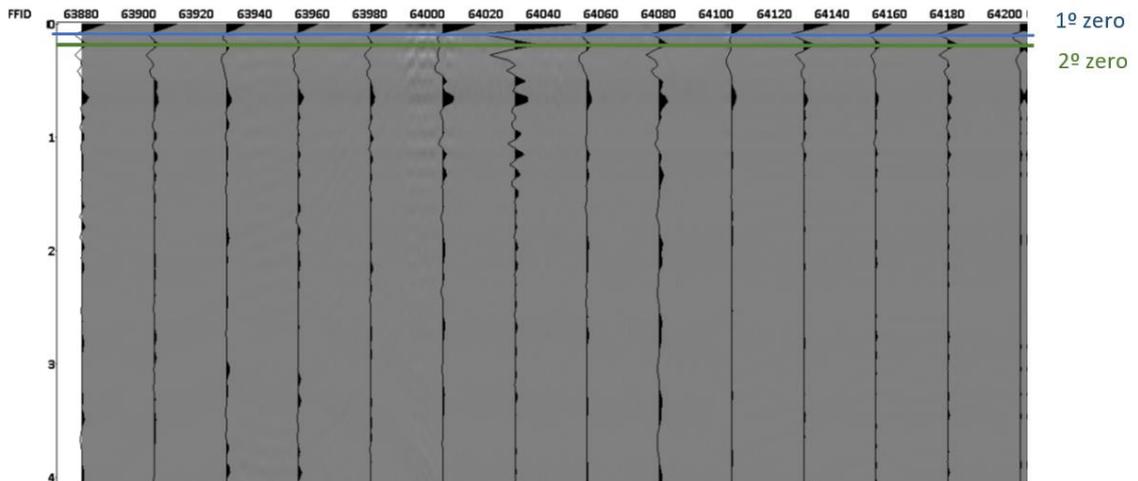


Figura 19. Função de autocorrelação dos traços sísmicos do 1º e 2º zero da autocorrelação.

De seguida, foi definida a janela para determinação do filtro (*Time Window*) que começa em zero, se estende até incluir alguns dos primeiros refletores abaixo do fundo do mar; neste caso considerou-se 20ms. Assumiu-se um *Tapering length* de 0.1ms e o valor para o *White Noise level*, usado na inversão da matriz no cálculo do filtro de *Wiener*, foi de 0.1% .

Após a aplicação dos parâmetros para a desconvolução preditiva, nota-se uma melhoria significativa na resolução vertical, derivada da compressão da *wavelet* e também se verifica que parte da energia múltipla é atenuada significativamente na seção (Fig. 20).

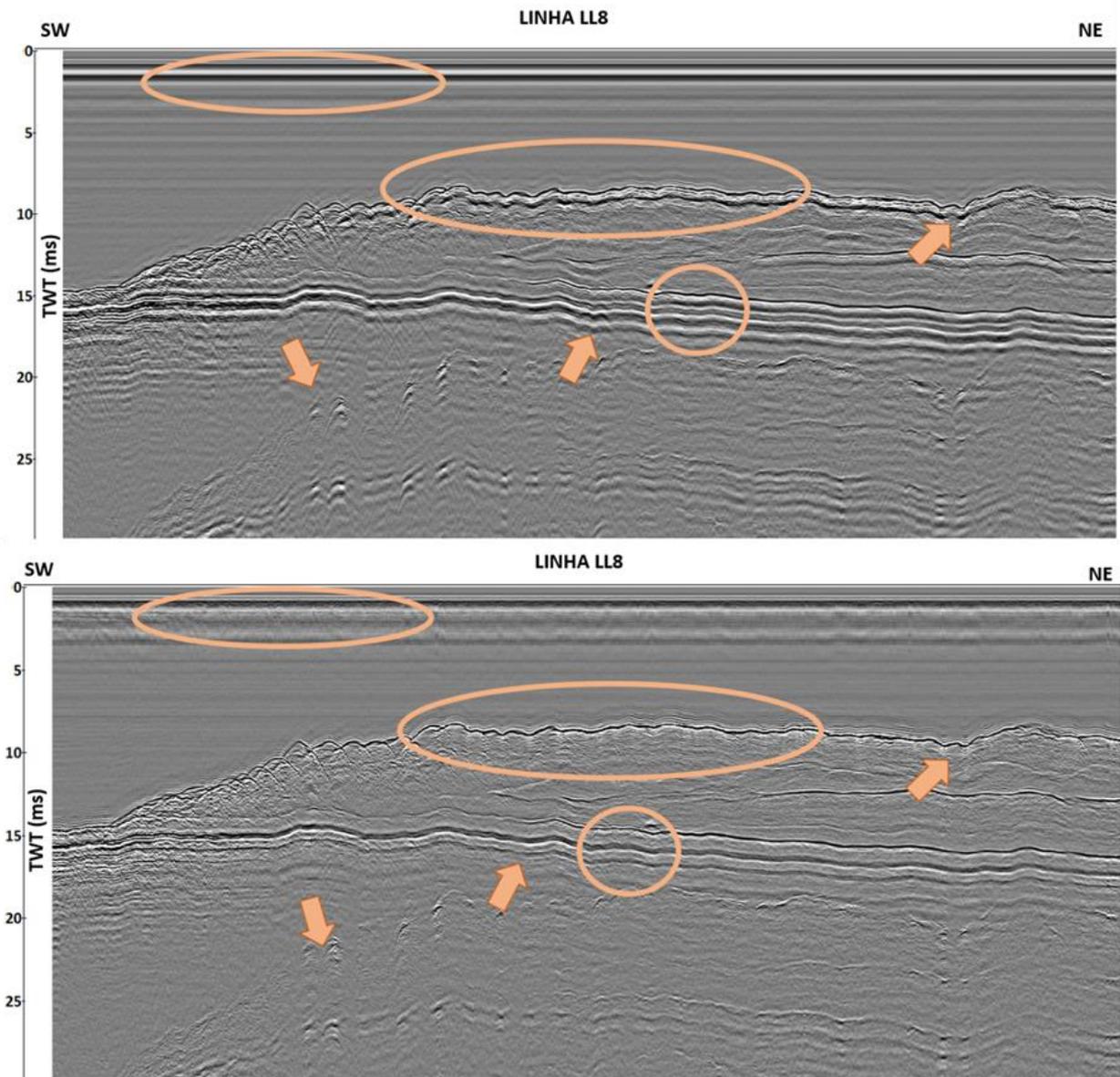


Figura 20. Perfil sísmico LL8 antes da desconvolução (imagem em cima) e após a desconvolução (imagem em baixo).

### IV.2.3. Identificação do Fundo marinho

Este *flow* tem como objetivo a identificação do fundo marinho no perfil sísmico, para posteriormente se remover os dados existentes na coluna de água.

A identificação (*pick*) do fundo marinho pode ser efetuada de duas formas: manual ou semiautomática. Devido ao facto do *pick* manual ser bastante trabalhoso, utilizou-se a forma semiautomática. Para tal foi usado o módulo *Trace Header Math* e as rotinas *First Break Picking* e *Header Average* (Fig. 21).

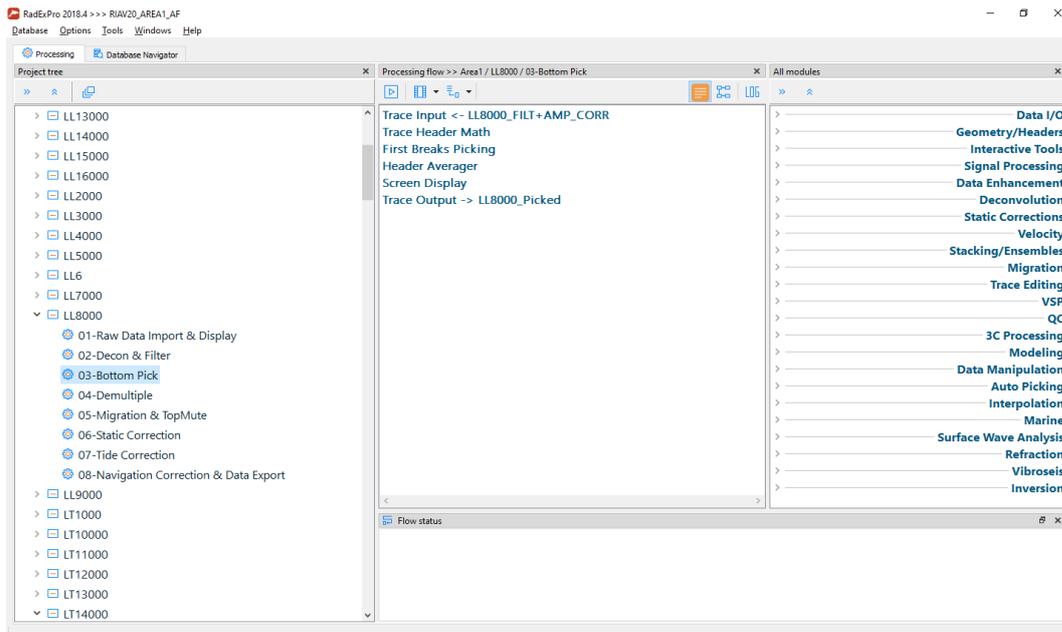


Figura 21. Parametrização do pick do fundo marinho no software.

O módulo *Trace Header Math* tem como função atribuir valores a campos dos traços sísmicos, ou seja, atribui um valor à profundidade mínima que o fundo marinho pode ser detetado. Este valor varia de perfil para perfil e é definido através da visualização dos dados através do fluxo de processamento realizado anteriormente. Neste caso, para a linha LL10, foi o valor escolhido foi 2 ms.

A rotina *First Break Pick* permite detetar o primeiro pico de amplitude dentro da janela temporal estabelecida. Na configuração dos parâmetros desta rotina foi usado o seguinte procedimento (Fig. 22):

- Na janela *First Break time* seleccionou-se o *header FB\_PICK*. Aqui ficaram guardados os tempos de reflexão correspondentes ao fundo marinho de cada traço sísmico.
- A janela *First Break Amplitude* já se encontra predefinida com *PREAMP*. Este *header* corresponde à amplitude do sinal de cada traço sísmico.
- Na janela *Horizon* é indicado “*SOU\_H2OD*”, e este valor corresponde ao valor inicial da janela temporal. Este *header* foi definido no módulo *Trace Header Math*, e varia para cada linha a processar.
- No *window length* introduz-se a amplitude da janela onde se pretende realizar o *picking* automático.
- Na janela *Threshold* selecciona-se a opção *Max*; neste caso foi considerado o valor de 1000, que corresponde à máxima amplitude encontrada com mais frequência ao longo do fundo marinho.

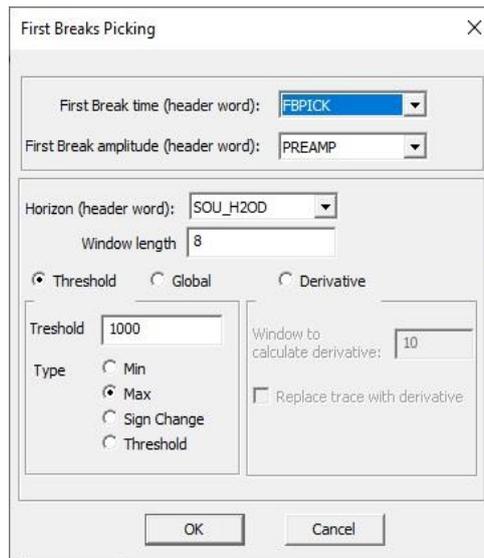


Figura 22. Parametrização da rotina First Breaks Picking.

A rotina *Header Average* tem como objetivo suavizar o *pick* automático através de uma média móvel de 3 traços sísmicos (Fig. 23).

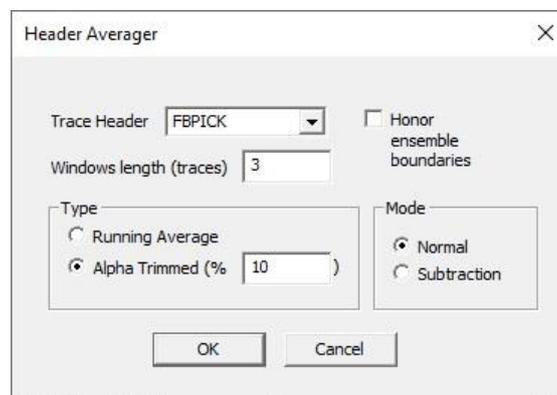


Figura 23. Valores colocados na rotina Header Average.

Após a parametrização do *flow* efetuou-se o *picking* automático, o qual necessita de ser ajustado manualmente na janela de visualização da linha. A figura 24 mostra o resultado antes e após a remoção da coluna de água com base no *pick* do fundo marinho, na qual se verifica na seção sísmica, que a região da coluna de água aparece sem sinal.

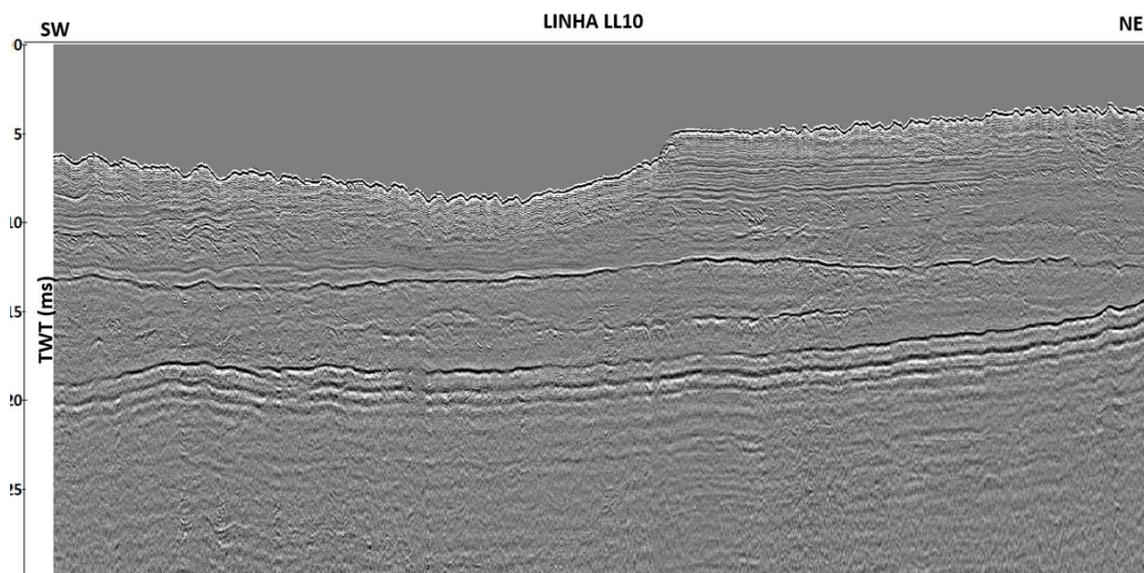
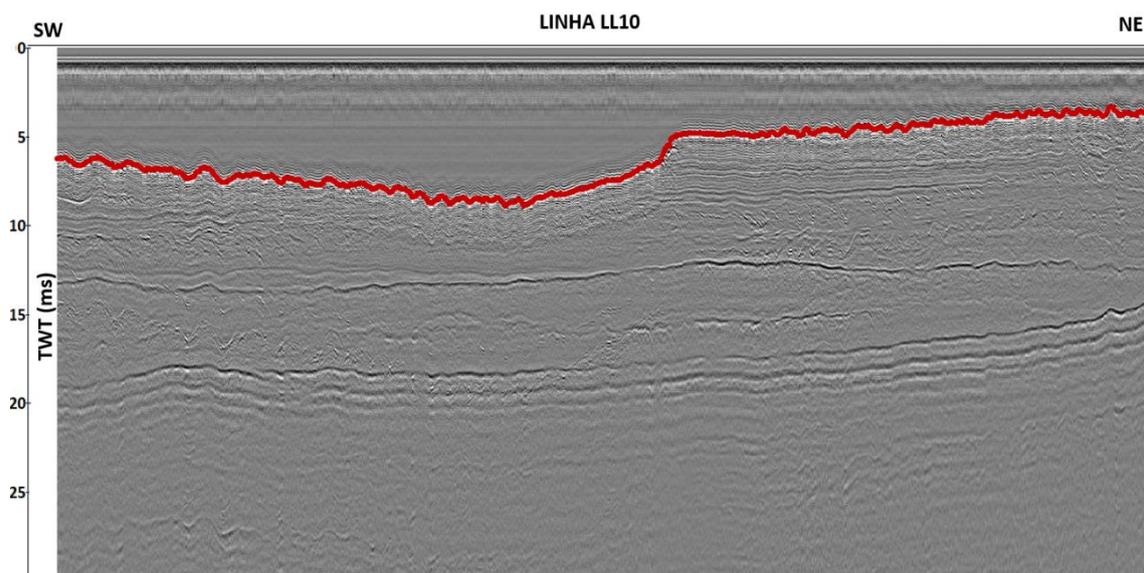


Figura 24. Perfil sísmico LL10 com o pick do fundo feito (imagem em cima) e perfil com a remoção da coluna de água com base no pick feito (imagem em baixo).

#### IV.2.4. Atenuação dos múltiplos

Os múltiplos são reflexões que ocorrem mais de que uma vez em zonas com consideráveis mudanças de impedância acústica e retornam à superfície, nomeadamente na interface entre camadas e na interface ar/água. As reflexões múltiplas tendem a ter amplitudes mais baixas em relação às reflexões primárias por causa da perda de energia de cada reflexão (Hatton et al., 1986).

No processo de atenuação dos múltiplos foi usada a rotina *Zero-Offset DeMultiple*. Esta rotina baseia-se na subtração adaptativa dos múltiplos adquiridos a partir das reflexões primárias. Na atenuação do múltiplo foi usado um comprimento de filtro de 5 amostras, um *white noise level* de 0.1% e uma janela de filtragem de 20 traços sísmicos (Fig. 25).

Caso os múltiplos não estejam exatamente ao dobro do tempo de ida e volta das reflexões primárias do fundo do mar é necessário ajustar o pick do fundo marinho. Assim, no módulo *Trace Header Math* considerou-se uma profundidade do *streamer* de 1.4m, o que dá um tempo duplo à superfície de 1.9ms

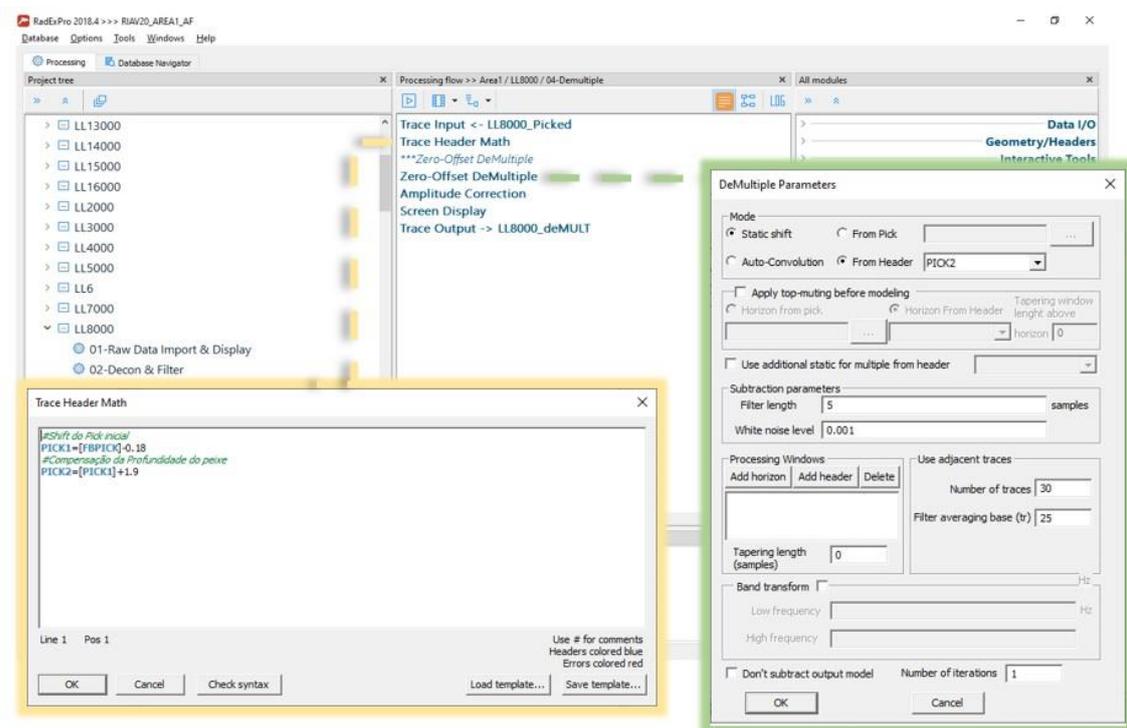


Figura 25. Parametrização do módulo *Zero-Offset DeMultiple* no software.

Após a aplicação do módulo *zero-Offset DeMultiple* (Fig. 25) nota-se que parte significativa da energia múltipla foi atenuada, tornando a secção mais coerente na área assinalada, com setas laranjas, na figura 26.

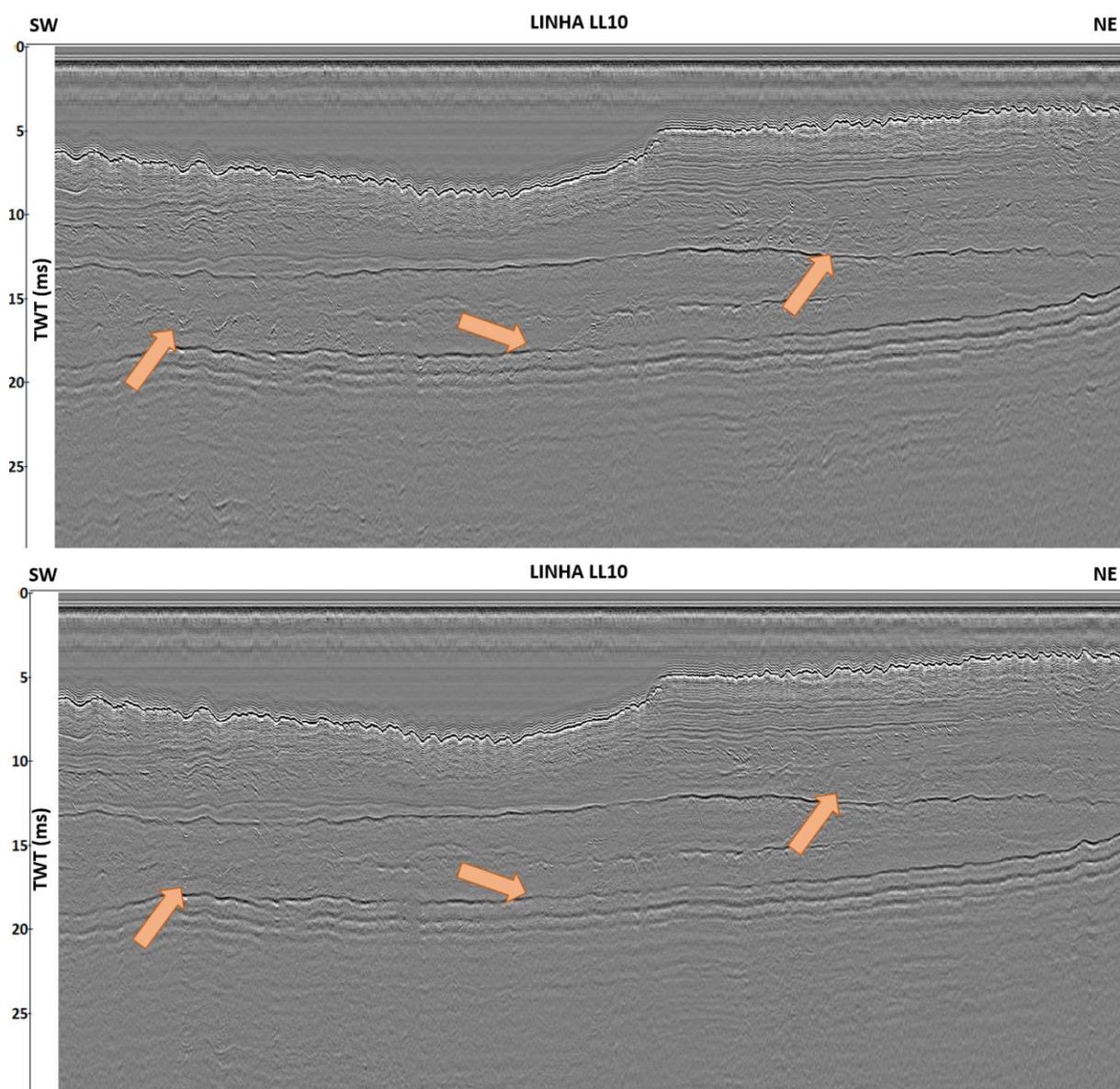


Figura 26. Perfil sísmico LL10 antes da atenuação de múltiplos (imagem em cima) e após atenuação dos múltiplos (imagem em baixo). Nota-se que teve uma atenuação maior no segundo múltiplo.

#### IV.2.5. Correção de amplitudes

Durante a propagação da energia associada à perturbação sísmica o sinal perde amplitude em função da distância à fonte devido a dois importantes fatores: divergência esférica e absorção. Deste modo, é necessário realizar a correção de amplitudes de forma a compensar estas perdas de energia das ondas durante a propagação da onda.

A divergência esférica é a dispersão da energia da onda sísmica ao longo da superfície da frente de onda, durante a sua propagação. Para ondas esféricas a superfície aumenta com o raio, diminuindo a densidade da energia por unidade de área (Fig. 27). A absorção consiste no facto da energia elástica associada ao movimento ser absorvida gradualmente pelo meio e é convertida em calor e microfraturação.

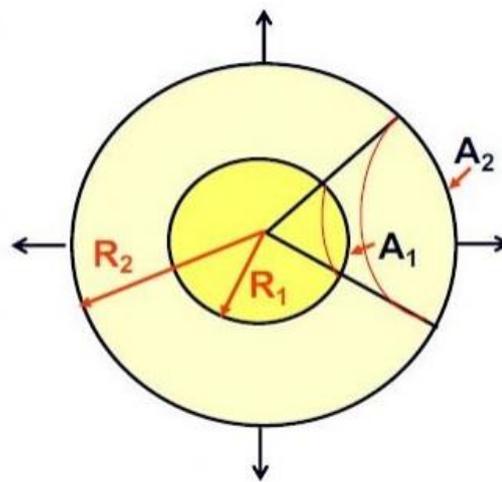


Figura 27. Efeito da divergência esférica.

Contudo, nestes dados estamos perante uma sísmica de baixa profundidade, e estes efeitos não são muito evidentes. Como tal aplica-se apenas uma pequena função de ganho para reforçar os refletores mais profundos.

Assim, no software *RadexPro*, foi adicionada a rotina *Amplitude Correction*. Nos parâmetros desta rotina seleccionou-se a opção *Time variant scaling* onde se indica os valores que compõem a função de ganho. É de salientar que este ganho deve ser aplicado de acordo com a profundidade do fundo e da geologia da subsuperfície, podendo variar entre os perfis. Neste trabalho foi usada uma função linear para aplicar ganhos (de 1 a 3) até aos 30 ms (Fig. 28).

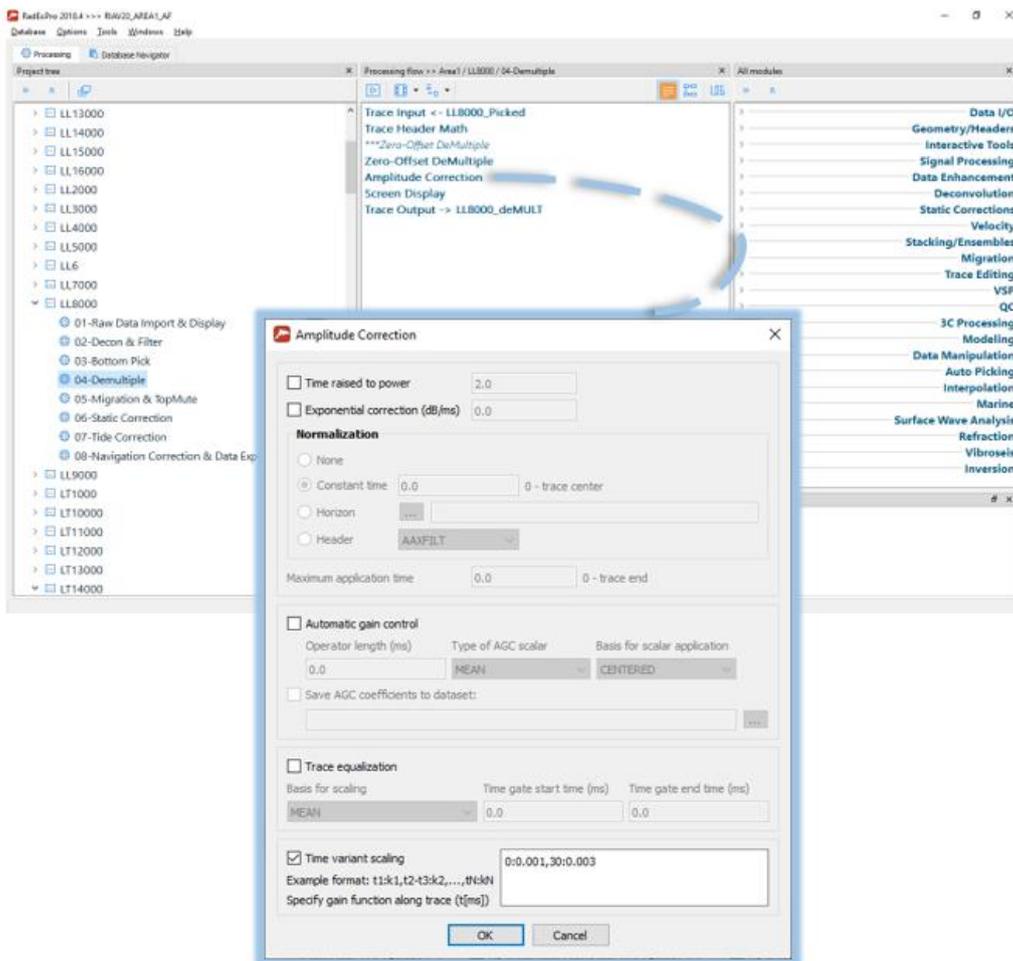


Figura 28. Parametrização da correção de amplitudes na rotina Amplitude Correction.

Depois da aplicação da função de ganho, para corrigir as amplitudes no perfil sísmico, verifica-se que as amplitudes das reflexões se tornam mais evidentes, principalmente as reflexões que se encontram a maiores profundidades, como podemos ver na figura 29.

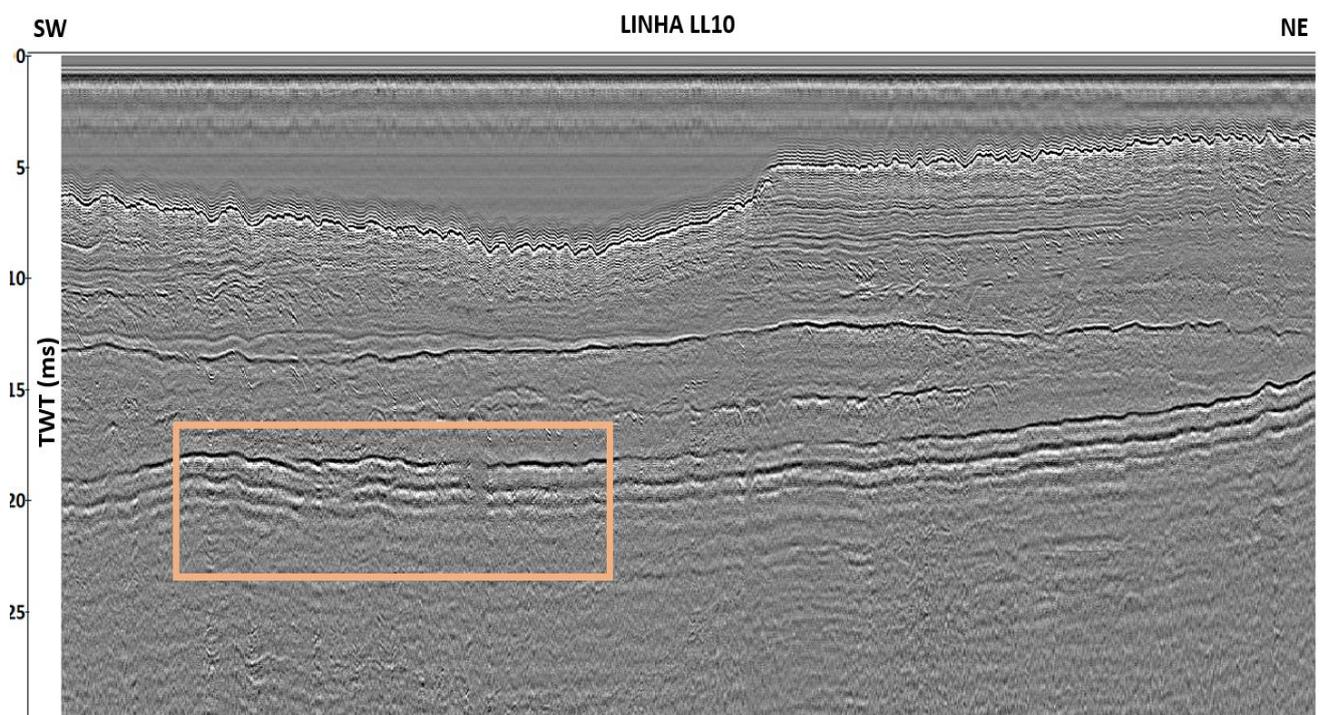
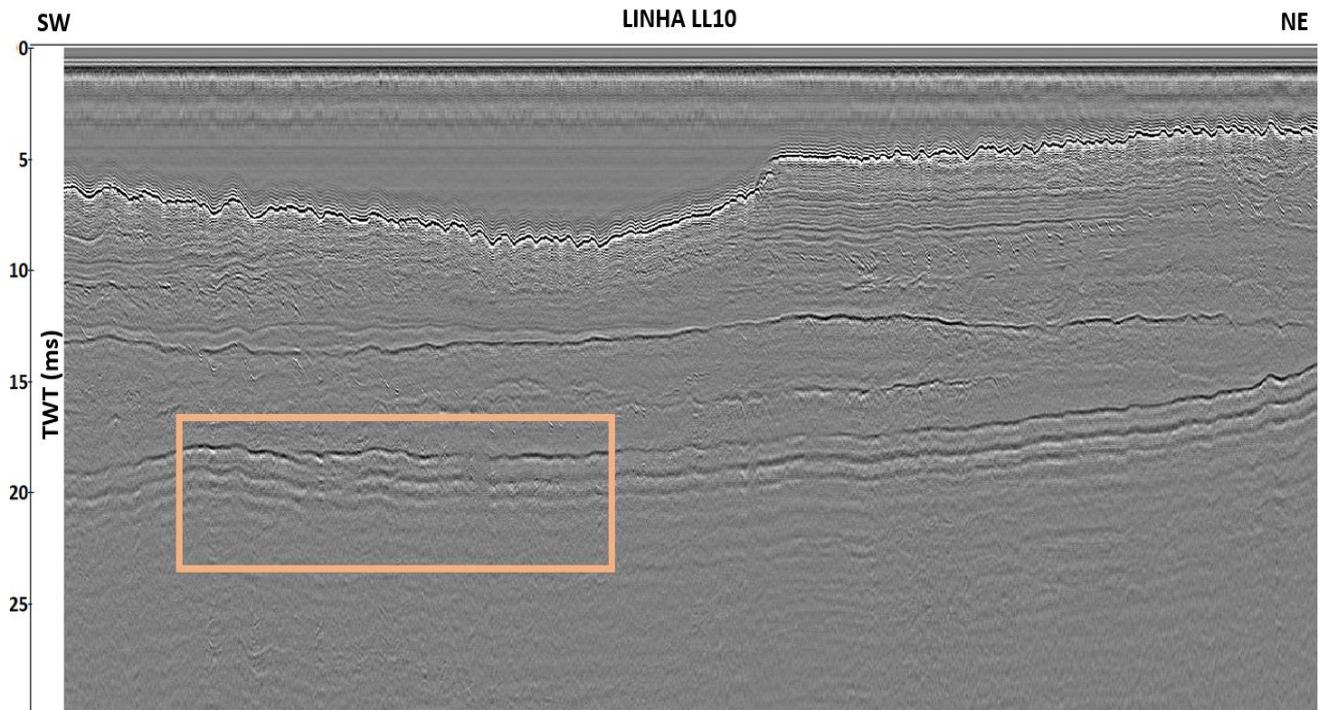


Figura 29. Perfil sísmico LL10 sem a função do ganho linear (imagem em cima) e com a função aplicada (imagem em baixo).

#### IV.2.6. Migração

A migração consiste num conjunto de técnicas que transformam os dados de reflexão sísmica obtidos numa imagem idêntica a uma seção geológica em profundidade (Yilmaz, 2000).

A migração move os refletores com mergulho para as suas posições verdadeiras na subsuperfície e colapsa as difrações aumentando a resolução espacial produzindo uma imagem sísmica em profundidade.

Neste trabalho aplicou-se a rotina *Stolt F-K Migration*, método simples no domínio f-k (frequência-número de onda), utilizado em dados sísmicos a pequena profundidade e onde não há variações significativas de velocidades laterais de propagação das ondas (Stolt, 1978).

Nesta migração considera-se o *offset* como sendo zero, e assume-se um espaçamento constante entre os traços sísmicos de 0.3m, com base na velocidade de aquisição. Foi utilizada uma velocidade de migração de 1500 m/s e a frequência máxima a migrar foi de 6500Hz com uma inclinação máxima de 45°.

Após a migração ser realizada, as diferenças são evidentes (Fig. 30). Contudo, é preciso ter atenção que a linha não se comporta toda da mesma maneira, pelo que nalguns sítios a migração pode estar melhor que noutros, e quando tentamos melhorar num lado, pioramos noutro. É preciso encontrar um equilíbrio, ou então, tentar melhorar ao máximo as zonas de geologia complexa.

No RadExPro o *mute* da coluna de água realiza-se adicionando a rotina *Trace Editing*, é necessário inserir um conjunto de *picks* referentes ao fundo marinho e de seguida define-se que se quer remover todos os valores dos traços sísmicos que se encontrassem acima desses pontos.

Após a migração, observa-se uma melhoria na representação das camadas, com um colapso de algumas difrações e colocação dos refletores da posição correta. Na zona na falha (Fig. 30) é nítido a melhoria que teve no perfil a aplicação da migração.

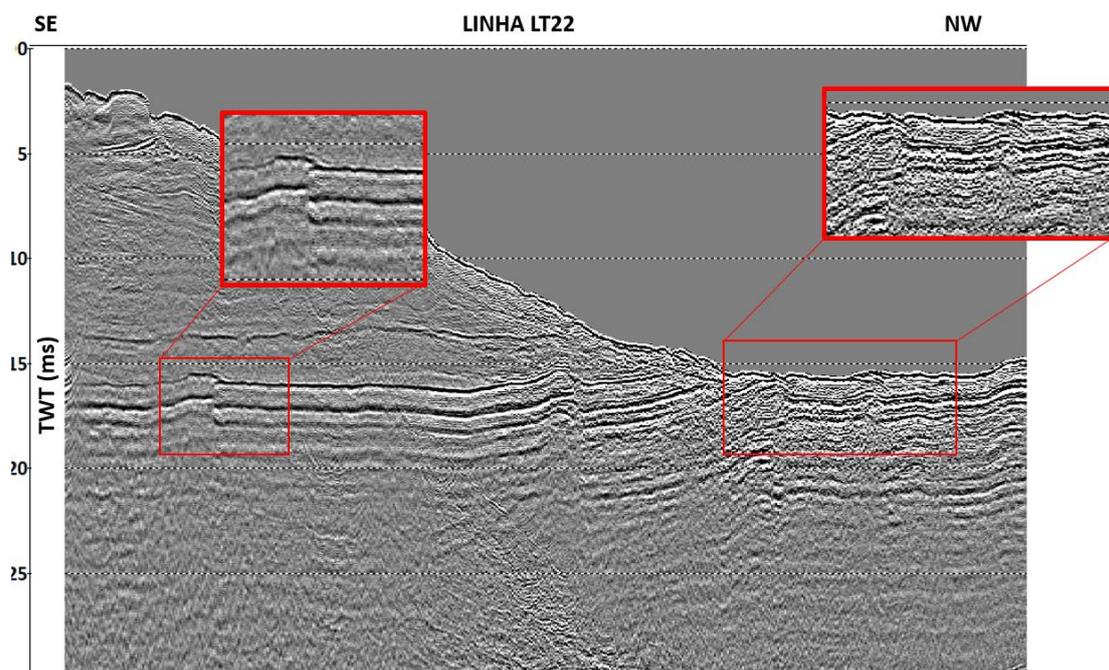
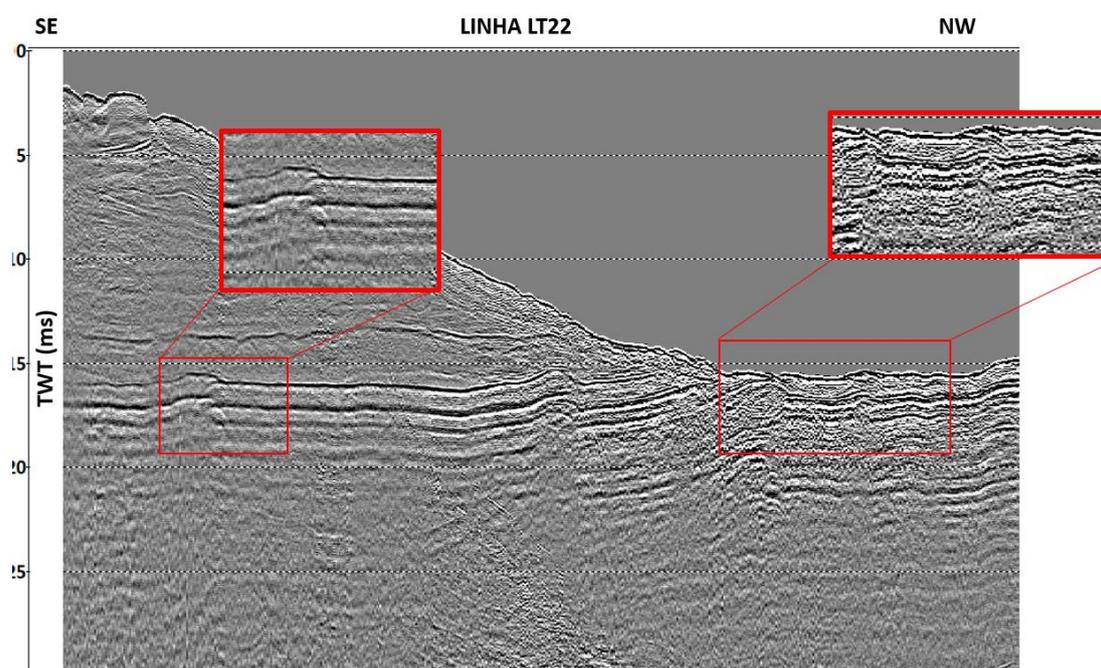


Figura 30. Secção sísmica LT22 antes da migração (em cima) e secção após a migração (imagem em baixo).

#### IV.2.7. Correções estáticas

As correções estáticas são aplicadas aos dados sísmicos para reposicionar os refletores para um nível de referência comum (*datum*). São também aplicadas para corrigir os desvios de tempos de chegada gerados pelas variações nas profundidades da fonte/recetor, e para corrigir o efeito das marés. Nesta etapa de processamento, foram feitas correções relativas às profundidades de reboque do equipamento, com o objetivo de produzir um novo perfil sísmico que retrate condições de aquisição ao nível da superfície da água.

O Chirp Sonar possui um sensor que mede a profundidade a que este se encontra ao longo da aquisição. Estes dados estão guardados num ficheiro \*.xtf e precisam de ser extraídos e convertidos em ficheiros com formato \*.txt. Para tal usou-se o programa Read\_XTF-Headers.exe (Correia, com.pessoal). Deste ficheiro convertido, o par de valores que nos interessam são: o ping number (FFID) e a profundidade do sensor.

De seguida, criou-se um Excel com os pares de valores que nos interessam do ficheiro \*.txt e com a coluna do *header* FFID do *RadExPro*. Como no *RadExPro* os headers estão em TWT é necessário converter as profundidades do equipamento para milissegundos, para isso basta aplicar a seguinte fórmula:

$$\frac{Depth * 2}{1500} * (1000)$$

Equação 8

As profundidades obtidas em TWT foi incorporada no campo *Depth* do software *RadexPro*. Para se aplicarem as profundidades ao perfil, configura-se a rotina *Apply Statics* e seleciona-se *Depth* no *Header Word*.

Após a parametrização desta etapa é possível concluir que houve uma descida do fundo marinho e, conseqüentemente, um aumento do tempo ida e volta global, como se pode ver na figura 31.

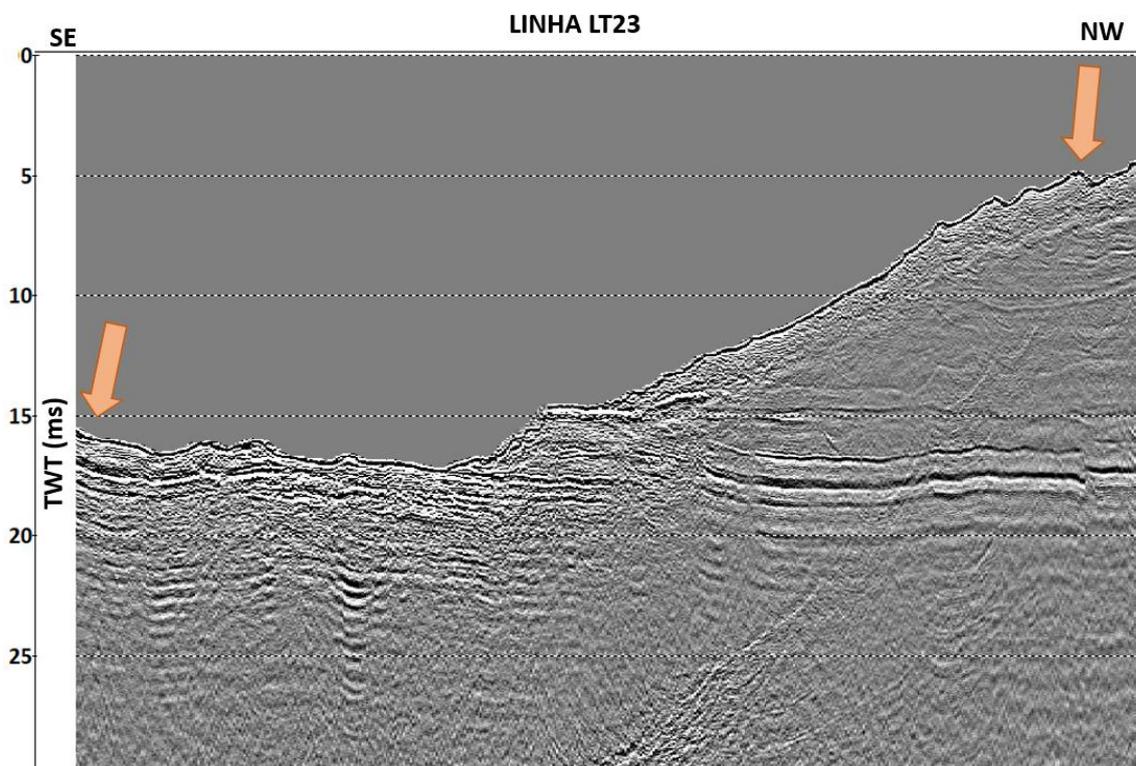
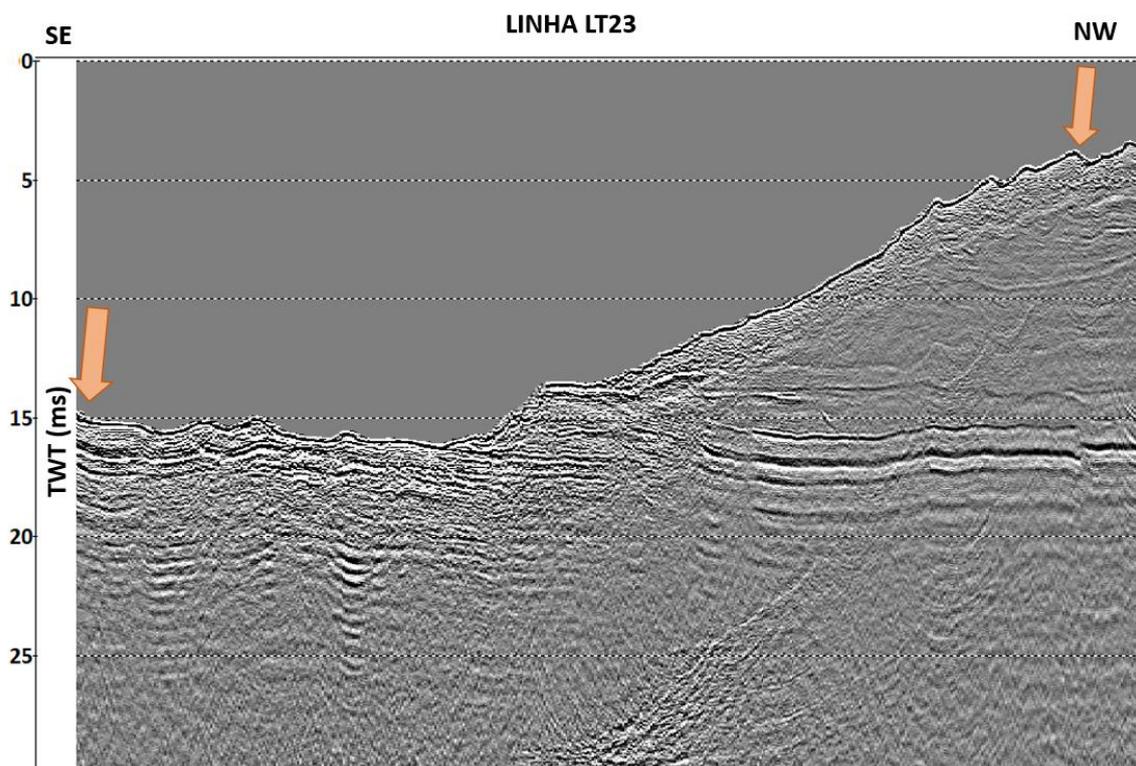


Figura 31. Secção sísmica LT23 antes da correção estática (imagem em cima) e secção sísmica após a correção da maré (perfil inferior).

### V.2.8. Correções da maré

Além da correção estática também foi preciso proceder à correção da maré para colocar a superfície da coluna de água no Zero Hidrográfico. Através desta correção podemos fazer correlações entre refletores de diferentes perfis sísmicos durante a interpretação. Para isso foi necessário recorrer às tabelas de maré do Instituto Hidrográfico para os dias em questão. No entanto os valores apresentados pelo Instituto Hidrográfico correspondem apenas à hora de preia e baixa-mar, o que é necessário realizar uma interpolação dos valores.

A campanha foi realizada entre 14 a 20 de dezembro de 2020, e estas linhas foram adquiridas no dia 18 de dezembro, sendo que estes são os dados de maré que dispomos (Fig. 32). Realizou-se uma compensação aos tempos e à altura dos valores de preia e baixa-mar. Foi somado ao atraso uma hora devido aos dados disponibilizados pelo Instituto Hidrográfico corresponderem ao Marégrafo da Barra e, a área de estudo, estar próxima do Marégrafo do Parranchil, o que significa que a maré chega aproximadamente 1 hora mais tarde.

|   |    |    |     |   |    |    |      |
|---|----|----|-----|---|----|----|------|
| <b>14</b><br>SEG<br> | 02 | 26 | 3.4 | <b>18</b><br>SEX  | 05 | 32 | 3.3  |
|   | 08 | 17 | 0.6 |   | 11 | 27 | 0.8  |
|   | 14 | 51 | 3.4 |   | 18 | 00 | 3.0  |
|   | 20 | 37 | 0.6 |   | 23 | 38 | 1.0  |
| <b>15</b><br>TER  | 03 | 13 | 3.5 | <b>19</b><br>SÁB  | 06 | 19 | 3.2  |
|   | 09 | 05 | 0.5 |   | 12 | 17 | 0.9  |
|   | 15 | 39 | 3.3 |   | 18 | 49 | 32.8 |
|   | 21 | 22 | 0.6 |   |    |    |      |
| <b>16</b><br>QUA  | 04 | 00 | 3.5 | <b>20</b><br>DOM  | 00 | 27 | 1.2  |
|   | 09 | 52 | 0.5 |   | 07 | 09 | 3.0  |
|   | 16 | 27 | 3.3 |   | 13 | 10 | 1.1  |
|   | 22 | 07 | 0.7 |   | 19 | 42 | 2.6  |
| <b>17</b><br>QUI  | 04 | 46 | 3.4 | <b>21</b><br>SEG<br> | 01 | 22 | 1.3  |
|   | 10 | 39 | 0.6 |   | 08 | 02 | 2.8  |
|   | 17 | 13 | 3.1 |   | 14 | 07 | 1.2  |
|   | 22 | 52 | 0.8 |   | 20 | 43 | 2.5  |

Figura 32. Valores disponibilizados pelo Instituto Hidrográfico sobre os dados da maré e, conseqüentemente, as fases da lua.

A interpolação foi feita no software *Matlab*. Para tal criou-se um ficheiro \*.txt com as preias e baixas-mar e, no software programou-se uma rotina capaz de interpolar os valores com o objetivo de obter uma sinusóide da maré (Fig. 33).

Foi também necessário transformar a altura da maré (em metros) para TWT (ms). Para tal recorreu-se à seguinte fórmula:

$$\frac{H * 2}{1500} * 1000$$

Equação 9

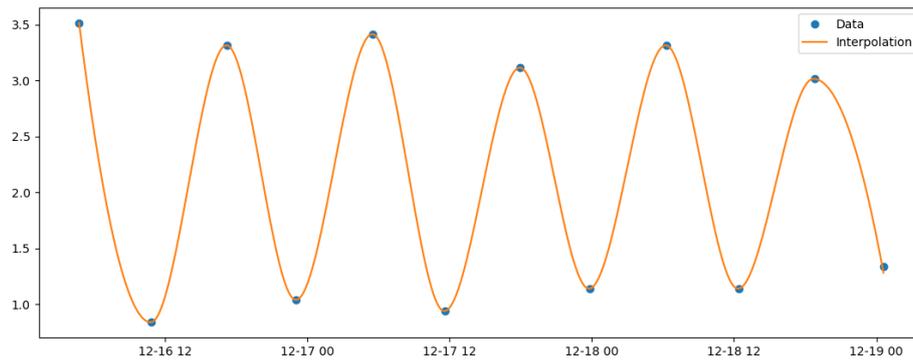


Figura 33. Sinusóide da maré obtida através da interpolação dos valores da maré do dia 18 de dezembro de 2020.

Após o Excel estar organizado é necessário importar a informação para o *RadExPro*. Para isso criou-se um ficheiro \*.txt com quatro colunas (Horas, Minutos, Segundos, TWT) (Fig. 34).

| File | Edit | Format | View  | Help |
|------|------|--------|-------|------|
| 0    | 8    | 0      | 1.881 |      |
| 0    | 18   | 0      | 1.902 |      |
| 0    | 28   | 0      | 1.933 |      |
| 0    | 38   | 0      | 1.971 |      |
| 0    | 48   | 0      | 2.018 |      |
| 0    | 58   | 0      | 2.071 |      |
| 1    | 8    | 0      | 2.132 |      |
| 1    | 18   | 0      | 2.198 |      |
| 1    | 28   | 0      | 2.271 |      |
| 1    | 38   | 0      | 2.348 |      |
| 1    | 48   | 0      | 2.430 |      |
| 1    | 58   | 0      | 2.516 |      |
| 2    | 8    | 0      | 2.606 |      |
| 2    | 18   | 0      | 2.698 |      |

Figura 34. Ficheiro \*.txt com quatro colunas (Horas, Minutos, Segundos, TWT) importado para o *RadExPro*.

No processamento começou-se por adicionar a rotina *Tide Import*, onde surge uma janela com três separadores: *Input Parameters*, *Tides* e *Headers*. Em seguida, configura-se a rotina *Apply Statics*, e seleciona-se no *Header Word* o *STAT1* com o objetivo de aplicar as correções ao perfil sísmico. Após as correções estáticas verifica-se neste caso um aumento da profundidade ao longo de toda a secção sísmica, ou seja, houve uma diminuição do tempo de ida e volta (Fig. 35).

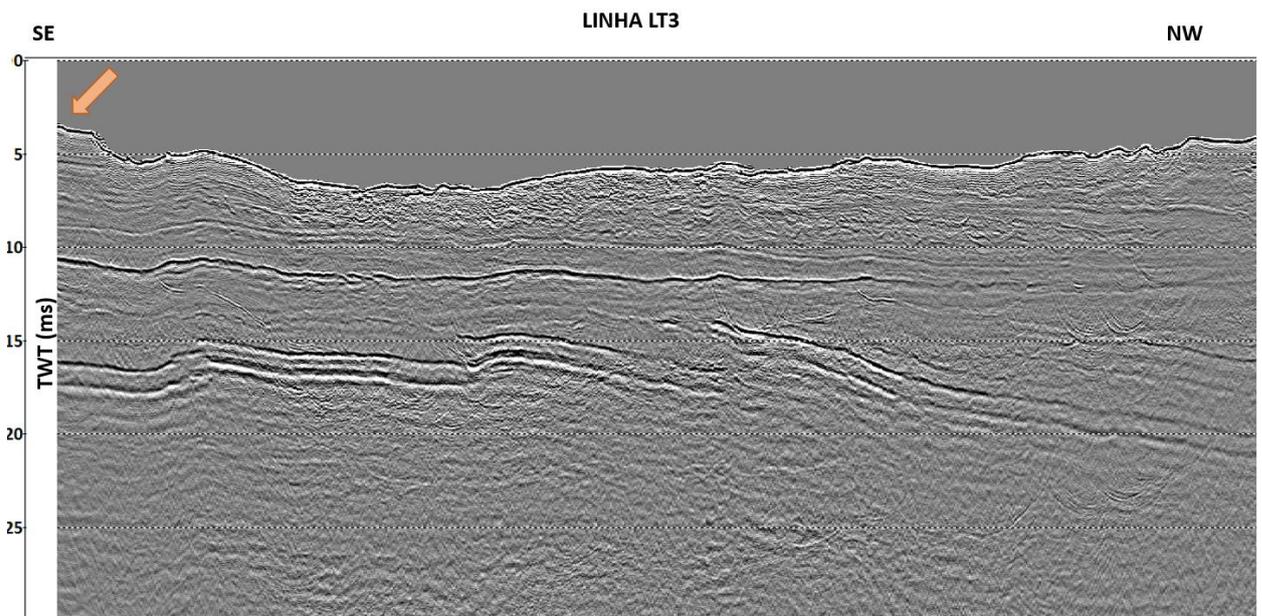
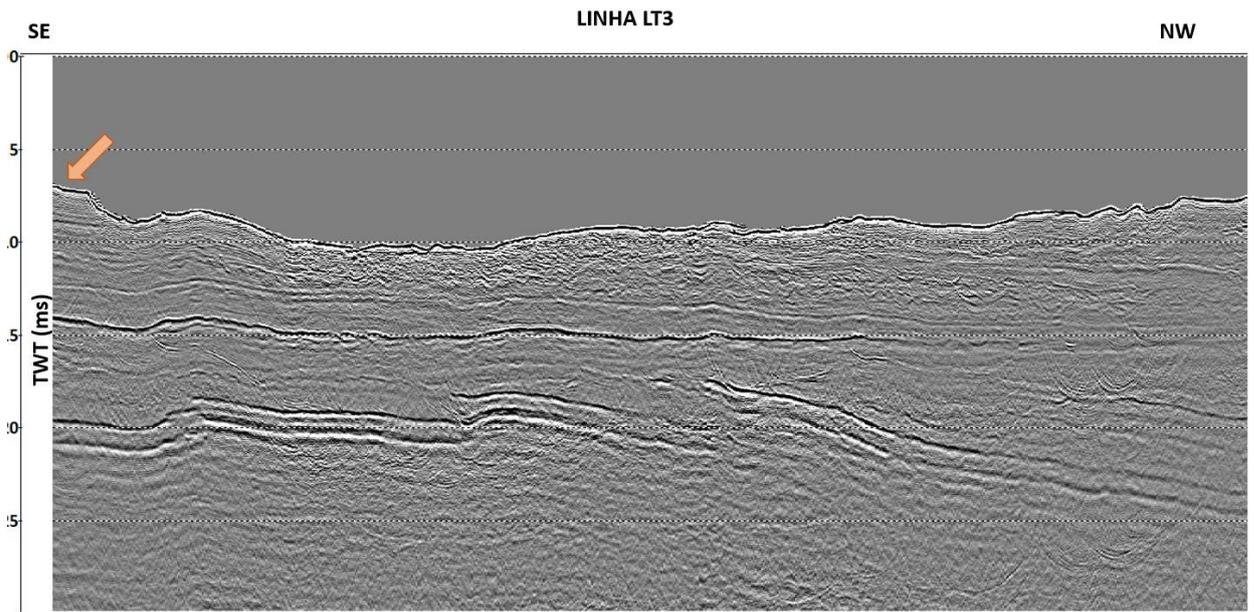


Figura 35. Secção sísmica LT3 antes da correção de maré (secção superior) e secção sísmica após a correção de maré (secção inferior).

### IV.2.9. Correções da Navegação

Durante a aquisição, o local onde o *Chirp Sonar* é rebocado, não coincide com o local onde estão as antenas do GPS, pelo que é necessário corrigir estes offsets. Assim, esta etapa consiste em corrigir as coordenadas de cada traço sísmico de modo a garantir um enquadramento geográfico rigoroso do perfil sísmico.

Neste último flow foi incluída a rotina *Marine Geometry Input*. No separador *Source/streamer geometry* foram indicadas as distâncias relativas à antena GPS. Estes valores são medidos a bordo e registados no livro de bordo. Os valores obtidos são visíveis na figura 36.

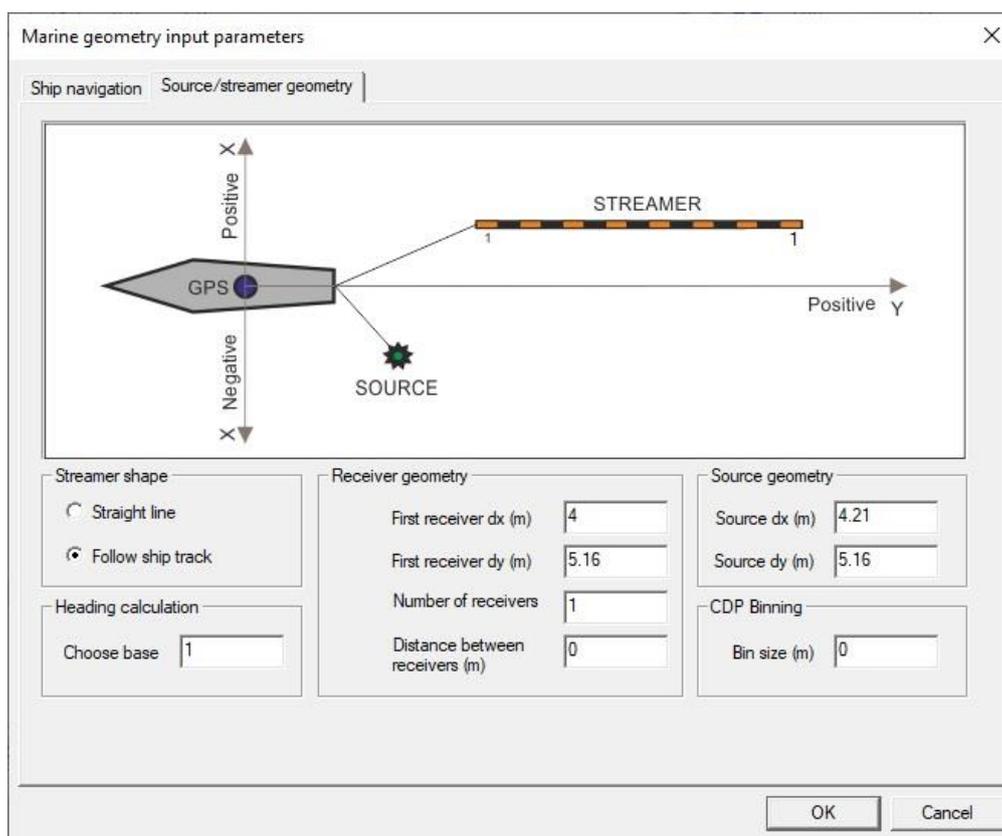
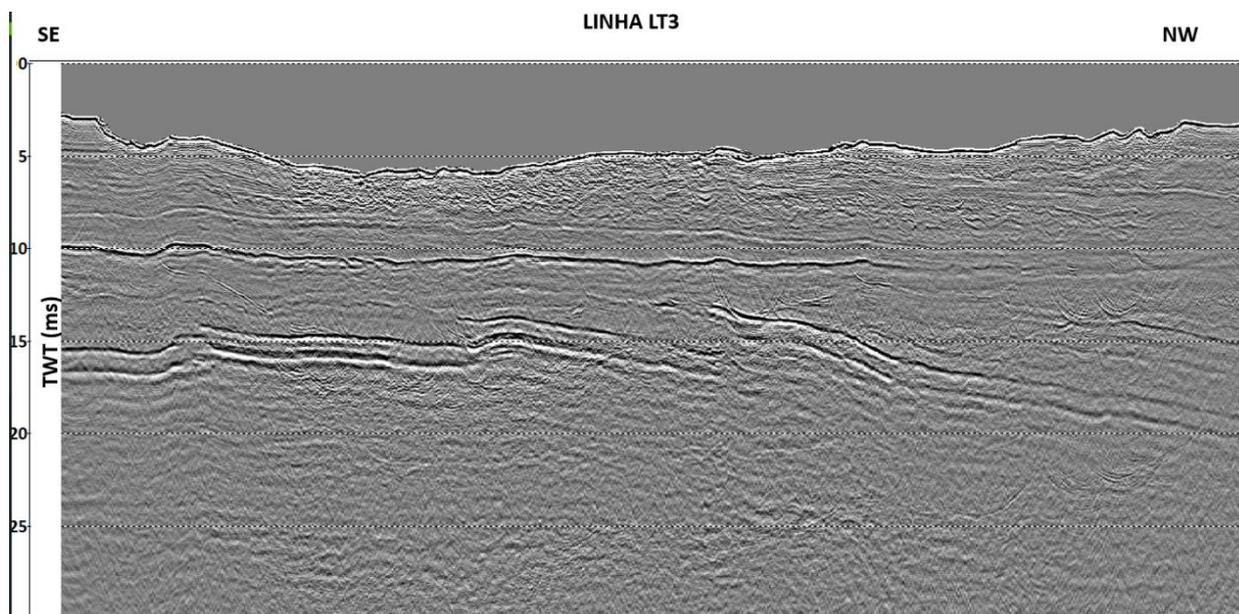
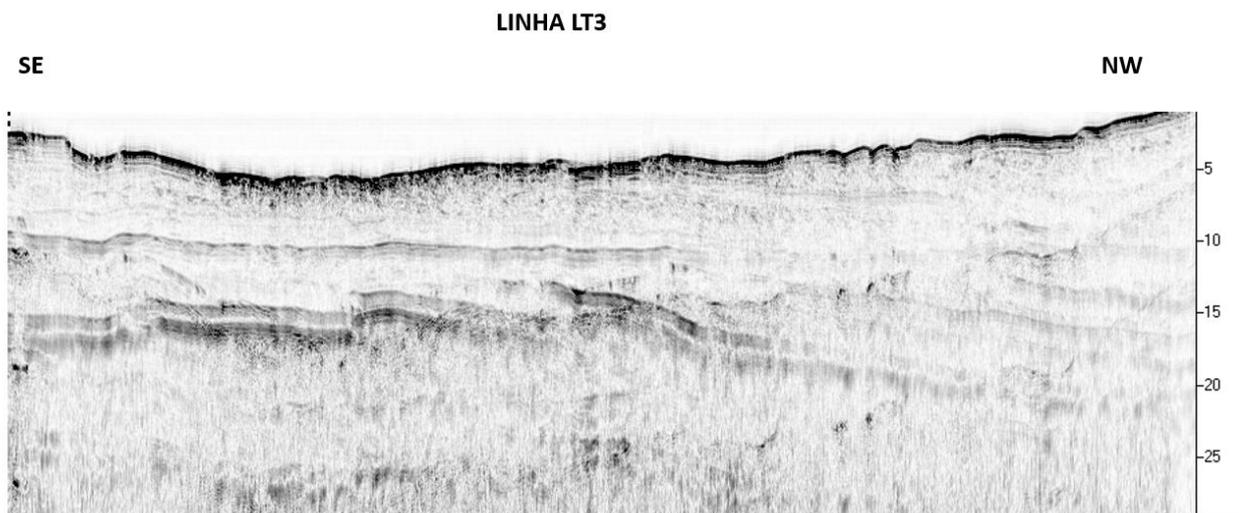


Figura 36. Parametrização da rotina *Marine Geometry Input* no software *RadexPro*.

### IV.2.10. Exportação

Por último é necessário exportar o ficheiro final em formato SEG-Y. Para tal recorreu-se à rotina *SEG-Y Output*. Nesta etapa é preciso ter atenção ao formato de exportação dos ficheiros de forma a que os valores e *headers* não sofram alterações.

Com a imagem final já processada e exportada fez-se uma comparação com os dados sísmicos originais. Ao analisar a figura 37 é possível concluir que o processamento melhorou bastante o perfil sísmico, dando uma imagem coerente e representativa da geologia do fundo marinho. Nota-se também que foi possível atenuar os múltiplos, os refletores foram colocados na sua posição correta e parte das difrações foram colapsadas.



*Figura 37. Na imagem superior está representado o perfil com os dados em bruto da linha LT3, e na imagem inferior o perfil final obtido após o processamento.*

## Capítulo V. Interpretação sismo-estratigráfica do Sector do Cabeço da Leitoa, Cale do Espinheiro, Ria de Aveiro.

Neste capítulo apresentam-se os resultados da interpretação dos dados sísmicos da área de estudo. Esta é realizada recorrendo ao software *Kingdom Suite*, assim como uma breve introdução aos fundamentos e métodos de interpretação sísmica.

### V.1. Estratigrafia Sísmica

O estudo da sismoestratigrafia sequencial pretende caracterizar sistemas deposicionais como um todo. O princípio fundamental é que as reflexões sísmicas são produzidas por contraste de velocidade em superfícies estratigráficas cronoestratigraficamente significativas e inconformidades, e, portanto, são consideradas linhas de tempo aproximadas no registo sedimentar. Identificar as terminações dessas reflexões é fundamental para a definição de tratos de sistemas e superfície-chave. O processo de interpretação consiste em reconhecer, correlacionar e determinar a idade das sequências sísmicas, cartografar e interpretar as fácies sísmicas (Mitchum *et al.*, 1977).

Assim, segundo Mitchum e Vail (1977), uma sequência deposicional é uma unidade estratigráfica composta por sucessões relativamente conformáveis de estratos geneticamente relacionados e limitada na base e no topo por inconformidades ou conformidades correlativas. Estas discordâncias são o principal critério usado na determinação dos limites das sequências deposicionais, pois, ao representarem episódios de erosão ou de não deposição, têm um significado cronoestratigráfico importante. Contudo, para estes mesmos autores, podem existir dois tipos de discontinuidades conformes: do tipo hiato, que corresponde ao intervalo total de tempo geológico que não é representado por estratos ao longo da superfície estratigráfica; e do tipo conformidades, que corresponde a superfícies que separam os estratos recentes dos estratos mais antigos, porém não existe certeza de que houve erosão ou não deposição.

Com base nos critérios e procedimentos descritos por Mitchum e Vail (1977) foi possível realizar a interpretação sismo-estratigráfica das linhas sísmicas adquiridas para o estudo.

A interpretação das linhas sísmicas inclui a análise da sequência sísmica e a análise das fácies sísmicas. A análise da sequência sísmica diz respeito à interpretação da geometria e terminações das reflexões que estão determinadas por superfícies de discontinuidades, e é possível identificar cinco tipos de terminações de reflexões, *onlap*, *downlap*, *toplap*, truncatura e concordância, sendo estas terminações o principal critério para reconhecer os limites superior e inferior de uma sequência sísmica (Mitchum *et al.*, 1977, Fig. 38); A análise da fácies sísmica, corresponde à caracterização do carácter e da

configuração das reflexões internas das sequências sísmicas e tem em conta diferentes parâmetros sísmicos que são inferidos através das variações de composição e geometria das sequências e, portanto, há um significado geológico (Roque, 2007). Os parâmetros sísmicos usados são: a configuração, a continuidade, amplitude e frequência das reflexões internas. As configurações das reflexões internas de uma sequência sísmica são variadas e relacionadas com o tipo de estratificação, os processos de deposição, erosão e paleotopografia (Mitchum et al., 1977b). Desta forma, as configurações internas podem ser classificadas como: configurações paralelas, sub-paralelas, onduladas, divergentes, cliniformas, *shingled*, *Hummocky*, caóticos e livres de reflexão (Mitchum et al., 1977b). (Fig. 39).

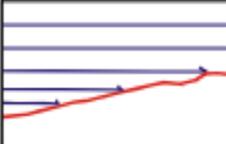
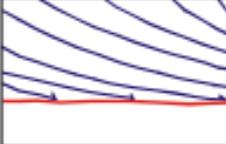
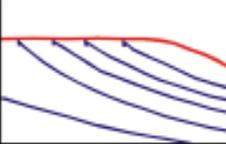
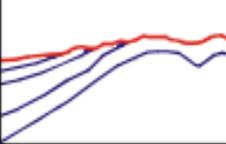
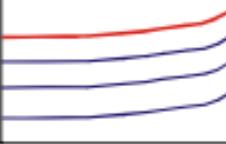
| Terminação das reflexões   | Definição   | Interpretação geológica   |
|--|---|---|
| <p data-bbox="341 819 421 853"><b>Onlap</b></p>            | Terminação lateral progressiva de reflexões inicialmente horizontais ou inclinadas contra uma superfície com inclinação superior.                                     | 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 data-bbox="309 1043 453 1077"><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 data-bbox="325 1267 437 1301"><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 data-bbox="293 1491 469 1525"><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   |
| <p data-bbox="277 1715 485 1749"><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 38. Tipos de terminação das reflexões e a respetiva interpretação geológica. (Mitchum et al., 1977).

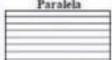
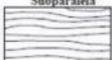
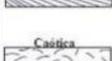
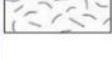
| Configurações das reflexões  | Descrição   | Ambiente sedimentar   | Configurações Progradantes   | Descrição   | Ambiente Sedimentar   |
|--|---|---|--|---|---|
| <br><b>Paralela</b>     | As reflexões dispõem-se paralelamente, apresentando boa amplitude e continuidade.   | A sua presença sugere sedimentação segundo taxas uniformes ou a ocorrência de subsidência gradual e regular. Ocorrem frequentemente nas plataformas continentais ou em bacias estáveis.   | <br><b>Sigmoidal</b>          | 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.   | Esta configuração testemunha um ambiente de deposição de baixa energia e escasso acarreo sedimentar, sujeito a subsidência rápida.  |
| <br><b>Paralela</b>     |   |   | <br><b>Obliqua paralela</b>   | O conjunto das reflexões é interpretado como exclusivamente progradante (sem agradado). Em ambos os casos, as reflexões terminam em <i>uplap</i> em relação ao limite superior da unidade. Considerando a terminação das reflexões na base da unidade distinguem-se dois tipos de configuração: | 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 baixa ou insignificante, e estabilidade do nível do mar. |
| <br><b>Subparalela</b>  |   |   | <br><b>Obliqua tangencial</b> | - Paralela: as reflexões apresentam inclinação constante com terminação em <i>downlap</i> .<br>- Tangencial: a inclinação das reflexões diminui progressivamente do topo para a base da sequência progradante terminando em concordância.   |   |
| <br><b>Divergente</b>   | As reflexões apresentam um padrão divergente ou convergente, verificando-se variações laterais de espessura das unidades, a qual aumenta ou diminui, respectivamente em direcção à bacia. | Ambos os tipos de configuração estão associados a variações laterais da taxa de sedimentação ou a progressiva inclinação da superfície de deposição.  | <br><b>Sigmoidal obliqua</b>  | Este tipo de configuração progradante resulta de combinações de progradações sigmoidais e obliquas, reflectindo a alternância de episódios agradacionais e de não deposição, respectivamente.   | O seu desenvolvimento está associado a um ambiente deposicional dominado por energia elevada.   |
| <br><b>Caótica</b>      | As reflexões são descontínuas e dispõem-se desordenadamente, sendo caracterizadas por frequências elevadas.   | Traduzem grande variabilidade das condições do ambiente de deposição. Esta configuração é geralmente reconhecida nas estruturas de deslizamento gravítico ( <i>slump</i> ), nos complexos de erosão e nas formas de preenchimento de alta energia, nas zonas afectadas por dobramentos ou falhas.         | <br><b>Shingled</b>           | As reflexões apresentam geometria obliqua, embora com pequena inclinação.   | Geram-se por progradação em águas pouco profundas.  |
| <br><b>Transparente</b> | Este tipo de configuração caracteriza-se pela ausência total ou parcial de reflexões ou pela mesurituca 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. | <br><b>Hummocky</b>           | As reflexões são descontínuas e irregulares, geralmente com inclinações opostas.  | 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 interdeltica.                                 |

Figura 39. Configurações internas das reflexões e ambientes de deposição relacionados. (Costa, 2018).

## V.2. Interpretação sísmica da área de Estudo

De modo a criar uma interpretação sísmo-estratigráfica para a área de estudo, os ficheiros SEG-Y processados foram importados para *software* de interpretação *Kingdom Suite*, da *IHS Markit*. Antes de se iniciar a interpretação, é necessário verificar e corrigir a navegação, de maneira a garantir que os perfis sísmicos se encontram na localização correta. Após a correção da navegação, é feita uma análise cruzada da reflexão do fundo do mar dos vários perfis, para identificar e corrigir os erros verticais locais existentes devido a problemas nas correções estáticas e/ou de maré ou de navegação. Todos os perfis apresentados neste trabalho (Fig. 40), estão representados em tempo (ida e volta; TWT-Two way Time).

## V.3. Interpretação dos Perfis Sísmicos

Foram interpretadas 39 secções sísmicas: 14 secções longitudinais com orientação NE-SW e 25 secções transversais com orientação NW-SE (ver Anexo). Desta interpretação foi possível identificar 16 unidades sísmo-estratigráficas principais que se distinguem, pelo carácter das suas reflexões internas e que se encontram separadas por discordâncias (Fig. 41 e Tabela 1).

Devido a não haver sondagens na área onde os perfis sísmicos foram adquiridos, a litologia da área é inferida através de dados de sondagens em áreas vizinhas e da Carta Geológica 1:50000 da Região de Aveiro (ver Capítulo II). As unidades mais superficiais são sedimentos recentes que se formaram no Quaternário. São constituídas por lodos, areias finas a médias e por aluviões do Holoceno (Marques da Silva, 1992).

As unidades mais profundas e compactas correspondem a sedimentos que se formaram no Cretácico e são caracterizadas pela formação das Argilas de Aveiro que se depositou no Campaniano-Maestrichtiano. Esta formação é constituída litologicamente por argilas cinzentas esverdeadas, por vezes arenosas, de tons castanhos avermelhados e margas acinzentadas com intercalações de calcários margosas em regra dolomíticos, que afloram na região de Aveiro. Fazem também parte do Cretácico, as formações de Grés constituídas por grés margosos, argilosos e micáceos e a formação carbonatada, constituída por calcários margosos, margas e grés fino margosos (Rocha, 1993).

A Figura 40 mostra a localização dos vários perfis adquiridos na área de estudo e a sua designação.

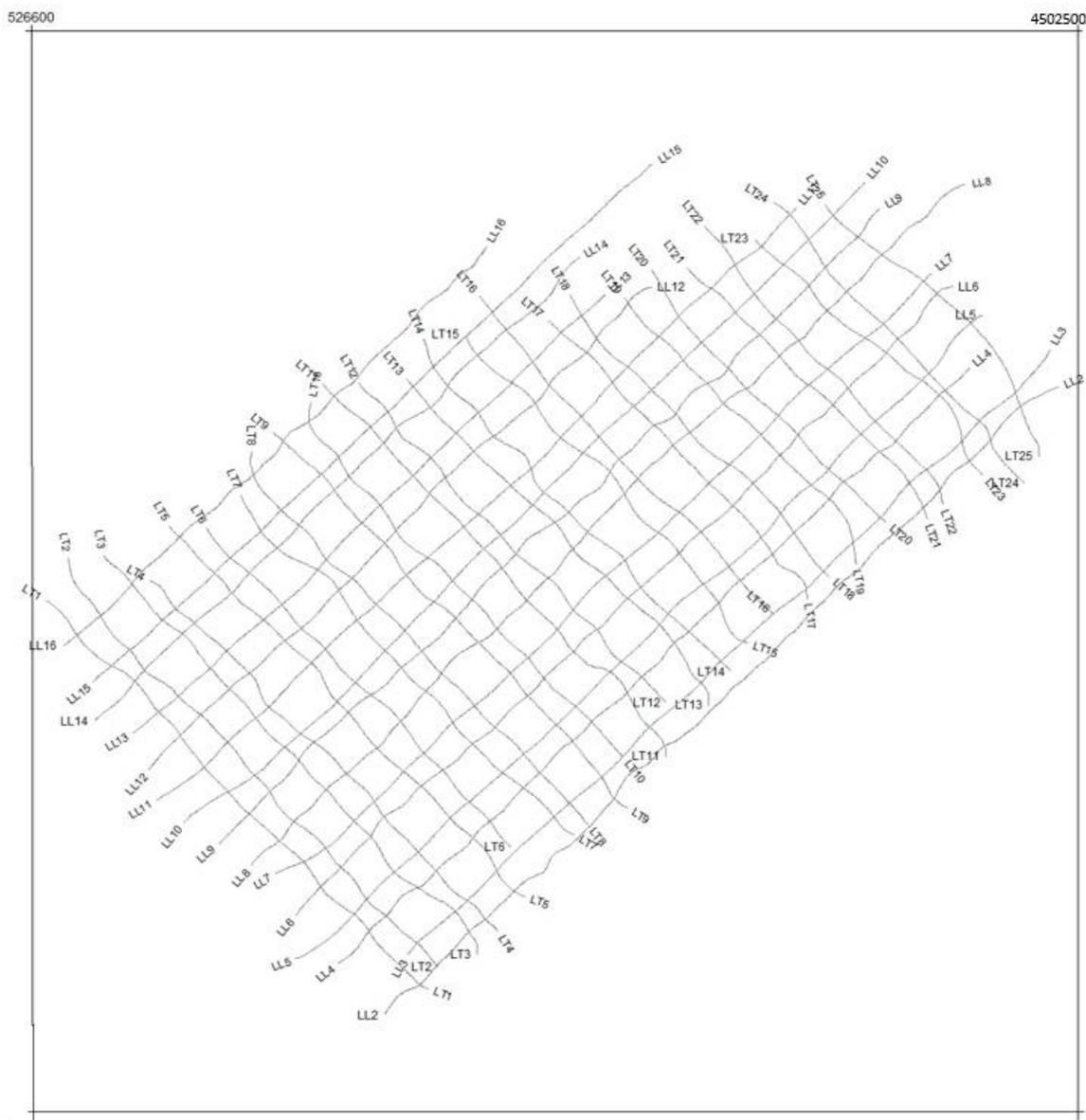


Figura 40. Mapa com as linhas sísmicas interpretadas no software Kingdom Suite.

Para a conversão em profundidade e cálculo de espessuras das várias unidades, usou-se uma velocidade das ondas P de 1600m/s para as unidades pós-Cretácico e uma velocidade de 2000m/s para as unidades cretácicas.

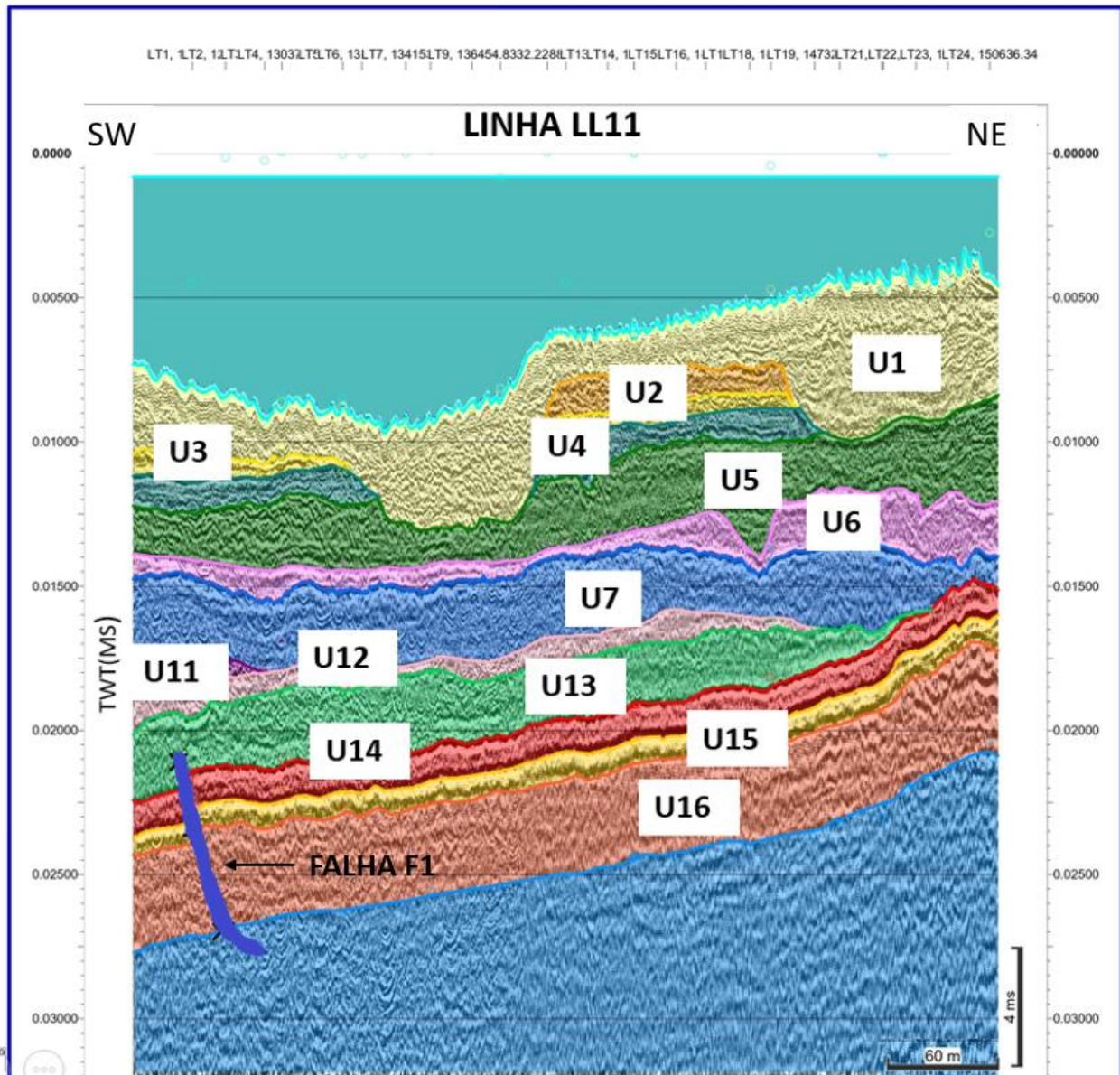


Figura 41. Secção sísmica (Linha LL11), ilustrando a interpretação das principais unidades sismo-estratigráficas, da área de estudo.

Tabela 1. Resumo da interpretação sismo-estratigráfica das unidades presentes na área de estudo.

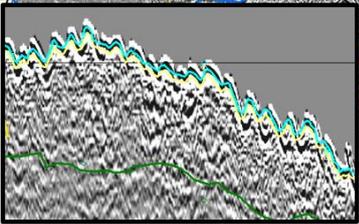
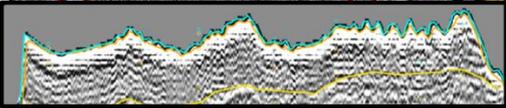
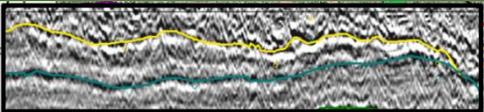
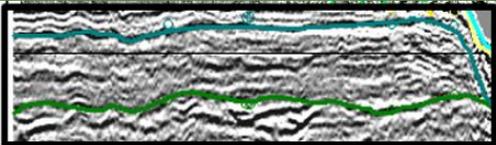
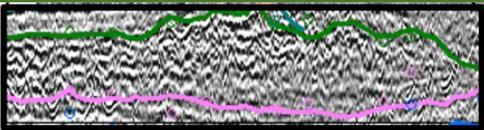
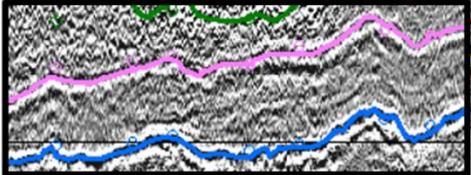
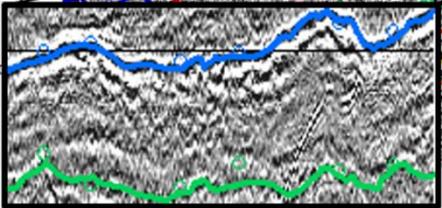
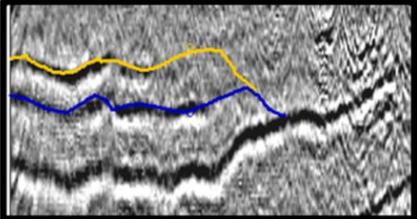
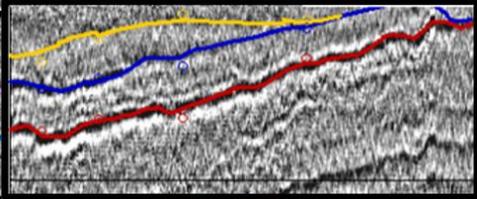
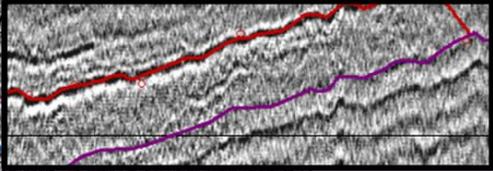
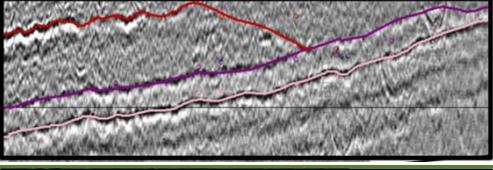
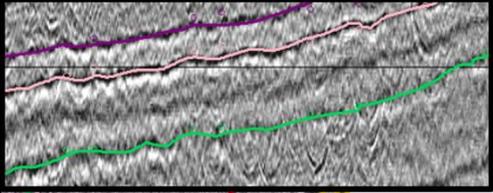
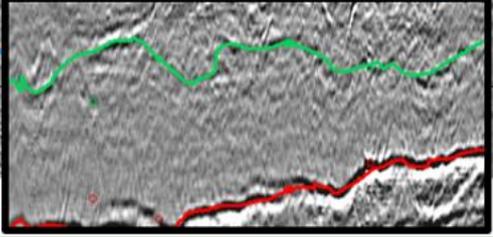
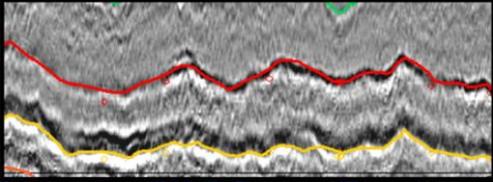
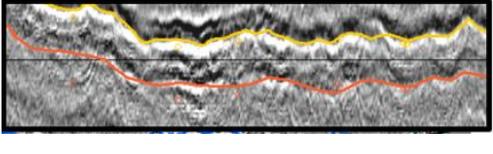
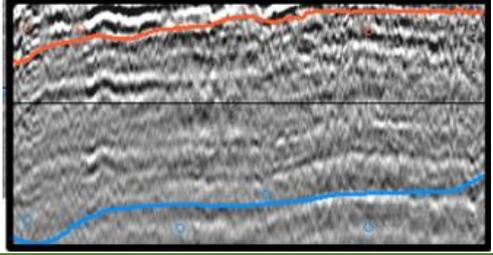
| UNIDADE | REPRESENTAÇÃO   | Descrição  |
|---------|---|--|
| U1      |    | Configuração caótica forte com amplitudes altas.   |
| U2      |   | Refletores fortes, bem definidos, com refletores semitransparentes e concordantes  |
| U3      |    | Configurações contínuas e paralelas com baixa amplitude e boa continuidade.  |
| U4      |    | Configurações paralelas ou sub-paralelas com boa amplitude, continuidade lateral razoável  |
| U5      |   | Configuração caótica forte e amplitudes altas.   |
| U6      |  | Configuração transparente com amplitude alta. A espessura varia, sendo mais espessa para SE.   |
| U7      |  | Apresenta reflexões internas com uma amplitude e frequência média e configurações sub-paralelas intercalada com configurações transparente |
| U8      |  | Configuração transparentes, com baixas frequências e amplitudes e com uma configuração progradante no sentido SW.                          |
| U9      |  | Configuração semi-transparente.  |

Tabela 1 (continuação).

|                   |   |  |
|-------------------|---|--|
| <p><b>U10</b></p> |    | <p>Configuração transparente com amplitude baixa.</p>  |
| <p><b>U11</b></p> |    | <p>Configuração transparentes com baixa amplitude e frequência.</p>  |
| <p><b>U12</b></p> |    | <p>Configuração paralela com continuidade, frequência e amplitude razoável</p>   |
| <p><b>U13</b></p> |   | <p>Refletores semi-transparente intercalada com refletores fortes sub-paralelos.</p>                                       |
| <p><b>U14</b></p> |  | <p>Refletores fortes e contínuos e bem definidos, intercalados refletores transparentes.</p>                               |
| <p><b>U15</b></p> |  | <p>Caraterizada por uma intercalação de refletores fortes contínuos e bem definidos, com refletores semi-transparentes</p> |
| <p><b>U16</b></p> |  | <p>Refletores com amplitudes e continuidade lateral médias, intercalo com configurações transparentes</p>                  |

## V.4. Definição da morfologia do fundo e caracterização das unidades sismo-estratigráficas

### V.4.1. Definição da morfologia do Fundo

A morfologia do fundo foi interpretada em todas as secções sísmicas com o *picking* manual, do *Kingdom Suite* (Fig. 42). O fundo revela frequentemente uma morfologia ondulada característica de mega-ripples, como ilustra a figura 40. A sua profundidade na área de estudo varia de 2.6 e 12.4m.

Após a identificação e caracterização do fundo marinho, efetuou-se uma interpolação do horizonte, uma ferramenta importante na interpretação das principais estruturas, de forma a permitir uma visualização integrada e de maior escala em 2D e 3D (Fig. 43).

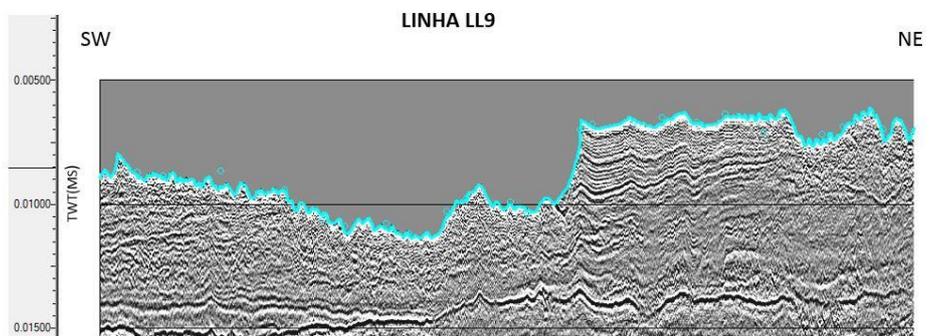


Figura 42. Representação do pick fundo marinho, na linha sísmica LL9, a azul claro.

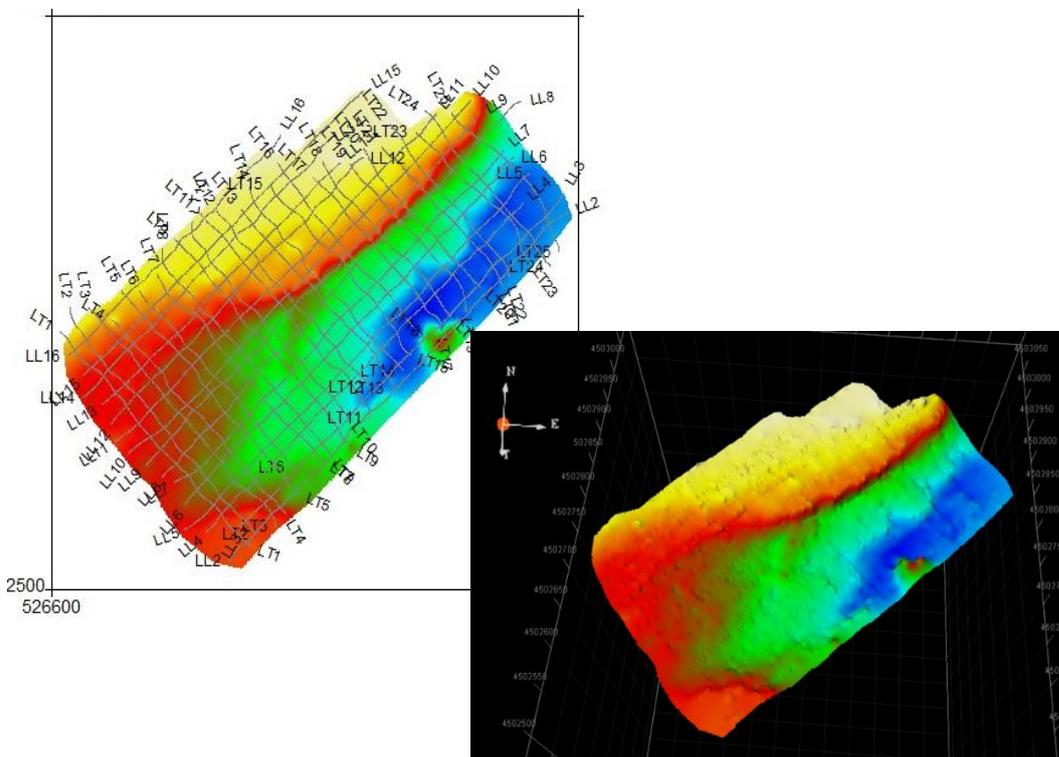


Figura 43. Fundo da Ria da área de estudo, representado num mapa 2D e em visualização 3D, observa-se um aprofundamento da batimetria para NE, assim como uma pequena elevação na zona central à direita, na figura.

No que diz respeito à definição das camadas sismo-estratigráficas principais, estas foram definidas utilizando a estratigrafia sísmica, e através da definição dos limites de unidade (sequência) e caracterização do caráter e configuração das reflexões dentro de cada unidade (Tabela 1).

De seguida descrevem-se de forma detalhada as diferentes camadas identificadas na área de estudo.

#### V.4.2. Unidade U1

A unidade sísmica U1, é a unidade mais recente identificada na área de estudo e consiste em sedimentos arenosos, sendo visíveis à superfície mega-ripples (Fig. 41). Esta unidade pode atingir cerca de 8m de espessura na área de estudo.

Na interpretação efetuada, esta unidade é delimitada no topo pelo refletor a azul forte e na base é delimitada pelos refletores: a laranja, a amarelo, a verde escuro, a azul esverdeado e a rosa claro, dependendo da zona na área. De uma forma geral, esta unidade é caracterizada com uma configuração caótica e amplitudes altas e pode ser interpretada como sedimentos de preenchimento do canal de maré. (Fig. 44). A presença de mega-ripples confirma a sua natureza arenosa.

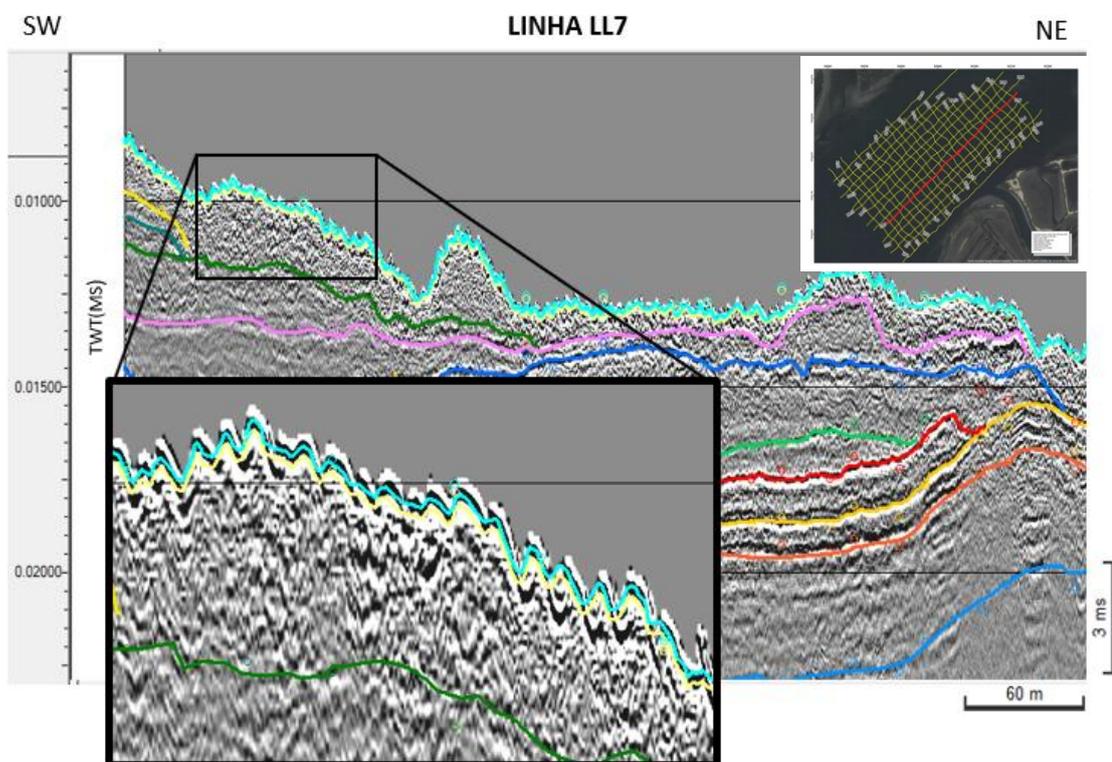


Figura 44. Linha sísmica LL7 com interpretação da unidade U1. Escala vertical em segundos TWT.

#### V.4.3. Unidade U2

A unidade sísmica U2, subjacente à unidade U1, aflora localmente em algumas zonas da área de estudo. A espessura máxima desta camada é cerca de 1m.

É caracterizada por uma intercalação de refletores fortes, bem definidos, com refletores semitransparentes e concordantes, o que significa que a unidade se depositou em condições relativamente calmas. (Fig. 45). A unidade sísmica U2 aparece localmente na zona de estudo (perfis longitudinais LL2, LL3, LL4, LL9, LL10, LL11, e nos perfis transversais LT1, LT2, LT3, LT19, LT20, LT21 e LT22, ver Anexo).

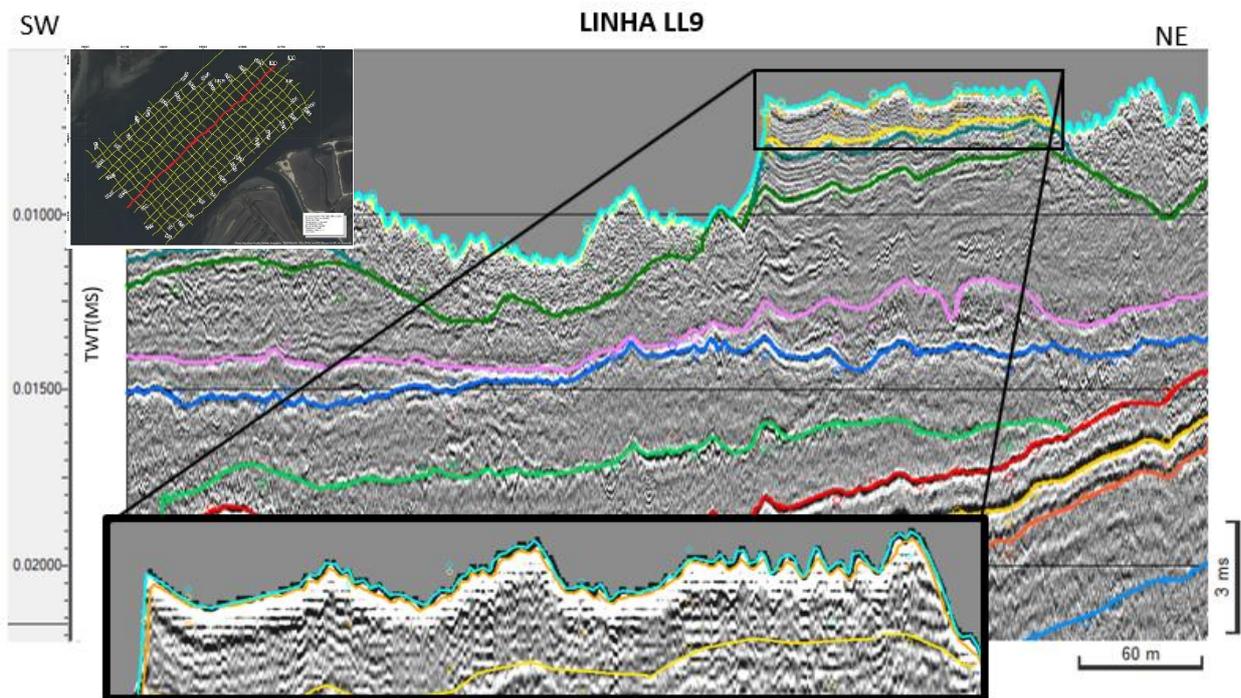


Figura 45. Linha sísmica LL9 com interpretação da unidade U2.

#### V.4.4. Unidade U3

A unidade sísmica U3 é delimitada no topo pelo horizonte a amarelo e na base pelo horizonte a azul esverdeado (Fig. 46). É caracterizada por refletores contínuos e paralelos com uma baixa amplitude e boa continuidade, como ilustra a figura 44, o que implica que as condições de deposição foram calmas. A espessura desta camada é razoavelmente constante de 0.8m.

#### V.4.5. Unidade U4

A unidade sísmica U4 é delimitada no topo pelo horizonte a azul esverdeado e na base pelo horizonte a verde escuro (Fig. 47). De uma forma geral, a unidade sísmica U4 é caracterizada por reflexões internas paralelas ou sub-paralelas com boa amplitude, continuidade lateral razoável e apresenta localmente uma configuração progradante oblíqua com as reflexões a terminarem em *downlap* com o horizonte verde escuro,

sugerindo que a sedimentação ocorreu uniformemente num ambiente de relativa alta energia. (Fig. 47).

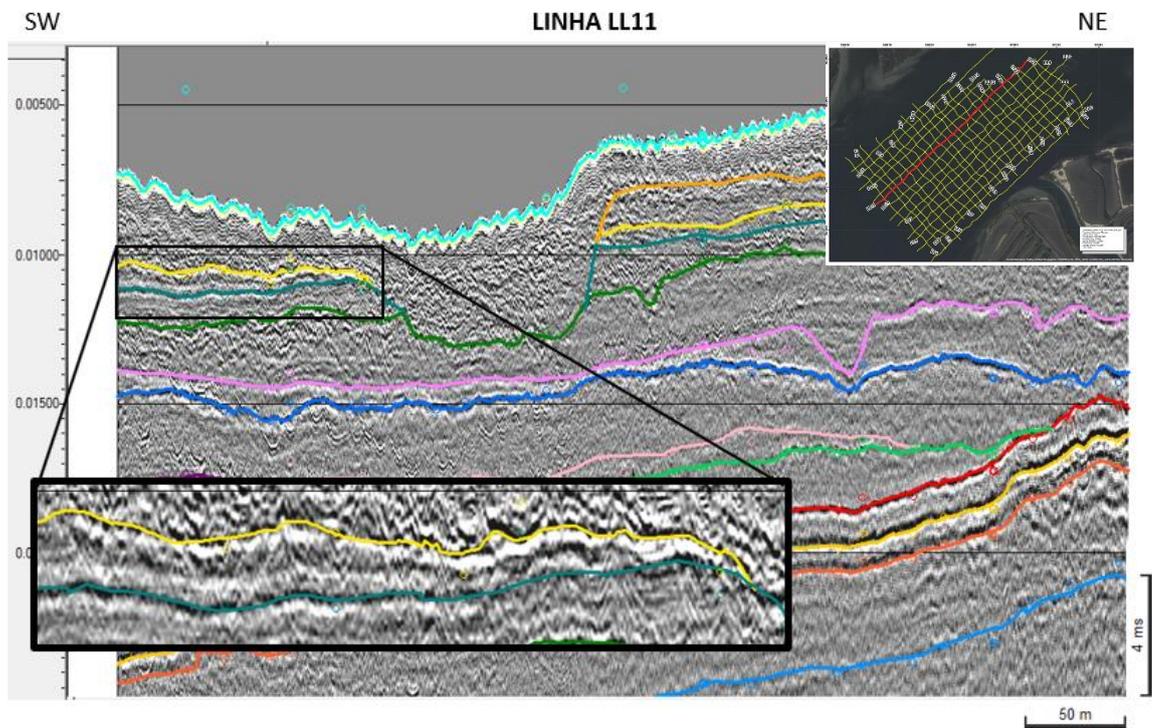


Figura 46. Linha sísmica LL1 com interpretação da unidade U3.

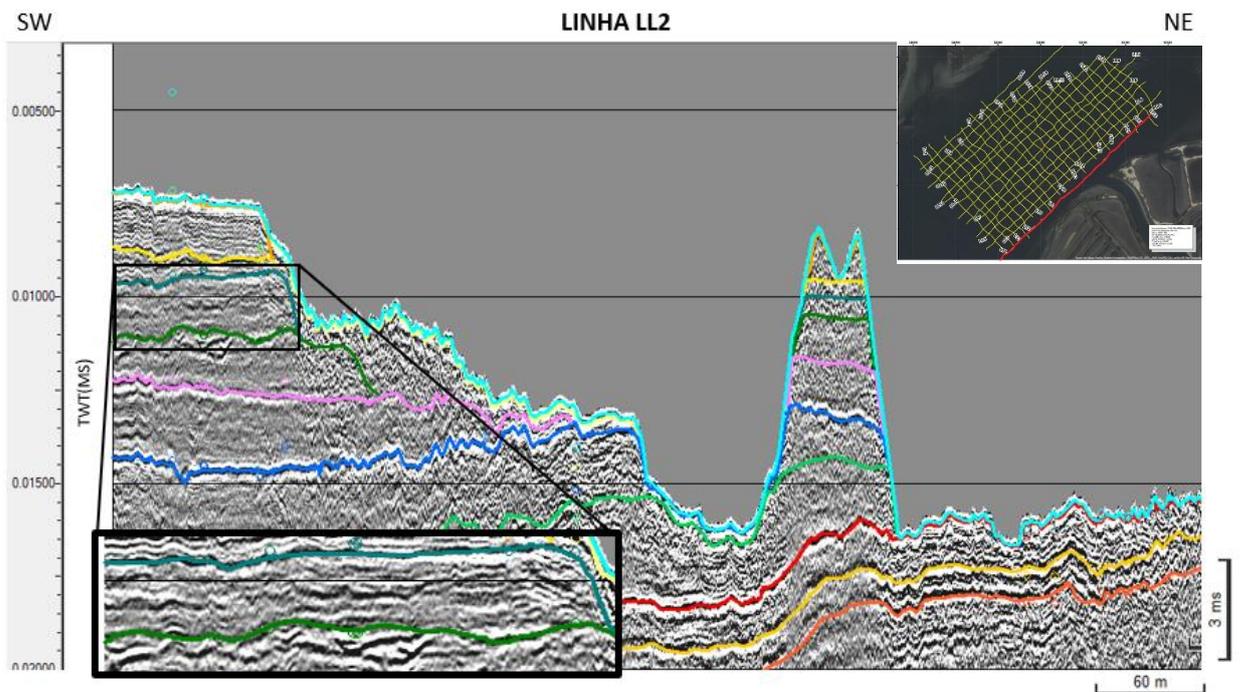


Figura 47. Linha sísmica LL2 com interpretação da unidade U4.

#### V.4.6 Unidade U5

A unidade sísmica U5 é delimitada no topo pelo horizonte a verde escuro e na base pelo horizonte a rosa (Fig. 48). A espessura desta camada é de 4m. Apresenta uma configuração caótica forte e amplitudes altas (Fig. 48).

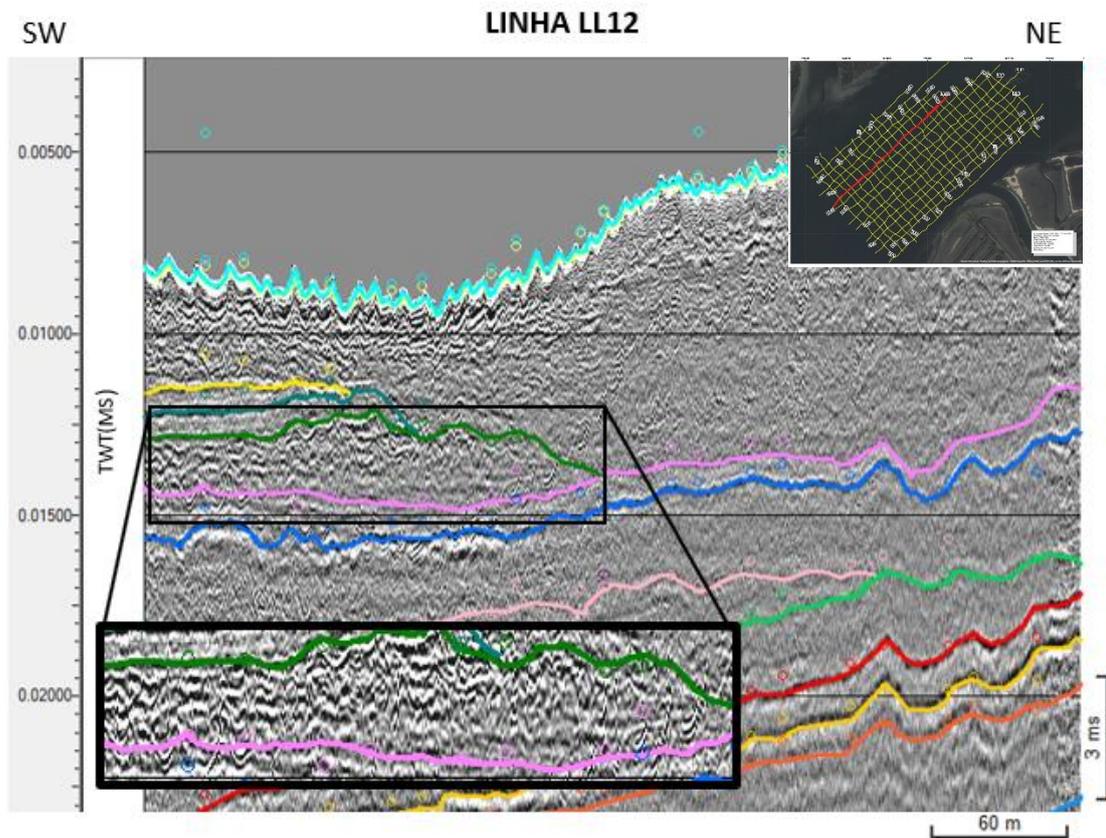


Figura 48. Linha sísmica LL12 com interpretação da unidade U5.

#### V.4.7 Unidade U6

Esta unidade é delimitada no topo pelo refletor a rosa, que apresenta uma baixa amplitude, e na base pelo horizonte a azul (Fig. 49). Apresenta um caráter transparente com amplitudes altas e alguma ondulação, o que se traduz na ausência parcial das reflexões. A espessura desta unidade varia na área de estudo entre 0.4 a 4m, sendo mais espessa para SE (Fig. 49).

#### V.4.8 Unidade U7

A unidade sísmica U7, separa as unidades do Cretácico das unidades do Holocénico, e está delimitada no topo pelo horizonte a azul, de amplitude e continuidade lateral alta e a base é delimitada por diferentes horizontes (ver Anexo e Fig. 50). Foi identificada em todos os perfis analisados e apresenta reflexões internas com uma amplitude e frequência média e configurações sub-paralelas intercaladas com configurações transparentes (Fig. 50). A espessura desta unidade é cerca de 2m.

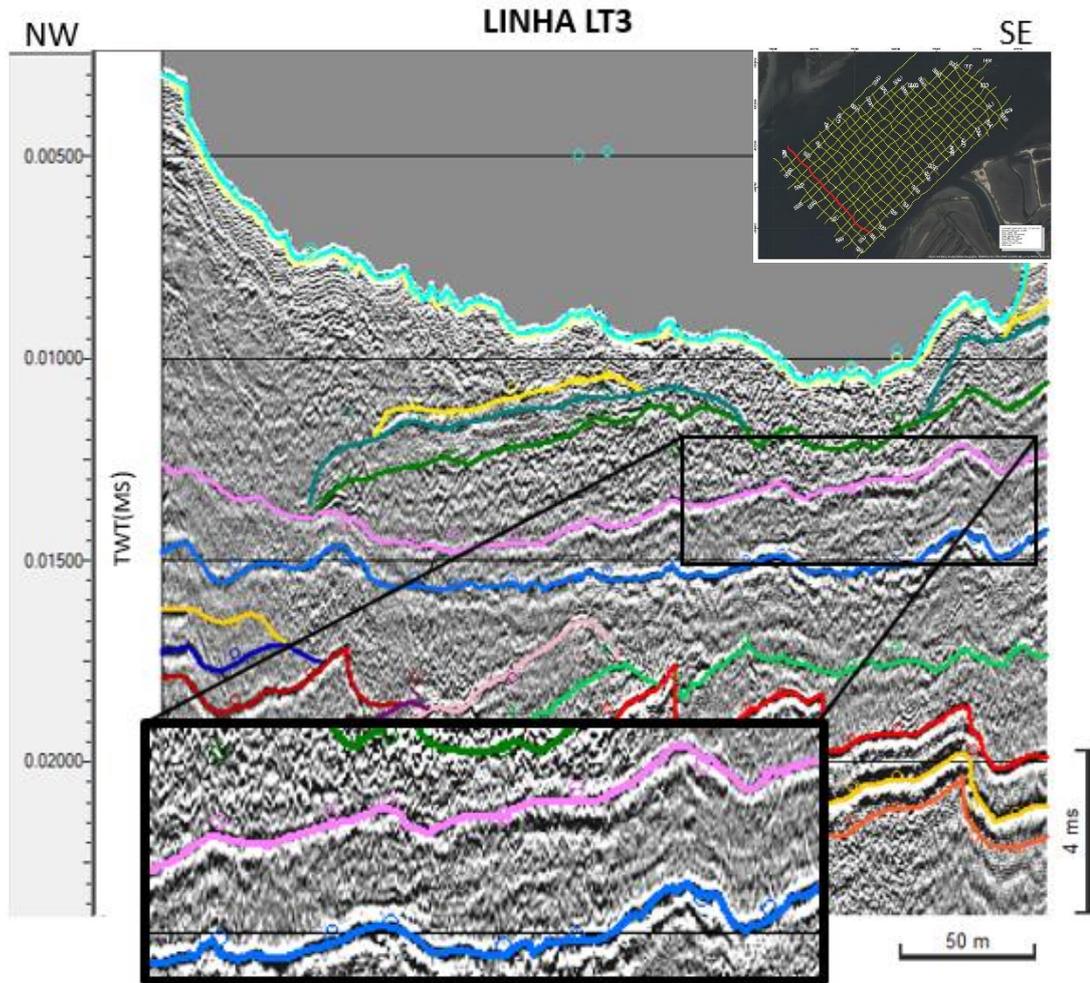


Figura 49. Linha sísmica LT3 com interpretação da unidade U6.

#### V.4.9 Unidade U8

Esta unidade é delimitada no topo pelo horizonte a amarelo, de amplitude média e com pouca continuidade lateral, e na base pelo horizonte a azul escuro (Fig.51). É uma unidade que pouca expressão na área em estudo, encontrando-se essencialmente na parte NW. De uma forma geral, esta unidade é caracterizada por fácies transparentes, com reflexões internas de baixa frequência e amplitude (Fig. 51).

#### V.4.10 Unidade U9

A unidade U9 está delimitada no topo pelo horizonte a azul escuro, refletor com baixa amplitude e continuidade lateral, e na base pelo a horizonte vermelho (Fig. 52). Apresenta fácies com reflexões semi-transparentes (Fig. 52).

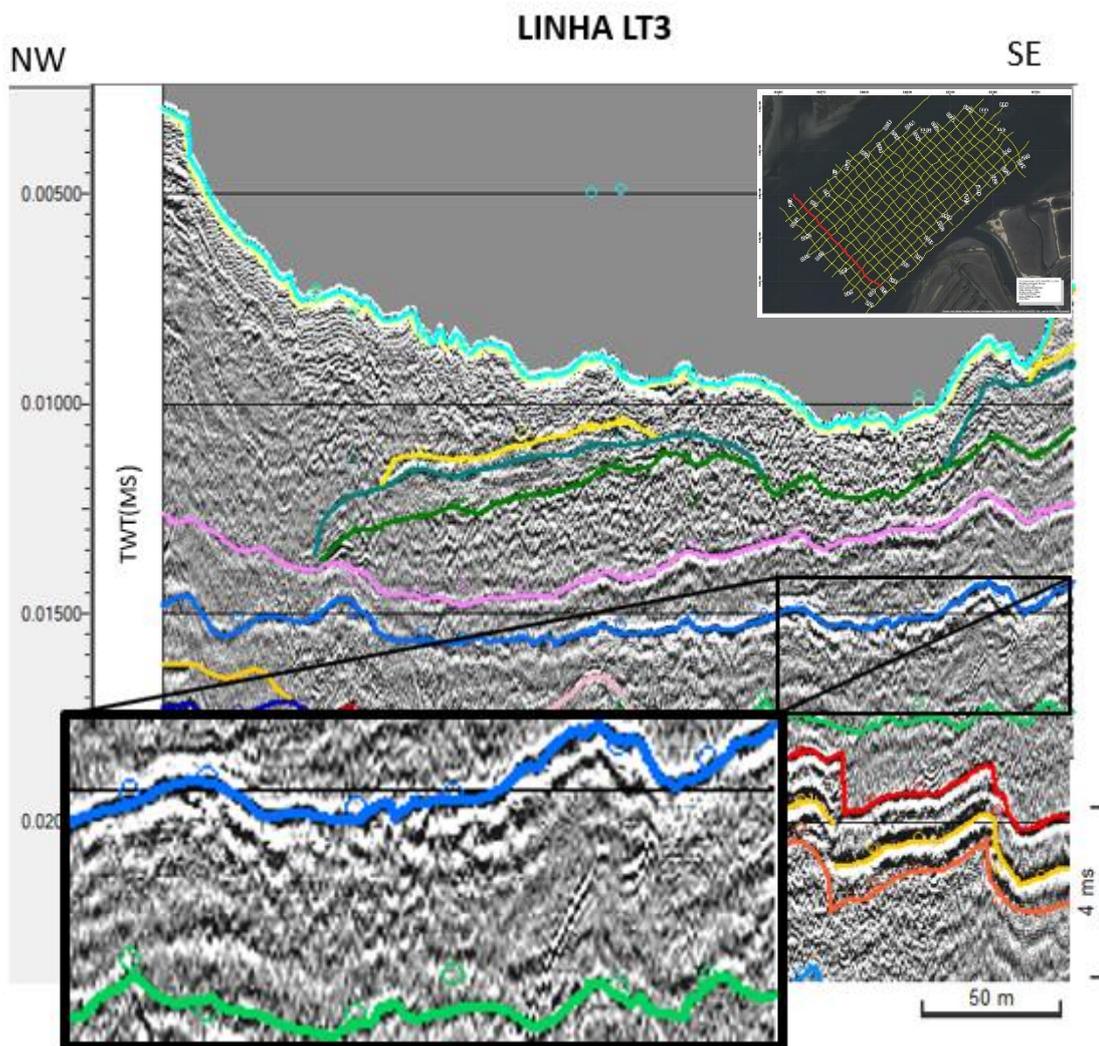


Figura 50. Linha sísmica LT3 com interpretação da unidade U7.

#### V.4.11. Unidade U10

A delimitação desta unidade é feita no topo pelo horizonte a vermelho acastanhado, que apresenta uma amplitude alta e uma continuidade lateral razoável, e na base pelo a roxo (Fig. 53). A expressão desta unidade é muito localizada, visto que só aparece na parte SW da área de estudo. As fácies presentes nesta unidade apresentam uma configuração transparente com uma amplitude baixas (Fig. 53).

#### V.4.12. Unidade U11

A unidade sísmica U11 está delimitada no topo pelo horizonte a roxo, que é representado um refletor com baixa a média amplitude e com pouca continuidade lateral, e na base pelo horizonte a rosa claro (Fig. 54). É caracterizada por fácies transparentes com baixa amplitude e frequência, o que implica que a sedimentação foi relativamente rápida e uniforme (Fig. 54).

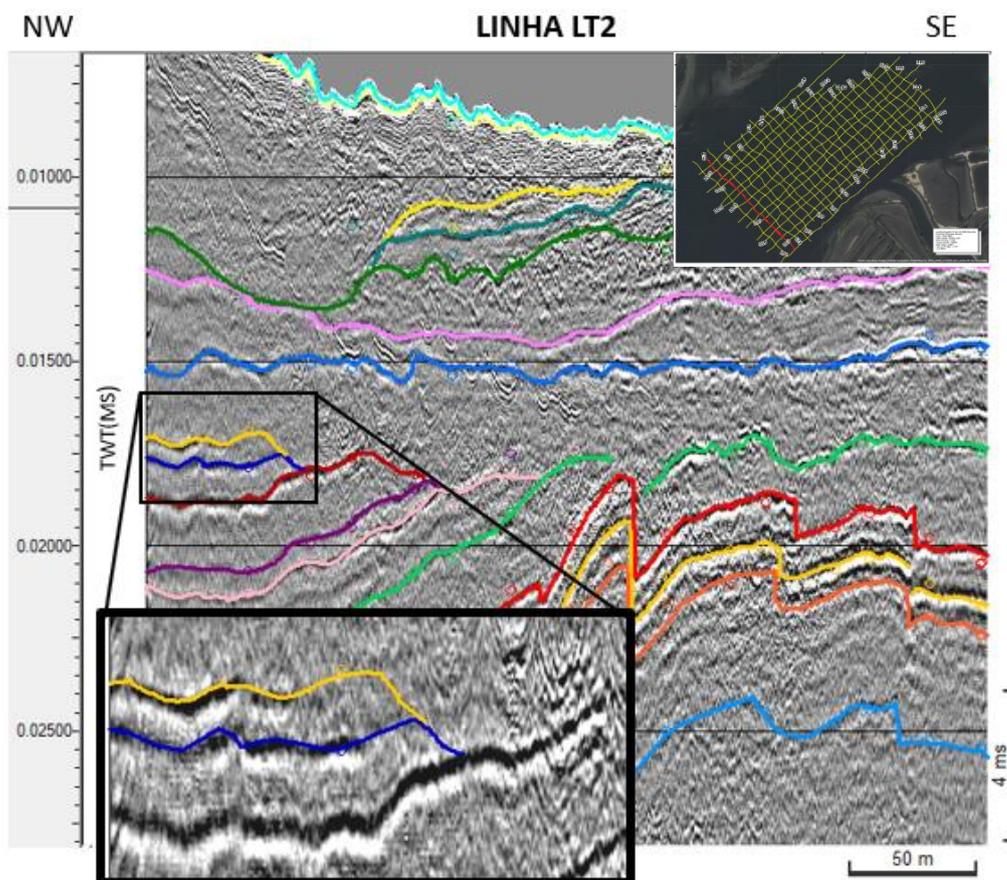


Figura 51. Linha sísmica LT2 com interpretação da unidade U8.

#### V.4.13. Unidade U12

A unidade sísmica U12 está delimitada na base pelo horizonte a rosa claro e na base pelo horizonte a verde (Fig. 55). É caracterizada no geral por refletores paralelos com amplitude e frequência variável (Fig. 55).

#### V.4.14. Unidade U13

Esta unidade é delimitada no topo pelo horizonte a verde, que possui amplitude, frequência e continuidade lateral variável e na base pelo horizonte a vermelho (Fig. 56). É uma unidade identificada em todos os perfis adquiridos e que é afetada pela compressão cenozóica. As fácies sísmicas apresentam reflexões transparentes intercaladas com refletores fortes sub-paralelos (Fig. 56).

#### V.4.15. Unidade U14

Esta unidade é delimitada no topo pelo horizonte a vermelho, que de uma forma geral apresenta uma boa continuidade e amplitude e na base pelo a horizonte amarelo (Fig. 57). É caracterizada por uma intercalação de refletores fortes contínuos e bem definidos, com refletores transparentes (Fig. 57). Aparece em todos os perfis adquiridos na área de estudo.

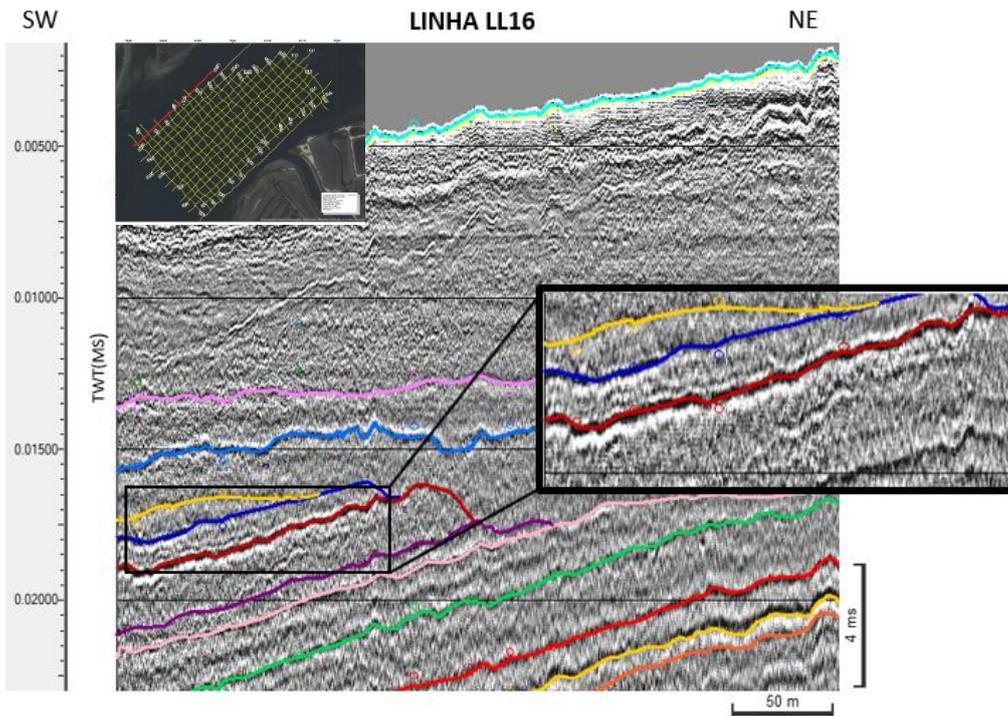


Figura 52. Linha sísmica LL16 com interpretação da unidade U9.

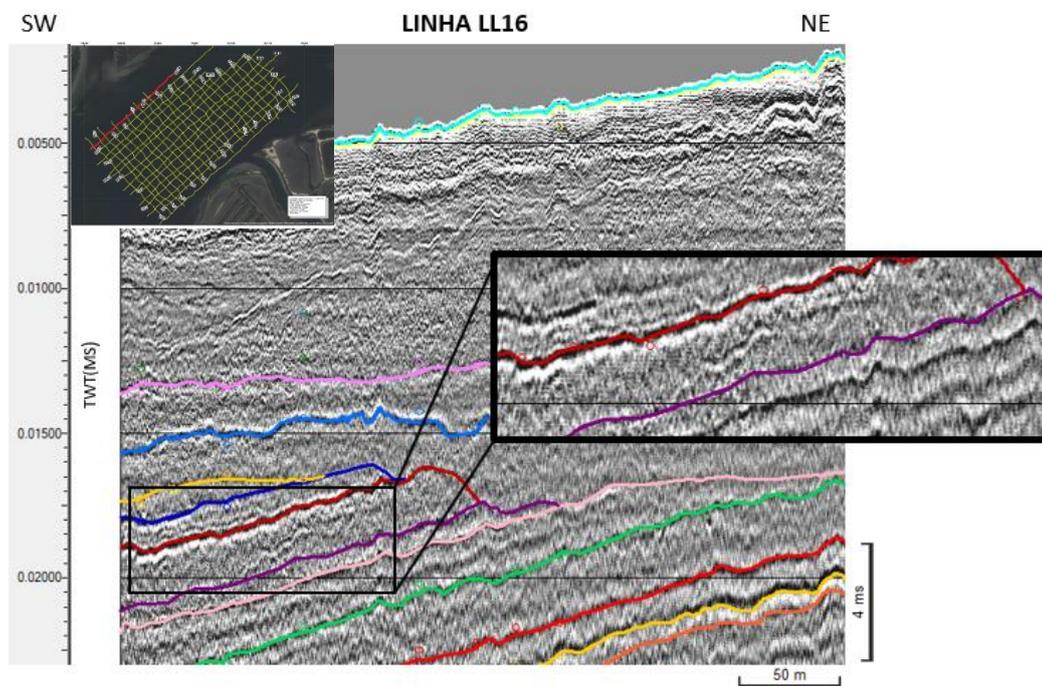


Figura 53. Linha sísmica LL16 com interpretação da unidade U10.

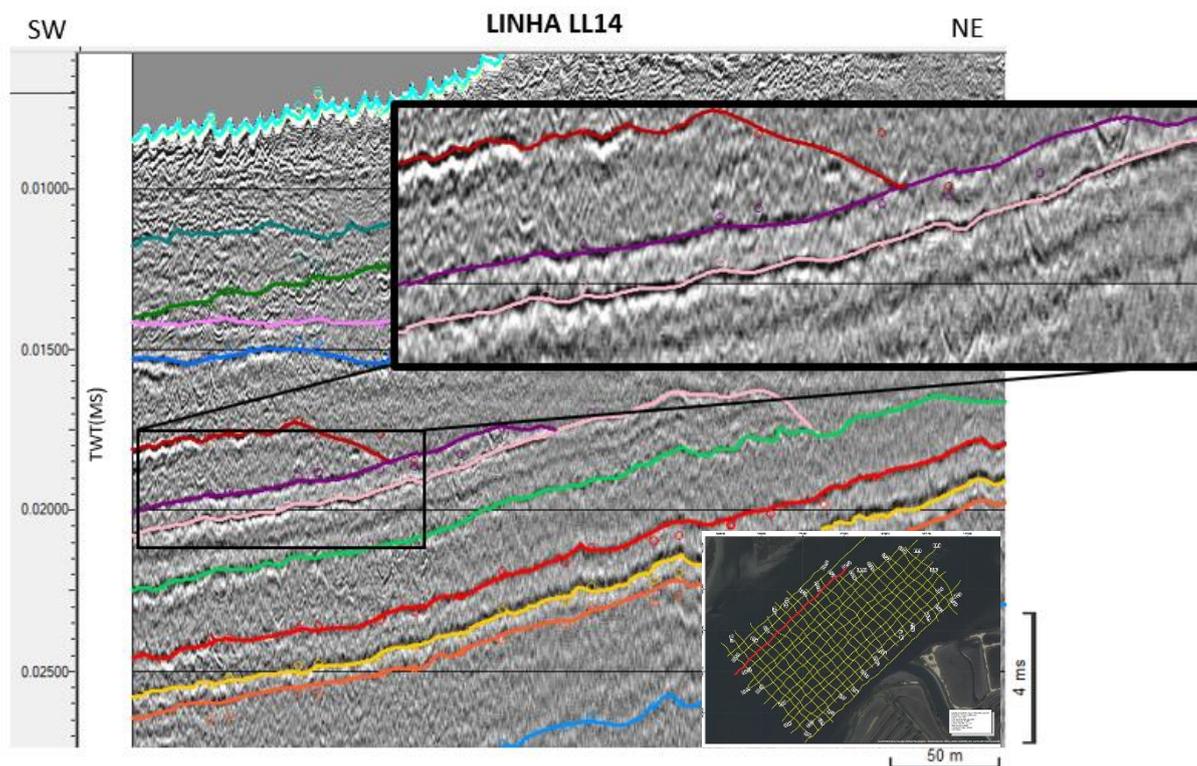


Figura 54. Linha sísmica LL14 com interpretação da unidade U11.

#### V.4.16. Unidade U15

A unidade sísmica U15 é delimitada no topo pelo horizonte a amarelo, refletor de alta amplitude e com boa continuidade lateral, e na base pelo horizonte a laranja (Fig. 58). Esta unidade aparece em todos os perfis adquiridos e é afetada por falhas e dobras. É caracterizada por uma intercalação de refletores fortes contínuos e bem definidos, com refletores semi-transparentes (Fig. 58).

#### V.4.17. Unidade U16

Esta unidade é delimitada no topo pelo horizonte a laranja e na base pelo horizonte a azul (Fig. 59). A configuração interna desta unidade apresenta refletores com amplitudes e continuidade lateral médias, intercalo com configurações transparentes (Fig. 59). É uma unidade que aparece em todos os perfis e é afetada por dobras e falhas.

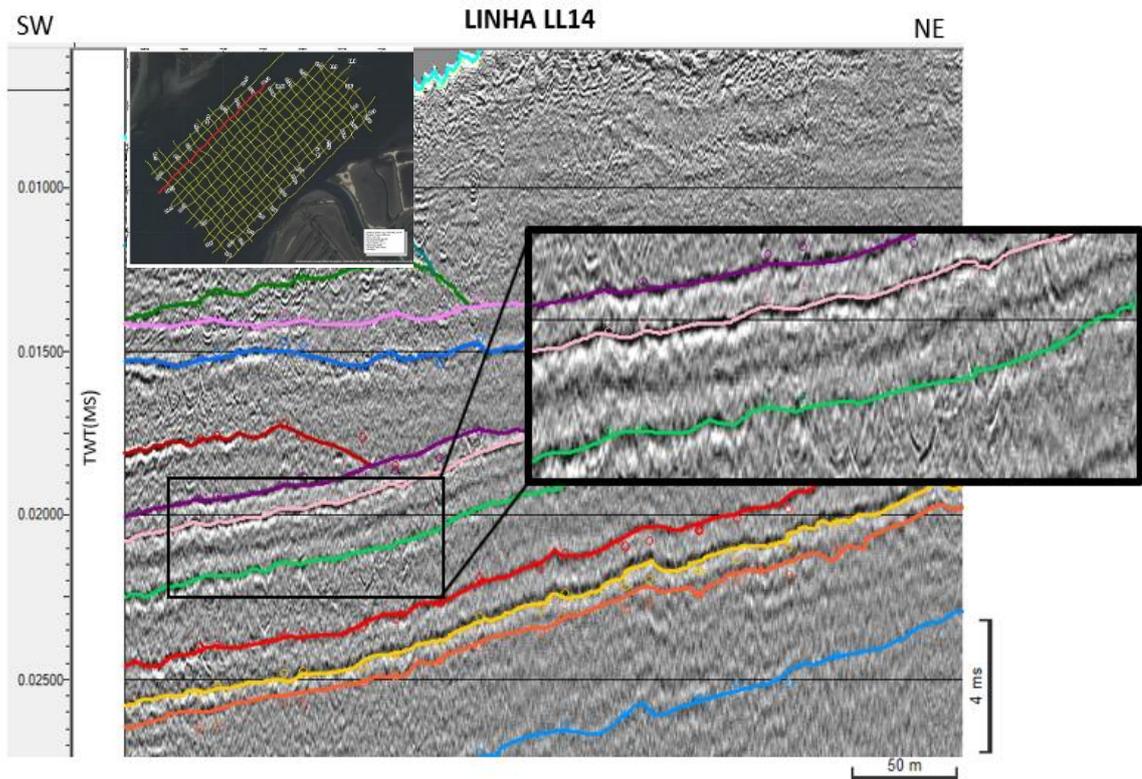


Figura 55. Linha sísmica LL14 com interpretação da unidade U12.

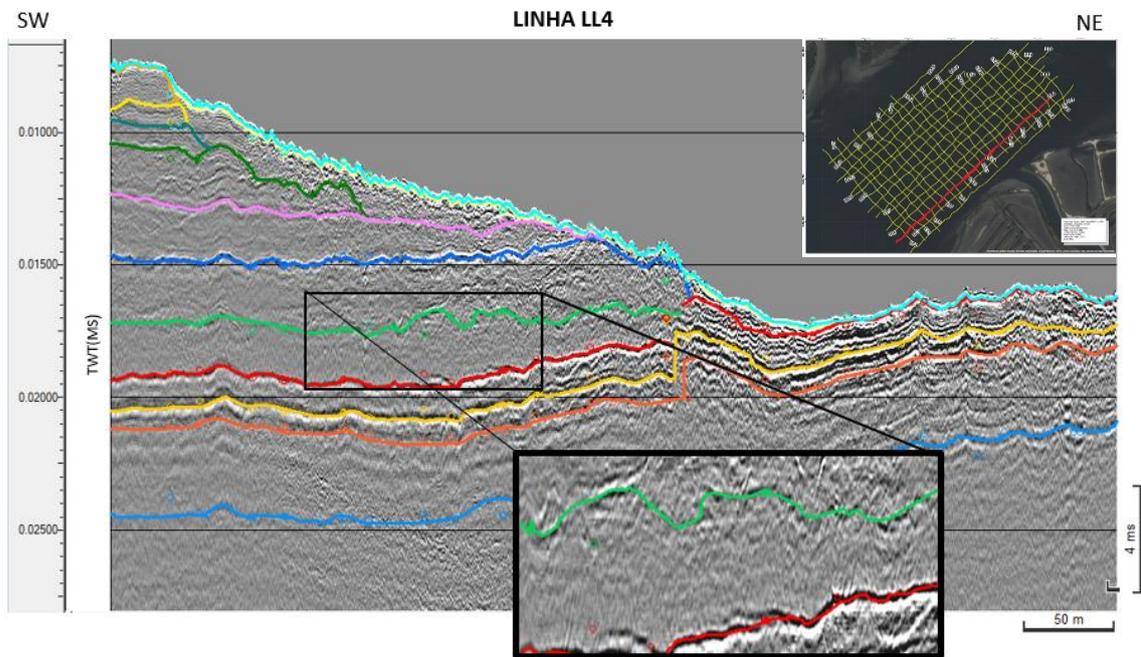


Figura 56. Linha sísmica LL4 com interpretação da unidade U13.

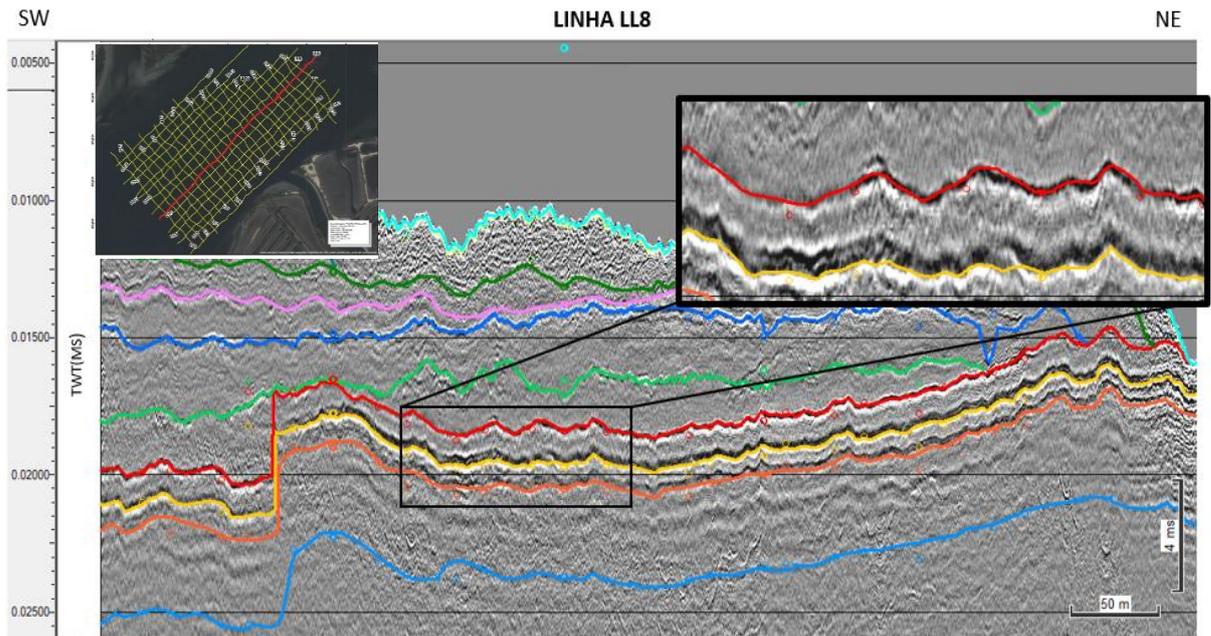


Figura 57. Linha sísmica LL8 com interpretação da unidade U14.

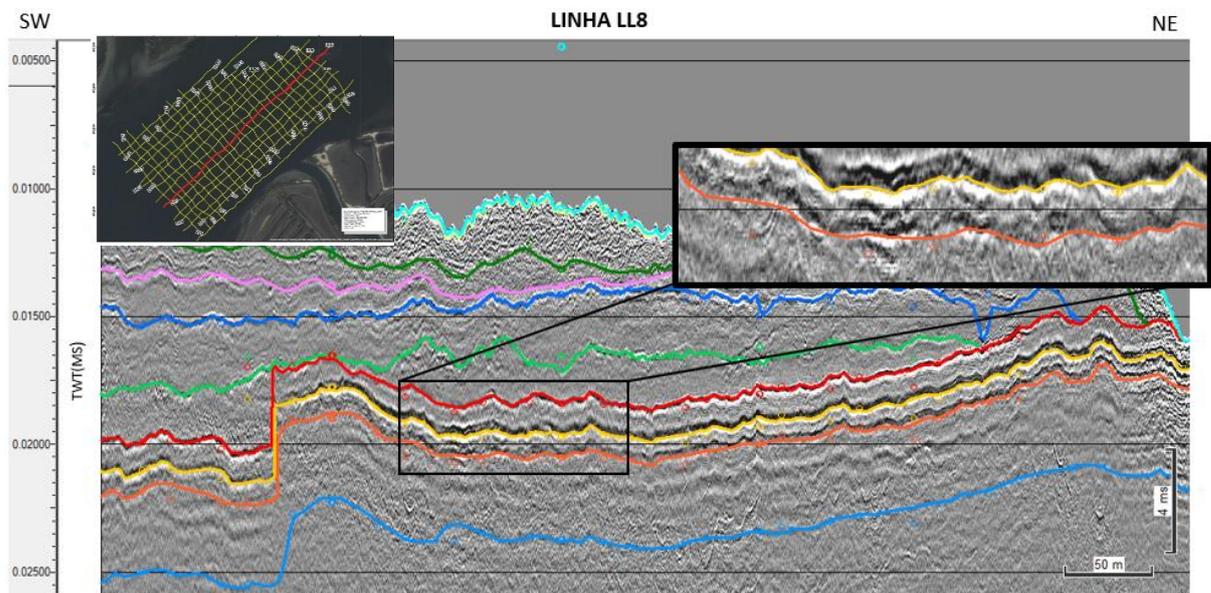


Figura 58. Linha sísmica LL8 com interpretação da unidade U15.

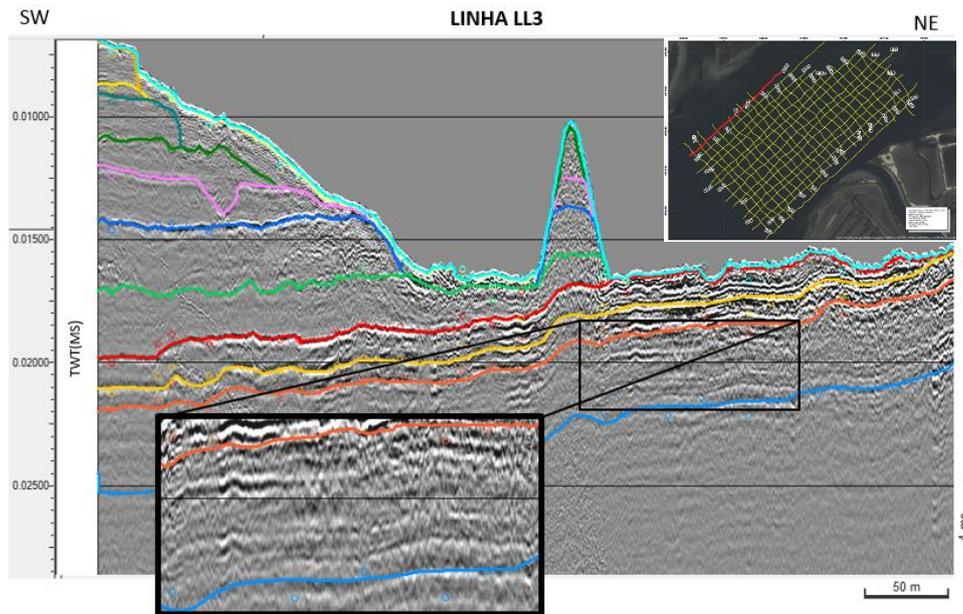


Figura 59. Linha sísmica LL3 com interpretação da unidade U16.

#### V.4.18. Superfícies erosivas

Como pode ser visto nas várias secções sísmicas (Fig. 60 e Anexo) há várias unidades afetadas por erosão, na forma de canais (e.g unidade U6, unidade U5) ou por truncatura por superfícies erosivas. A mais recente e proeminente está provavelmente associada como o último máximo glacial que ocorreu aproximadamente entre 20000 e 11000 anos.

#### V.5. Controlo estrutural

Na área de estudo foram identificadas 4 falhas principais inversas (F1, F2, F3 e F4) com uma orientação aproximada de N30°(SW-NE), podendo ter uma componente transpressiva. As falhas e cavalgamentos presentes na área de estudo só afetam as camadas mais antigas, com idade cretácica, como podemos ver nas figuras 62 e 63, ou seja, a deformação presente nas unidades esta relaciona com a compressão cenozoica (ver Capítulo II). Trata-se da primeira evidência clara de deformação compressiva cenozoica nesta zona da Bacia Lusitânica.

A Figura 61 e 62 mostra a representação em 2D de cada falha, e ainda é possível aferir o comprimento aproximado de cada uma, uma vez que os perfis sísmicos distam entre si 20 metros. Desta forma, a falha F1 tem um comprimento de cerca de 480m, a F2 um comprimento de cerca de 275m, a F3 um comprimento de cerca de 160m e a F4 um comprimento de cerca de 340m.

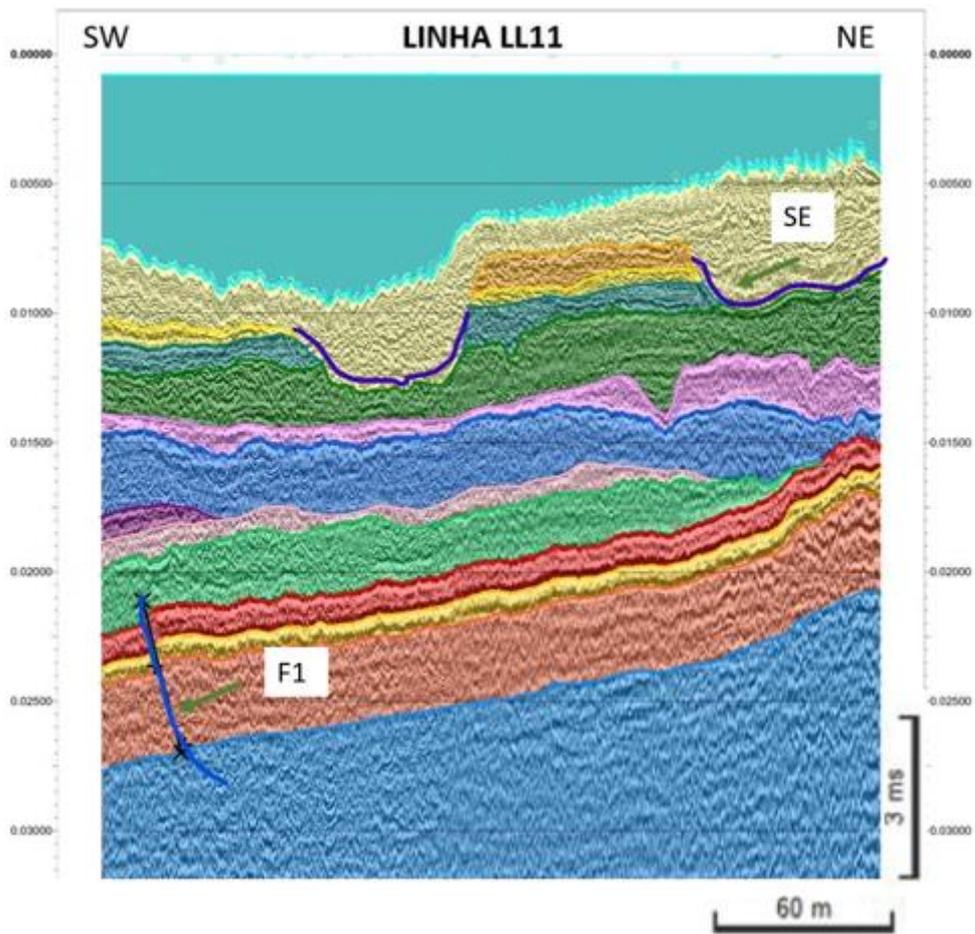


Figura 60. Secção sísmica (Linha LL11), ilustrando as camadas erodidas.

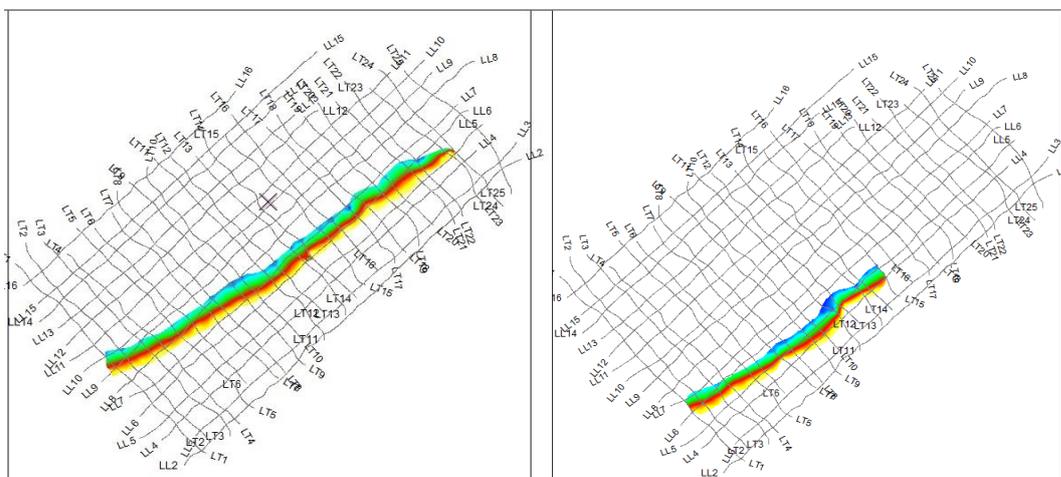


Figura 61. Representação da falha F1 (imagem à esquerda) e da falha F2 (imagem à direita) na área de estudo.

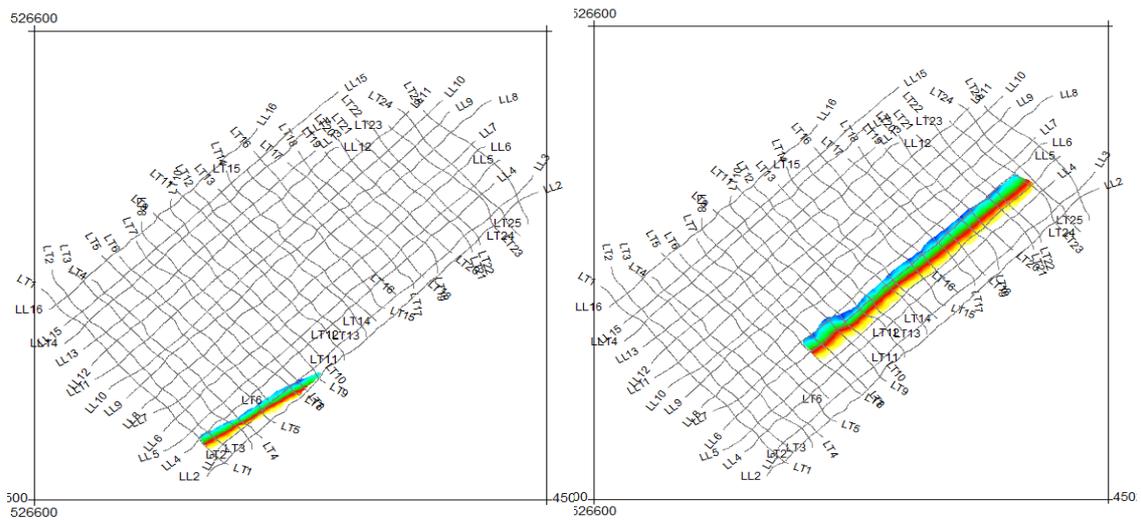


Figura 62. Representação da falha F3 (imagem à esquerda) e da falha F4 (imagem à direita) na área de estudo.

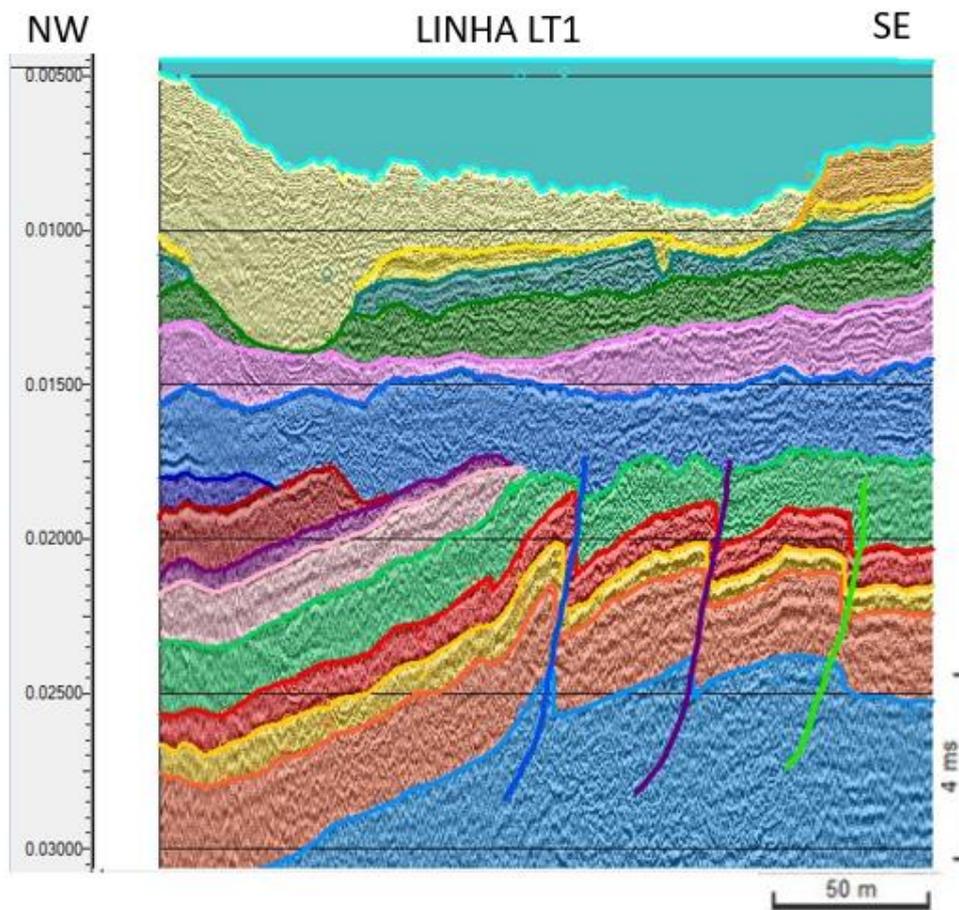


Figura 63. Falhas representadas no perfil sísmico (LT1). A azul corresponde a F1, roxo a F2 e a verde a F3.

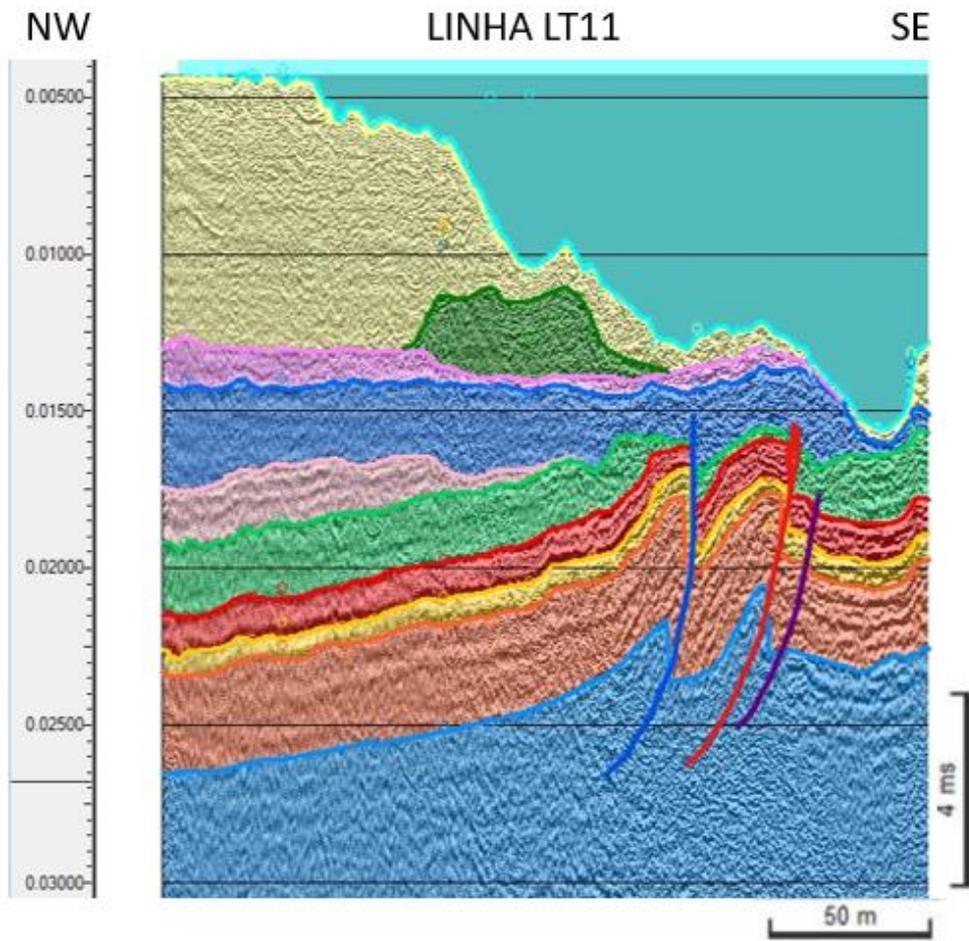


Figura 64. Falhas representadas no perfil sísmico (LT11). A azul corresponde a F1, vermelho a F4 e a roxo a F3.

## Capítulo VII. Conclusões

A realização desta dissertação, com o tema sismoestratigráfica do sector Norte da Marinha das Leitoas, Cale do Espinheiro, Ria de Aveiro, permitiu adquirir experiência e conhecimento de como planear e executar uma campanha geofísica de reflexões sísmica de alta resolução, assim como processar e identificar os dados.

A sísmica de reflexão de alta resolução apresenta-se como um método muito eficiente quando se tratam de estudos sobre a formação da subsuperfície a baixas profundidades. No entanto, um processamento de dados de sísmicos monocanal detalhado é fundamental para melhorar a resolução das secções sísmicas, de forma a aumentar significativamente a sua qualidade e facilitar a sua interpretação.

No âmbito deste trabalho, foi possível processar dados de sísmica de muito alta resolução para a interpretação de camadas geológicas e outras estruturas geológicas até cerca de 30 metros de profundidade abaixo do subsuperfície. Foram processados no total 39 perfis sísmicos no total, compreendendo uma cobertura na área de estudo de aproximadamente 140 km<sup>2</sup>.

O processamento dos dados sísmicos teve como objetivo melhorar a relação sinal/ruído e a resolução da secção sísmica de todos os perfis sísmicos adquiridos. A desconvolução preditiva que teve um impacto significativo na resolução vertical e na remoção de múltiplos de curto período. A migração permitiu o colapso das difracções nos horizontes e o seu correto posicionamento, o que facilitou na interpretação das unidades sísmicas. Apesar do processamento realizado ter melhorado significativamente a qualidade do sinal, que era um dos objetivos deste trabalho, foi possível verificar que a atenuação dos múltiplos e a desconvolução, podem ainda ser bastante melhoradas, o que se verificou com o apoio técnico do Doutor Henrique Duarte, da empresa *Geosurveys*.

Após o processamento dos perfis sísmicos adquiridos, procedeu-se à sua interpretação. Foram interpretadas 16 unidades sísmicas principais. Observando todas as secções interpretadas, é possível observar pela primeira vez evidências claras da deformação compressiva cenozóica nesta zona norte da Bacia Lusitânica.

### VII.1. Trabalho Futuro

De modo a melhorar este trabalho e obter uma interpretação mais rigorosa e completa da dinâmica sedimentar da área de estudo, propõe-se:

- Adquirir mais linhas sísmicas na área de estudo com uma grelha mais afastada para que a interpretação seja o mais rigorosa possível.
- Acrescentar os dados obtidos pelo sonar de varrimento lateral.
- Melhorar a atenuação dos múltiplos.
- A realização de sondagens na área de estudo, o que irá contribuir para o conhecimento da geologia da subsuperfície e determinação da espessura das formações geológicas neste sector da Ria de Aveiro.

- A realização da análise granulométrica, geoquímica e mineralógica de amostras recolhidas em sondagens nesta zona de estudo.

Os resultados obtidos neste trabalho poderão ser uma ferramenta importante para uma melhor compreensão da deformação compressiva cenozoica nesta zona da Bacia Lusitânica.

## Referências Bibliográficas

Bernardes, C. M. A. (1986). A Sedimentologia dos Depósitos do Cretácico Superior Entre Aveiro e Mira (Portugal). Provas de aptidão pedagógica e capacidade científica. Departamento de Geociências. Universidade de Aveiro. Aveiro.

Correia, A.R. & A. Benta. (2007). *Estudo da acumulação e escape de gás nos canais de maré da Ria de Aveiro com sísmica de reflexão de alta resolução*. Universidade de Aveiro, Portugal Ph.D.

Duarte, C. & H, Castro. (2007). *Estudo da acumulação e escape de gás nos canais de maré da Ria de Aveiro com sísmica de reflexão de alta resolução*. Universidade de Aveiro, Portugal Ph.D.

Katata, E. P. F. (2015). *Avaliação do impacto das condições de operação na qualidade do sinal - processamento de dados de reflexão sísmica multicanal*. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro, Aveiro.

Kearey, P., Brooks, M., (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration*. Blackwell Science, 2nd Edition.

McQuillin, R., Bacon, M & Barclay, W., (1984). *An Introduction to Seismic Interpretation*. Graham & Trotman, 2nd Edition.

Mitchum, R.M., Vail, P.R. & Thompson, S. (1977). *Seismic stratigraphy and global changes in sealevel, part 2: The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis*. In: Payton, (ed). *Seismic stratigraphy: application to hydrocarbon exploration*. AAPG-Memoir 26, AAPG, Tulsa.

Pinheiro, L.M., Teixeira, F.C., Gonçalves, D.S., Azevedo, L. e Ribeiro, T., (2011). *Métodos geofísicos na planificação e monitorização de operações de dragagens e na prospecção de agregados na plataforma continental*. In Coelho, Silva, Pinheiro e Gonçalves (Eds.). *Dragagens – Fundamentos Técnicas e Impactos*. Edição Universidade de Aveiro, 119-150.

Pinto, A. S. F. (2015). *Caracterização Geológica e Geofísica da Área da Figueira de Foz*. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro, Aveiro.

Rocha, F. T. (1993). *Argilas aplicadas a estudos litoestratigráficos e paleoambientais na bacia sedimentar de Aveiro*, Universidade de Aveiro, Portugal. Ph.D.

Roque, C. (2007). *Tecnostratigrafia do Cenozóico das Margens Continentais Sul e Sudeste Portuguesas: um Modelo de Correlação Sismoestratigráfica*. Universidade de Lisboa, Portugal. Ph.D.

Sheriff, R, E., & Gerald, L.P. (1995). *Exploration Seismology*. Cambridge University Press.

Sheriff, R, E.(1996). Understanding the Fresnel zone.

Stolt, R. H.,1978. *Migration by Fourier-Transform*. Geophysics 43(1): 23-48.

Teixeira, C. & G. Zbyszewski (1976). *Notícia explicativa da Folha 16-A, Aveiro. Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50.000*. Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal.

Yilmaz, O., (2001). *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data*. (Vol.1) .Tulsa, OK: Society of Exploration Geophysicists.

## **Anexos**





















































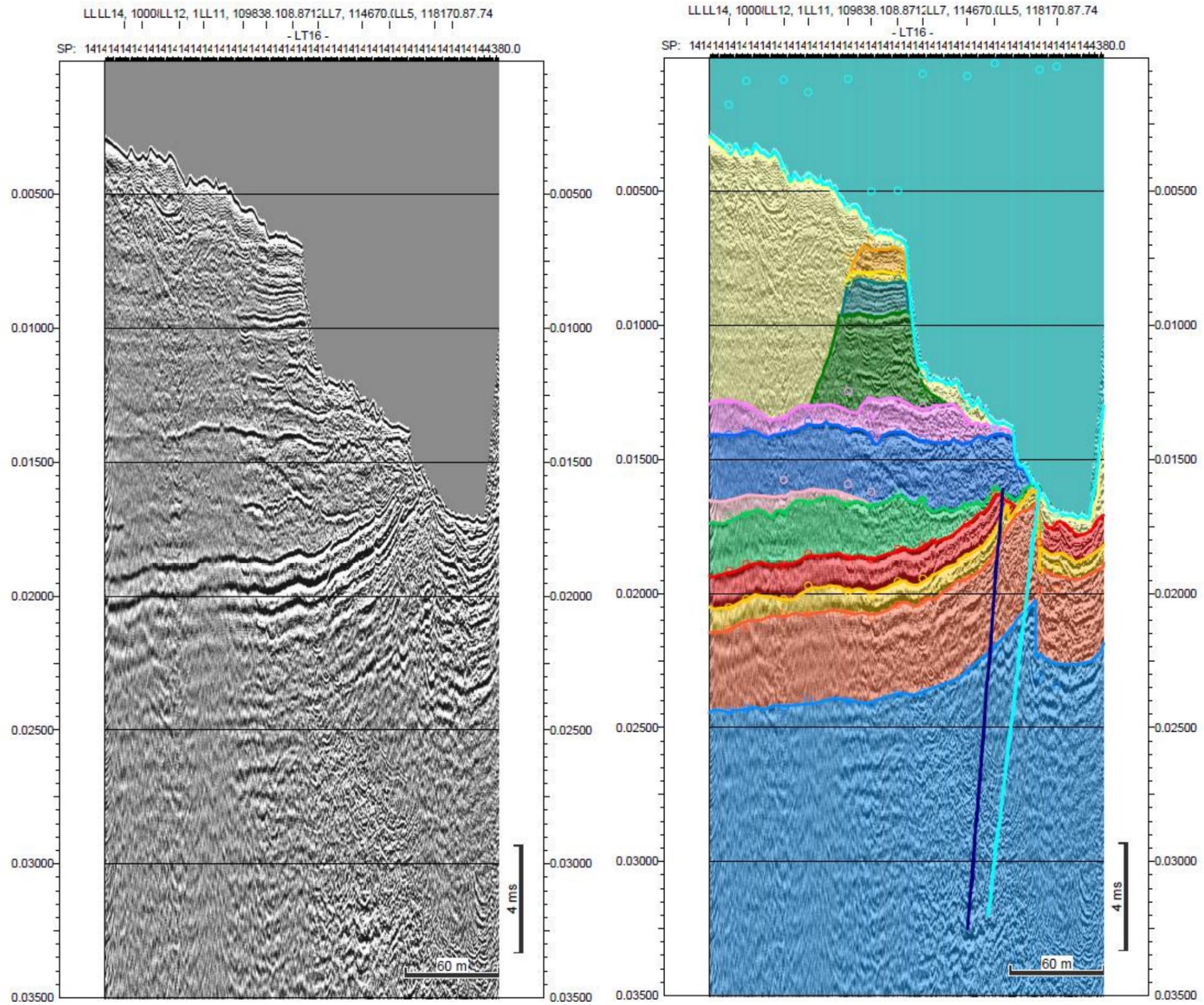








Perfil: LT16

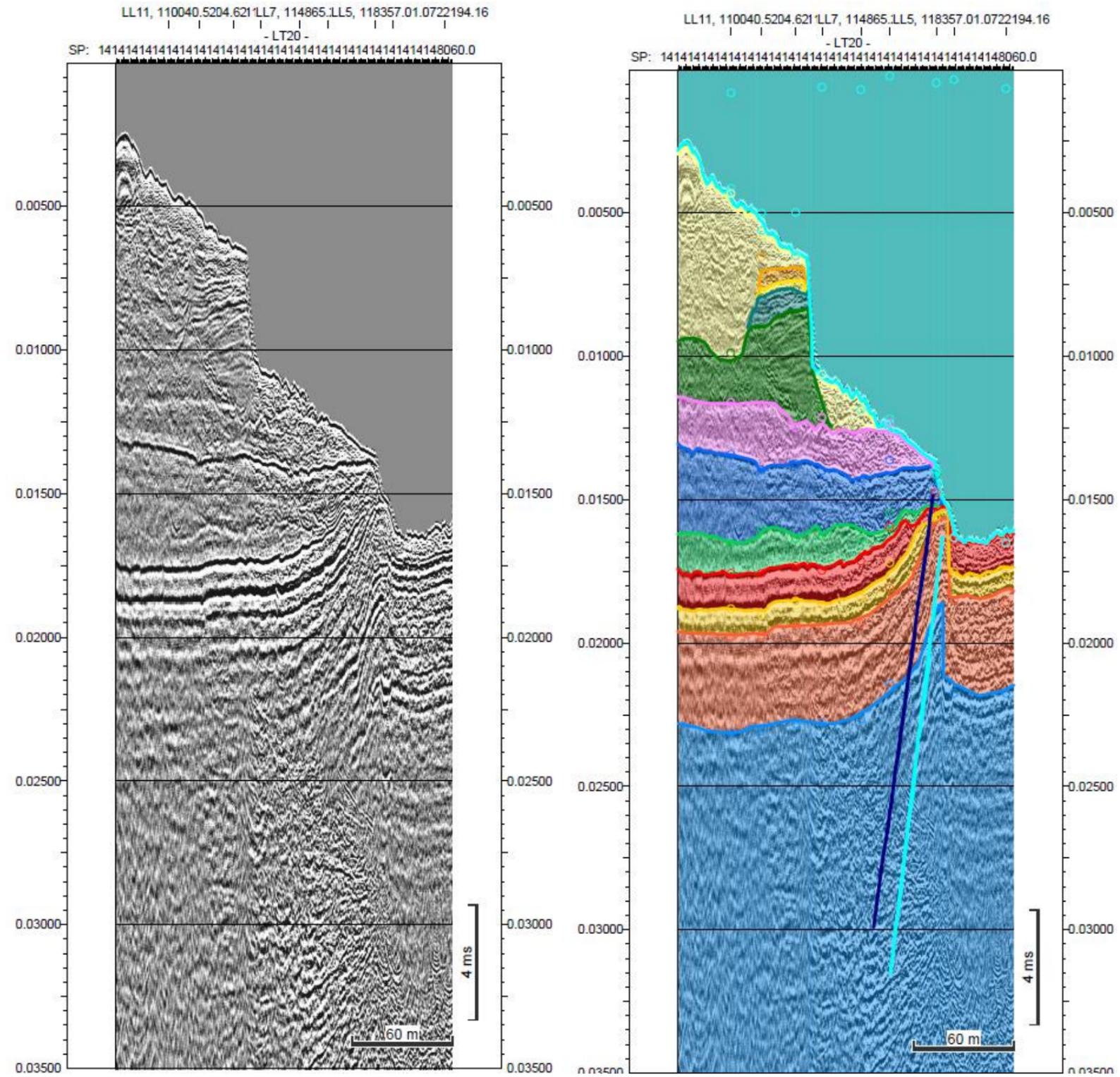








Perfil: LT20

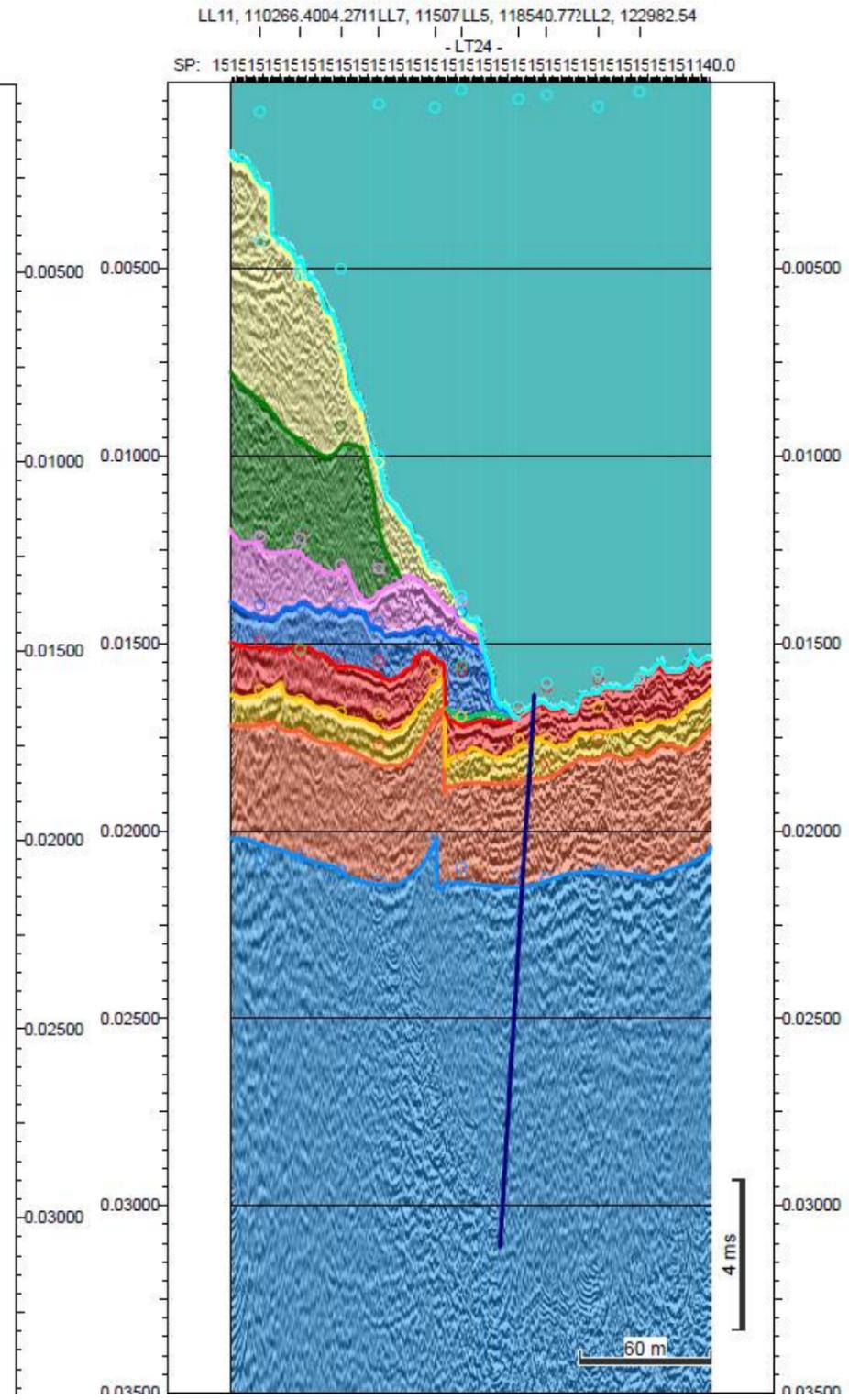
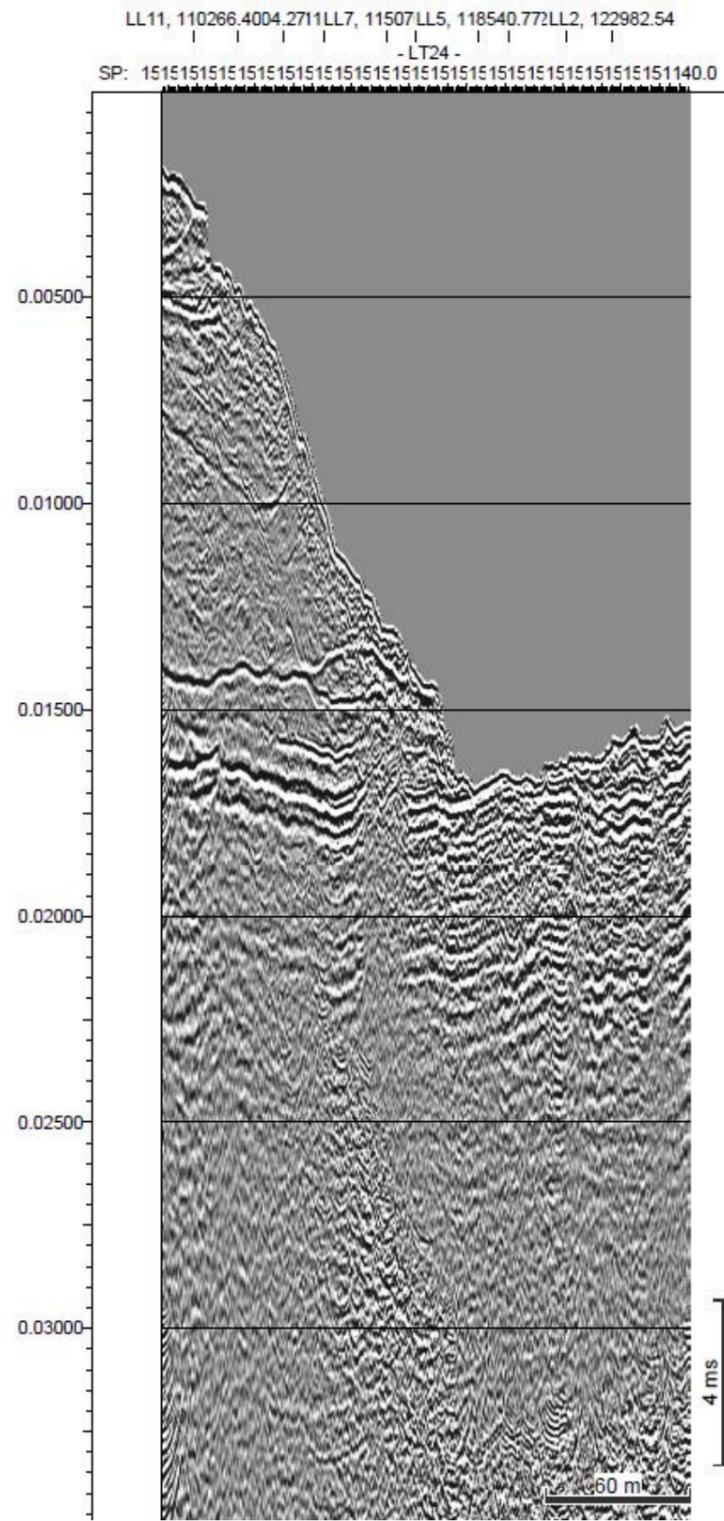








Perfil: LT24





## Especificação do veículo rebocador



512C Tow Vehicle

### SIDE SCAN SONAR

|   |  |
|---|--|
| <b>Frequencies:</b>                       | 100/400 kHz<br>300/600 kHz   |
| <b>Expd Operating ranges (per side):</b>  | 500 m (100 kHz)<br>230 m (300 kHz)<br>150 m (400 kHz)<br>120 m (600 kHz)                                   |
| <b>Output pulse energy:</b>               | 4 j (100 kHz)<br>3 j (300 kHz)<br>2 j (400 kHz)<br>1 j (600 kHz)   |
| <b>Pulse length:</b>                      | Up to 20 ms (100 kHz)<br>Up to 12 ms (300 kHz)<br>Up to 10 ms (400 kHz)<br>Up to 5 ms (600 kHz)            |
| <b>Across track resolution:</b>           | 6.3 cm (100 kHz)<br>2.8 cm (300 kHz)<br>1.8 cm (400 kHz)<br>1.4 cm (600 kHz)                               |
| <b>Along track resolution:</b>            | 1.9 m @ 100 m (100 kHz)<br>1.0 m @ 100 m (300 kHz)<br>0.96 m @ 100 m (400 kHz)<br>0.45 m @ 100 m (600 kHz) |
| <b>Horizontal beam width:</b>             | 1.08° (100 kHz)<br>0.6° (300 kHz)<br>0.56° (400 kHz)<br>0.26° (600 kHz)                                    |
| <b>Transducer array depression angle:</b> | 26° downward   |
| <b>Dynamic range:</b>                     | 24 bits  |
| <b>Vertical beam width:</b>               | 50°  |

### SUB-BOTTOM SONAR

|   |   |
|---|---|
| <b>Frequency range:</b>                                       | 0.5–12 kHz  |
| <b>Pulse bandwidth/pulse length:</b>                          | 0.5–8.0 kHz/5 ms<br>0.5–2.7 kHz/40 ms<br>0.5–6.0 kHz/20 ms<br>0.5–4.5 kHz/50 ms<br>0.5–6.0 kHz/9 ms<br>0.5–6.0 kHz/18 ms<br>0.5–7.2 kHz/30 ms<br>0.7–12.0 kHz/20 ms<br>2.0–12.0 kHz/20 ms |
| <b>Vertical resolution:<sup>a</sup></b>                       | 19 cm (1–5.0 kHz)<br>12 cm (1.5–7.5 kHz)<br>8 cm (2–12 kHz)   |
| <b>Penetration in coarse and calcareous sand:<sup>b</sup></b> | 30 m (typ)  |
| <b>Penetration in soft clay:<sup>b</sup></b>                  | 250 m   |
| <b>Beam width:<sup>c</sup></b>                                | 41°, 0.5–5 kHz<br>32°, 1–6 kHz<br>24°, 1.5–7.5 kHz<br>16°, 2–12 kHz   |
| <b>Optimum tow vehicle pitch/roll:</b>                        | <16°, 0.5–5 kHz<br><13°, 1–6 kHz<br><10°, 2–8 kHz<br><8°, 2–10 kHz<br><7°, 2–12 kHz   |
| <b>Optimum tow height:</b>                                    | 3–5 m above sea floor   |
| <b>Transmitters:</b>  | 1   |
| <b>Receive arrays:</b>  | 4   |