



**Universidade de Aveiro** Departamento de Geociências  
**2009**

**Ricardo Alberto  
da Silva João**

## **Execução de uma campanha de reflexão sísmica 3-D em meio urbano**



**Universidade de Aveiro** Departamento de Geociências  
**2009**

**Ricardo Alberto  
da Silva João**

## **Execução de uma campanha de reflexão sísmica 3-D em meio urbano**

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 Dr. Luís Menezes Pinheiro, Professor Associado do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro e com co-orientação científica do Dr. Rui Augusto Alves Vieira, Professor Convidado da Universidade de Aveiro.

## **O Júri**

Presidente

**Prof. Dra. Beatriz Valle Agudo**  
Professora Auxiliar do Departamento de Geociências

**Dr. Rui Augusto Alves Vieira**  
Geólogo Coordenador da Mohave Oil and Gas Corporation Professor  
Convidado do Departamento de Geociências

**Prof. Dr. Luís Menezes Pinheiro**  
Professor Associado do Departamento de Geociências

## Agradecimentos

À Seis Pros pela oportunidade de realização de um estágio em ambiente empresarial que me proporcionou experiência profissional.

Aos meus colegas de trabalho em especial ao Matt Drobot e ao Artur Kruse, pela disponibilidade e solicitude que sempre tiveram nos esclarecimentos técnicos.

Ao Professor Dr. Luís Menezes Pinheiro, orientador na Universidade de Aveiro pelo empenhamento e ajuda na obtenção deste estágio e pela orientação científica na realização desta dissertação.

Ao Dr. Rui Vieira, orientador do estágio na empresa, pela oportunidade de realização deste estágio, pela disponibilidade e orientação científica importantes na realização deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas de curso que sempre me apoiaram.

Aos meus pais, aos meus tios Carlos e Maria João, à minha irmã por todo o apoio e incentivo.

Finalmente à minha esposa e ao meu filho Francisco pela paciência, compreensão, colaboração e encorajamento.

A todos os meus sinceros agradecimentos!

## Palavras-chave

Bacia Lusitânica, planeamento dinâmico, aquisição sísmica 3D, área urbana

## Resumo

Esta dissertação foi elaborada a partir da participação no trabalho de aquisição sísmica 3D multicanal numa área urbana localizada sobre a Bacia Lusitânica, mais concretamente na zona de Torres Vedras, na qual existiam fortes indícios de se encontrarem sistemas petrolíferos e, subsequentemente, hidrocarbonetos. Tendo participado nas várias fases do processo de aquisição, desde o planeamento até ao processamento, destacamos, como aspecto essencial e primordial à realização e conclusão deste trabalho, o planeamento dinâmico e a construção de procedimentos como forma de ultrapassar os obstáculos e dificuldades encontrados, para poder obter, com o processamento, um cubo sísmico da área em estudo.

# ÍNDICE Geral

**Agradecimentos**

**Palavras-chave**

**Resumo**

<b>Índice</b> .....	i
<b>Lista de Figuras</b> .....	V
<b>CAPÍTULO 1: Introdução</b> .....	1
1.1 Natureza e âmbito deste trabalho .....	1
1.2 Objectivos .....	2
1.3 Localização geográfica da área em estudo .....	2
1.4 Trabalho realizado .....	5
1.5 Estrutura da dissertação .....	6
<b>CAPÍTULO 2: Enquadramento geológico da área em estudo</b> .....	8
2.1 Origem e evolução da Bacia Lusitânica .....	8
2.1.1 Litoestratigrafia .....	10
2.1.2 As diferentes fases de <i>rifting</i> na Bacia .....	13
2.1.3 Os principais diapiros presentes na Bacia .....	17
2.2 Sistemas petrolíferos .....	19
2.2.1 Sistemas petrolíferos na Bacia Lusitânica .....	23
2.2.2 História da pesquisa na Bacia Lusitânica .....	27
<b>CAPÍTULO 3: PLANIFICAÇÃO DA CAMPANHA SÍSMICA 3D</b> .....	32
3.1 Geometria e parâmetros de aquisição definidos para o projecto .....	32

3.2	Analise e reconhecimento prévios da área geográfica (“scouting”)	38
3.2.1	Recursos materiais e humanos	39
3.2.2	Enquadramento legal	39
3.3	Obtenção de permissões	40
3.3.1	Objectivos	41
3.3.2	Problemas e Soluções	42
3.4	TOPOGRAFIA	43
3.4.1	Objectivos	43
3.4.2	Teste de equipamentos e procedimentos	44
3.4.2.1	Equipamentos de topografia	44
3.4.2.2	Montagem dos equipamentos	48
3.4.3	Metodologias	50
3.4.3.1	GPS Sistema de Posicionamento Global	50
3.4.3.2	Elaboração e Desenho da Rede (de controlo) GPS para área em estudo	54
3.4.3.3	Funcionamento GPS móvel em tempo real “RTK”	57
3.4.3.4	Levantamento topográfico na área em estudo	58
3.4.3.5	Confrontações com Obstáculos e a sua resolução	59
3.4.3.6	Determinação das coordenadas das fontes emisoras Sísmicas, (Sistema “EGNOS”)	62
<b>CAPÍTULO 4: AQUISIÇÃO SÍSMICA 3D UTILIZANDO O SISTEMA SERCEL</b>		<b>64</b>
4.1	Base de campo (“staging”)	64
4.2	Geofones	65

4.3 “Thumpers” .....	67
4.4. Sismógrafo (Monitorização de vibrações) .....	70
4.4.1 Objectivo .....	70
4.4.2 Definições e Normas .....	71
4.4.3 Estudos anteriores ao projecto .....	74
4.4.4 Resultados do projecto de Torres Vedras .....	75
4.5 Unidade móvel de observações e gravação de dados (“DOG HOUSE”) .....	78
4.6 Sistema de aquisição “SERCEL” .....	80
4.6.1 Funcionamento dos componentes e cabos Sercel .....	80
4.6.2 Gravação de dados com o sistema Sercel .....	84
 <b>CAPÍTULO 5: CONTROLO DE QUALIDADE E PROCESSAMENTO</b>	
PRELIMINAR.....	86
5.1 Controlo de Qualidade .....	86
5.1.1 Planeamento Dinâmico .....	86
5.1.1.1 Alteração ao plano inicial .....	86
5.1.1.2 Movimentações de pontos .....	88
5.1.1.3 Programas e metodologias utilizados .....	88
5.1.1.4 Limitações e obstáculos .....	89
5.1.2 Mapas de apoio ao trabalho de campo .....	91
5.1.3 Relatórios recebidos da <i>Dog House</i> .....	91
5.1.4 Controlo e validação dos dados de campo .....	93
5.1.5 Atribuição da geometria aos traços sísmicos .....	93
5.2. Processamento preliminar .....	95

5.2.1 Re-amostragem e redução do tempo de registo .....	96
5.2.2 Correções estáticas .....	98
5.2.3 Desconvolução .....	98
5.2.4 Análise de velocidades .....	99
5.2.5 NMO .....	100
5.2.6 Stack .....	100
5.2.7 Imagem 3D e respectivas secções .....	102
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSÃO .....</b>	<b>105</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>108</b>
<b>Anexo I .....</b>	<b>I-1</b>
I. Procedimentos para o nivelamento .....	I-1

## Lista de figuras

Figura 1.1: Aqueduto no Concelho de Torres Vedras .....	3
Figura 1.2: Cidade de Torres Vedras .....	3
Figura 1.3: Convento de Mafra .....	3
Figura 1.4: Área do Projecto Torres Vedras. No canto superior esquerdo, a azul, o Oceano Atlântico. Na terça parte inferior, a verde, uma maior densidade florestal.....	4
Figura 2.1: Principais unidades morfoestruturais da Península Ibérica. A vermelho temos a secção “ <i>onshore</i> ” da Bacia Lusitânica e a verde a área de estudo (projecto de Torres Vedras). Adaptado de Kullberg (2000) .....	8
Figura 2.2: Localização dos limites da Bacia Lusitânica e área do projecto. Segundo Kullberg (2000) .....	9
Figura 2.3: Síntese da estratigrafia da Bacia Lusitânica. Os pontos pretos correspondem às rochas geradoras de petróleo e os pontos vermelhos às rochas reservatório (GPEP, 1986, in Rasmussen et al., 1998) .....	11
Figura 2.4: A imagem ilustra o topo da descontinuidade Caloviano-Oxfordiano (superfície acastanhada). À direita na imagem, abaixo da superfície acastanhada é visível o Jurássico Médio e à esquerda da imagem, acima da mesma superfície é visível o Jurássico Superior. Imagem gentilmente cedida pelo Dr. Rui Vieira ..	12
Figura 2.5: Mapa da Bacia Lusitânica central e evolução das sub-bacias com linhas isócronas (valores de tempo de ida e volta em milímetros por segundo TWTT). a) Sub-bacias e os respectivos depocentros no Mesozóico superior. b) Expansão dos depocentros após as fases de rifting. Segundo Alves et al. (2003).....	16
Figura 2.6: Localização de diapiros e outras estruturas na área geográfica da Bacia. Legenda: B - Bolhos; CR - Caldas da Rainha; L - Leiria; M - Matacães; MR - Monte Real; PM-RM – Porto de Mós-Rio Maior; PN - Pinhal Novo; S - Soure; SC - Santa Cruz; SPM - S. Pedro de Muel; V – Vimeiro; CSBV - cavalgamento de Serra da Boa Viagem; FN - falha de Nazaré; FSPN – falha de Setúbal-Pinhal Novo; FTV - falha de Torres Vedras; Mt - <i>pop-up</i> de Montejunto. (Adaptado de Ribeiro et al., 1996) .....	18
Figura 2.7: Diagrama esquemático mostrando as abundâncias relativas dos hidrocarbonetos líquidos e gasosos em função da evolução térmica do querogénio. Segundo Tissot e Welte, 1978 .....	21
Figura 2.8: Diferentes tipos de armadilhas (1-canais; 2-recifes; 3 discontinuidades; 4-falha normal; 5- Diapiro de sal; 6-anticlinal; 7- incoformidade) .....	23

Figura 2.9: prospecção e pesquisa, <i>onshore</i> e <i>offshore</i> de Portugal, divididas em blocos, tendo por base uma malha regular. A colorido, temos áreas de concessão activas (DGEG, 2008) .....	28
Figura 2.10: Aquisição sísmica anual em Portugal em kilometros (DPEP, 2008)..	30
Figura 3.1: Projecto de Torres Vedras: a azul, os receptores sísmicos, com 66 linhas com orientação Este/Oeste e 11.946 pontos; a vermelho, as fontes sísmicas, com 65 linhas onduladas e 11.765 pontos .....	33
Figura 3.2: Os pontos azuis são os receptores; os quadrados vermelhos são os emissores Sísmicos .....	34
Figura 3.3: Emissores e receptores sísmicos enquadrados sobre a imagem de satélite. A grelha amarela representa os <i>Bin's</i> .....	35
Figura 3.4: Imagem do <i>preplot</i> do <i>Fold</i> para o projecto de Torres Vedras. Com <i>Offset</i> 3000 metros .....	35
Figura 3.5: Ampliação do extremo Este do <i>Fold</i> original, <i>preplot</i> para um <i>offset</i> de 3000 metros .....	36
Figura 3.6: Nesta imagem tirada do projecto com o programa <i>Omni</i> , a amarelo temos um exemplo de " <i>Patch</i> " .....	36
Figura 3.7: Diagramas <i>spider (spidergrams)</i> : o centro do quadrado permite analisar a distribuição e orientação do sinal; as linhas no canto indicam o <i>offset</i> , e, as diferentes cores mostram a cobertura multipla ( <i>Fold</i> ), Neste caso o <i>offset</i> é de 500 metros .....	37
Figura 3.8: Exemplo de um <i>offset</i> e <i>Fold diagram</i> para um <i>offset</i> de 500 metros.....	38
Figura 3.9: GPS Trimble 4000 numa sessão estática sobre um marco geodésico.....	45
Figura 3.10: Ligações ao Trimble 4700 .....	45
Figura 3.11: Trimble 4700, sinalizadores das funções activas 4700 .....	45
Figura 3.12: Trimmark III rádio base/repetidor .....	46
Figura 3.13: Antenas UHF .....	46
Figura 3.14: Antenas GPS L1 .....	46
Figura 3.15: Antenas GPS L1/L2 .....	46
Figura 3.16: Colector de dados TSC .....	47

Figura 3.17: Estação Total .....	47
Figura 3.18: Montagem da antena GPS e cálculo da hipotenusa .....	48
Figura 3.19: Esquema de montagem base GPS .....	49
Figura 3.20: Ligações para o receptor Trimble 4700 “Rover” .....	49
Figura 3.21: Esquema do operador com mochila e estação .....	50
Figura 3.22: Segmento de controlo do GPS .....	52
Figura 3.23: Quantificação em modo prático (metros) as influências dos diferentes erros no GPS .....	53
Figura 3.24: Contribuição da ionosfera para o erro nos GPS .....	54
Figura 3.25: Cobertura da área em estudo a partir de marcos geodésicos com GPS estático .....	55
Figura 3.26: Rede GPS para a área em estudo .....	56
Figura 3.27: Marcação no terreno de uma estação nivelada pela topografia .....	59
Figura 3.28: a) Moinho de vento interfere na utilização do marco geodésico; b) Depósito de água e Antena interferem na utilização do marco geodésico; c) Árvores interferem na utilização do marco geodésico .....	60
Figura 3.29: Mapa com a cobertura do sistema Egnos e de outros sistemas locais, a nível mundial .....	62
Figura 4.1: Centro de operações “ <i>Staging</i> ” na área de Torres Vedras .....	64
Figura 4.2: Grupo de 6 geofones .....	65
Figura 4.3: Bobine Sercel de 10hz .....	65
Figura 4.4: Equipas “ <i>layout crew</i> ” e “ <i>pickup crew</i> ” e os respectivos veículos de transporte de material .....	66
Figura 4.5: “ <i>Thumper</i> ” Internacional .....	67
Figura 4.6: “ <i>Thumper</i> ” Internacional 1 e 2 .....	68
Figura 4.7: “ <i>Thumper</i> ” Unimog .....	69
Figura 4.8: “ <i>Thumper</i> ” <i>Small Track</i> e respectivo atrelado .....	69

Figura 4.9: Aparelho MiniMate Plus, para monitorização de vibrações. Os espigões do aparelho pertencem aos geofones. O painel de controlo permite a alteração de parâmetros e outras configurações .....	70
Figura 4.10: Esboço da utilização do sismógrafo, obtendo ondas verticais, longitudinais e transversais (não foram utilizados microfones). (Fonte: manual do sismógrafo MimiMate Plus) .....	71
Figura 4.11: Propagação de diferentes tipos de ondas (Longitudinais, verticais, transversais) no solo. Volume A não atingido pelas ondas .....	72
Figura 4.12: Tabela com os valores limites de velocidade de vibração das partículas, em mm/s (Fonte: Bacci, 2000, adaptado de Esteves, 1994) .....	73
Figura 4.13: Tabela Distancias mínimas de segurança calculadas para $v = 2$ mm/s e para diferentes cargas de explosivos (explosivo colocados a uma profundidade máxima de 10 metros). (Fonte: LNEC) .....	75
Figura 4.14: Relatório gerado automaticamente pelo sismógrafo, contendo o comportamento das velocidades de vibração das partículas, incluindo o seu pico.....	76
Figura 4.15: Tabela demonstrativa de alguns resultados obtidos. A partir dos valores a azul, a distância é segura para estruturas normais e a partir dos 8 ou 10 metros para as estruturas especiais .....	77
Figura 4.16: Gráfico com dados obtidos do campo. Demonstra a velocidade de vibração das partículas versus distância entre o sismógrafo e o thumper. A partir da análise destes dados foi estabelecido o factor de segurança mínima de cerca de 33% aplicado a distâncias até 9 metros .....	78
Figura 4.17: “Dog House” da empresa Seis Pros Inc .....	78
Figura 4.18: Equipamentos montados no interior da <i>Dog House</i> .....	79
Figura 4.19: Equipamento NAS montado no interior da <i>Dog House</i> que é utilizado para guardar toda a informação relacionada com a aquisição .....	79
Figura 4.20: Ligado ao cabo laranja Sercel temos um grupo de 6 geofones “plantados” em linha (geometria alternativa ao “S”) devido às condições do terreno.....	81
Figura 4.21: Geofone “plantado” no canto do passeio (ampliação da figura 4.16).....	81
Figura 4.22: FDU’s recolhidos do campo que aguardam na oficina para serem reparados pelo electricista .....	81
Figura 4.23: Unidade Laul .....	82

Figura 4.24: Unidade Laux .....	82
Figura 4.25: Unidade Trep .....	82
Figura 4.26: Os diferentes tipos de cabos utilizados na aquisição sísmica .....	83
Figura 4.27: Esquema de distribuição dos equipamentos no campo .....	84
Figura 4.28- A imagem ilustra uma parcela de um registo "dump" com três linhas (154, 155 e 156). Dados originais gravados pelo sistema Sercel, correspondentes a um "tiro" realizado na linha 555, no ponto de emissão 185 .....	85
Figura 5.1: Ortofotomapa com a sobreposição das diferenças entre as malhas preplot (pontos brancos) e os pontos emissores alterados (pontos vermelhos).....	87
Figura 5.2: Geometria final da malha. Os receptores correspondem aos pontos azuis, os emissores aos pontos vermelhos, as zonas de exclusão às áreas em branco e os pontos extra aos pontos vermelhos em "zigzag" nos limites das zonas de exclusão .....	90
Figura 5.3 - Base de dados com informação relativa às estações activas movidas.....	95
Figura 5.4: Esquema simplificado da obtenção de uma secção sísmica a partir da aquisição sísmica .....	96
Figura 5.5: Resultado de uma sub-amostragem da função <i>aliasing</i> , onda azul. Na passagem da onda analógica (original, onda vermelha) para digital (pontos azuis) verificámos a influência de uma sub amostragem e a subsequente deformação da onda original, que aparece com um conteúdo em frequência incorrecto (Kuc,1982).....	97
Figura 5.6: Correção com <i>Normal Moveout</i> (NMO) e, do lado direito, o resultado do respectivo <i>stack</i> (soma). Segundo Kuc,1982 .....	100
Figura 5.7: Secção sísmica <i>Brute stack</i> com aplicação de correcções estáticas automáticas (auto-Static) e filtros de predição (fxprediction). É possível observar a orientação e a inclinação de estruturas geológicas .....	101
Figura 5.8: Secção sísmica tridimensional (cubo sísmico) preliminar. São visíveis bons reflectores entre os 400 e 800ms .....	102
Figura 5.9: Secção horizontal vista de cima. Com vários reflectores curvos ou mesmo circulares que apresentavam alguma relevância .....	103

Figura I.1 – Ecrã do colector de dados exibindo vários parâmetros como a direcção do ponto para o qual estamos a navegar e a distância a que estamos desse ponto (H. Dist), entre outros .....	I-1
Figura I.2 - Ecrã do colector quando a distância do ponto que queremos medir é menor que 3 metros .....	I-2
Figura I.3 - Menu do TSC-1 para gravação de ponto extra .....	I-3

# CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

## 1.1 Natureza e âmbito deste trabalho

Este trabalho insere-se no projecto de estágio do 5º ano do Mestrado em Engenharia Geológica, de acordo com Modelo Bolonha.

Pretende-se com este estágio dinamizar e estreitar a cooperação entre a Universidade e o tecido empresarial, promovendo a integração e conjugação dos conhecimentos teóricos adquiridos, com as necessidades práticas das empresas de prospecção e exploração de petróleo, nomeadamente a familiarização com as técnicas de aquisição e a participação/intervenção nas várias fases de trabalho, desde a aquisição dos dados até à obtenção do processamento sísmico 3D.

Assim, foi estabelecido um primeiro contacto com a multinacional de exploração de petróleo, “*Mohave Oil and Gas Corporation*”, que à data possuía as concessões para a realização dos trabalhos de prospecção e pesquisa de petróleo numa área geográfica, que se estende de Mafra à Figueira da Foz, com cerca de 1,13 milhões de hectares *onshore* e 320 mil hectares *offshore*. Esta empresa subcontratou uma outra multinacional, a “*Seis Pros Inc. – Sucursal em Portugal*”, para a aquisição de dados de reflexão sísmica 3-D, numa área com ocupação urbana (concessões de Torres Vedras e Aljubarrota cada uma delas com cerca de 100 km<sup>2</sup>).

Foi esta última empresa a promotora do estágio, ainda que com supervisão directa da primeira.

No decurso do estágio foi possível participar no desenvolvimento das várias fases do projecto. A primeira dessas fases, o levantamento topográfico do terreno realizado pela equipa de topografia, consistiu em marcar pontos com coordenadas adequadas à posterior colocação de geofones. Em simultâneo, teve lugar a marcação de guias de orientação para as equipas que seguidamente distribuíram e espalharam os cabos e respectivos geofones (*layout crew*).

Após espalhar os cabos e implantar os geofones iniciou-se outra fase: o processo de aquisição e tratamento de dados, incluindo o seu controlo de

qualidade. Foi no âmbito do controlo de qualidade que surgiram alguns dos problemas inerentes à especificidade deste projecto, que exploraremos adiante. Por fim, foi obtida uma imagem preliminar do subsolo da concessão de Torres Vedras em 3D recorrendo à aplicação de técnicas de processamento e visualização dos dados geofísicos.

## **1.2 Objectivos**

O objectivo deste estágio foi proporcionar um acompanhamento e participação nas diversas fases da realização de uma campanha de reflexão sísmica 3D multicanal em meio urbano. Desta forma, familiarizámo-nos com técnicas de posicionamento por GPS diferencial e de aquisição de dados sísmicos incluindo o controlo de qualidade e de processamento dos dados.

## **1.3 Localização geográfica da área em estudo**

Não obstante existirem duas áreas de estudo, Torres Vedras e Aljubarrota, este trabalho debruçar-se-á sobre apenas a primeira, por ter sido esta onde se iniciaram os trabalhos de campo, ainda que na segunda tenhamos participado na aquisição de dados de uma linha de teste.

Este trabalho, como já referido, versa sobre a aquisição de dados do designado “Projecto de Torres Vedras”, uma área urbana de significativa densidade populacional, com cerca de 117km<sup>2</sup> que compreende os concelhos de Torres Vedras e Mafra. No concelho de Torres Vedras o projecto engloba as freguesias de Freiria, Ventosa, São Pedro da Cadeira, Ponte do Rol, Silveira e Santa Maria, e no de Mafra engloba as freguesias de Mafra, Ericeira, Santo Isidoro, Encarnação e Sobral da Abelheira.

Torres Vedras (Figuras 1.1 e 1.2) é sede do maior município do Distrito de Lisboa, subdividido em 20 freguesias com total de 405,89 Km<sup>2</sup> e cerca de 75.494 habitantes<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Dados da Câmara Municipal de Torres Vedras de 2004.



Figura 1.1- Aqueduto no Concelho de Torres Vedras.



Figura 1.2- Cidade de Torres Vedras.

Maфра (Figura 1.3) é um concelho do Distrito de Lisboa, com uma área de 291,42 km<sup>2</sup> e 66.453 habitantes<sup>2</sup>, subdividido em 17 freguesias. Este concelho é famoso pelos seus monumentos históricos.



Figura 1.3- Convento de Maфра.

A área em estudo é aproximadamente rectangular (Figura 1.4) cujos vértices, utilizando o sistema de coordenadas ED-50 Portugal Espanha são:

- Canto N.º 1 - Este = 464500.00; Norte = 4328000.00 (Perto de Gentias a Oeste de Barrocas e a Sul de Santa Cruz).

---

<sup>2</sup> Dados da Câmara Municipal de Maфра de 2006.

- Canto N.º 2 - Este = 473500.00; Norte = 4328000.00 (Perto de Benfica a Oeste de Ponte Rol).
- Canto N.º 3 - Este = 473500.00; Norte = 4315000.00 (Perto de Sobral de Abelheira a Sul de Monte Gordo).
- Canto N.º 4 - Este = 464500.00; Norte = 4315000.00 (Perto de Santo Isidoro).

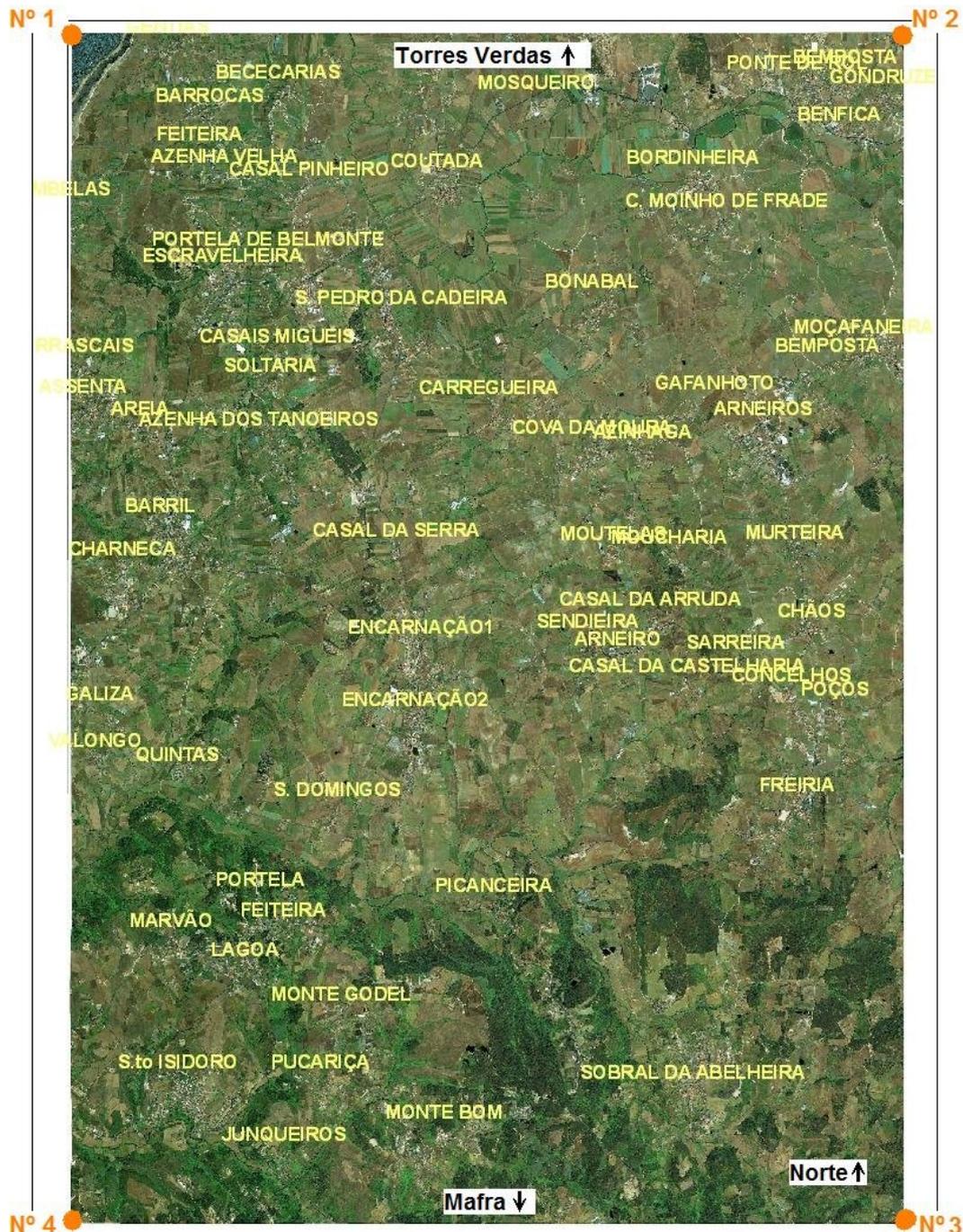


Figura 1.4- Área do Projecto Torres Vedras. No canto superior esquerdo, a azul, o Oceano Atlântico. Na terça parte inferior, a verde, uma maior densidade florestal.

A parte sul da área do projecto é caracterizada por uma vegetação densa (floresta e mato) alternada com o cultivo de vinhas, de relevo acidentado e encostas bastante quebradas, apresentando variações de cota que vão desde o nível do mar a altitudes superiores a 100m. Já a parte norte, apresenta um relevo menos acentuado sendo uma área em que os terrenos, para além das vinhas, se encontram ocupados com pomares, hortas e estufas, entre outras. Nesta, as variações de cota vão desde o nível do mar até altitudes na ordem dos 50m.

## 1.4 Trabalho realizado

O estágio realizado permitiu acompanhar as várias etapas de uma campanha deste tipo: planeamento, aquisição de dados e processamentos dos dados.

Iniciámos os trabalhos na topografia com a implementação da rede GPS, a marcação no campo dos pontos para os receptores sísmicos (geofones) e a definição no terreno do trajecto a seguir pelas equipas de campo seguintes. Simultaneamente, foi necessário orientar equipas de limpeza de mata para a abertura de acessos em zonas florestais.

Ainda dentro do planeamento, executámos com o auxílio dos *softwares* Oziexplorer, ArcGis e Omni as tarefas de produção de mapas topográficos que serviram de apoio às equipas de campo, Mapas de cobertura múltipla (*Fold*), e na criação de um modelo digital 3D de elevação do terreno, com o intuito de apoiar as imagens de satélite, as quais não possibilitam a percepção do declive do terreno.

De seguida, e no âmbito do controlo de qualidade, analisámos os dados adquiridos no campo e verificámos os relatórios do observador, nomeadamente o controlo dos dados de campo provenientes do sistema de aquisição (Sercel) e a verificação da geometria dos traços. Desta forma, foram identificados erros e problemas que motivaram ajustamentos e alterações ao planeamento inicial, por forma a garantir uma boa geometria de aquisição e cobertura.

Realizámos ainda monitorizações à propagação de vibrações sísmicas emitidas pelos *thumpers* a fim de garantir a segurança das estruturas envolventes

aos trabalhos realizados (casas, monumentos, estradas, etc). Estas monitorizações evitaram que a empresa fosse responsabilizada por danos que não fossem consequência desses trabalhos.

Por fim, com os dados obtidos e utilizando o *software* Vista, efectuámos um processamento preliminar de reflexão sísmica multicanal 3D, construindo um cubo sísmico do subsolo.

## 1.5 Estrutura da dissertação

O primeiro capítulo é uma introdução à dissertação e sintetiza tudo o que vai ser apresentado ao longo deste trabalho, a natureza e âmbito do trabalho, os seus objectivos, a localização da área de estudo, o trabalho realizado e a estrutura da tese.

O segundo capítulo retrata a génese, a litoestratigrafia, o diapirismo e os limites da Bacia Lusitânica. Também são mencionados os sistemas petrolíferos presentes na área em estudo, que incluem estruturas salíferas e recifes, fazendo assim um enquadramento geológico.

No terceiro capítulo descrevem-se os trabalhos preparatórios da campanha sísmica 3D, com uma breve descrição dos métodos de reconhecimento prévios da área geográfica e dos recursos materiais e humanos necessários a realização do projecto. Posteriormente, e com mais detalhe, são descritos os trabalhos de obtenção de permissões. No que diz respeito à topografia, são descritas as metodologias do sistema de posicionamento global, que incluem a elaboração da rede GPS, o funcionamento do GPS diferencial em modo “RTK” (*real-Time-Kinematic*), o levantamento topográfico na área de estudo e as confrontações com obstáculos e sua resolução. São ainda apresentados todos os equipamentos utilizados. Por fim, faz-se uma breve abordagem ao sistema de posicionamento “EGNOS” utilizado para as coordenadas das fontes sísmicas em tempo real.

No capítulo quarto faz-se a descrição da execução da aquisição sísmica propriamente dita, com todos os equipamentos e procedimentos necessários para o trabalho de campo. Começamos por referir o centro das operações, o denominado “*staging*”, seguido da descrição do funcionamento e disposição no

campo dos geofones, a actuação e *performance* dos “*thumpers*”, a utilização do sismógrafo para monitorizar as vibrações provocadas pelos “*thumpers*”, a caracterização e funcionamento da unidade móvel de observação de dados e, por fim, a explicação do funcionamento do sistema Sercel no tratamento e processamento de dados e o modo como compila e integra a informação gerada por cada um dos outros componentes.

O capítulo cinco descreve os trabalhos de gabinete: o controlo de qualidade e o processamento. Neste âmbito foram utilizados diversos *softwares* para monitorizar todos os dados adquiridos, tanto da topografia como do observador de campo. Neste capítulo exploraremos as soluções preconizadas para ultrapassar os problemas identificados nos dados de campo que impuseram a necessidade de alterar e ajustar a geometria por forma a manter a cumprimento dos requisitos exigidos. Evidenciaremos também as diferenças entre o “*preplot*” e a geometria final, o processamento preliminar, desafios a ultrapassar e a qualidade e fiabilidade do produto final entregue ao cliente.

O último capítulo sintetiza toda a aprendizagem e conhecimentos adquiridos no decorrer deste estágio e deixa algumas notas sobre a importância do planeamento e as inevitáveis mudanças e alterações ao “*preplot*”.

# CAPÍTULO 2: ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO DA ÁREA EM ESTUDO

## 2.1 Origem e evolução da Bacia Lusitânica

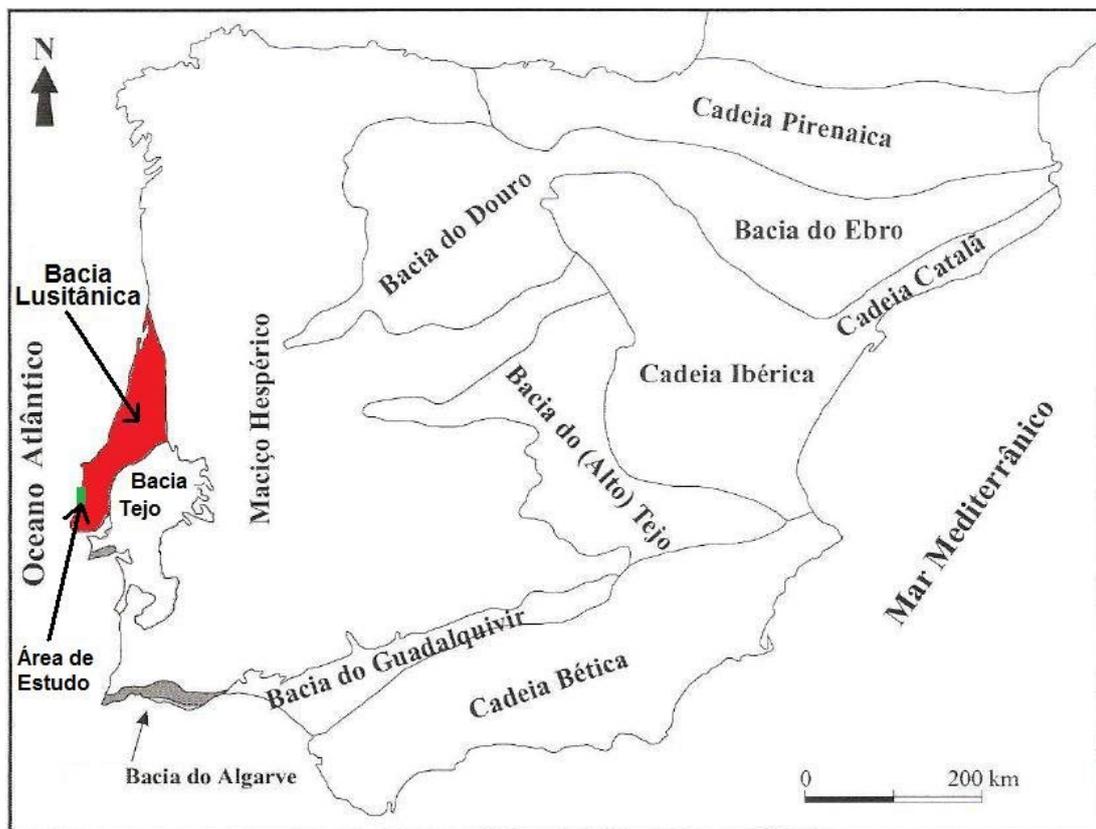


Figura 2.1- Principais unidades morfoestruturais da Península Ibérica. A vermelho temos a secção “onshore” da Bacia Lusitânica e a verde a área de estudo (projecto de Torres Vedras). Adaptado de Kullberg (2000).

Com o soco hercínico (Figura 2.1) a aflorar na Península Ibérica, no denominado Maciço Ibérico<sup>1</sup> e as consequentes falhas tardi-hercínicas que provocaram extensas fossas tectónicas no bordo ocidental do Maciço Ibérico,

<sup>1</sup> O Maciço Ibérico é constituído por rochas do Proterozóico ao Carbónico, deformadas e metamorizadas durante a orogenia varisca.

onde se acumularam espessas seqüências de sedimentos, formou-se a Orla Meso-Cenozóica Ocidental. A reactivação dessas falhas desencadeou a fragmentação do super-continente Pangeia (formado no final da Era Paleozóica) e a consequente abertura de dois oceanos: o Atlântico Norte (que separa as placas Norte-americana e Euro-Asiática) e o paleo-oceano Thetys (que separou as placas Euro-Asiática e Africana), tendo sido originada a formação de várias bacias, entre as quais a Bacia Lusitânica (orla Ocidental) (Figura 2.1).

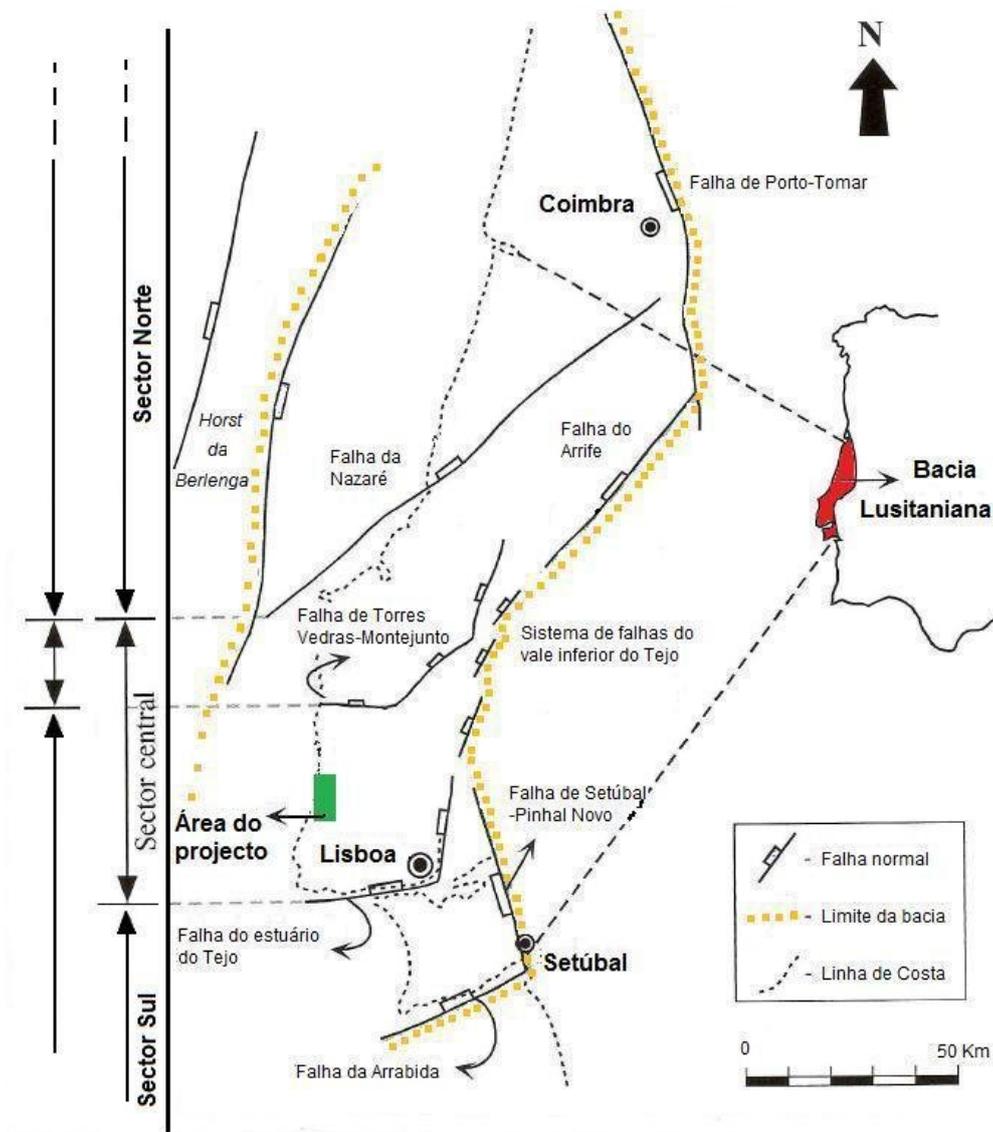


Figura 2.2 - Localização dos limites da Bacia Lusitânica e área do projecto. Segundo Kullberg (2000).

A Bacia Lusitânica encontra-se instalada a oeste do Maciço Hespérico sendo limitada a Este por um complexo sistema de falhas (Porto – Tomar; Arrife – Vale inferior do Tejo; Setúbal – Pinhal Novo); a Sul por um ramo da falha Porto-Tomar que se prolonga até ao canhão de Setúbal (ou falha da Arrábida) e a Oeste por um conjunto de blocos do soco elevados (“*horsts*”)<sup>2</sup> (Figura 2.2). Esta bacia é constituída por uma depressão alongada segundo a direcção NNW-SSE, com um comprimento na ordem dos 300 km e uma largura de cerca de 150 km (área “*onshore*” e “*offshore*” na ordem de 22.000 km<sup>2</sup>) e foi preenchida por sedimentos com uma espessura máxima de cerca de 5 km, no período compreendido entre o Triássico superior e o Cretácico (Ribeiro et al., 1979; Wilson, 1988; Wilson et al., 1989, Azerêdo et al., 2002).

### 2.1.1 Litoestratigrafia

A partir do Triássico superior, e no contexto da primeira fase de abertura do Atlântico Norte (1.<sup>a</sup> etapa de “*rifting*”, Wilson et al., 1989; Soares et al., 1993; Soares & Duarte, 1995, 1997) que se prolongou até ao Sinemuriano, toda a sedimentação na Bacia Lusitânica foi condicionada pelo surgimento de um sistema de “*grabens*” e “*half-grabens*” controlados por falhas lítricas, que provocaram variações laterais nas condições de sedimentação. Os depósitos são essencialmente compostos por sedimentos terrígenos siliciclásticos vermelhos, fluviais e margino-litorais (conglomerados e arenitos intercalados com argilo-dolomíticas) designados “Formação Grés de Silves” (Azerêdo, 1993). Esta formação interliga-se com depósitos margosos (margas, anidrite, dolomias) e evaporítos conhecidos por “Formação Dagorda” (Triássico-Hetangiano) (Figura 2.3).

Ainda no Jurássico inferior, a distribuição de fácies teve lugar em ambiente de plataforma carbonatada (Bernardes, 1992). A partir do Sinemuriano, a

---

<sup>2</sup> A parte emersa deste sistema de “*horsts*” está representada actualmente pelo arquipélago das Berlengas, interpretado como sendo uma parcela da massa continental que se separou da Península Ibérica durante a abertura do Atlântico.

progressiva imersão da bacia deu origem a uma série tendencialmente transgressiva (Azerêdo, 1993). A sucessão de dolomites, calcários dolomíticos e calcários depositados em pequena profundidade (“Formação de Coimbra”) passam gradualmente ao “Grupo da Brenha”, constituída essencialmente por argilas, margas e calcários com amonites, que se depositaram em águas superficiais e profundas atingindo uma espessura de cerca de 1 km (Figura 2.3).

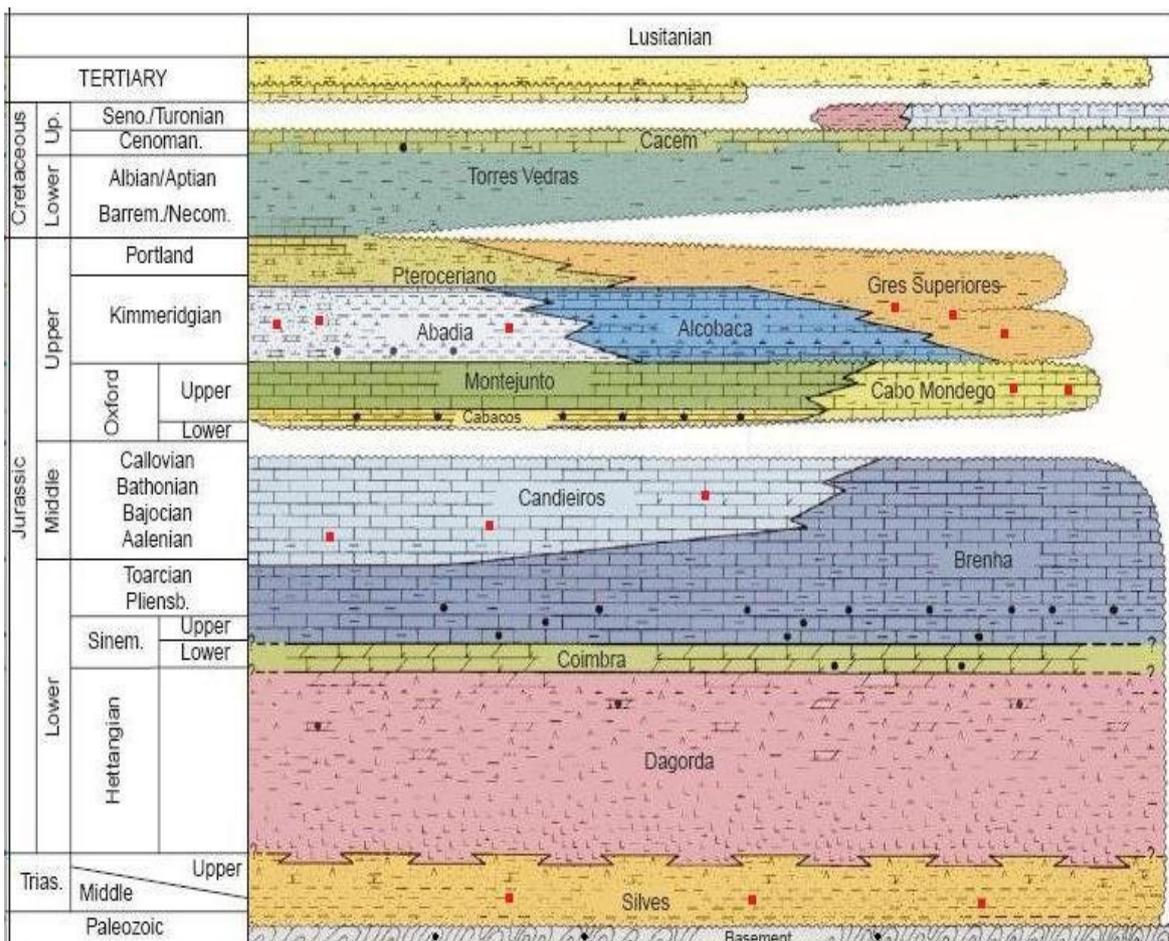


Figura 2.3 - Síntese da estratigrafia da Bacia Lusitânica. Os pontos pretos correspondem às rochas geradoras de petróleo e os pontos vermelhos às rochas reservatório (GPEP, 1986, in Rasmussen et al., 1998).

Na passagem do Jurássico inferior para o Jurássico médio (Toaciano/Aaleniano) a bacia, em geral, continua com uma sedimentação constituída por margas carbonatadas, com excepção da sua margem ocidental onde se depositou uma série turbidítica (Azerêdo, 1993). Estes materiais,

provenientes do bordo oeste da bacia, indicam que o sistema de “*horsts*” esteve activo pelo menos durante o Jurássico inferior (Bernardes, 1992).

Entre o Aaleniano e Bajociano iniciou-se uma inversão na tendência deposicional até então verificada (Azerêdo, 1993). Com a retracção da “fácies Brenha”, para a zona ocidental da bacia, começa a deposição de calcários de pequena profundidade, predominando os calcários micríticos com microfauna laguno-marinha, e calcários oolíticos e bioclásticos (“Formação de Candeeiros”) (Figura 2.3). Esta formação atinge mais de 800 metros de espessura durante o Batoniano e termina numa descontinuidade ligeiramente angular, resultante de uma importante lacuna estratigráfica à escala regional (do Caloviano ao início do Oxfordiano, visível na Figura 2.4). Esta lacuna sugere um deslocamento da linha de costa em consequência de uma descida significativa do nível do mar (Bernardes, 1992).



Figura 2.4 - A imagem ilustra o topo da descontinuidade Caloviano-Oxfordiano (superfície acastanhada). À direita na imagem, abaixo da superfície acastanhada é visível o Jurássico Médio e à esquerda da imagem, acima da mesma superfície é visível o Jurássico Superior. Imagem gentilmente cedida pelo Dr. Rui Vieira.

Já no Oxfordiano médio, o tipo de sedimentos indica um ambiente lacustre marinho com sequências carbonatadas intercaladas com anidrite (“Formação de Cabaços”) e posteriormente com argilitos (Formação de Montejunto) (Figura 2.3).

Associada a uma nova fase de *rifting* no Kimmeridgiano inferior, encontramos sedimentos terrígenos. Segundo Wilson (1979) e Azerêdo (1993), ainda no Kimmeridgiano depositaram-se sequências carbonatadas e mesmo recifais simultaneamente à diferenciação da bacia em várias sub-bacias. Este agregado de sedimentos compostos de siltitos e margas foram depositados em ambiente de baixa energia e é reconhecido como pertencendo à “Formação da Abadia” e à “Formação de Alcobaça” (Figura 2.3). No final do Jurássico tínhamos, então, fácies siliciclásticas fluviais interligadas com formações margo-carbonatadas marinhas.

No Cretácico inferior depositou-se a “Formação de Torres Vedras”, que é constituída essencialmente por arenitos e calcários (Figura 2.3) depositados em ambiente fluvial (Kullberg 2000).

Por fim, no Cretácico superior, as fácies calcárias voltam a ter destaque, ao predominarem e atingirem o máximo de transgressão marinha no Cenomaniano. Seguidamente, no Turoniano, a maior parte da bacia é novamente ocupada por fácies terrigenas, embora, a norte da Nazaré, possamos encontrar fácies marinhas (Azerêdo, 1993).

Ainda no Cenozóico podemos encontrar, na Bacia Lusitânica, uma pequena espessura de sedimentos, que embora com escassa representação é constituída por intercalações de areias, siltitos, argilas e por vezes calcários (Antunes & Pais, 1992), com a ocorrência de leques aluviais no Paleogénico, a deposição de sedimentos continentais com a influência de águas marinhas ou lagunares e, ainda, em ambiente marinho e fluvial de elevada energia, a deposição de arenitos grosseiros e conglomerados ocorridos no Miocénico (Antunes & Pais, 1992).

### **2.1.2 As diferentes fases de *rifting* na Bacia.**

Existe uma íntima relação entre a evolução da Bacia Lusitânica, durante o Mesozóico, e as quatro fases de *rifting* associadas à abertura do Atlântico Norte (Kulberg et al., 2006).

Na 1ª etapa de abertura do Atlântico Norte, compreendida entre o Triássico e o Sinemuriano, teve lugar um episódio de distensão com uma direcção NNE-SSW, que provocou a reactivação de falhas tardi-hercínicas e levou à individualização de várias depressões a Oeste do Maciço Ibérico, nomeadamente as Bacias do Porto, Lusitânica, do Alentejo e a do Algarve. São vários os factores que influenciaram a deposição nestas bacias, entre eles, os vários episódios de invasões marinhas, extensas acumulações de sedimentos terrígenos (devido à erosão dos maciços envolventes) e a formação de depósitos evaporíticos (em consequência do clima árido a semi-árido) (Kulberg et al., 2006).

O aumento da influência das invasões marinhas periódicas (Hetangiano) acentua o carácter evaporítico da “Formação da Dagorda”, simultaneamente à subsidência e ao alargamento da bacia. Com a formação de uma rampa carbonatada essencialmente dolomítica (“Formação de Coimbra”) a tendência transgressiva manteve-se durante o Sinemuriano.

A 2ª etapa de “*rifting*,” ocorreu entre o Sinemuriano e o Oxfordiano, tendo-se verificado uma transformação tanto da geometria como da dinâmica da bacia, passando a estruturar-se em “half-grabens”, com basculamento para Oeste, onde o “*horst*” das Berlengas se comporta como limite activo. A orientação da distensão sofreu uma rotação de cerca de 30° (sentido horário) adoptando uma direcção Este-Oeste. A movimentação das falhas com orientação ENE-WSW a E-W provocou o afundamento da bacia, sendo notórias as variações de fácies e de espessuras.

Com a formação de uma rampa carbonatada, suavemente inclinada para Oeste, a configuração da bacia foi-se modificando e tornando mais assimétrica, acentuando-se as condições marinhas no flanco Oeste. Esta estruturação controlou a deposição do “Grupo da Brenha”. Tal deslocamento da zona axial para Oeste foi responsável pela deposição de calcários e margas ricas em amonites, indicando um ambiente sedimentar profundo.

Do Toarciano ao Aaleniano acentuou-se a tendência regressiva, dando origem à deposição de fácies de pequena e média profundidade, sendo de

salientar a composição siliciclástica dos depósitos. Associadas a uma certa instabilidade tectónica, estas fácies evoluíram para rampa de alta energia, com o desenvolvimento de ambientes progradantes para W e NW. Estas movimentações de massas e geometria progradante para W denotam subsidência nas áreas mais centrais da bacia, que não foi completamente preenchida por sedimentos (Kullberg et al., 2006).

A passagem do Jurássico médio ao superior é caracterizada por uma importante lacuna sedimentar em algumas zonas de discordância angular. Embora o reconhecimento generalizado desta importante descontinuidade, para alguns autores, esteja associado a uma inversão tectónica precoce semelhante ao registado na Bacia do Algarve, para outros, está associado ao final da segunda fase de “*rifting*” ou ao início da terceira fase.

Em relação à 3ª etapa, verificou-se uma forte aceleração da distensão (que mantém a direcção E-W) e subsequente activação tanto de novas falhas, como das já existentes. A bacia voltou de novo a uma estrutura de “Graben” Central com “half-grabens” periféricos<sup>3</sup> (Kullberg et al., 2006).

Uma das grandes transformações a realçar foi a fragmentação da bacia em sub-bacias, mais evidente no sector central (Wilson *et al.*, 1989; Pinheiro *et al.*, 1996; Leinfelder & Wilson, 1998) (Figura 2.5). Devido a esta instabilidade tectónica, o transporte de material siliciclástico (proveniente de E e W) deu origem a relevantes sistemas de leques deltaicos submarinos.

Com um ambiente de águas relativamente profundas, verificou-se a facilidade de circulação de amonites (muitos fósseis nas unidades terrígenas do Kimeridgiano). A bacia continuou a apresentar, no seu depocentro, uma elevada taxa de subsidência.

---

<sup>3</sup> As falhas que deram origem a esta geometria constituem os actuais limites tectónicos da Bacia Lusitânica.

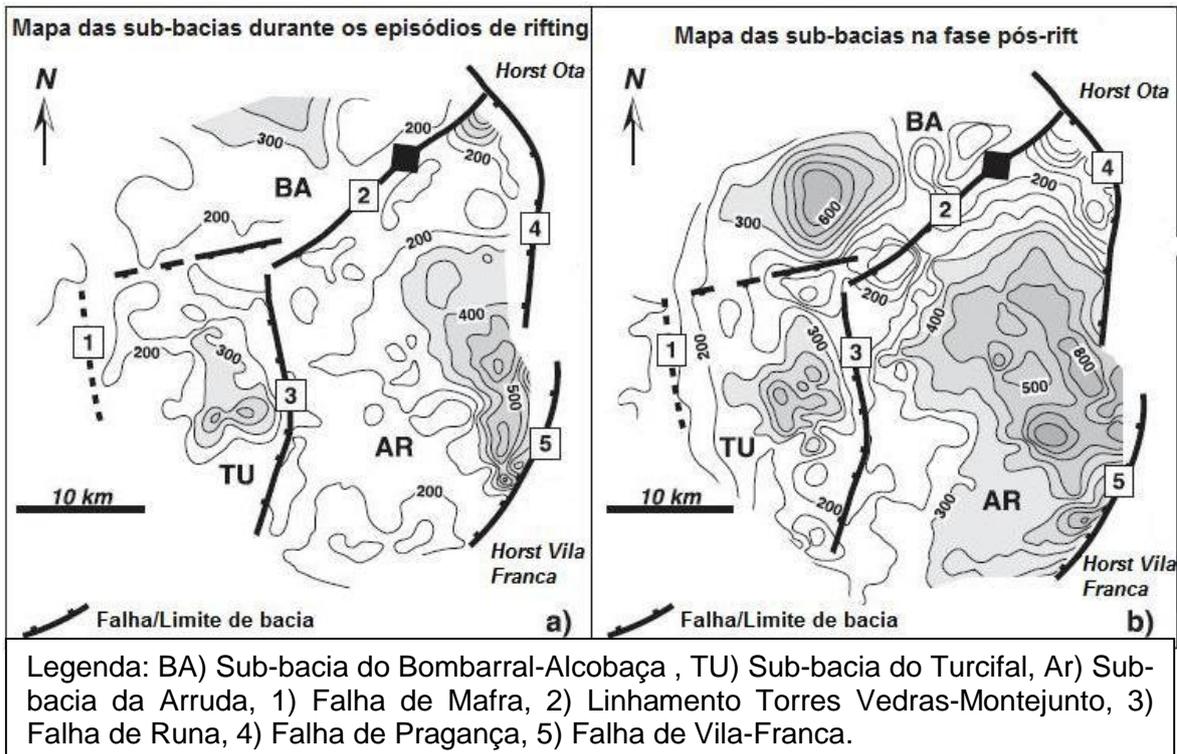


Figura 2.5 – Mapa da Bacia Lusitânica central e evolução das sub-bacias com linhas isócronas (valores de tempo de ida e volta em milímetros por segundo TWTT). a) Sub-bacias e os respectivos depocentros no Mesozóico superior. b) Expansão dos depocentros após as fases de rifting. Segundo Alves et al. (2003).

A 4ª etapa de *rifting* iniciou-se no Cretácico inferior, com uma profunda alteração na bacia<sup>4</sup>. O registo sedimentar comprova uma lacuna estratigráfica, que se estende por toda a Bacia Lusitânica, tirando a zona de Cascais e Sintra, onde continua a ocorrer sedimentação carbonatada marinha. O preenchimento da bacia é feito em geral com depósitos siliciclásticos provenientes do Maciço Ibérico e do *horst* das Berlengas, em regime aluvial a fluvial.

Ainda de realçar, nesta fase de *rifting*, importantes movimentações magmáticas de natureza alcalina, que parecem ter desencadeado o diapirismo<sup>5</sup>.

Para concluir, vamos descrever a evolução pós-rift da bacia. Com a continuação da evolução da Bacia Lusitânica é possível ainda dividir o

<sup>4</sup> Kulberg, entre outros autores, sugere que esta nova fase de *rifting* poderá ter sido precedida por uma inversão tectónica, como acontece na bacia do Algarve.

<sup>5</sup> O primeiro episódio de actividade diapírica é interrompido no Aptiano Inferior, com novas reactivações mais tardias principalmente nos bordos da bacia.

preenchimento da bacia em duas etapas: do Cenomaniano ao Turoniano e do Campaniano ao Maastrichtiano (Callapez, 1999; 2006).

No pós-Aptiano verifica-se na região da Estremadura e Beira Litoral o aparecimento gradual de uma plataforma carbonatada favorável à expansão de biótopos recifais com corais. Os níveis carbonatados do Cenomaniano inferior passaram gradualmente das regiões de Lisboa para W e E, em que os corpos detríticos grosseiros corresponderam à “Formação da Figueira da Foz”. Já, no Cenomaniano superior, ocorreu a uniformização de fácies mais ricas em carbonatos, destacando uma superfície transgressiva, que atingiu o seu apogeu transgressivo no Cenomaniano superior. Posteriormente, a plataforma foi bastante abalada por movimentos compressivos, que provocaram alterações em algumas zonas da bacia. Entre o Cenomaniano e o Turoniano verificou-se uma descontinuidade com paleo-carsificações.

No que diz respeito ao preenchimento do Campaniano ao Maastrichtiano temos, em particular nas regiões do Baixo Mondego e Aveiro, uma sedimentação essencialmente constituída por lutitos com sucessões de argilitos avermelhados intercalados com níveis arenosos grosseiros. Esta sedimentação sugere que tenha ocorrido o aparecimento de um sistema aluvial meandriforme. Este meio sofreu, posteriormente, uma transição gradual para um ambiente de carácter lagunar ou litoral (Callapez, 1999; 2006).

No final do Cretácico Superior ocorreu a inversão tectónica da bacia, que atingiu o seu clímax durante o Cenozóico (Miocénico superior), que foi acompanhada por actividades magmáticas alcalinas.

### **2.1.3 Os principais diapiros presentes na Bacia**

O diapirismo na Bacia Lusitânica tem suscitado alguma controvérsia entre autores, nomeadamente no que diz respeito ao estilo tectónico condicionador da geometria do substrato onde se depositaram as unidades do Jurássico Superior (em particular a Formação Abadia), aos mecanismos responsáveis pela movimentação do nível evaporítico (da Formação das Margas da Dagorda, as quais parecem estar interligadas à actividade magmática que se verificou na bacia

durante o Cretácico<sup>6</sup>) e aos períodos em que ocorreu diapirismo na margem ocidental Ibérica (Kullberg, 2000).

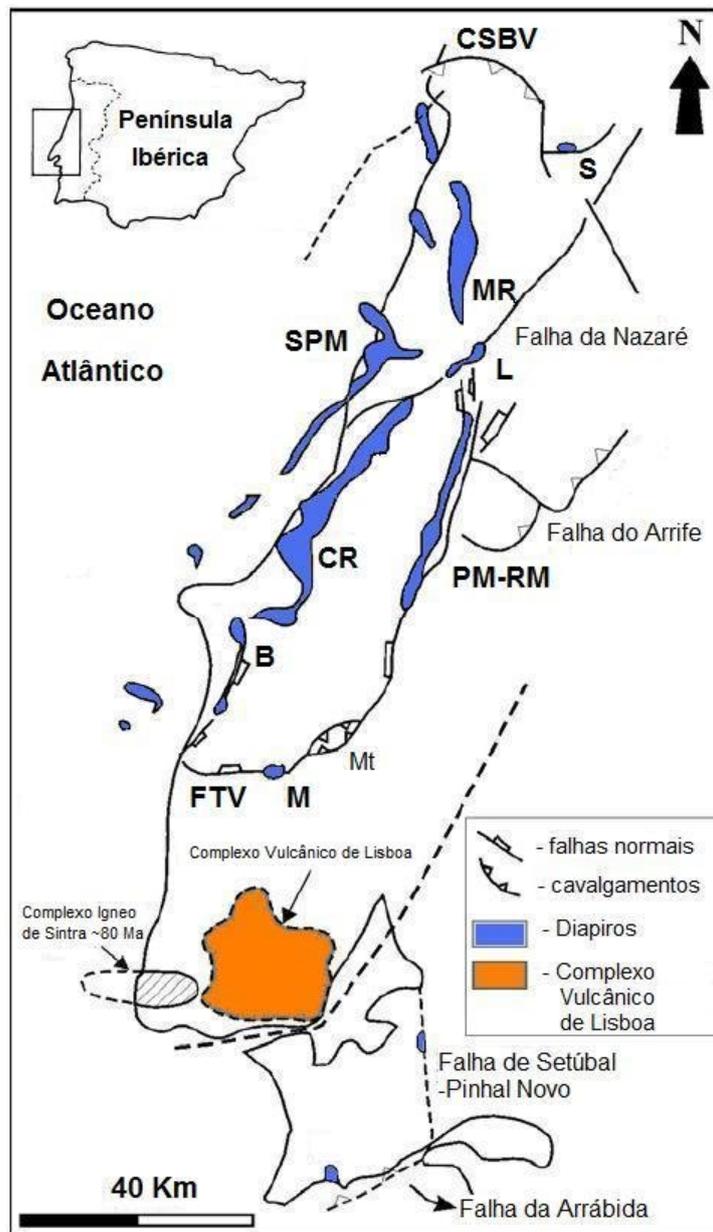


Figura 2.6 - Localização de diapiros e outras estruturas na área geográfica da Bacia. Legenda: B - Bolhos; CR - Caldas da Rainha; L - Leiria; M - Matacães; MR - Monte Real; PM-RM - Porto de Mós-Rio Maior; PN - Pinhal Novo; S - Soure; SC - Santa Cruz; SPM - S. Pedro de Muel; V - Vimeiro; CSBV - cavalgamento de Serra da Boa Viagem; FN - falha de Nazaré; FSPN - falha de Setúbal-Pinhal Novo; FTV - falha de Torres Vedras; Mt - *pop-up* de Montejunto. (Adaptado de Ribeiro et al., 1996).

<sup>6</sup> Provavelmente estas movimentações halocinéticas deram origem à formação de armadilhas na bacia.

De modo resumido, os principais diapiros de sal na Bacia Lusitânica estão localizados em falhas com orientações predominantes de NNE-SSW a N-S, embora se possam encontrar mais raramente com direcções NNW-SSE (Figura 2.6). Estes diapiros têm origem na Formação de Margas da Dagorda (constituídas essencialmente por calcários argilosos dolomitizados, margas, dolomias, halite, gesso e anidrite).

Os diapiros mais importantes estão situados na zona central e norte da bacia, sendo o de maior dimensão o diapiro de Caldas da Rainha.

Com um dos primeiros trabalhos realizados na área da modelação analógica, Zbyszewski (1959) determinou uma correspondência entre as estruturas diapíricas (em concreto o diapiro de Caldas da Rainha) e a actividade das falhas. As transformações ocorridas na geometria da bacia durante o Jurássico, evidenciadas pelo aumento da complexidade e da diversidade de unidades litoestratigráficas, foram factores que levaram alguns autores (Guéry, 1984; Montenat *et al.*, 1988; Wilson, 1988) a considerar a movimentação de sal como um importante factor de estruturação do estilo tectónico para a sub-bacia de Bombarral. A ausência de estruturas salinas nas sub-bacias de Turcifal e de Arruda deve-se à relativa escassez de sal e à pequena espessura da Formação de Dagorda (Leinfelder & Wilson, 1998; Alves *et al.*, 2003a).

## 2.2 Sistemas petrolíferos

A palavra "petróleo" usa-se, em geologia, para designar qualquer mistura natural constituída principalmente por hidrocarbonetos, quer se apresente no estado sólido, líquido ou gasoso à temperatura e pressão ambientes.

Os hidrocarbonetos podem, eles próprios, apresentar-se nos três estados, conforme a complexidade (e peso) das suas moléculas, que depende principalmente do número de átomos de carbono que contêm<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Podemos ter, hidrocarbonetos parafínicos ( $C_nH_{2n+2}$ , saturados), hidrocarbonetos nafténicos ( $C_nH_{2n}$ , saturados), e hidrocarbonetos aromáticos ( $C_nH_{2n-6}$ , não-saturados).

A viscosidade dos petróleos à temperatura ambiente depende da composição em hidrocarbonetos e está, de maneira geral, relacionada com a densidade: quanto maior for a percentagem de hidrocarbonetos de peso molecular elevado, maiores são a densidade e a viscosidade.

Em sentido mais restrito, reflectindo já um certo sentido comercial, o termo mais utilizado para referir hidrocarbonetos que ocorrem exclusivamente no estado líquido é petróleo bruto ou *crude oil*. Os hidrocarbonetos que ocorrem sob a forma de gás constituem o gás natural e os que se apresentam no estado sólido são conhecidos por betumes e asfaltos.

Antes de poder pesquisar e explorar o petróleo numa dada região é necessário identificar e conhecer os sistemas petrolíferos. Um sistema petrolífero é composto por rochas mãe, rochas reservatório e rochas selantes. Para além de terem de existir estas rochas é necessário que elas evoluam no espaço e tempo geológico, de modo a gerarem e acumularem hidrocarbonetos.

O petróleo é gerado nas bacias sedimentares a partir de matéria orgânica acumulada, juntamente com sedimentos inorgânicos, em ambientes deficientes em oxigénio. Esta acumulação verifica-se em geral, no fundo de lagos, lagunas ou mares com pouca circulação da massa líquida junto ao fundo. A matéria orgânica, embora preservada da oxidação, sofre modificações resultantes de reacções químicas inorgânicas e do ataque por bactérias, de que resulta a geração de gás (gás biogénico, gás dos pântanos) e a transformação da restante matéria orgânica em querogénio, um material rico em hidrocarbonetos sólidos muito pesados. As rochas ricas em querogénio, em geral rochas clásticas finas (xistos betuminosos) ou carbonatos (calcários e margas betuminosas), designam-se por rochas-mãe ou rochas geradoras, porque é nelas que se fará a geração do petróleo<sup>8</sup>.

Com a continuação da subsidência da bacia sedimentar, em que se deu a acumulação da matéria orgânica, esta é, gradualmente, submetida a temperaturas mais elevadas e o querogénio transforma-se, por decomposição das

---

<sup>8</sup> Uma rocha-mãe deve ter mais de 0,5 a 1% de carbono orgânico total sob a forma de querogénio podendo, no caso das rochas mãe mais ricas, conter mais de 10%.

suas pesadas e complexas moléculas, em hidrocarbonetos mais simples, o petróleo (Figura 2.7). A transformação começa por volta dos 50-60°C (1200 a 1500 m de profundidade, para um gradiente geotérmico normal de 3°C/100 m), dependendo do tipo de querogénio. Até cerca de 120-150°C (3500 a 4500 m) são, sobretudo, gerados hidrocarbonetos líquidos e algum gás. Acima dessa temperatura verifica-se, essencialmente, a geração de gás. Não é só a temperatura que influencia os volumes e natureza dos hidrocarbonetos gerados mas, também o tempo desempenha um papel importante (IGM, 1999).

A natureza do querogénio tem uma importância fundamental. É costume distinguir 3 tipos de querogénio sendo o tipo I (lípido), normalmente atribuído a algas e bactérias, mais rico em H, particularmente prolífico em óleo e o tipo III (húmico), resultante principalmente da acumulação de restos de vegetais superiores, especialmente gerador de gás. O tipo II (misto) é um tipo intermédio que tanto pode gerar óleo como gás. A transformação do querogénio em petróleo é acompanhada de um aumento de volume, que tende a expulsar os hidrocarbonetos recém criados da rocha geradora cujos poros estão saturados. Parece ser este o mecanismo principal da expulsão ou migração primária do petróleo, início duma longa jornada que, eventualmente, o levará a uma acumulação de onde poderá ser extraído.

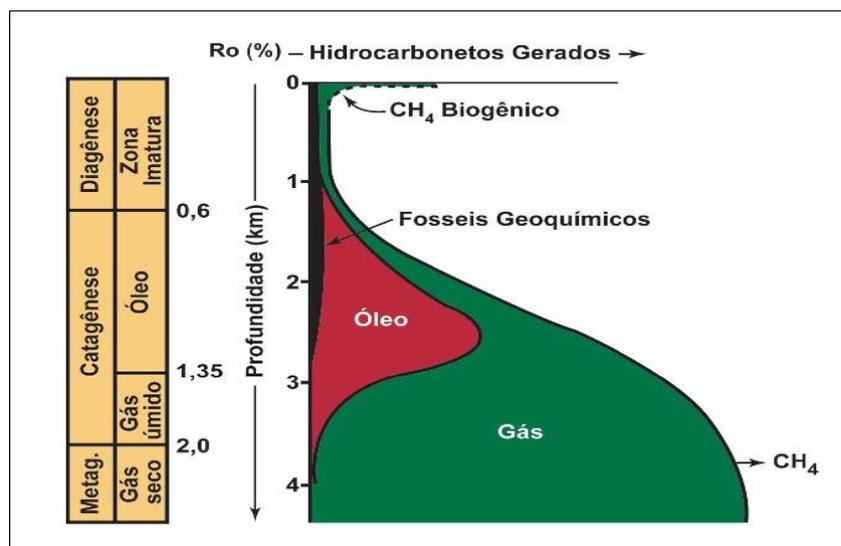


Figura 2.7 – Diagrama esquemático mostrando as abundâncias relativas dos hidrocarbonetos líquidos e gasosos em função da evolução térmica do querogénio. Segundo Tissot e Welte, 1978.

Os principais tipos de rocha que fornecem bons reservatórios são os arenitos e os calcários depositados em ambientes de alta energia (mares pouco profundos) ou de construção biogénica (recifais). A fracturação induzida pela deformação tectónica pode conferir também alguma porosidade e elevada permeabilidade às rochas afectadas dando, nalguns casos, origem a reservatórios. Certos tipos de alteração e erosão, como a carsificação de calcários, podem, igualmente, originar bons reservatórios (IGM, 1999).

Designam-se, na geologia do petróleo, por rochas selantes, as rochas de muito baixa permeabilidade que podem constituir barreiras à migração do petróleo. Estão neste caso todas as rochas argilosas e margosas e, também os evaporitos. Quando, na sua migração em direcção à superfície, o petróleo se depara com uma barreira de permeabilidade (rocha selante), desvia-se e procura outro caminho para continuar a sua ascensão; se não o encontra, fica retido dando origem a uma acumulação. A estas disposições particulares das formações geológicas, que constituem barreiras intransponíveis à migração, dando origem a acumulações de petróleo, dá-se o nome de armadilhas ou retenções.

Muitas das armadilhas resultam da deformação tectónica das camadas rochosas e designam-se por estruturais. Uma das mais simples e comuns é a armadilha anticlinal, na qual uma rocha armazém e uma rocha selante que a cobre, estão dobradas em anticlinal. As falhas podem, nalguns casos, proporcionar condições de retenção, quer porque o seu enchimento é suficientemente espesso e impermeável para constituir uma barreira efectiva à migração, quer porque justapõem o reservatório contra uma rocha impermeável do outro lado da falha.

Outras armadilhas comuns designam-se por estratigráficas, por resultarem essencialmente de variações de fácies sedimentares dentro de uma mesma unidade estratigráfica. Os corpos arenosos lenticulares, dentro de uma unidade estratigráfica de fácies fluvial, englobados em limos e argilas impermeáveis, podem proporcionar condições de retenção.

Os recifes calcários, em geral muito porosos e permeáveis, desenvolvem-se frequentemente em locais bem definidos (meios marinhos pouco profundos) enquanto, simultaneamente, em seu redor se depositam sedimentos finos que

darão origem a rochas impermeáveis. Este dispositivo estratigráfico constitui uma armadilha, visto que qualquer petróleo que migre para o recife ficará impossibilitado de sair (IGM, 1999) (Figura 2.8).

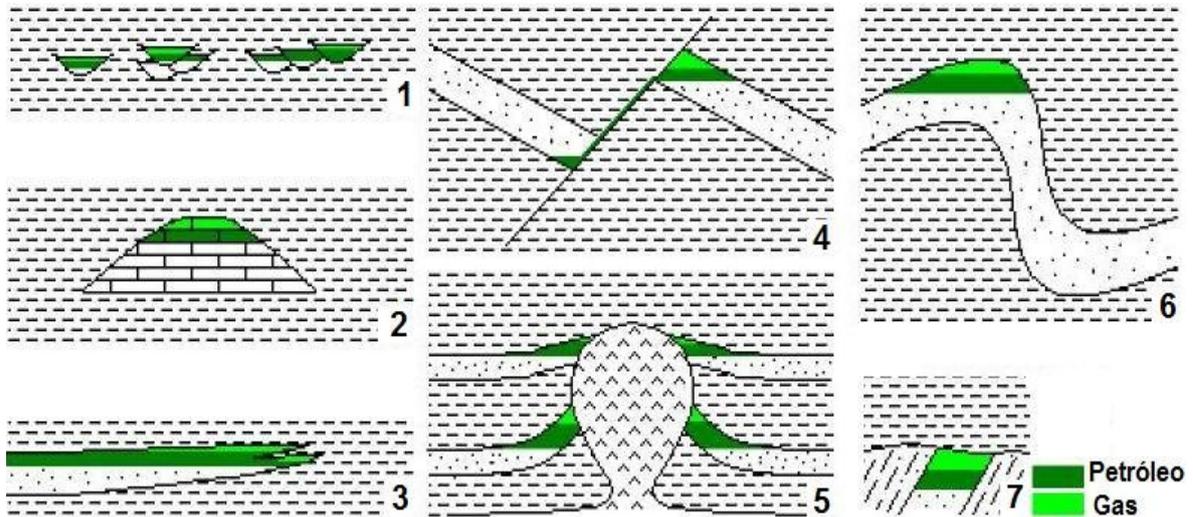


Figura 2.8 – Diferentes tipos de armadilhas (1-canais; 2-recifes; 3-discontinuidades; 4-falha normal; 5- Diapiro de sal; 6-anticlinal; 7- incoformidade).

Todos os componentes necessários para que possam existir acumulações comercializáveis de petróleo são encontrados na Bacia Lusitânica (Figura 2.3): boas rochas-mãe que atingiram a fase de maturação, bons reservatórios adequadamente cobertos por rochas selantes e abundância de estruturas que fornecem boas armadilhas. Somente, não foi ainda possível encontrar todos os componentes na combinação temporal certa, a despeito das numerosas tentativas ainda que só em terra e na margem pouco profunda. Mesmo assim, a possibilidade de ainda vir a ser encontrada uma acumulação comercializável não está posta de parte em particular nas zonas mais profundas da margem.

## 2.2.1 Sistemas petrolíferos na Bacia Lusitânica

Com base nos diversos estudos e sondagens realizados na Bacia Lusitânica, é reforçada a ideia da existência de dois sistemas petrolíferos principais, os quais se distinguem, fundamentalmente, com base na rocha mãe e

são denominados por “Sistema Petrolífero Paleo-Mesozóico” e “Sistema Petrolífero Meso-Cenozóico”.

No Sistema Petrolífero Paleo-Mesozóico temos como potencial gerador de petróleo (rocha mãe) os argilitos negros do Silúrico. Segundo a DGEG (Direcção Geral de Energia e Geologia), foram efectuadas análises químicas, através de amostras recolhidas desta rocha, em que os resultados demonstraram, em termos gerais, valores TOC (Total Organic Carbon) entre 0,5% e 1,5%, podendo uma ou outra amostra atingir os 4%. Relativamente aos valores de reflectância média da vitrinite obtiveram-se valores aproximados de 0,7%. Estes resultados são promissores para a geração de petróleo, pois situam-se dentro da janela de óleo. Da mesma forma foram analisados sedimentos marinhos do Carbónico que apresentaram valores de TOC à volta de 0,5%; apesar de a maioria destas amostras ser sobre-matura, foi possível obter em algumas amostras valores de reflectância média de vitrinite entre 1,5% e 2,5%, o que as coloca na janela de gás (DGEG, 2008).

Este sistema petrolífero tem sido objecto de pesquisa por parte da *Mohave Oil and Gas Corporation* através das sondagens realizadas em Aljubarrota. O poço Aljubarrota-2 tinha como objectivo principal a formação de Silves (constituída por rochas terrígenas com capacidade de reservatório), que a empresa acreditava poder ter acumulações comerciais de gás. O poço não se mostrou economicamente viável para exploração, apesar de terem sido encontrados bons indícios de gás neste reservatório; todavia foi no entanto uma mais-valia, ao demonstrar o potencial deste Sistema Petrolífero Paleo-Mesozóico.

No que diz respeito ao Sistema Petrolífero Meso-Cenozóico podemos encontrar várias rochas mãe. Os argilitos marinhos de ambiente profundo<sup>9</sup>, ricos em matéria orgânica e produtores de óleo (oil prone), foram identificados no Jurássico Inferior (Sinemuriano Superior ao Toarciano Inferior - correspondentes à

---

<sup>9</sup> Estes argilitos ricos em matéria orgânica parecem ter sido depositados, em espessuras consideráveis, nos principais depocentros em ambiente redutor, ao passo que, fora desses depocentros não se encontram, ou têm espessuras insignificantes.

base do Grupo da Brenha) no Norte da bacia Lusitânica, tanto em sondagens, como em afloramento. As espessuras calculadas desta rocha mãe andam entre 140m a 190m, os valores de TOC entre 0,2% e 5,8% e valores de reflectância média de vitrinite entre 0,7% e 2,0%, o que coloca essas amostras na janela de óleo-gás (DGEG, 2008).

Na zona Sul da bacia Lusitânica podemos encontrar sedimentos do Jurássico Superior incluindo as rochas mãe do Oxfordiano Superior. Estas rochas são calcários maciços de ambiente marinho profundo e calcários betuminosos<sup>10</sup> costeiros a lacustres, tanto nas sondagens, como no afloramento. Os resultados de análises geoquímicas, a amostras retirados entre Torres Vedras e Montalegre, revelaram espessuras de rocha geradora entre 20m a 110m, com valores de TOC até 3% e níveis de maturação que variam rapidamente de imaturos a sobre-maturos (DGEG, 2008). Estas rochas da formação de Cabaços são provavelmente responsáveis pelos vários indícios superficiais observados, assim como, pelo óleo encontrado em muitas das sondagens efectuadas nesta bacia.

Há vários outros intervalos com potencial gerador que têm sido identificados. Entre estes incluem-se as intercalações de margas e argilitos negros ricos em matéria orgânica, em evaporitos Hetangianos e em carbonatos do Sinemuriano Inferior. Esta sequência parece possuir um potencial gerador para óleo e gás em quase todos os locais onde se encontra exposta e onde penetrada por sondagens, particularmente na região central, mais profunda, da bacia Lusitânica. Contudo, foram classificados como uma rocha mãe residual a razoável, com base nos locais onde foram observados e, em que, tanto a sua espessura como a sua riqueza eram reduzidos (DGEG, 2008).

Em relação às rochas reservatório, os sedimentos grosseiros, terrígenos e avermelhados (encontrados em afloramentos) da idade do Triássico Superior (Grés de Silves), tem moderadas a boas características de rocha reservatório, embora o seu grão e porosidade diminua geralmente à medida que se avança para o interior das bacias. Por outro lado, é de crer que o desenvolvimento de

---

<sup>10</sup> Calcários betuminosos mais desenvolvidos nos sinclinais.

melhores reservatórios possa ocorrer ao longo de canais distributários que cruzavam todas as bacias<sup>11</sup>.

Depositados sobre a sequência evaporítica, podemos encontrar calcários e calcários dolomíticos do Sinemuriano (formação de Coimbra) que incluem intervalos com porosidades vacuolar e de fractura e permeabilidades razoáveis.

Principalmente no Jurássico superior, em algumas zonas da bacia, encontram-se reservatórios razoáveis a bons, podendo tanto ser os recifes carbonatados, como os clásticos costeiros (do Kimeridgiano ao Portlandiano).

Já no Cretácico Inferior, as areias e conglomerados pouco consolidados possuem porosidades até 35% e constituem um excelente reservatório (formação de Torres Vedras), que se estende com uma espessura mais ou menos constante (300m a 400 m) por quase toda a bacia Lusitânica. As rochas selantes para estes reservatórios podem ser argilitos intercalados na sequência clástica ou os calcários margosos e margas do Cenomaniano (DGEG, 2008).

Sintetizando, os principais tipos de rocha que fornecem bons reservatórios são os arenitos e os calcários depositados em ambientes de alta energia (mares pouco profundos) ou de construção biogénica (recifais). A fracturação induzida pela deformação tectónica pode conferir alguma porosidade e elevada permeabilidade às rochas afectadas dando, nalguns casos, origem a reservatórios aceitáveis. Certos tipos de alteração e erosão, como a carsificação de calcários, podem, igualmente, originar bons reservatórios.

É consensual que nas bacias portuguesas existam diferentes tipos de armadilhas de petróleo, mas cerca de 90% das sondagens realizadas, até hoje em Portugal, tinham como objectivo armadilhas estruturais<sup>12</sup>. Isto reflecte o facto de as armadilhas estruturais serem mais fáceis de identificar na sísmica do que as armadilhas estratigráficas. Outro motivo, pode ter a ver com o facto de, muitas

---

<sup>11</sup> A extensa e por vezes espessa sequência de evaporitos do Hetangiano, que cobre estes sedimentos, constitui a rocha selante para estes reservatórios do Triássico Superior.

<sup>12</sup> Armadilhas estruturais perfuradas na bacia Lusitânica: os anticlinais e falha inversa no *offshore* da Figueira da Foz; os diapiros de sal a Norte de Leiria; os reservatórios fracturados em Torres Vedras; os canais fluviais perto de Alcobaça.

vezes, as armadilhas estruturais apresentarem maiores acumulações de petróleo que as armadilhas estratigráficas<sup>13</sup> (DGEG, 2008).

## **2.2.2 História da pesquisa na Bacia Lusitânica**

A história da prospecção de hidrocarbonetos na Bacia Lusitânica, inicia-se em 1844 com a descoberta da mina de asfalto do Canto do Azeche no concelho de Alcobaça e com a emissão do primeiro Alvará de 27 de Março desse ano. Há também relatos que durante este período houve extracção de asfalto de várias minas como a da Serra do Cabaço e de Vale Escuro na região de Torres Vedras. Nesta mesma zona foram descobertos calcários impregnados de hidrocarbonetos líquidos, expostos com a construção da linha de caminho de ferro entre Lisboa e Figueira da Foz, que incrementaram o interesse da região de Torres Vedras para a prospecção e pesquisa de petróleo.

Algumas décadas mais tarde, em 1904, foi efectuada a primeira sondagem em Sismaria, concelho de Monte Real, com a profundidade de 58 metros (Vieira, 1992).

Entre 1906 e 1912 foram executadas várias sondagens de pesquisa de petróleo (estas sim já na região de Torres Vedras) com profundidades na ordem das centenas de metros, algumas atingindo os 1000 metros. De alguns destes furos foram obtidos indícios de petróleo e gás (na altura bastante promissores) (Gomes, 1981).

Em 1938 foi emitido um alvará de concessão para pesquisa de petróleo e substâncias betuminosas, abrangendo as bacias Lusitânica e do Algarve. Por várias vezes existiu transmissão dos direitos desta concessão, que se manteve activa até 1968.

---

<sup>13</sup> Na altura em que a maioria das sondagens foram realizadas em Portugal (anos 70 e 80), as concessionárias procuravam grandes campos petrolíferos.

Durante o período de vigência da concessão foram adquiridos, no onshore da bacia Lusitânica, cerca de 3264 km de sísmica de reflexão, na maioria mono-canal, levantamentos de gravimetria e um pequeno levantamento magnético perto de Lisboa. Nesta bacia foram ainda efectuadas 78 sondagens de pesquisa, das quais apenas 33 atingiram profundidades superiores a 500 m. Muitas destas sondagens apresentaram fortes indícios de petróleo e algumas atingiram produção sub-comercial (DGEG, 2008).

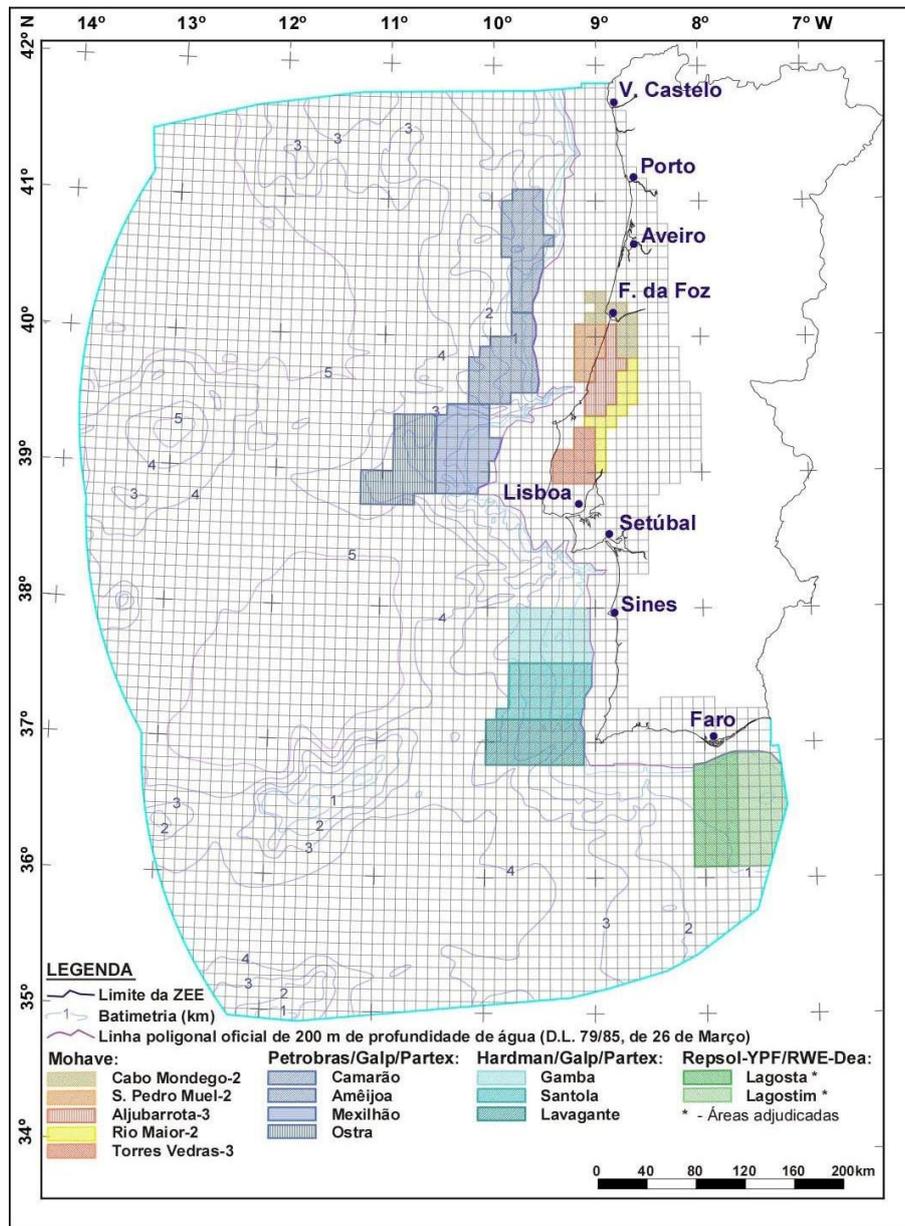


Figura 2.9 - prospecção e pesquisa, *onshore* e *offshore* de Portugal, divididas em blocos, tendo por base uma malha regular. A colorido, temos áreas de concessão activas (DGEG, 2008).

Depois do abandono desta concessão, sob a égide da nova legislação do petróleo, as áreas de prospecção e pesquisa, onshore e offshore de Portugal, foram divididas em blocos, tendo por base uma malha regular (Figura 2.9) e postos a concurso internacional. Deste concurso resultou a assinatura de 30 contratos para áreas no offshore Portugal, em 1973 e 1974, tendo o último destes contratos terminado em 1979. Durante esse período foram realizados cerca de 21237 km de levantamentos sísmicos de reflexão multi-canal, gravimétricos e magnéticos. Para além destes levantamentos foram efectuadas 22 sondagens, 5 das quais na bacia do Porto, 14 na bacia Lusitânica e 3 na bacia do Algarve. Todas as sondagens foram fechadas e abandonadas, embora algumas tenham apresentado muito bons indícios de petróleo (DGEG, 2008).

Depois de 1979, a pesquisa abrandou consideravelmente no offshore. Todavia, em 1978 ressurgiu o interesse pelo *onshore*. Assim, de 1978 a 2004, foram atribuídas 39 áreas, das quais 23 concessões no *onshore* da bacia Lusitânica (duas destas abrangem lotes no *onshore* e no *offshore*), 15 concessões no offshore (11 na bacia do Porto, 3 na bacia do Algarve e 1 na bacia Lusitânica) e 1 licença de avaliação prévia no *deep-offshore* da bacia do Algarve. Durante este período foram efectuadas 28 sondagens, das quais 23 no *onshore* da bacia Lusitânica e 5 no offshore (3 na bacia do Porto e 2 na bacia do Algarve). Também em muitas destas sondagens foram encontrados bons indícios de petróleo, sobretudo óleo. Foram ainda adquiridos cerca de 36000 km de sísmica convencional, dos quais cerca de 27600 no âmbito de campanhas de sísmica multi-cliente (cerca de 4600 km pela GSI em 1984 e cerca de 23000 km pela TGS-NOPEC de 1999 a 2002).

Na sequência do levantamento sísmico e gravimétrico no *deep-offshore* realizado pela TGS-NOPEC entre 1999 e 2002, foi lançado, em 2002, o Concurso Público para atribuição de Direitos de Prospecção, Pesquisa, Desenvolvimento e Produção de Petróleo no *Deep-Offshore*. O grupo formado pelas empresas Repsol-YPF (Espanha) e RWE-Dea (Alemanha) candidatou-se aos blocos 13 e 14 (Figura 2.9), que foram adjudicados em 2005.

No final de 2006, apenas uma companhia operava em Portugal, *Mohave Oil and Gas Corporation*, detentora de 2 concessões no *onshore* da bacia

Lusitânica. Na região de Alcobaça, a *Mohave* encontrou fortes indícios de gás em duas das sondagens realizada e, na região de Torres Vedras, tem realizado um conjunto de sondagens, com recuperação de óleo em fracturas tendo iniciado testes de produção. A empresa adquiriu ainda 760 km de sísmica no *offshore* e 224 km no *onshore*. Esta sísmica e estas sondagens já foram consideradas nos totais atrás referidos.

Já em 2007 houve um significativo aumento na prospecção e pesquisa de petróleo em Portugal com a assinatura de 12 novos contratos de concessão, dos quais 5 foram com a empresa *Mohave Oil and Gas Corporation*, e compreendiam as áreas Cabo Mondego-2, S. Pedro de Muel-2, Aljubarrota-3, Rio Maior-2 e Torres Vedras-3, no *onshore* e *offshore* da bacia Lusitânica (DGEG, 2008).

Desde então a *Mohave Oil and Gas Corporation* tem continuado os testes de produção nas zonas da Abadia e Torres Vedras, e prossegue o processo de aquisição de duas campanhas de sísmica 3D.

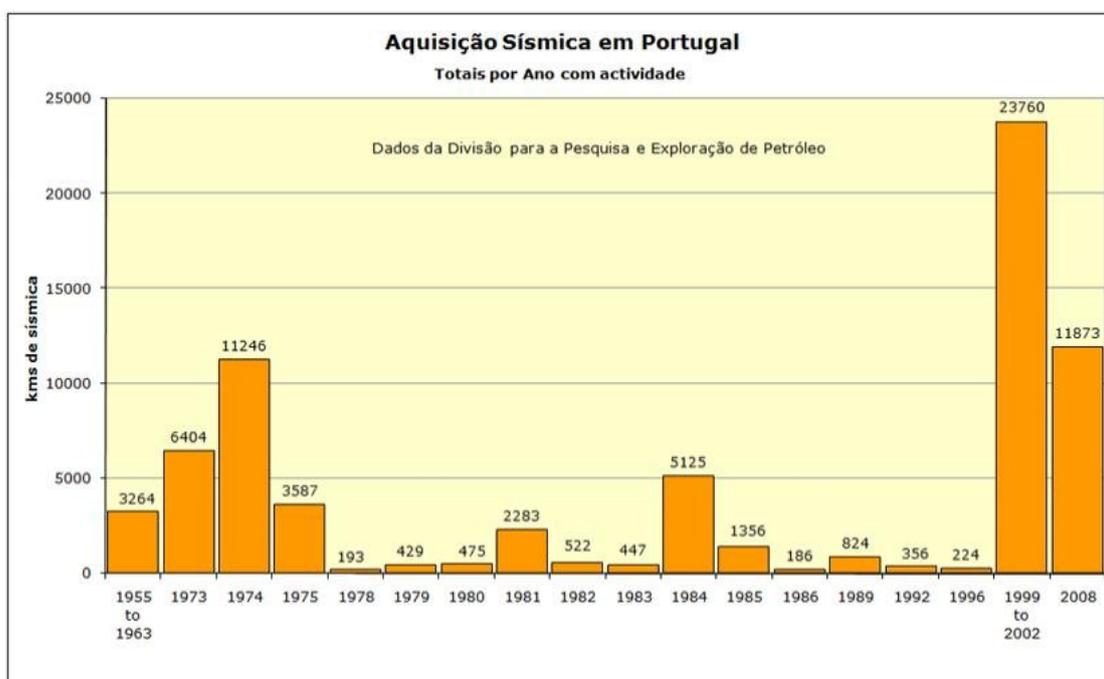


Figura 2.10 – Aquisição sísmica anual em Portugal em quilómetros (DPEP, 2008).

Apesar de ao longo dos anos terem sido executados trabalhos de pesquisa nas bacias sedimentares portuguesas, podemos considerar que estas se

encontram subavaliadas em particular na margem profunda, dado os meios técnicos utilizados tanto em face da tecnologia e métodos existentes na época, como pelo objectivo final dos estudos realizados, que à data procuravam gigantescas jazidas. Nos trabalhos mais recentes e ainda em curso, o objectivo é encontrar jazidas independentes da sua dimensão, desde que economicamente exploráveis. Para tal contam com o progresso tecnológico, que evoluiu bastante ao nível dos meios e técnicas para a realização de sondagens e aquisição sísmica. A Figura 2.10 resume a actividade sísmica em Portugal.

# CAPÍTULO 3: PLANIFICAÇÃO DA CAMPANHA SÍSMICA 3D

Em qualquer projecto de aquisição sísmica, a planificação desempenha um papel fundamental para uma correcta execução com elevada produtividade, eficiência e rendimento.

Neste projecto foi necessário um especial cuidado em virtude de ele se desenvolver em zonas urbanas, com monumentos históricos, campos de cultivo e zona florestal, que obrigam a salvaguardar a integridade do património e os interesses e direitos de propriedade privada dos inúmeros minifundiários. A estas condicionantes temos ainda a acrescentar o facto desta aquisição sísmica ser em 3D com objectivos pouco profundos, o que exige uma malha sísmica mais densa e apertada para obter as coberturas desejadas<sup>1</sup>.

## 3.1 Geometria e parâmetros de aquisição definidos para o projecto

Para a planificação da geometria da malha sísmica, neste projecto atendeu-se essencialmente ao reconhecimento básico da área em estudo, ao cumprimento de alguns parâmetros exigidos pelo cliente, à qualidade pretendida da cobertura sísmica e aos custos envolvidos. Com base nestes critérios, a empresa (*Seis Pros, Inc*) definiu o seguinte modelo teórico de aquisição para Torres Vedras 3D (Figura 3.1).

Foi atribuída uma numeração para identificar cada ponto, tanto para os emissores como para os receptores sísmicos. Foi ainda determinado um

---

<sup>1</sup> A malha sísmica é constituída por 66 linhas de receptores, com orientação E-W, espaçadas entre si em 200 metros, com os receptores distanciados entre si em 50 metros resultando num, total de 11946 pontos. Entre as linhas de receptores temos as linhas emisoras ondulatórias, com pontos de emissão a cada 50 metros, resultando num total de 11765 pontos.

espaçamento entre as linhas de 200 metros (cada linha tem 181 pontos) e entre pontos de 50 metros de distância (Figura 3.2).

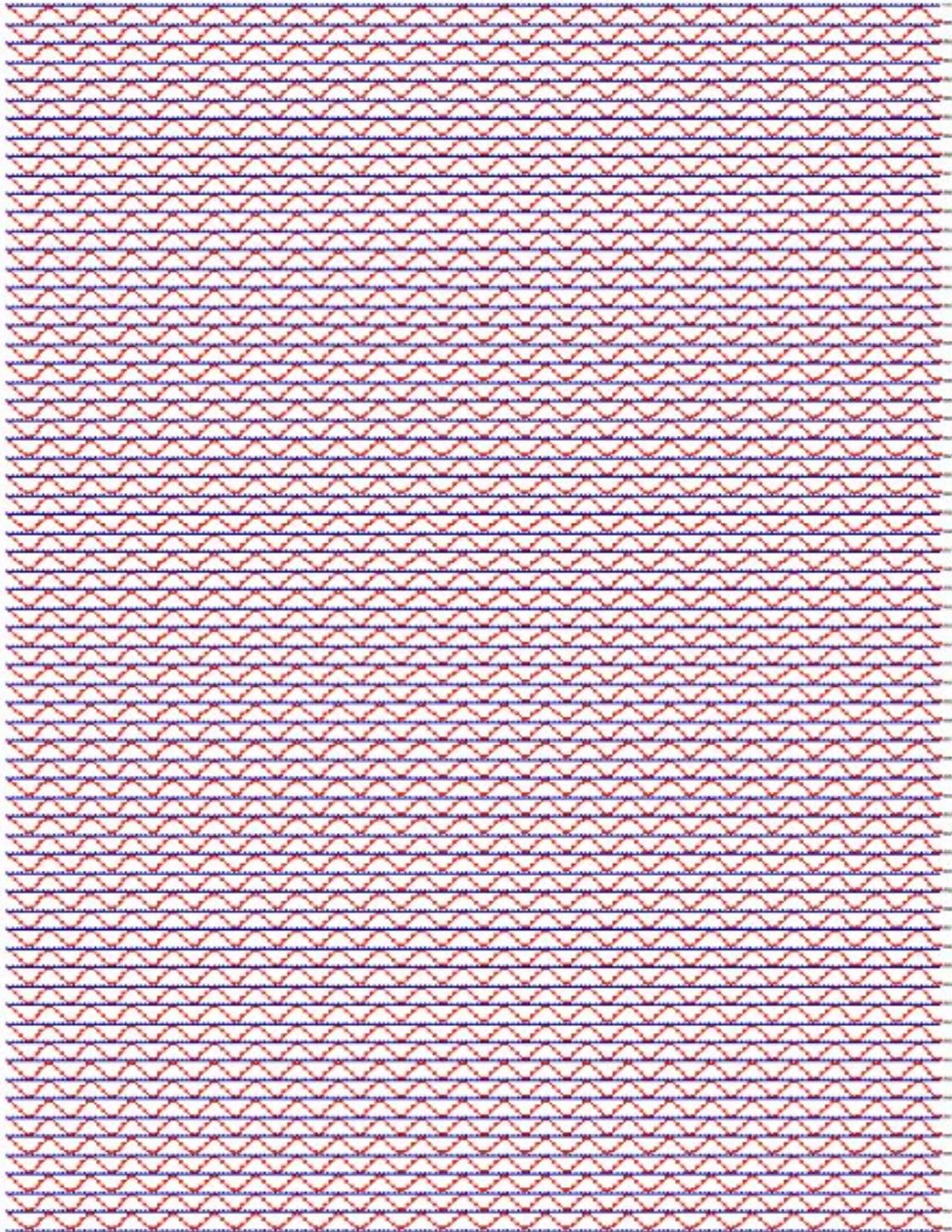


Figura 3.1 - Projecto de Torres Vedras: a azul, os receptores sísmicos, com 66 linhas com orientação Este/Oeste e 11.946 pontos; a vermelho, as fontes sísmicas, com 65 linhas onduladas e 11.765 pontos.

Para determinar os parâmetros básicos de aquisição foi necessário definir claramente o objectivo (*target*), ou seja, a profundidade a investigar. Este projecto tinha em mente investigar várias camadas que podiam ser interessantes, a menos profunda das quais se situa a cerca de 500 metros de profundidade. Foram então determinados os seguintes parâmetros de aquisição:

- Um  $Bin^2$  de 25 metros de lado, correspondente à área de um quadrado em que os lados são iguais à metade da distância entre as estações receptoras (Figura 3.3).
- Uma cobertura múltipla ( $Fold^3$ ) mínima de 4, correspondente ao número de pontos reflectores de profundidade comuns ( $CMP$ ) que caem num  $Bin$  para um  $offset^4$  de 500 metros (Figuras 3.4 e 3.5). Foi tido em atenção que o  $Fold$  varia com o  $offset$ , ou seja, para uma mesma geometria, quanto maior o  $offset$ , maior o número de pontos de receptores e de fontes abrangidos, e conseqüentemente maior a cobertura múltipla ( $Fold$ ).

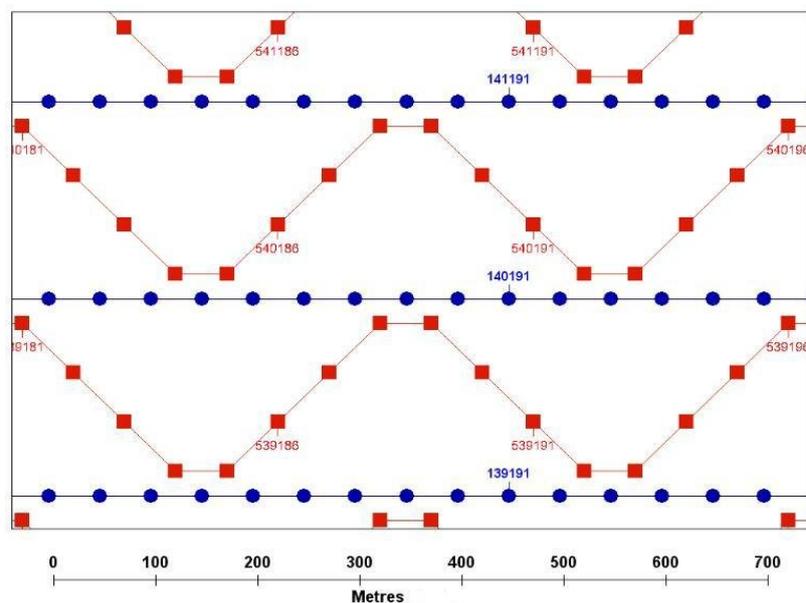


Figura 3.2 – Os pontos azuis são os receptores; os quadrados vermelhos são os emissores sísmicos.

<sup>2</sup> Bin é o tamanho da área em que os traços sísmicos de vários receptores vão ser somados.

<sup>3</sup>  $Fold$  é o número de *Common Mid Points (CMP)* numa determinada área.

<sup>4</sup>  $Offset$  é a distância entre os receptores e as fontes.

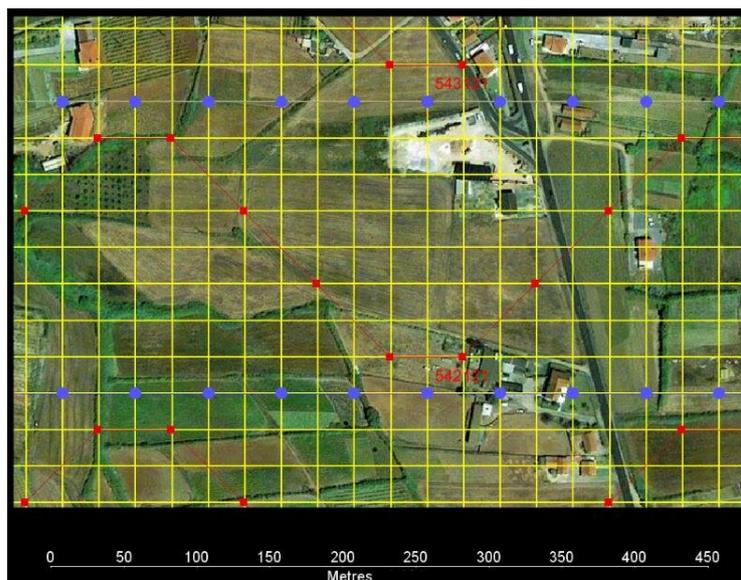


Figura 3.3 - Emissores e receptores sísmicos enquadrados sobre a imagem de satélite. A arelha amarela representa os *Bin's*.

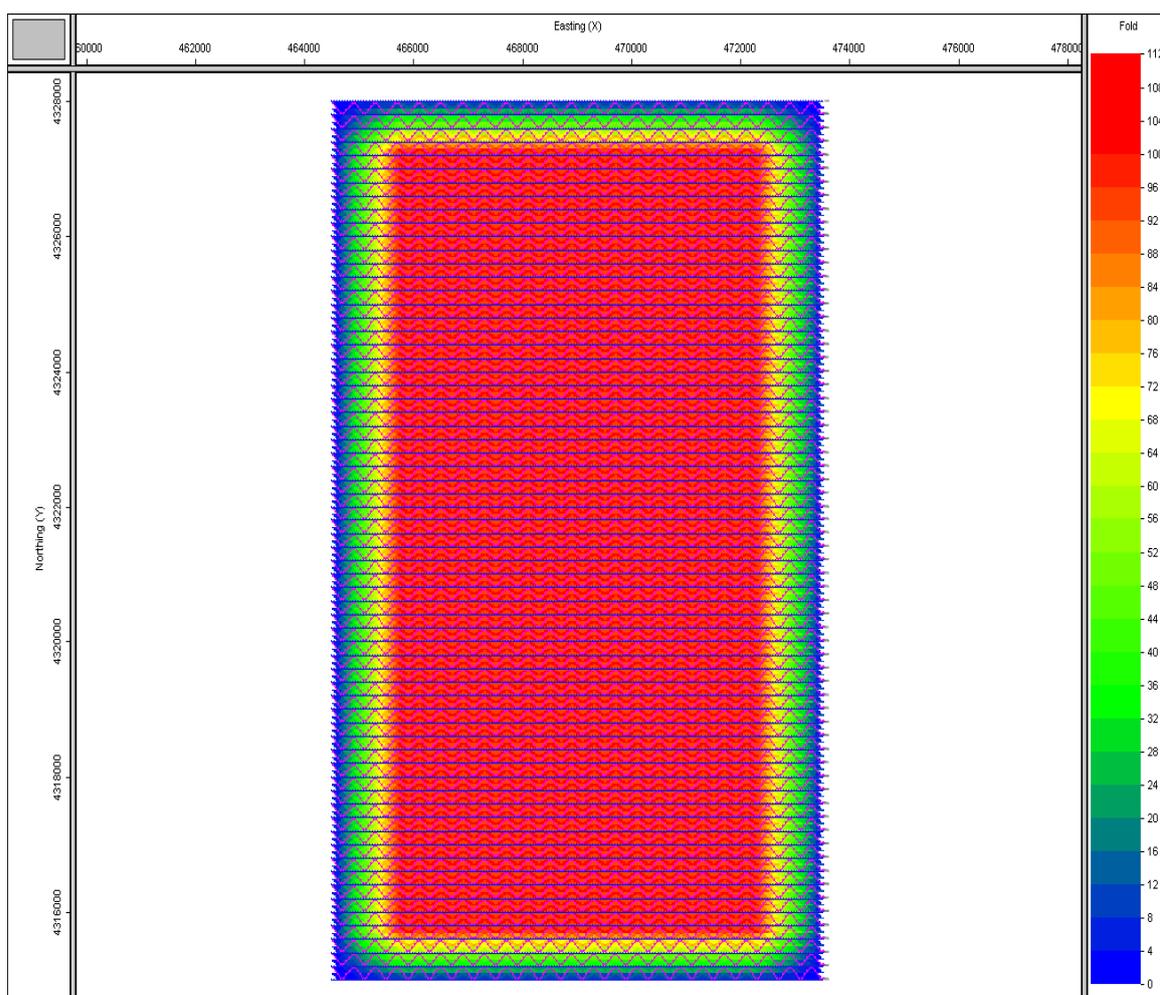


Figura 3.4 - Imagem do *preplot* do *Fold* para o projecto de Torres Vedras. Com *offset* de 3000 metros.

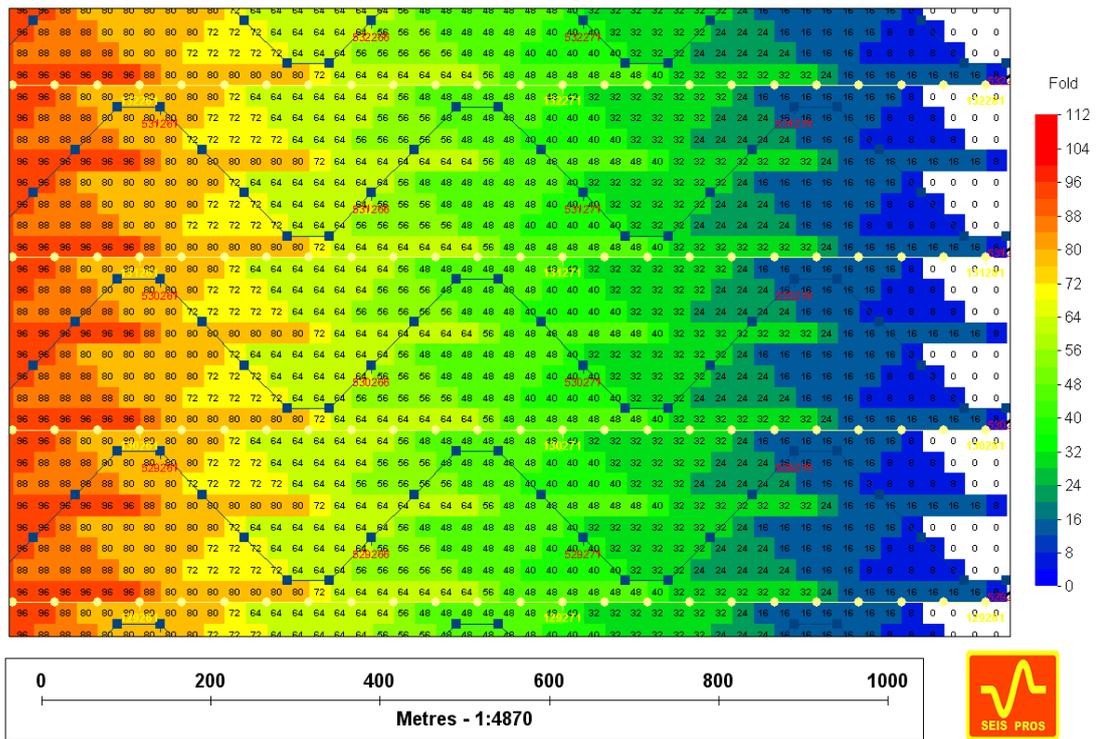


Figura 3.5 - Ampliação do extremo Este do *Fold* original, *preplot* para um *offset* de 3000 metros.

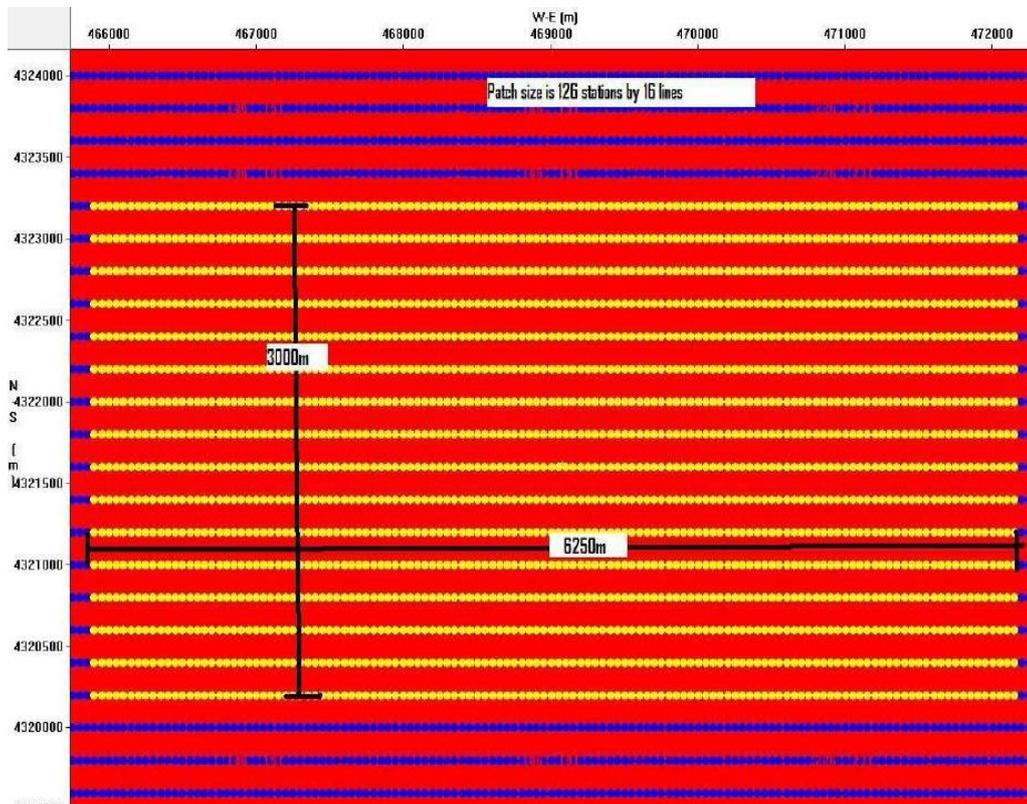


Figura 3.6 – Nesta imagem tirada do projecto com o programa *Omni*, a amarelo temos um exemplo de “Patch”.

Numa campanha sísmica 2D, a aquisição é feita, por linhas, com uma linha activa de cada vez. Numa 3D é necessário uma grelha que proporcione uma área de receptores activos no momento dos tiros. Assim, os parâmetros da grelha activa (“*patch*”<sup>5</sup>) definidos corresponderam a 126 canais/estações por cada linha e a 16 linhas activas “vivas”. O emissor sísmico “tiro” é dado no centro deste rectângulo “*patch*” (Figura 3.6).

Para efectuar a análise dos parâmetros anteriormente referidos recorreu-se a programas como o *Omni*, que nos permitiu experimentar, testar e conjugar os diversos parâmetros (Figuras 3.7 e 3.8), de forma a otimizar a aquisição.

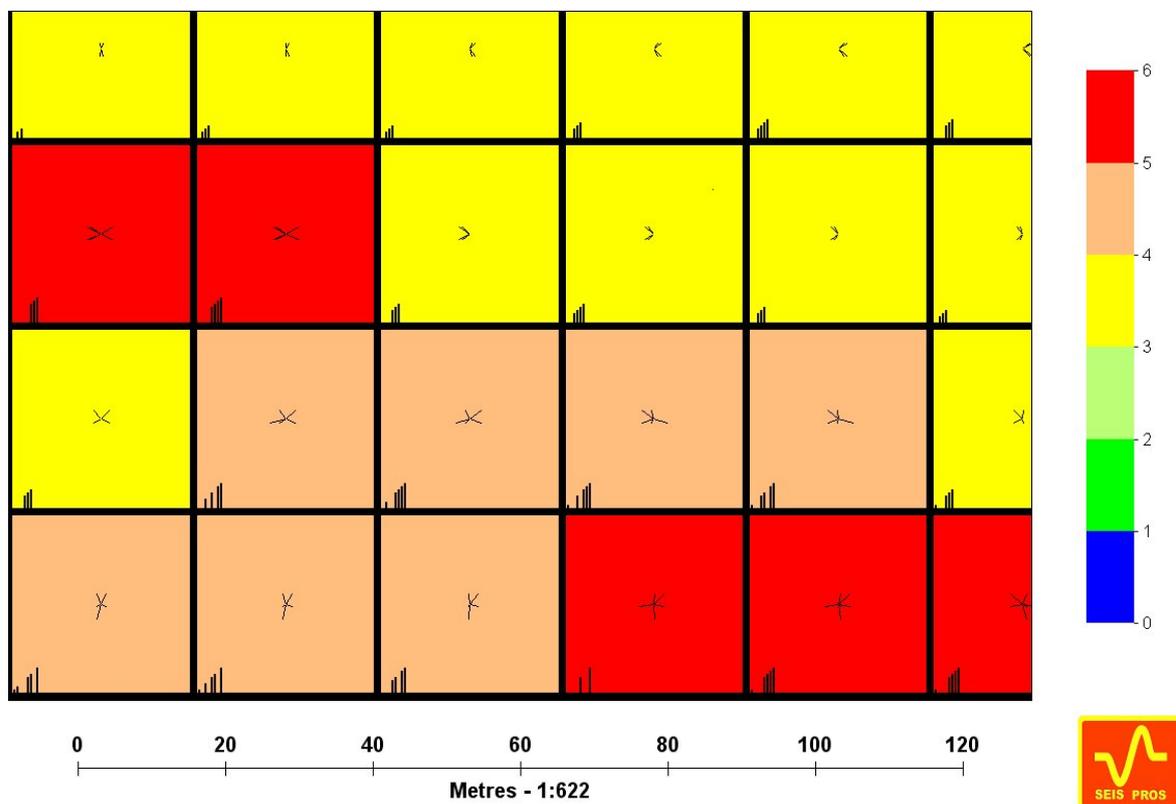


Figura 3.7 – Diagramas *spider* (*spidergrams*) : o centro do quadrado permite analisar a distribuição e orientação do sinal; as linhas no canto indicam o *offset*, e, as diferentes cores mostram a cobertura multipla (*Fold*). Neste caso o *offset* de 500 metros.

<sup>5</sup> Grelha activa constituída por um conjunto de canais (cada canal é formado por um grupo de seis geofones) e linhas activas “vivas” no momento do tiro sísmico.

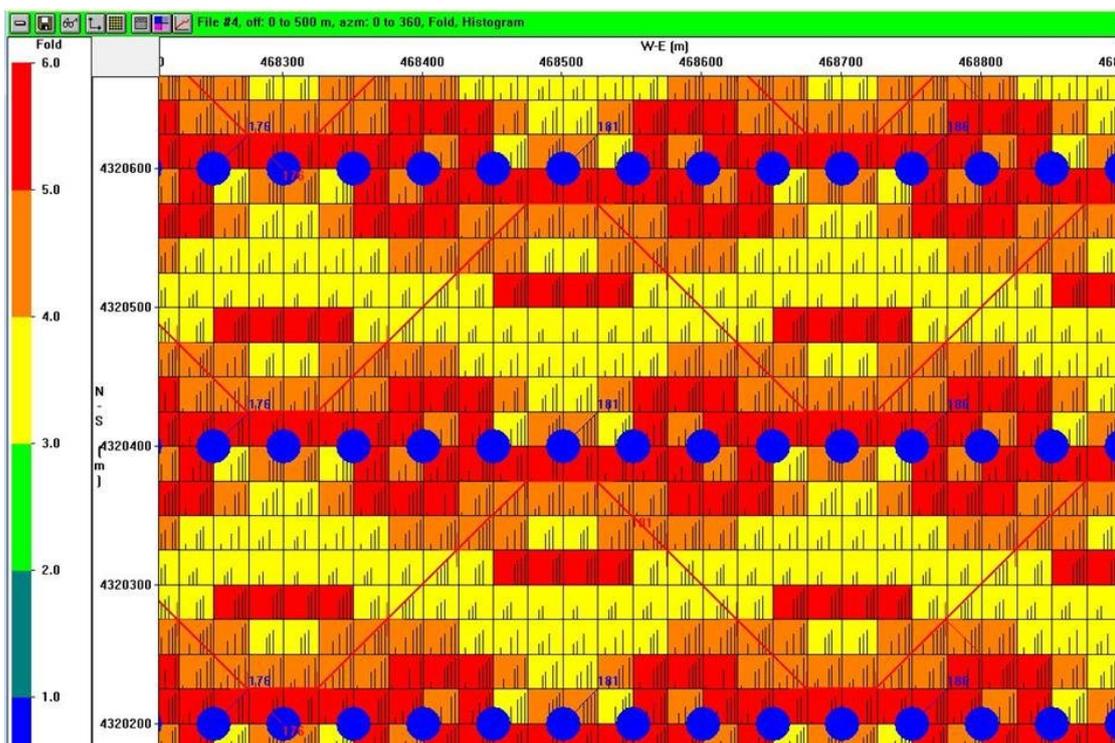


Figura 3.8 – Exemplo de um *offset* e *Fold diagram* para um *offset* de 500 metros.

## 3.2 Análise e reconhecimento prévios da área geográfica (“*scouting*”)

O “*scouting*” é um processo que pode ser efectuado antes ou depois da elaboração da geometria.

A empresa responsável pela realização dos trabalhos de sísmica 3D adoptou como primeiras diligências o “*scouting*”. Esta etapa constou de um estudo prévio da zona de intervenção, criando, com ajuda de chefes dos departamentos de geofísica, topografia ou outros, a planificação da geometria para o posicionamento dos geofones e fontes sísmicas no terreno. Nesta fase inicial foi necessário, e muito importante, percorrer fisicamente toda a área em estudo, de forma a obter uma melhor percepção dos meios e técnicas mais adequados para realizar a aquisição sísmica 3D.

No decurso do “*scouting*” a empresa fez também o levantamento de todos os custos operacionais (orçamento), atendendo os requisitos do cliente e elaborando e apresentando mais do que uma alternativa para a execução do

projecto. Dentro destes custos operacionais podemos encontrar as despesas com consumíveis (combustíveis, estacas, tintas, tinteiros entre outros), arrendamentos, alugueres, recursos humanos, equipamentos e a sua eventual logística de entrada e saída do país. Quem executa esta função teve de ter em conta a densidade populacional e seus costumes, as estruturas presentes, o tipo e quantidade de vegetação, o relevo do terreno e o clima (condições meteorológicas).

### **3.2.1 Recursos materiais e humanos**

Ainda no âmbito do “*scouting*” foram definidos os recursos materiais e humanos necessários à instalação e funcionamento dos vários departamentos (topografia, controlo de qualidade, geofísica, base de campo, etc.). Para cada departamento foram definidos o número de geofísicos, técnicos de controlo de qualidade, topógrafos, e outros recursos humanos para desempenhar todas as operações de gabinete e de campo. Foram escolhidos os equipamentos necessários, tais como computadores portáteis, workstations, programas de software e respectivas licenças (por exemplo, Arcgis, GpSeismic, Omni, Vista, Ozi Explorer). Em termos de material de campo foi determinado o número de fontes sísmicas (*thumpers*), geofones, cabos, *software* controlador do sistema de aquisição (neste caso foi utilizado o Sercel), transportes (pickup's, moto-quatros, etc.), GPS, etc. Mais à frente, alguns destes equipamentos e a sua operação serão descritos mais adiante.

### **3.2.2 Enquadramento Legal**

O exercício das actividades de prospecção, pesquisa, desenvolvimento e produção de petróleo tem o enquadramento legal dado pelo *Decreto-Lei nº 109/94, de 26 de Abril*, e constitui uma actividade sujeita a licenciamento do Governo, pois os jazigos de petróleo integram o domínio público<sup>6</sup> do Estado.

---

<sup>6</sup> São do domínio público “(...) os jazigos minerais, as nascentes de águas mineromedicinais, as cavidades naturais subterrâneas existentes no subsolo, com excepção das rochas, terras comuns e outros materiais habitualmente usados na construção” (Art. 84.º da Constituição da República).

Assim, para iniciar e executar os trabalhos constantes dos planos anuais para os projectos aprovados, quando localizados em prédio alheio, deverá a concessionária, sucessivamente (art.º 79):

a) Diligenciar por todas as formas a obtenção do consentimento e autorização do dono do prédio;

b) Em caso da impossibilidade de acordo com o proprietário do prédio, indagar sobre a existência de alternativas para a localização dos trabalhos;

c) Não sendo possível nenhuma das soluções anteriores, deve a concessionária requerer ao Ministro da Tutela a constituição, nos termos do Código das Expropriações, de servidão administrativa, indicando o valor da renda ou indemnização considerada justa, competindo ao ministro determinar, por despacho, a solução a adoptar e as respectivas condições. No caso de os prédios se destinarem à implantação de instalações indispensáveis ao exercício das actividades de desenvolvimento e produção, a concessionária pode requerer a expropriação do prédio por utilidade pública, indicando o seu grau de urgência, de acordo com a legislação específica aplicável.

Não obstante ser da responsabilidade do cliente, o conhecimento do enquadramento legal assume particular relevância na realização dos trabalhos, pois poderá evitar problemas que possam ter consequências onerosas, como multas ou a suspensão temporária dos trabalhos. Por outro lado, é sempre do interesse da própria empresa de sísmica enquadrar-se o máximo possível na região, tendo em consideração os costumes da população onde vai intervir, para poder haver uma maior cooperação da população e ocorrer o mínimo de interferências (perturbação, impacto), por forma garantir a optimização de tempo/qualidade dos trabalhos a realizar.

### **3.3 Obtenção de permissões**

Os primeiros a interagirem com a população são as “equipas de permissão” em simultâneo com as de topografia.

De acordo com a legislação, os direitos do subsolo são do Estado, não obstante os do gozo da propriedade privada do solo pertencerem a privados aos quais é necessário pedir permissão. Daí que seja essencial conhecer a melhor abordagem ao proprietário.

Para o projecto de Torres Vedras foi contratada, para o departamento de permissão, a Associação dos Produtores Florestais da Região de Alcobaça (A.P.F.R.A). Este departamento subdividiu-se em várias equipas de campo e uma equipa de gabinete. Para as equipas de campo foram necessárias ferramentas tais como PDAs (*Personal Digital Assistants*), mapas, registos e cadastros das propriedades, entre outros. A equipa de gabinete, com o apoio de software específico, como Arcgis, arquivava todos os dados obtidos do campo, criando assim uma base dados actualizada diariamente, e era também responsável pela actualização dos PDA's ou outros instrumentos das equipas no terreno para posterior obtenção de permissão. Para se ter uma noção da dimensão destas operações, foram contactados cerca de 5.600 proprietários.

### **3.3.1 Objectivos**

O principal objectivo do departamento de permissão foi obter autorização de todos os proprietários dos terrenos onde se localizavam pontos emissores ou os receptores sísmicos, assim como aqueles que permitem o acesso a esses terrenos.

Como segunda função, este departamento tinha a responsabilidade de fazer todo o levantamento cadastral e construção da base de dados (com morada, telefone, se tem outros terrenos, etc.) da área de estudo.

Também divulgou e esclareceu a população abrangida pelo projecto (toda a área de estudo) sobre quais os trabalhos que se pretendiam realizar para assim obter uma colaboração da população em geral.

À medida que estas permissões foram obtidas foram sendo reportados ao departamento de topografia, para que este se pudesse organizar e começar a nivelar pontos (marcar pontos no terreno com base em coordenadas pré-estabelecidas).

### 3.3.2 Problemas e soluções

As equipas de campo foram as primeiras a depararem-se com dificuldades por causa de um meio diversificado (urbano, multi-parcelado, florestal, agrícola ou de cultivo). O seu trabalho envolvia uma interacção directa com a população e estava em parte dependente dela. Por esta razão, o problema principal que surgiu foi a dificuldade de contactar todos os proprietários, por serem tantos, e o tempo dispendido para o conseguir.

Outro obstáculo consistiu na identificação dos proprietários de algumas parcelas de terrenos essencialmente localizados nas zonas florestais. Em situações deste tipo, regra geral foram afixados nos editais das Juntas de Freguesias e Câmaras pormenores desses terrenos. Não aparecendo quem reclamasse estas propriedades, as Juntas de Freguesia deram a permissão para estes terrenos serem utilizados durante os trabalhos de aquisição sísmica.

Existiram alguns casos em que os donos que não deram permissão para a realização dos trabalhos. Nesses casos, dependendo da área de exclusão, o cliente poderia tentar alugar o terreno ao proprietário. O cliente evitou sempre esta situação e no projecto de Torres Vedras todos os terrenos sem permissão foram simplesmente excluídos (áreas de exclusão) ou foram tentados outros métodos como a alteração da geometria do projecto.

Alguns problemas surgiram ainda quando as equipas de topografia começaram a desempenhar as suas funções. Alguns dos proprietários que deram permissão, quando apareceram as equipas de topografia, ficaram com dúvidas. Nestes casos foi solicitado às equipas de permissão para confirmarem e esclarecerem alguma dúvida perante o proprietário. Quando esta situação se verificava foi possível pôr um elemento das equipas de permissão a acompanhar as equipas de topografia.

Para eventualmente aumentar a eficiência da divulgação dos trabalhos sísmicos poder-se-ia ter recorrido ao anúncio nas rádios e jornais locais, nos centros e extensões de saúde, associações culturais e recreativas, e estabelecimentos locais (cafés, farmácias, padarias, minimercados).

A utilização do PDA com GPS integrado permitiu às equipas de permissão localizar os pontos da malha de receptores e emissores sísmicos e o

armazenamento de informações dos proprietários, coordenadas, telefone, potenciais perigos (animais, poços, vedações electrificadas, rede de gás), zonas protegidas REN (Reserva Ecológica Nacional) e RAN (Reserva Agrícola Nacional), vias de acesso, proprietários notificados com permissão ou sem permissão, proprietário incontactável, etc.

### **3.4 Topografia**

Na realização deste projecto o departamento de topografia (*survey*) começou por fazer o reconhecimento do terreno. Nesta etapa foram caracterizadas as zonas florestais, as povoações, os acessos, o clima, o relevo, a localização de marcos geodésicos entre outras. Para determinar a área exacta da concessão foram fornecidos pelo cliente (*Mohave*) as coordenadas dos quatro cantos da concessão de Torres Vedras. O sistema de coordenadas exigido pela Direcção Geral de Geologia e Energia neste projecto foi o UTM e o *Datum* de referência o ED50 Portugal – Espanha. Como os aparelhos GPS utilizam por defeito o *Datum* geodésico WGS84, todas as coordenadas medidas tinham de ser convertidas.

Foi decidido utilizar dois métodos para a obtenção de coordenadas: para os pontos receptores (geofones) foi utilizado o GPS diferencial “RTK” (*Real-Time-Kinematic*); para os pontos emissores (*thumpers*) foi utilizado o sistema EGNOS (*EUROPEAN GEOSTATIONARY NAVIGATION OVERLAY SERVICE*) adquirido no mesmo momento em que é dado o “tiro” da fonte sísmica. Estes métodos serão explicados mais a frente.

#### **3.4.1 Objectivos**

O departamento de topografia dedicou-se às coordenadas para os receptores sísmicos (geofones), para além de verificar os acessos, indicar os locais para limpeza de mata e marcar zonas de perigo.

Os objectivos principais foram:

- a) Estabelecer uma rede GPS fiável à realização do levantamento topográfico do projecto em modo RTK (GPS Diferencial);
- b) Identificar e marcar cada ponto receptor no campo, registando as respectivas coordenadas;
- c) Percorrer e sinalizar todas as linhas para posterior passagem das equipas que transportam os cabos e respectivos geofones.

### **3.4.2 Teste de equipamentos e procedimentos**

Antes de começar o trabalho do levantamento topográfico dos pontos na área em estudo, foi verificado o estado de todo o equipamento necessário à realização do trabalho e efectuados os primeiros testes para verificar a precisão e o erro do equipamento.

#### **3.4.2.1 Equipamentos de topografia**

Foi utilizado um sistema GPS (ver secção 3.4.3.1) Trimble 4000 SSI de 12 canais receptores dupla frequência (Figura 3.9). Este aparelho foi utilizado como base e para gravar sessões estáticas de pontos de controlo da rede GPS. Também tem funções RTK mas não possui modem nem rádio interno, pelo que necessita de ser ligado a um outro equipamento, um Trimmark III Rádio/repetidor.

Foram também utilizados três aparelhos Trimmark serie 4700 (Figura 3.10 e 3.11). Embora possam ser também utilizados como estações estáticas, foram todos programados para as funções móveis (“Rover”) em modo RTK. Possuem rádio modem internos.

O aparelho Trimmark III rádio base/repetidor (Figura 3.12) é compatível com o receptor Trimmark 4700 e a serie 4000. Com uma antena própria de UHF e o respectivo cabo o Trimmark III pode ser utilizado como repetidor.



Figura 3.9 – GPS Trimble 4000 numa sessão estática sobre um marco geodésico.



Figura 3.10- Ligações ao Trimble 4700.



Figura 3.11- Trimble 4700, sinalizadores das funções activas 4700.



Figura 3.12 - Trimmark III rádio base/repetidor.

Foram utilizadas três tipos de antenas: antena de rádio UHF (Figura 3.13), antena GPS tipo L1 (Figura 3.14) e antena GPS L1/L2 (Figura 3.15).



Figura 3.13 – Antenas UHF.



Figura 3.14 – Antenas GPS L1.



Figura 3.15 – Antenas GPS L1/L2.

O colector de dados TSC-1 (Figura 3.16) é um equipamento que permite visualizar todas as condições de recepção de sinal de GPS e rádio, para além de ser possível carregar-lhe dados, como por exemplo coordenadas dos pontos a nivelar. Permite também gravar pontos atribuindo nomes.



Figura 3.16 – Colector de dados TSC-1.

A estação total Topcon Gpt 3007e (Figura 3.17) foi utilizada essencialmente em zonas de floresta onde o sinal GPS não tinha precisão ou era mesmo nulo. As equipas com “rover” em modo “RTK” (GPS diferencial) marcavam pontos extra nos limites da floresta, para servir de apoio à estação total. A partir desses pontos com coordenadas conhecidas conseguiam marcar os pontos receptores situados dentro da floresta, garantindo um erro de fecho aceitável.



Figura 3.17 – Estação Total.

### 3.4.2.2 Montagem dos equipamentos

O levantamento topográfico em modo RTK começou pela montagem da estação GPS de base. A colocação da antena GPS foi feita de modo a ficar centrada e horizontalizada em cima de um marco geodésico de referência (pertencente à rede nacional). O equipamento GPS receptor necessita de um parâmetro H (Figura 3.18), dado pela hipotenusa de um triângulo rectângulo em que a altura corresponde à medida desde a base do marco geodésico até ao prato da antena, e o comprimento ao raio da antena. Este parâmetro H foi posteriormente inserido nas configurações do equipamento.

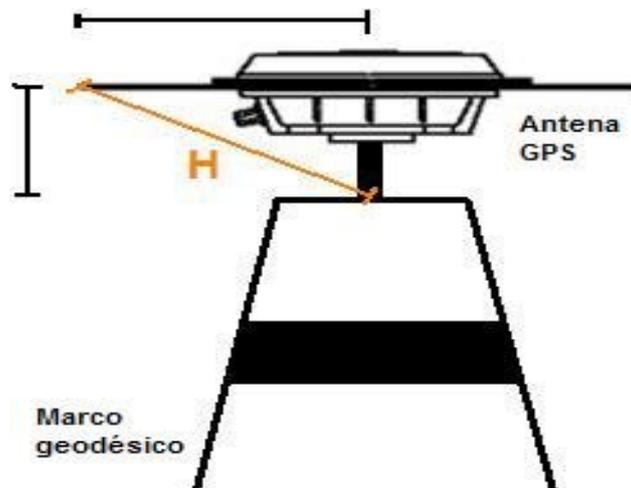


Figura 3.18 - Montagem da antena GPS e cálculo da hipotenusa.

De seguida, com um cabo próprio, estabeleceu-se a ligação entre a antena e o receptor GPS Trimble 4000. Este cabo convinha ficar preso ao marco geodésico para que não abanasse com o vento, pois tal poderia causar perturbações nas leituras. Ligou-se uma fonte de alimentação (bateria) ao receptor e por fim foi estabelecida a ligação entre o receptor Trimble 4000 e o transmissor rádio Trimmark 3 (Figura 3.19), que por sua vez já se encontrava ligado a uma antena UHF colocada num ponto, o mais alto possível, de modo a melhorar a propagação/comunicação.

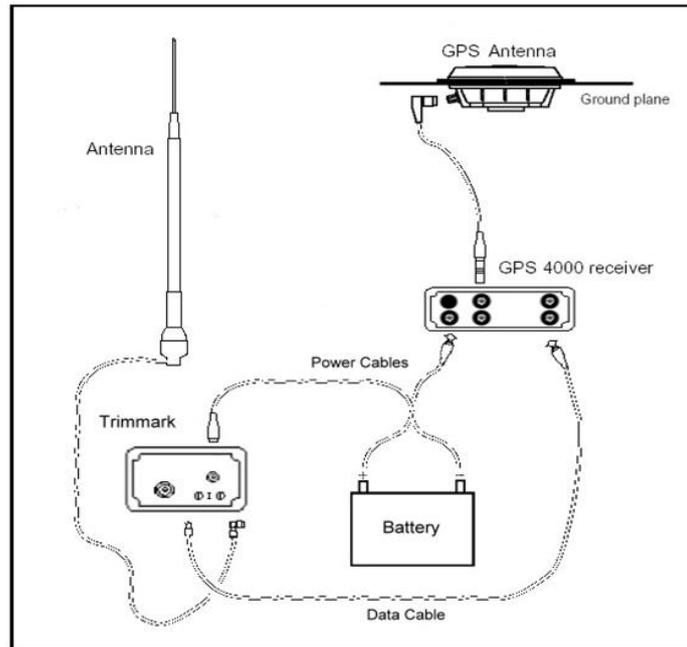


Figura 3.19 - Esquema de montagem base GPS.

Depois de esta estação ter começado a transmitir as correcções de erro seguimos com a montagem da estação móvel GPS “rover”.

A estação móvel foi montada da seguinte forma: primeiro instalaram-se nas mochilas as antenas GPS e de rádio (o rádio quando ligado está a transmitir e queima se não tiver antena) e o receptor Trimble 4700. De seguida ligaram-se as baterias e o colector de dados TSC-1 ao receptor Trimble 4700 (Figura 3.20).

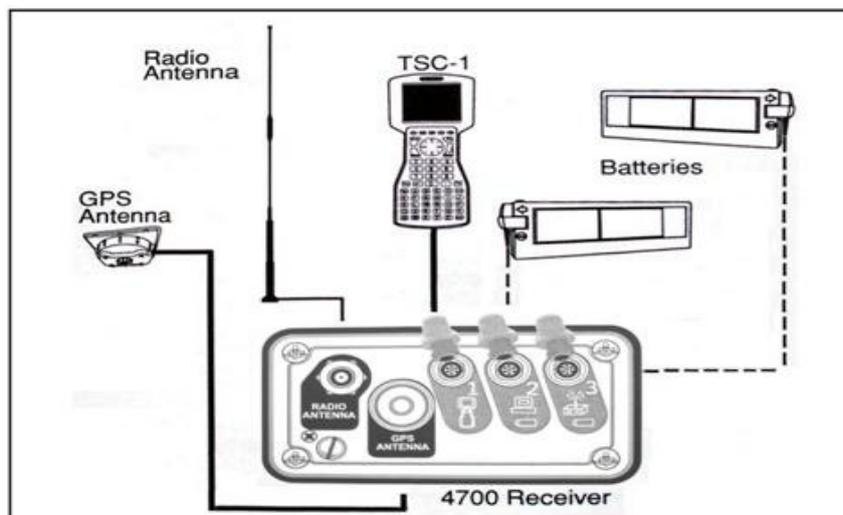


Figura 3.20 – Ligações para o receptor Trimble 4700 “Rover”.

Na configuração do TSC-1 podíamos activar pontos que tinham sido previamente carregados no gabinete, e tínhamos obrigatoriamente de introduzir a altura da antena que dependia da altura do operador que carregava a mochila (figura 3.21).

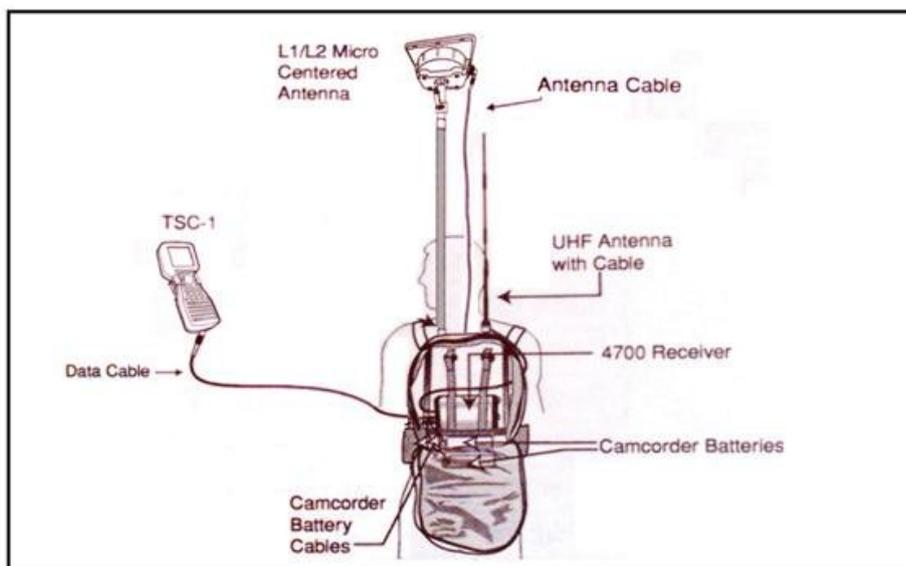


Figura 3.21 – Esquema do operador com mochila e estação.

### 3.4.3 Metodologias

#### 3.4.3.1 GPS Sistema de Posicionamento Global

Com o surgimento dos satélites artificiais foi possível evoluir no que diz respeito aos pontos espaciais geodésicos de referência. O primeiro sistema de satélites foi desenvolvido pelo Laboratório de Física Aplicada “Johns Hopkins University” para a marinha dos Estados Unidos. Uma constelação de 5 a 10 satélites TRANSIT em que as orbitais polares de baixa altitude (1.100 km altitude) foram definidas de modo a cobrir a Terra inteira. Apresentado ao público por volta de 1967, com alguns aperfeiçoamentos, o sistema passou a ter medidas de posição com uma precisão da ordem de 200 metros e um tempo de sincronização da ordem de 50 micro segundos, actualizações de hora a hora ou mais. Por volta de 1973 o sistema TRANSIT ficou obsoleto com a entrada em operação do

sistema NAVSTAR GPS (*Navigation Satellite with Time and Ranging*). Este sistema permitiu alcançar melhores precisões num menor tempo de rastreamento.

Em 1980, o então presidente Ronald Reagan autorizou o uso civil do sistema. Na época, o Departamento de Defesa americano implantou um erro artificial no sistema chamado "Disponibilidade Selectiva", para resguardar a segurança interna do país. A "Disponibilidade Selectiva" foi cancelada por um decreto do Presidente Clinton em Maio de 2000, pois o contínuo desenvolvimento tecnológico permitiu ao Departamento de Defesa obstruir a precisão do Sistema, onde e quando os interesses americanos o exigissem. Com o decreto, o erro médio inicial de 100 metros na localização do receptor ficou dez vezes menor.

O GPS nos dias de hoje é um sistema de posicionamento global baseado numa constelação de satélites que estão em orbita geoestacionária à volta da terra, a cerca de 20,200km de altitude. Para a realização desta tarefa de localização, o sistema possui 21 satélites com mais 3 disponíveis e 6 planos orbitais com 55 graus de inclinação.

As orbitas do satélite são de 12 horas, sempre com 4 satélites disponíveis acima do horizonte, apesar de em qualquer ponto da Terra estarem permanentemente 5 a 8 satélites visíveis. Um posicionamento GPS só é possível com pelo menos quatro satélites (mínimo necessários para se obterem valores de X, Y, Z e tempo).

Em relação ao **segmento de controlo**, temos o denominado sistema de controlo operacional (OCS), que é constituído por três estações emissoras, em Diego Garcia, Ascensão e Kwajalein, uma estação de rastreio no Hawaii, uma estação de controlo principal (CSOC) em Colorado Springs (Falcon Air Force Base), e um conjunto de estações de rastreio auxiliares situadas em Buenos Aires, Quito, Hermitage (Inglaterra), Bahrein e Smithfield (Austrália) (Figura 3.22).

Para o funcionamento do GPS e seu erro de localização são muito importantes estas estações monitoras que efectuam correcções de posição (erros causados por efeitos atmosféricos) e correcções de relógio.

## Segmento de controlo

### Estações de controlo e monitorização da Força Aérea Norte Americana

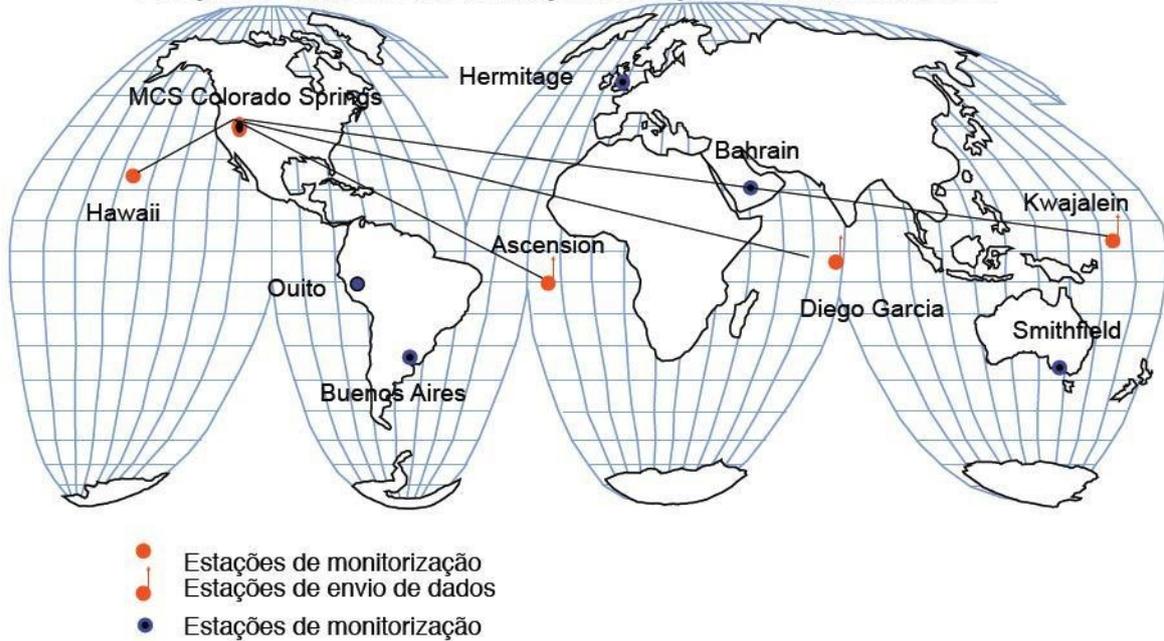


Figura 3.22 – Segmento de controlo do GPS.

O OCS controla o estado operativo dos satélites, determina os seus elementos orbitais, o estado dos seus relógios atómicos e fornece-lhes efemérides para difusão. O conjunto do OCS e das estações auxiliares, que procedem ao rastreio dos satélites GPS permite a elaboração de efemérides de precisão *à posteriori*.

As correcções são enviadas para os satélites e assim os satélites GPS enviam depois subconjuntos de dados e de efemérides para os receptores GPS.

Os satélites **ligados por um sistema de comunicação**, estão equipados com quatro relógios atómicos (dois de Césio e dois de Rubídio) e possuem um oscilador muito estável que gera uma frequência fundamental de 10,23 MHz na banda HF, da qual são derivadas duas microondas com as frequências, 1575.42 MHz e 1227.60 MHz as bandas L1 e L2, respectivamente, portadoras de mensagens codificadas. Os receptores mais precisos recebem em duas frequências L1 e L2.

Existem três tipos de códigos, C/A (*Clear Acquisition Code*), o código P (*Precision Code*) e o código D, também designado por mensagem de navegação.

O código D difunde: efemérides previstas para o satélite, dados para a correcção da velocidade de propagação, dados sobre o estado dos relógios dos satélites, informações sobre o estado de “saúde ” do satélite, etc.

No sistema GPS podemos encontrar várias fontes de erro (Figura 3.23) das quais iremos realçar algumas.

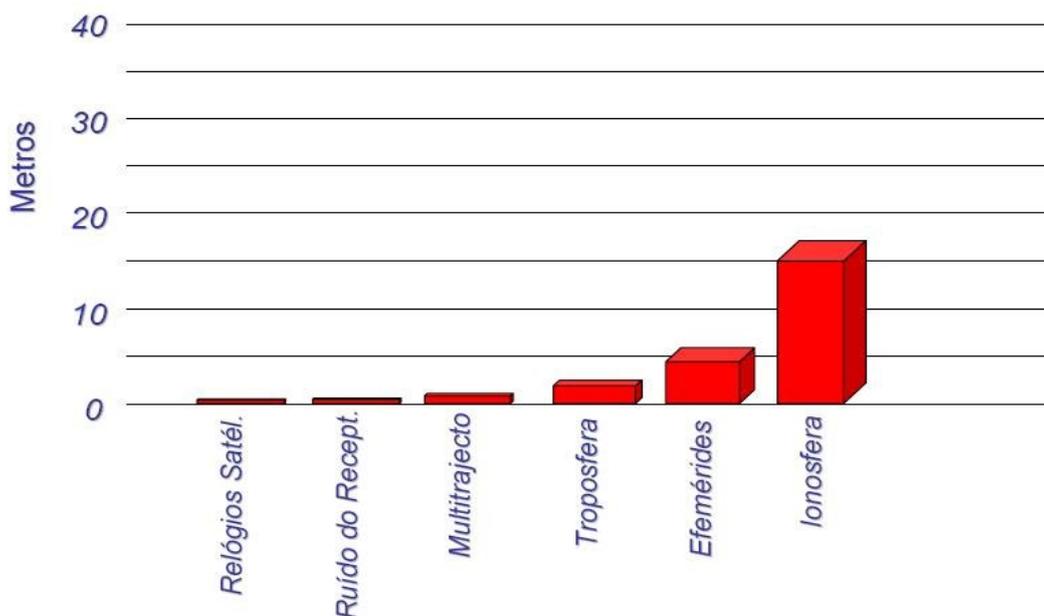


Figura 3.23 – Quantificação em modo prático (metros) as influências dos diferentes erros no GPS.

A Disponibilidade Selectiva (*Selective Availability - S/A*), tem a ver um erro provocado deliberadamente com o objectivo de diminuir a precisão das coordenadas recebidas pelo GPS (criado para teatros de guerra).

Os Coeficientes DOP (*Dilution of Precision*), têm a ver basicamente a diluição da precisão provocada pela fraca distribuição espacial dos satélites num determinado momento. A melhor disposição espacial é um satélite no zénite com os outros satélites igualmente espaçados. Nomenclaturas utilizadas: GDOP - geometria, VDOP - Vertical, Pdop - Posição 3D.

Outro erro é o Multi-trajecto ou seja a deformação do sinal do satélite por ser reflectido em superfícies ou estruturas (prédios, carros, etc) antes de ser recebido pelo GPS.

A ionosfera compreende a camada de 200km entre as altitudes 50km e 250km. Esta camada, principalmente com a incidência solar, carrega negativamente as suas partículas, provocando atrasos ou adiantos nos sinais. Quanto maior a distância entre os receptores, maior será o atraso ou o adianto dos sinais. A ionosfera interfere distintamente com frequências diferentes, ou seja, actua em L1 e L2. Se utilizarmos um receptor de dupla frequência podemos detectar quais são os atrasos ou adiantos ocorridos. Em virtude disso, o uso de receptores de monofrequência tem limite de distância (Figura 3.24).

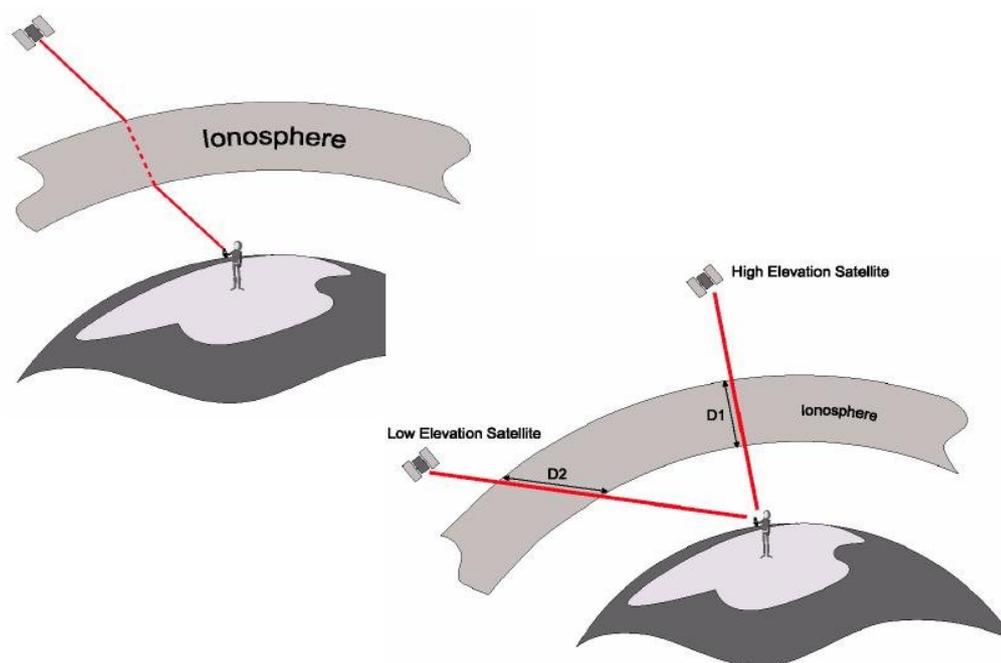


Figura 3.24 – Contribuição da ionosfera para o erro nos GPS.

### 3.4.3.2 Elaboração e desenho da rede (de controlo) GPS para área em estudo

O objectivo principal da elaboração de uma rede GPS é providenciar dados com coordenadas e elevações de qualidade e garantir a cobertura total da área abrangida pelo projecto. Para isso foi necessário recorrer a marcos geodésicos de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordem encontrados dentro da área de estudo. A ideia foi utilizar alguns desses marcos geodésicos como pontos base de referência, com coordenadas

bem conhecidas, para satisfazer as necessidades da topografia diferencial em modo RTK.

O equipamento utilizado foi um Trimble 4000 e dois Trimble 4700, todos programados para o modo estático.

Foi estabelecida uma rede de estações fixas para uma posterior cobertura em modo RTK de um raio de 4km, embora o equipamento permita distâncias nas ordens dos 10 a 20 km (Figura 3.25). Na execução dos pontos de controlo houve alguns problemas na utilização de marcos geodésicos.

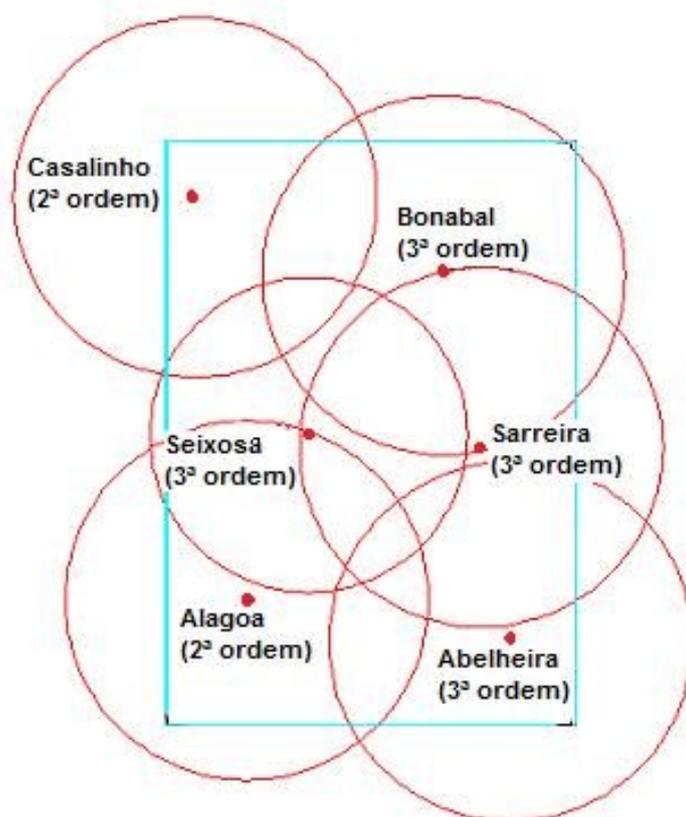


Figura 3.25 – Cobertura da área em estudo a partir de marcos geodésicos com GPS estático.

Foram planeadas 5 sessões para cobrir todos os pontos, desde 22-09 a 27-09. Os equipamentos a trabalhar em simultâneo (modo estático) estiveram sempre em estação no mínimo 2,5 horas, sendo a média 3,5 horas.

A rede foi processada de modo a obter 21 linhas entre vértices, que no seu todo constituem uma rede geométrica. Algumas destas linhas foram repetidas em diferentes sessões (Figura 3.26).

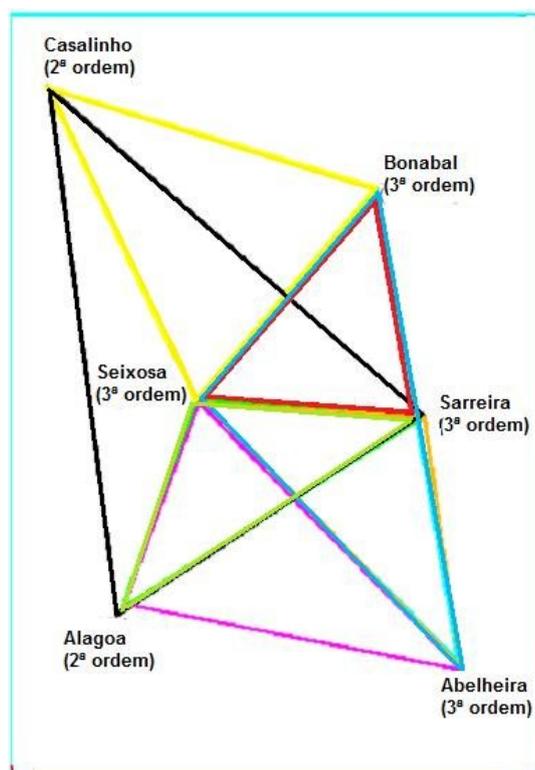


Figura 3.26 – Rede GPS para a área em estudo.

Aquando de alguns trabalhos e testes no modo RTK, verificou-se que não existia uma boa cobertura de satélites em algumas horas do dia. No entanto conclui-se que o problema principal em alguns pontos não era este mas sim o ruído permanente provocado pelos cabos eléctricos de alta tensão, antenas de telecomunicações e estruturas eólicas. A distância maior entre vértices foi de 9,4 km e a mais curta de 3,8 km.

Os limites horizontais do receptor GPS móvel também foram considerados, uma vez que para uma boa precisão, a estação móvel não se deve afastar mais de uma dezena de quilómetros da estação fixa de referência. É importante que os pontos recolhidos estabeleçam uma boa geometria triangular; quanto mais parecido com um triângulo equilátero melhor a qualidade da rede. Finalmente, após o balanço ideal entre os vários factores descritos, teve início a fase de aquisição GPS, onde foram medidos todos os pontos do sistema triangular previamente definido.

Assim, os critérios pré-estabelecidos foram superados e os piores erros de fecho horizontal foram de 3,1 centímetros e vertical de 3,8 centímetros.

### 3.4.3.3 Funcionamento GPS móvel em tempo real “RTK”

Determinada a zona do projecto por onde começar, procedeu-se à escolha do marco geodésico mais adequado, já conhecido dentro da rede, e ao arranque da instalação da base de referência (Receptor FIXO GPS) e ao início do levantamento topográfico em RTK. Este GPS, utilizado como base, está sobre coordenadas bem conhecidas e tem a função de corrigir erros de posicionamento, associados às diferenças de tempo de chegada dos sinais emitidos pelos satélites, fazendo uma compilação de todas as medições dos satélites disponíveis e determinando as correcções a aplicar ao posicionamento nas estações móveis.

Após o correcto funcionamento da estação de referência procedeu-se à montagem dos receptores móveis GPS “ROVER”, que uma vez ligados começam a receber as informações de correcção de erro transmitidas do Receptor Base GPS, podendo assim os “Rover’s” corrigir o seu próprio posicionamento em tempo real e à medida que vão percorrendo o terreno.

Na verdade, o GPS Base (receptor de referência) não tem como saber quais os satélites disponíveis que os GPS móveis (*rover*) estão a usar para o cálculo da sua posição; o GPS Fixo faz uma pesquisa rápida de todos os satélites disponíveis e regista os erros de cada um, para além de incluir o tempo em que este ocorre para cada satélite e a taxa de variação desse erro. Esta informação é codificada e transmitida para o GPS móvel que recebe uma lista de todos os erros e aplica as correcções referentes aos satélites que está a utilizar. A transmissão de dados entre o receptor base e o móvel é feita através de rádios, que estão ligados aos GPS, e que utilizando frequências de UHF permitem a transferência de informação em tempo “quase real”. Deste modo o GPS móvel pode interpolar a sua posição entre actualizações. Durante a campanha foi necessário recorrer a repetidores de sinal, TRIMARK 3, que basicamente amplificam e fortalecem a ligação via rádio entre o “Rover” e a Base. Assim, estes repetidores foram montados em carros ou em relevos altos para poderem ser utilizados como uma ponte rádio entre os GPS’s. Seria pouco viável estar permanentemente a deslocar a base GPS com o levantamento topográfico dos “Rover’s”, para além de sujeitar os trabalhos a mais erros.

Posteriormente, já em gabinete, foi possível fazer as correcções, quando necessárias, numa fase de pós-processamento utilizando programas de computador como o GPSEISMIC que recorrem a algoritmos de processamento mais complexos.

#### **3.4.3.4 Levantamento topográfico na área em estudo**

O departamento de topografia era constituído por várias equipas de campo responsáveis pelo levantamento topográfico dos pontos da malha teórica de geofones e pontos auxiliares (*waypoints*)<sup>7</sup>.

Cada equipa de campo era constituída por um operador de GPS “*Rover*” e por um ajudante que fizeram todo o percurso a pé. Além destes, existia um supervisor que circulava num veículo pela área de trabalho, ao mesmo tempo que prestava o serviço de apoio e auxílio às referentes equipas. O operador de GPS ia equipado com um colector de dados TSC-1, que permitia controlar todos os aparelhos da mochila GPS e saber quais os pontos a medir (a sua localização e o erro associado à medição de cada ponto). Aquando da gravação dos pontos, o operador de GPS indicava ao ajudante o local onde deveriam ser colocadas estacas (Figura 3.27) com o nome de cada ponto ou cravadas anilhas e o nome do ponto pintado, consoante se tratasse, respectivamente, de pontos em terrenos ou sobre a estrada ou outros pavimentos. Ao ajudante competia ainda assinalar todas as passagens, demarcando cada linha (trajecto) com fita sinalizadora de modo a que, posteriormente, as equipas responsáveis pela colocação de geofones (*Layout Crew*) as utilizassem como guias.

De forma a garantir a qualidade do trabalho, era muito importante que estas medições fossem rigorosas, pois estava em causa um dia de trabalho. Por essa razão realizava-se, no início e no fim de cada dia, a medição de dois pontos de verificação. Estes pontos eram locais de coordenadas bem conhecidas, como

---

<sup>7</sup> *Waypoints* podem servir por exemplo de base ou referencia a utilização da estação total como também para demarcar situações relevantes (poços estradas, obstáculos para os cabos) ou de perigo (abelhas cães).

os marcos geodésicos. O erro teria de ser na ordem dos centímetros, podendo estar relacionado com erros do equipamento.

Outro factor importante a ter em conta era a segurança no trabalho. O modo de proceder e actuar com bom senso era essencial para prevenir acidentes de trabalho passíveis de causar prejuízos pessoais para além de poderem prejudicar os trabalhos de campo, como por exemplo causar a suspensão dos trabalhos por tempo indeterminado.



Figura 3.27 – Marcação no terreno de uma estação nivelada pela topografia.

### **3.4.3.5 Confrontação com Obstáculos e a sua resolução**

As equipas de topografia eram as primeiras a sentir as dificuldades do campo, pois a malha inicial teórica, elaborada para a campanha não tinha em conta as adversidades do terreno.

Na elaboração da rede ocorreram algumas dificuldades na escolha de marcos geodésicos com boas condições, seja pelos acessos ou por deslocação dos mesmos, por interferência de estruturas (Figura 3.28a), antenas (Figura 3.28b), linhas de alta tensão, ou árvores (Figura 3.28c).



Figura 3.28 – a) Moinho de vento interfere na utilização do marco geodésico; b) Depósito de água e Antena interferem na utilização do marco geodésico; c) Árvores interferem na utilização do marco geodésico.

Uma das primeiras dificuldades, no início da campanha de levantamento topográfico, foi a modesta divulgação e informação às povoações dos trabalhos a realizar. Este factor originou grande desconfiança por parte das populações, obrigando as equipas de topografia a estagnar os seus trabalhos por vezes durante horas para informar/explicar todos os procedimentos planeados para a campanha de campo. Outras vezes, a dificuldade consistiu em contactar os donos de terrenos cercados para que abrissem as cancelas e autorizassem a passagem das equipas.

Por vezes, as condições climáticas influenciavam também o levantamento topográfico com chuvas fortes que tornavam alguns terrenos pantanosos e trovoadas que obrigavam mesmo à suspensão do levantamento topográfico, e condicionavam também a actuação das equipas de campo quando se faziam sentir os fortes nevoeiros matinais, obrigando-as a usarem vestuário apropriado.

Na área em estudo existiam ainda alguns animais perigosos à solta, como cães, javalis, enxames de abelhas (em colmeias), manadas de bois, touros, etc. Situações como esta requerem atenção e cautela e, para precaver casos extremos, as equipas eram equipadas com spray pimenta.

Esta região tem fortes costumes de caça e um clima propício à formação de nevoeiro o que torna os dias de caça sempre perigosos para as equipas de campo. Para evitar acidentes, as equipas de topografia usavam coletes reflectores e conversavam entre si em voz alta para assim poderem ser notados à distância.

Coexistiam ainda vários outros perigos: zonas de muito trânsito, cercas eléctricas, locais com buracos, penhascos, silvados e florestas densas e impenetráveis (que obrigaram à contratação de uma empresa de limpeza de mata para abrir caminhos segundo as orientações dadas pelas equipas de topografia).

Por outro lado, o maneio da terra (terrenos a ser lavrados e vindimas) tornou-se muitas vezes num problema pois faziam desaparecer as estacas e as marcas deixadas pelas equipas de campo.

Outras limitações muito importantes foram a utilização de imagens de satélite com 5 anos, que nem sempre representavam a realidade no campo, sendo os mapas de apoio desajustados.

Finalmente, aquando do levantamento topográfico de cada ponto, também teve de se ter em conta não só os locais por onde vão passar os cabos como também o comprimento máximo de cada cabo. Nem sempre é possível efectuar a medição de um ponto teórico no local exacto, sendo necessário recorrer a técnicas de *offset*<sup>8</sup> para solucionar estes problemas.

Por razões já referidas, a utilização do GPS nem sempre foi possível (por exemplo em zonas de floresta densa). Para resolver estas situações recorreu-se à estação total. O operador de GPS, nestes casos, era responsável por marcar, na proximidade dessas zonas florestais e dos respectivos pontos receptores a nivelar, um ou dois pontos auxiliares, conforme existisse ou não linha de visada para outros pontos já nivelados, de forma a servirem para o início dos trabalhos com o equipamento de estação total.

No levantamento topográfico podiam ocorrer erros diversificados, que eram assinalados no próprio visor da estação “*Rover*”. Uma das mensagens “Poor PDOP”- indicava que o valor de PDOP (degradação da precisão) tinha um valor superior ao permitido. Se estivéssemos perto de alguns obstáculos era melhor afastarmo-nos um pouco. Quando em campo livre, era de esperar um pouco para que os posicionamentos dos satélites melhorassem a precisão. Outra mensagem era “Initialization has been lost”- que indicava que o sinal de GPS já não era fixo e que tínhamos entrado em modo flutuante; nesse caso tínhamos que aguardar que

---

<sup>8</sup> *Offset* ao ponto teórico fazendo uma perpendicular à linha que se está a nivelar, a uma distancia máxima de 50 metros.

entrasse outra vez em fixo para continuarmos a nivelar. Podíamos também ter uma mensagem “Radio Link Down” – que indicava que o rádio da mochila “Rover” tinha perdido o sinal da estação GPS base. As causas podiam ser um cabo danificado, obstáculos como prédios etc., distância excessiva ou problemas no GPS base. Por fim, uma mensagem de “High RMS”- podia acontecer por excessiva vibração na antena GPS ou por erro de multi- trajecto de sinal recebido. Este último acontecia quando, em vez de receber um sinal único directamente dos satélites, a antena recebia sinais múltiplos, reflectidos de outros obstáculos. Para atenuar este efeito, o operador podia alterar o ângulo de recepção de sinal (alteração da recepção de sinal da antena - “máscara”).

### 3.4.3.6 Determinação das coordenadas das fontes emissoras sísmicas (Sistema EGNOS)

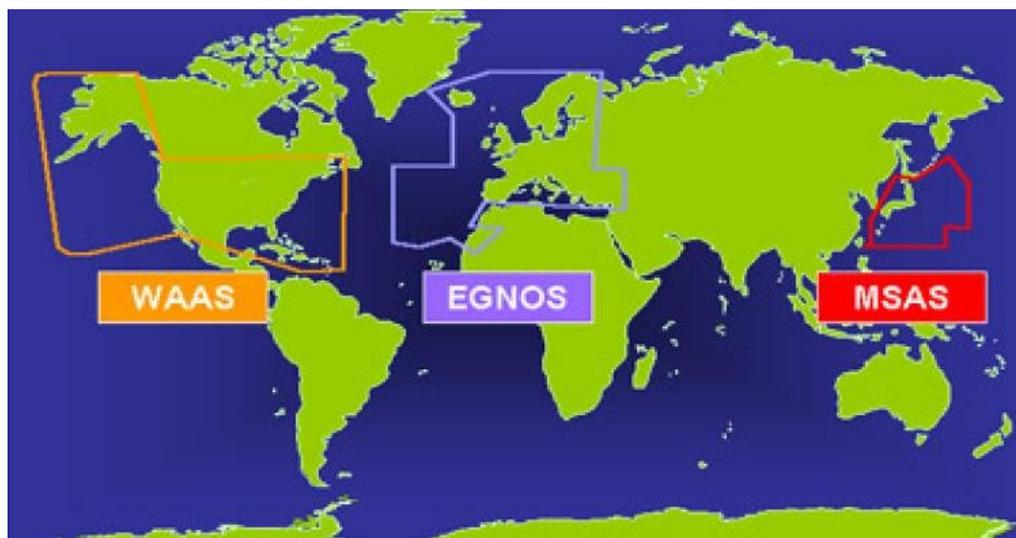


Figura 3.29 – Mapa com a cobertura do sistema Egnos e de outros sistemas locais, a nível mundial.

Os “Thumpers” foram equipados com aparelhos Trimble, compatíveis com o sistema de posicionamento EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay System*) (Figura 3.29), que tem a supervisão da Agência Especial Europeia. Este sistema é constituído por três satélites geostacionários sobre a Europa. Para além destes satélites emitirem um sinal similar e uma sincronização temporal ao dos satélites do sistema GPS, fazem e enviam correcções ao sistema

GPS com o apoio do segmento de controlo (há dois centros principais na Europa central mais 30 estações em 21 países). Assim, não se torna necessário utilizar um sistema GPS diferencial que emprega dois equipamentos GPS para a obtenção do melhoramento de precisão ao GPS.

Na Europa a precisão é de menos de um metro, o que satisfaz os requisitos para obtenção de coordenadas para as fontes sísmicas e assim prescinde do acompanhamento e levantamento topográfico de todos os pontos de “tiro” pelas equipas de topografia. Estas só são chamadas ao local quando os “*thumpers*” não conseguem obter coordenadas do local do “tiro” (aconteceu algumas vezes em zonas florestais e urbanas), devido a vários factores. Um dos factores a que se atribuiu especial atenção foi a falta de comunicação via rádio entre os *thumpers* e a estação de registo sísmico (*Dog House*), razão pela qual se procurava colocar a “*Dog House*” em pontos com maior altitude.

# CAPÍTULO 4: AQUISIÇÃO SÍSMICA 3D

## UTILIZANDO O SISTEMA SERCEL

### 4.1 Base de Campo (“*Staging*”)

Para a realização dos trabalhos de aquisição foi essencial a criação de um centro de operações, designado “*Staging*”. Foi a partir desta base de campo que as equipas saíram todos os dias, depois de uma pequena reunião (“*briefing*”) onde eram abordados pelo menos dois temas: os planos de trabalho para o dia e a segurança no trabalho. Ao longo do dia, as equipas no campo eram controladas a partir do “*staging*” via rádio por um coordenador.

Esta base estava equipada com alguns materiais básicos de pronto socorro, centro de comunicações (telefone, internet), um gerador de luz utilizado para carregar as baterias (alimentação das linhas com geofones) e para a iluminação, computadores e outros equipamentos, tanques com combustível para abastecer os veículos e uma oficina para o electricista. A base ainda tinha ainda a função de armazém onde podem ser arrecadados todos os equipamentos e onde ficavam guardados os “*thumpers*” (figura 4.1).



Figura 4.1- Centro de operações “*Staging*” na área de Torres Vedras.

## 4.2 Geofones

Na aquisição sísmica terrestre *onshore*, independentemente do sistema utilizado, os geofones (Figura 4.2) são imprescindíveis. Os geofones são receptores sísmicos, compostos por um íman e uma bobine (Figura 4.3) sensível à vibração; quanto mais intensa a vibração mais a bobine oscila. Esta oscilação imite um sinal analógico convertido posteriormente em sinal digital que é transmitido pelos cabos de aquisição (de que falaremos mais a frente no sistema Sercel). Os geofones podem ser verticais ou horizontais e com diferentes sensibilidades. As frequências dos geofones podem ser 8, 10, 14 e 30Hz. Neste projecto foram utilizados geofones verticais com a frequência de 10hz. Estes receptores devem ser colocados na vertical, com um ângulo máximo de 15° para funcionarem correctamente. Estes receptores foram “plantados” sobre os pontos marcados pela topografia. Cada estação no campo, também chamado canal, era constituída por um grupo de 6 seis geofones, ligados entre si, e que eram “plantados” com o centro geométrico do arranjo sobre os pontos marcados anteriormente pelas equipas de topografia. Para a implantação dos geofones foram planeadas várias geometrias possíveis, para que se comportassem como filtros, reduzindo assim o ruído de fundo (“*ground roll*”). A geometria tipo “S” foi escolhida e é a que funciona melhor (este tema será desenvolvido no sistema Sercel).



Figura 4.2- Grupo de 6 geofones.



Figura 4.3- Bobine Sercel de 10hz.

Para trabalhar com os geofones e cabos existiam três equipas de campo diferentes (Figura 4.4):

- a) “*Layout crew*”. Estas equipas distribuía os cabos (à frente das linhas activas) pelo campo e “plantavam” os geofones nos pontos assinalados pela topografia, navegando até ao ponto com o auxílio do GPS (que tinha os pontos previamente carregados).
- b) “*Pickup crew*”. Estas equipas recolhiam os cabos (atrás das linhas activas) quando já não eram necessários e transferiam este material para o “*staging*”, onde as equipas “*layout crew*” o utilizavam novamente, prosseguindo as operações.



Figura 4.4- Equipas “*layout crew*” e “*pickup crew*” e os respectivos veículos de transporte de material.

- c) Técnico Electricista. Este elemento era responsável por testar todos os cabos e geofones, assim como resolver problemas que surgiam no campo com os geofones ou cortes nos cabos, de modo a ter todo o material sempre operacional. Para isso o técnico tinha o apoio de várias ferramentas, incluindo uma oficina no “*Staging*”.

### 4.3 “Thumpers”

Existem vários tipos de emissores sísmicos. Os mais conhecidos em terra são os “*thumpers*”, os “*vibroscis*” (camiões vibradores) e os explosivos. Devido à especificidade desta campanha, foram escolhidos os “*thumpers*” como fontes sísmicas. Os “*thumpers*” são veículos apropriados para operar em zonas povoadas devido à sua dimensão, baixo impacto sonoro e vibratório e pequeno impacto-pegada. Estes veículos (camiões) eram equipados com um sistema hidráulico acoplado a uma estrutura constituída por um peso (martelo) e uma plataforma (prancha) (Figura 4.5). Este sistema podia ser comandado manualmente pelo operador do “*thumper*” (motorista) ou via rádio (com sistema “*Boom Box*” remoto e controlo sincronizado do “tiro”) pelo observador que estava numa unidade móvel de gravação chamado “*Dog House*” e que descreveremos mais à frente. O *thumper* também estava equipado com dois sistemas de posicionamento com finalidades diferentes. Um GPS Garmin, que servia para o operador navegar até ao ponto onde ia ser dado o tiro, e um GPS Trimble com sistema “Egnos”, utilizado para gravar com precisão o local onde era dado o tiro e que transmitia essas coordenadas via rádio para a “*Dog House*” (em tempo real). Todos os “*thumpers*” tinham instalado um rádio VHF para comunicarem entre si e com a “*Dog House*”.



Figura 4.5- “Thumper” Internacional.

Se houvesse a incapacidade do sistema Egnos conseguir as coordenadas do ponto onde se deu o “tiro”, o observador indicava ao operador do *Thumper* o número a colocar numa bandeira para posteriormente ser nivelada por uma equipa de topografia.

Foram utilizados três tipos de “*thumpers*” com dimensões e poder de tiro diferentes:

- a) “*Thumper*” *Internacional* nº1 e nº2: são os maiores e mais poderosos camiões utilizados nestas operações. Para cada ponto, estes veículos executavam oito “tiros”. Para evitar marcas exageradas nos pavimentos ou terrenos (“pegada”) foi determinado que o *thumper* se deslocasse dois metros á frente, por cada dois tiros no mesmo lugar (Figura 4.6).



Figura 4.6- “*Thumper*” *Internacional* 1 e 2.

- b) *Thumper* *Unimog* nº3: possui uma elevada capacidade de manobra, sendo o mais versátil de todos com um bom poder de “tiro”; tal como com o *Internacional*, foram dados 8 tiros por ponto de emissão (Figura 4.7).



Figura 4.7- “Thumper” Unimog.

- c) *Thumper Small track* (de lagartas) nº4: Este é o mais pequeno de todos, tendo assim a vantagem de chegar aos sítios mais estreitos (exemplo: no meio das vinhas) e remotos. Este veículo, além de possuir baixo poder de “tiro”, é muito lento devido às lagartas, tendo de ser transportado para os locais de tiro num atrelado, o que constitui uma desvantagem. Necessitava de 16 “tiros” por cada ponto de emissão para se obter um sinal equivalente (Figura 4.8).



Figura 4.8- “Thumper” *Small Track* e respectivo atrelado.

## 4.4 Sismógrafo (Monitorização de vibrações)

Um sismógrafo (Figura 4.9) regista vibrações sísmicas no terreno e serve para avaliar o potencial impacto dos “tiros” nas estruturas. É constituído por três geofones (vertical, longitudinal e transversal) integrados, um mini processador, um mostrador e um painel. Este aparelho tem conectores que possibilitam a adição de outro geofone/hidrofone/microfone podendo também descarregar os dados obtidos para um computador.



Figura 4.9- Aparelho MiniMate Plus, para monitorização de vibrações. Os espigões do aparelho pertencem aos geofones. O painel de controlo permite a alteração de parâmetros e outras configurações.

### 4.4.1 Objectivo

Para o projecto de Torres Vedras houve necessidade de recorrer a este aparelho devido à utilização dos *thumpers* (emissores sísmicos) em meios urbanos com estruturas e edifícios. Como o “tiro” dado pelos *thumpers* provoca uma propagação de ondas sísmicas pelo terreno, estas vibrações têm de ser monitorizadas de modo a garantir a segurança dessas estruturas para que as vibrações provocadas não causem danos nessas estruturas (Figura 4.10). Portugal tem normas, criadas mais na óptica das pedreiras em que se usa explosivos e em geotecnia, que expressam os valores máximos para estas vibrações (Pico de Vibração entre Partículas “PPV”). Foi com base nessas

normas que elaborámos e determinámos a distância mínima de segurança entre a localização do “tiro” do *thumper* e as estruturas existentes (casas, pontes, etc).

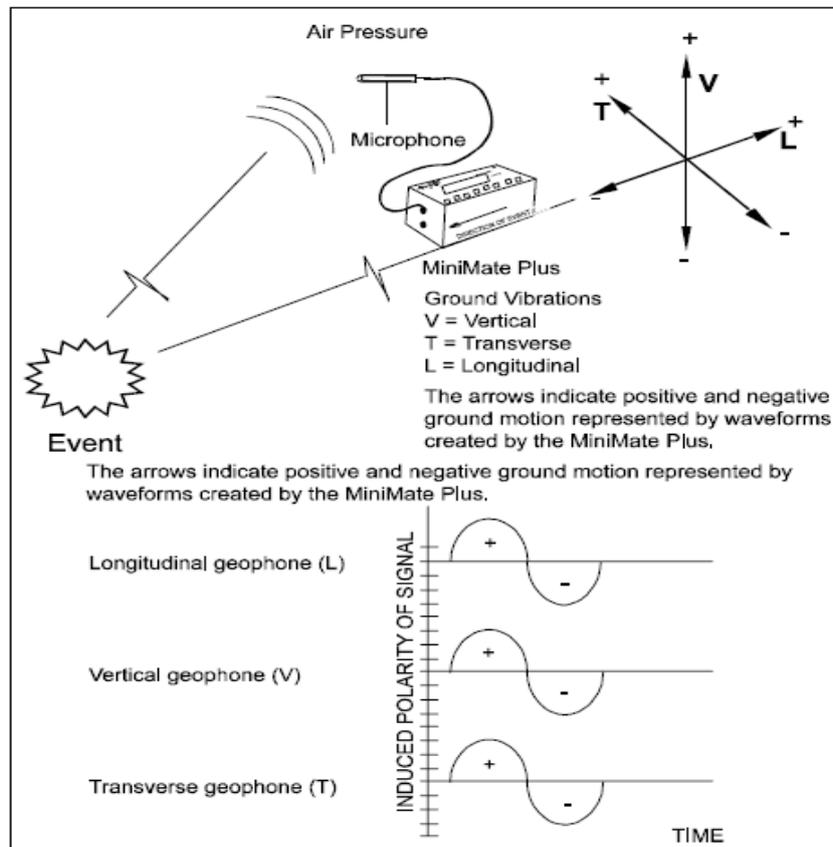


Figura 4.10- Esboço da utilização do sismógrafo, obtendo ondas verticais, longitudinais e transversais (não foram utilizados microfones). (Fonte: manual do sismógrafo MimiMate Plus).

## 4.4.2 Definições e Normas

Os valores limite do nível de vibração do terreno não dependem apenas dos danos que a velocidade de vibração de partículas pode causar nas construções, mas também do tipo de construção em si, tendo sido provado que, com frequência, a vibração gerada por explosivos é apenas o instante detonador de um processo de instabilidade atribuído a outras causas, como subsidência dos terrenos, dilatação térmica, insuficiência de material, erro de cálculo de projecto, etc. (Fornaro, 1980). Também é importante considerar as características próprias das vibrações, ou seja, a frequência, a repetitividade e a duração do fenómeno. Pode dizer-se que um edifício sofre danos, se os impulsos dinâmicos provocados

pelas vibrações se sobrepõem aos impulsos estáticos, levando a uma superação das condições de resistência da estrutura.

Após a libertação súbita de qualquer forma de energia no terreno, desencadeia-se a propagação (radial) de ondas volumétricas e superficiais (Figura 4.11), que atingem as populações e estruturas próximas, com amplitudes de vibração que dependem de vários factores (Dinis da Gama, 2003):

- Quantidade de energia libertada no fenómeno que as ocasionou;
- Distância entre a origem e o ponto onde se registam os seus efeitos;
- Propriedades transmissoras e dissipadoras dos terrenos envolvidos;
- Resistência dinâmica das estruturas e dos seus componentes mais frágeis.

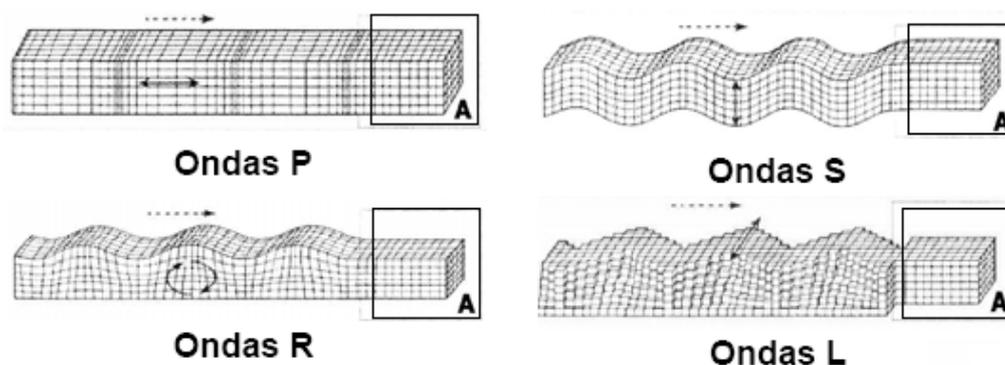


Figura 4.11- Propagação de diferentes tipos de ondas (Longitudinais, verticais, transversais) no solo. Volume A não atingido pelas ondas.

Em relação à propagação, segundo Sarsby (2000), em qualquer ponto do interior do maciço circundante, o movimento máximo das partículas postas a vibrar é devido a uma das componentes e não à energia total da onda tendo, geralmente, maior importância a componente vertical.

Em resultado dessa desigual distribuição de energia, a velocidade vibratória decresce, de modo irregular, com a distância percorrida, sendo determinada na prática, uma atenuação da sua amplitude a partir dos valores de pico resultantes das três principais componentes (longitudinal, transversal e vertical).

Os factores que contribuem para a atenuação das vibrações com a distância são (Sarsby, 2000):

- A expansão geométrica das ondas;
- A progressiva separação das três componentes, que provêm das suas diferentes velocidades de propagação;
- A presença de descontinuidades nos maciços, causando reflexões, refrações, difracções e dispersões;
- O atrito interno dinâmico característico das rochas.

No que diz respeito às Normas, estas são diferentes de país para país. A norma portuguesa (NP-2074), datada de 1983, segue em linhas gerais, a norma alemã DIN 4150, determinando, em particular, um critério de controlo dos parâmetros característicos das vibrações produzidas em minerações e seus efeitos nos edifícios. Os valores limite são estabelecidos de acordo com as características das condições da fundação, do tipo de construção e das forças dinâmicas. Esteves (1994) propôs, além da consideração das características anteriormente mencionadas, a consideração da frequência. O parâmetro usado para avaliar o nível de vibração é a soma vectorial das três componentes ortogonais da velocidade das partículas, ou simplesmente o valor máximo de cada eixo (Figura 4.12).

Tipo de solo			
	Solos incoerentes (areias inconsolidadas)	Solos de consistência muito dura, dura e média; solos compactos incoerentes	Solos de alta coerência e rochas
Velocidade da onda	$C_p < 1000$ m/s	$1000 < C_p < 2000$ m/s	$C_p > 2000$ m/s
Frequência (Hz)			
Tipos de construção	< 10	10 a 40	> 40
Construções que requerem cuidados especiais (monumentos históricos, museus, prédios muito altos)	3	5	10
Construções normais (habitações)	5	10	20
Construções reforçadas (prédios a prova de terremotos)	15	30	60

Figura 4.12- Tabela com os valores limites de velocidade de vibração das partículas, em mm/s (Fonte: Bacci, 2000, adaptado de Esteves, 1994).

### 4.4.3 Estudos anteriores ao projecto

Realizaram-se estudos anteriores a esta campanha sísmica utilizando sismógrafos com o mesmo âmbito de prospecção de hidrocarbonetos. O Instituto de Conservação da Natureza (ICN) solicitou ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) um parecer sobre os possíveis efeitos de explosões (fonte sísmica), a realizar no âmbito de uma campanha de reflexão sísmica, sobre o meio subterrâneo na região do Parque Natural das Serras de Aires e Candeeiros (PNSAC).

De modo resumido, os procedimentos para a utilização de cargas explosivas passam em primeiro lugar pela determinação da sua potência e a profundidade em que são colocadas. Depois mobiliza-se uma máquina de perfuração que, para cada ponto de emissão sísmica, faz um furo. De seguida, um técnico de explosivos vem colocar a carga nos furos e tapa-os. Estes explosivos ficam ligados aos respectivos detonadores para posteriormente, durante a aquisição de dados, serem detonados.

De acordo com o Instituto da Água e Laboratório Nacional de Engenharia e com base em alguns dados fornecidos pela “*Mohave Oil and Gas Corporation*”, nomeadamente as velocidades de propagação das ondas elásticas longitudinais serem na ordem 3000m/s e o valor máximo recomendado da velocidade de vibração das partículas ser de 2 mm/s, a realização dos ensaios permitiu obter a seguinte relação para uma carga de explosivos de 4Kg:  $D/W^{1/3} = 90$  (em que “W” é a carga de explosivo e “D” a distância mínima de segurança) que se traduz numa distância mínima de segurança 143 metros. Concluíram que, não deveriam ocorrer danos nas cavidades subterrâneas situadas a uma distância superior a 150 metros do local das explosões.

Sempre que a distância seja inferior à referida deverão ser tomadas as seguintes medidas:

- Afastar os perfis sísmicos das zonas a proteger,
- Reduzir a carga de explosivos por furo, de acordo com a tabela representada na Figura 4.13.

<b>CARGA DE EXPLOSIVOS (Kg)</b>	<b>DISTÂNCIA MÍNIMA DE SEGURANÇA</b>
<b>1</b>	<b>90</b>
<b>2</b>	<b>114</b>
<b>3</b>	<b>130</b>
<b>4</b>	<b>143</b>

Figura 4.13- Tabela Distancias mínimas de segurança calculadas para  $v = 2$  mm/s e para diferentes cargas de explosivos (explosivo colocados a uma profundidade máxima de 10 metros). (Fonte: LNEC).

Para o projecto de Torres Vedras, a utilização de explosivos como fonte sísmica foi excluída. Seria difícil executar os “tiros” nos respectivos pontos de emissão sísmica (que atravessam as zonas urbanas) e ao mesmo tempo respeitar as distâncias mínimas de segurança

De modo semelhante, a opção de utilizar sistemas Vibroseis foi excluída. Estes camiões são em primeira instância de dimensão demasiado grande face aos inúmeros caminhos/estradas que teriam de percorrer, tornando fisicamente muito difícil a sua utilização. Tais veículos são equipados com hidráulicos e uma plataforma que assenta sobre o terreno. É posto a vibrar com uma determinada frequência, que vai variando de intensidade de vibração ao longo do tempo, sendo o tempo e a frequência pré-estabelecidos.

As vibrações contínuas, com frequências normalmente entre os 10 e os 50Hz, podem ter grandes riscos para as estruturas existentes devido ao potencial de ressonância. Assim, para uma zona urbana rica em edificações com reconhecidos valores patrimonial e histórico, a utilização de Vibroseis não seria uma hipótese viável.

#### **4.4.4 Resultados do projecto Torres Vedras**

Foram realizados vários ensaios e testes utilizando o sismógrafo e os *thumpers* em diferentes tipos de piso. Com alguns dos resultados (Figura 4.14) foi

possível elaborar uma tabela (Figura 4.15) e gráfico (Figura 4.16) com a distância de segurança.

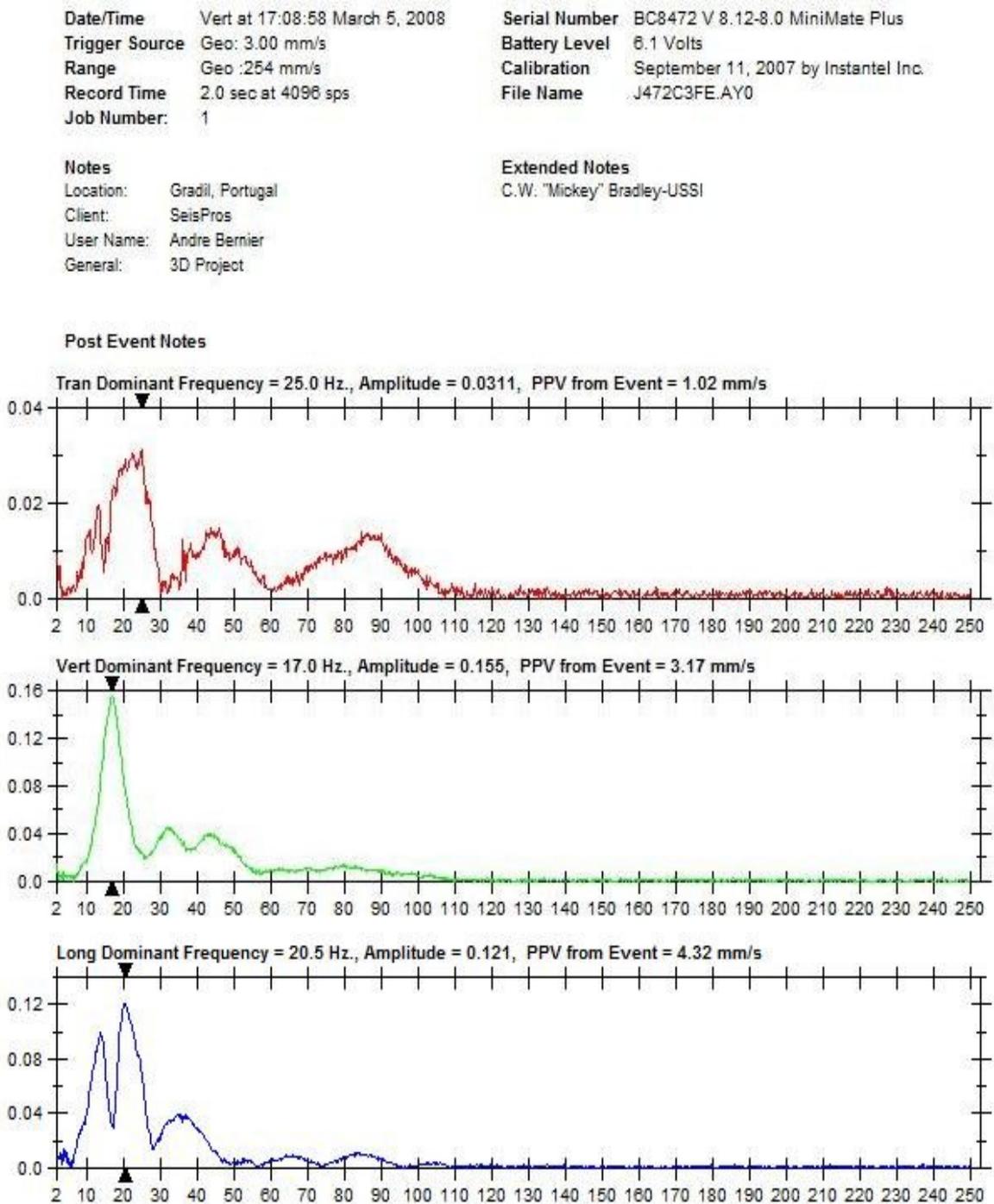


Figura 4.14 – Relatório gerado automaticamente pelo sismógrafo, contendo o comportamento das velocidades de vibração das partículas, incluindo o seu pico.

Com estes testes (Figura 4.14) e os parâmetros anteriormente referidos, incluindo o Pico de Vibração entre Partículas (“PPV”) e um factor de segurança, foi possível definir uma distância mínima de 6 metros entre os tiros dos *thumpers* e as estruturas, em terrenos com solo não consolidado, e de 10 metros em solos consolidados<sup>1</sup>.

Em conclusão, para estruturas e construções usuais, obteve-se uma distância mínima inicial à fonte sísmica de 6 metros, à qual foi aplicado um factor de segurança (vide Figura 4.16) de cerca de 33%, tendo-se determinado uma distância mínima de segurança de 8 metros. Para construções que exigem cuidados especiais, à distância mínima inicial de 8 metros foi aplicado o mesmo factor de segurança e a distância utilizada passou a ser de 10 a 12 metros. É seguro dizer que, sendo a distância superior a 12 metros, a influência das vibrações nas estruturas é, neste caso, insignificante.

hora	metros	MAX(mm/s)	Freq. (Hz)
17:03	2	48	25,8
17:12	2	57,2	43,3
17:11	4	35,2	36
15:45	5	20,5	26
17:05	5	9,33	21,8
17:15	5	11,6	17,5
17:06	6	7,78	27,5
17:08	8	4,62	24,5
15:33	10	4,38	20,5
17:07	10	4,33	18
17:18	10	4,7	20,5
17:10	12	3,34	19

Figura 4.15 - Tabela demonstrativa de alguns resultados obtidos. A partir dos valores a azul, a distância é segura para estruturas normais e a partir dos 8 ou 10 metros para as estruturas especiais.

<sup>1</sup> Para os solos consolidados, esta distância de 10 metros foi teórica mas atendendo a um maior grau de segurança, uma vez que não foi possível a realização de ensaio por falta de alguns acessórios para utilização do sismógrafo.

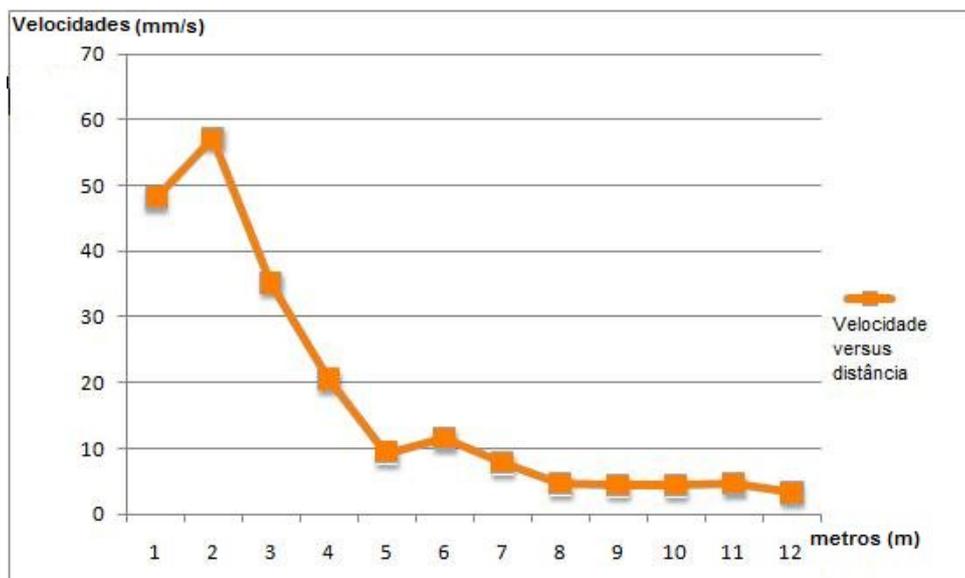


Figura 4.16 - Gráfico com dados obtidos do campo. Demonstra a velocidade de vibração das partículas versus distância entre o sismógrafo e o thumper. A partir da análise destes dados foi estabelecido o factor de segurança mínima de cerca de 33% aplicado a distâncias até 9 metros.

## 4.5 Unidade móvel de observação e gravação de dados (“Dog house”)

“Dog House” é uma unidade móvel de observação e registo em tempo real (Figura 4.17). Esta unidade pode funcionar com diferentes sistemas de gravação; o escolhido para este projecto foi o Sercel. A esta unidade estavam ligados todos os geofones e cabos e era ela que comunicava e comandava os *thumpers* e todas as equipas de campo via rádio. Dentro da unidade podemos encontrar vários monitores, processadores unidades NAS (*Network-Attached Storage*), entre outros (Figura 4.18 e 4.19).



Figura 4.17- “Dog House” da empresa Seis Pros Inc.



Figura 4.18- Equipamentos montados no interior da *Dog House*.



Figura 4.19- Equipamento NAS montado no interior da *Dog House* que é utilizado para guardar toda a informação relacionada com a aquisição.

O observador (usualmente geofísico) era o operador da “*Dog House*”, a partir da qual, verificava todo o sistema Sercel, nomeadamente o estado (com ou sem corrente eléctrica) dos geofones e a localização dos *thumpers*. Durante as operações de aquisição era o observador que indicava aos operadores dos *thumpers* para que ponto se deviam deslocar e, quando estes estivessem sobre o

ponto comunicavam via rádio ao observador, que se entendesse, poderia executar o “tiro” remotamente com o apoio do “*BOOM BOX*” (aparelho que sincronizava e comandava o “tiro” via rádio). Depois do “tiro”, o observador verificava e observava se o sistema Sercel tinha adquirido correctamente os dados sísmicos referentes ao “tiro”. Se necessário, ordenava a repetição do “tiro”. Todas as ocorrências eram registadas pelo observador no seu relatório diário.

O observador contava ainda com o apoio de um ajudante chamado “*Trouble Shooter*”. Sempre que o observador detectasse alguma anomalia no funcionamento de equipamentos no terreno indicava-o ao “*Trouble Shooter*” que tinha a função de verificar a existência de avarias nos equipamentos (geofones, cabos, baterias, etc) e corrigir, substituir ou solucionar o problema.

No final de cada dia de aquisição o observador entregava um dos NAS (unidade de armazenamento de dados) ao departamento de controlo de qualidade, que no dia seguinte o ia analisar. Assim o controlo de qualidade era feito sempre com um dia de atraso relativamente à data de aquisição.

## **4.6 Sistema de aquisição SERCEL**

O sistema de aquisição Sercel 428, foi o sistema escolhido para este projecto sísmico em 3D. Esta ferramenta une todos os outros equipamentos, já referidos neste capítulo, para um funcionamento em conjunto e sincronizado de modo a registar e gravar dados sísmicos. Este sistema é constituído por vários componentes que passamos a descrever.

### **4.6.1 Funcionamento dos componentes e cabos Sercel**

Os cabos Sercel foram elaborados de modo a transmitirem organizadamente todos os sinais recebidos de centenas de geofones, de modo a que, cada sinal possa ser descortinado com as respectivas coordenadas pelo software da Sercel e pelo observador na “*Dog House*”. A disposição escolhida, para cada arranjo de seis geofones, foi o “S” por ser esta a disposição considerada mais indicada para cada estação/ponto e que amplifica o sinal

recebido nessa estação. No caso de impossibilidade da formação em “S” os geofones eram plantados em linha ou ainda agrupados (Figuras 4.20 e 4.21).



Figura 4.20- Ligado ao cabo laranja Sercel temos um grupo de 6 geofones “plantados” em linha (geometria alternativa ao “S”) devido às condições do terreno.



Figura 4.21-Geofone “plantado” no canto do passeio (ampliação da figura 4.16).

Os geofones eram ligados ao cabo Sercel de cor laranja (Figura 4.26) através dos **FDU's** (*Field Digitizing Units*) (Figura 4.22). Estas unidades tinham a tarefa de digitalizar o sinal analógico dos geofones e eram previamente aparelhadas aos cabos, de modo a cada cabo possuir uma ou duas destas unidades que estavam espaçadas, entre si, de 55 metros (Figura 4.27).



Figura 4.22- FDU's recolhidos do campo que aguardam na oficina para serem reparados pelo electricista.

Os **LAUL's** (*Line Acquisition Unit Line*) são componentes que permitem ligar as baterias as outras unidades Sercel, alimentando as linhas e fornecendo voltagem aos outros componentes ligados à linha (Figuras 4.23 e 4.27).

Os **LAUX's** (*Line Acquisition Unit Crossing*) (Figura 4.24) têm o papel de conectar várias linhas ligando-se entre si por um cabo que os atravessa perpendicularmente e que os liga ao sistema de gravação Sercel instalado na *Dog House*. Estes componentes também fazem a gestão de toda a informação que chega de cada uma das estações receptoras para posteriormente a enviarem para a *Dog House*.

Os **TREP's** (*Transverse Repeater*) são basicamente repetidores de sinal ligados aos cabos vermelhos. Para o seu correcto funcionamento, estes aparelhos devem estar no máximo distanciados entre si de 150 metros sendo 5 o número máximo de TREPs entre duas unidades LAUXs (Figuras 4.25 e 4.27).



Figura 4.23- Unidade Laul.



Figura 4.24- Unidade Laux.



Figura 4.25- Unidade Trep.

As baterias já mencionadas são necessárias para alimentar as linhas com energia eléctrica. Podem ser ligadas aos LAUX's e aos LAUL's.

Os cabos vermelhos ligavam os vários componentes LAUX's entre si e a *Dog House*. Os cabos amarelos eram usados como extensões, quando os cabos com os FDU's (cor de laranja) não tinham comprimento suficiente para assegurar as ligações (normalmente devido a obstáculos no terreno) (Figura 4.26).



Figura 4.26: Os diferentes tipos de cabos utilizados na aquisição sísmica.

Resumindo, os vários arranjos de geofones que estavam activos no momento do “tiro”, captavam as vibrações, que transmitiam aos FDU's (55 em 55 metros), que, por sua vez transformavam o sinal analógico em digital. Estes dados circulavam pelos cabos laranja. Ao longo destes cabos podíamos encontrar algumas unidades Laul's ligadas a baterias e que assim forneciam energia eléctrica às linhas com geofones. As linhas intersectavam outras linhas perpendiculares (cabos vermelhos) por meio das unidades Laux's. Estas unidades tinham a capacidade de ordenar as séries de dados provenientes de cada linha

de geofones de modo a transmitirem toda essa informação pelos cabos vermelhos até chegarem à Dog House. Para não se perder sinal nos cabos vermelhos, eram instalados TREP's cada 150 metros (Figura 4.27).

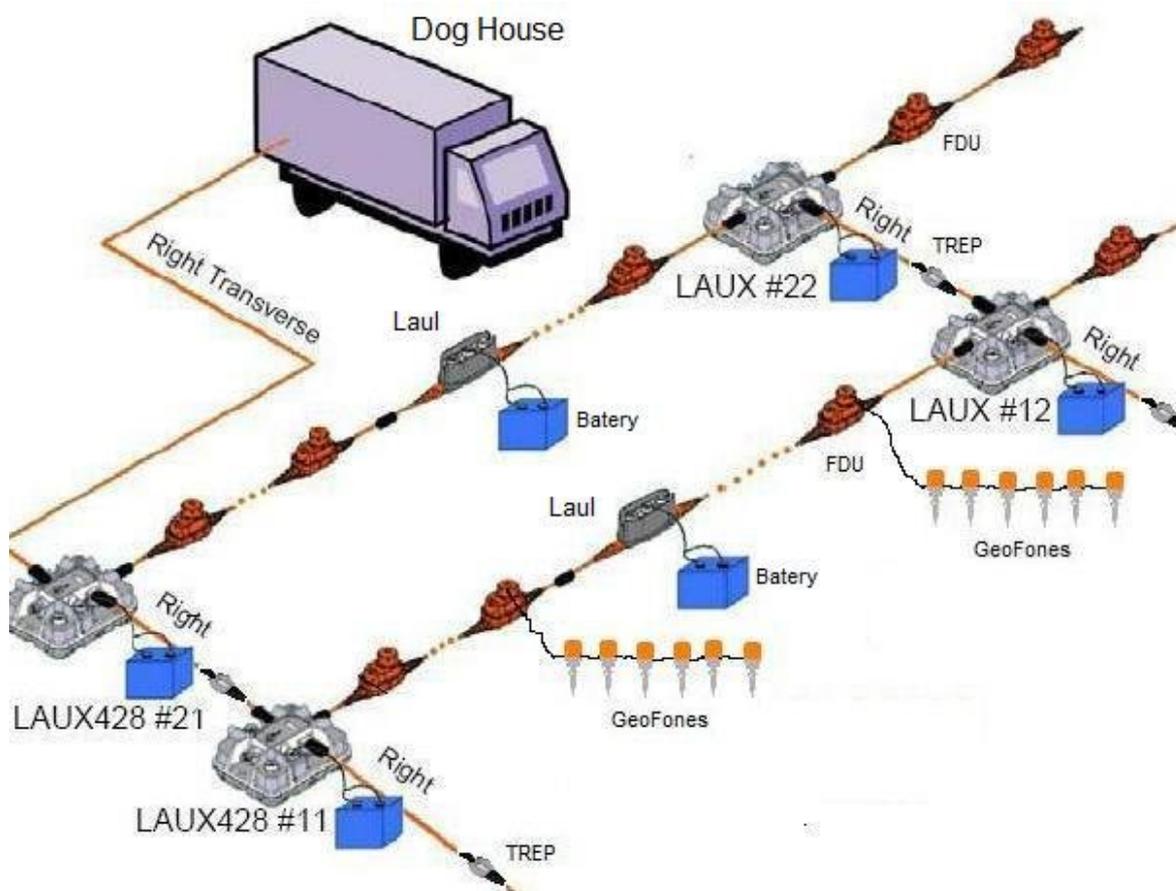


Figura 4.27 - Esquema de distribuição dos equipamentos no campo.

#### 4.6.2. Gravação de dados com o sistema Sercel

Com o sistema Sercel, a cada “tiro” efectuado pelo *thumper* correspondia um registo sísmico bruto (*Raw*) (dados originais não processados, obtidos de um “tiro”). Como para cada ponto de emissão eram efectuados 8 ou 16 “tiros”, o sistema Sercel soma estes registos de modo automático num único registo chamado *Dump* (Figura 4.28).

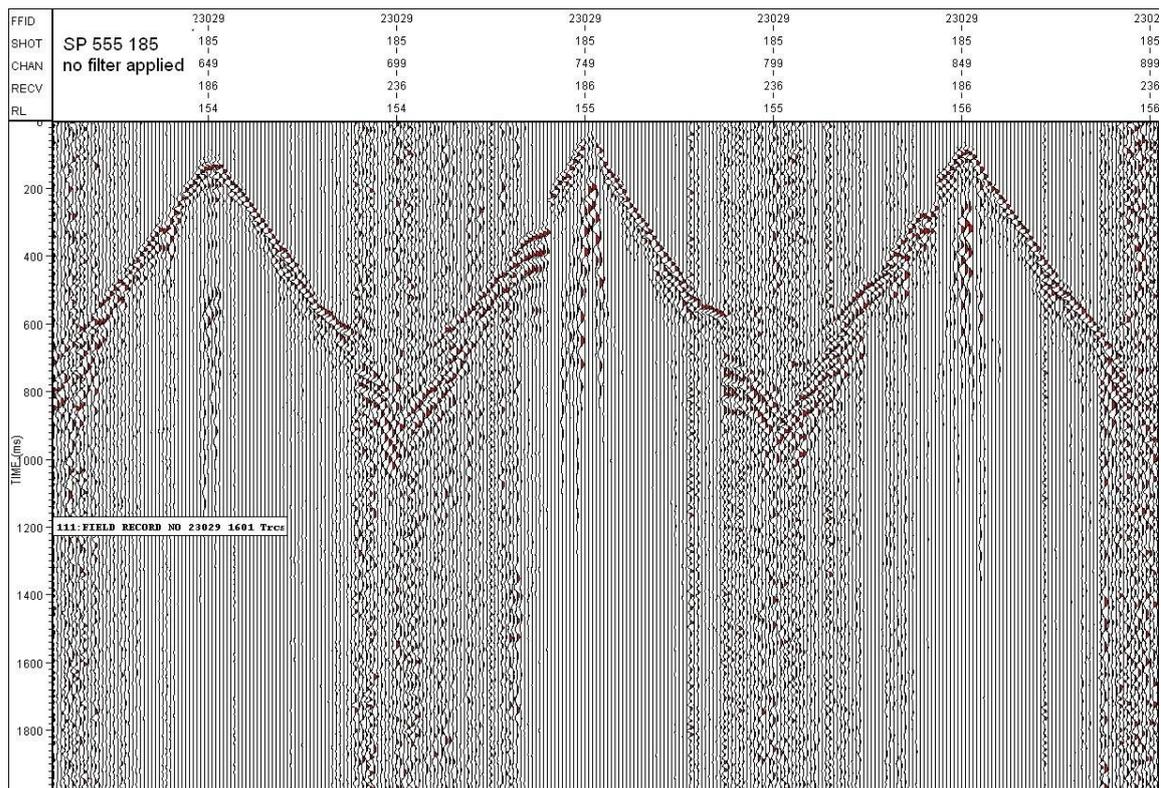


Figura 4.28- A imagem ilustra uma parcela de um registo "dump" com três linhas (154, 155 e 156). Dados originais gravados pelo sistema Sercel, correspondentes a um "tiro" realizado na linha 555, no ponto de emissão 185.

O observador que coordenava e monitorizava quais as linhas e receptores sísmicos activos e executava remotamente da *Dog House* os "tiros" dos emissores sísmicos, era o responsável pela decisão de guardar os dados gravados pelo Sercel, ou mandar repetir os "tiros". Estes dados eram gravados no NAS (*Network-attached Storage*) já referido anteriormente, que posteriormente era entregue ao departamento de controlo de qualidade. Existiam sempre dois equipamentos Nas, um para o dia de trabalho na *dog house* (gravar novos dados) e outro no departamento de controlo de qualidade com dados gravados do dia anterior. O departamento de controlo de qualidade analisava todos os dados gravados e guardados no NAS como explicaremos no capítulo 5.

# **CAPÍTULO 5: CONTROLO DE QUALIDADE E PROCESSAMENTO PRELIMINAR**

## **5.1 Controlo de Qualidade**

Por norma, numa campanha sísmica 3D, as funções desempenhadas pelo departamento de controlo de qualidade (QC) passam por: (1) supervisionar o posicionamento (coordenadas) dos pontos de emissão e recepção sísmica nivelados pela topografia; (2) analisar os relatórios do observador; (3) corrigir alguma anomalia verificada nos dados adquiridos no campo; (4) atribuição de geometria aos traços (garantindo uma boa geometria) e (5) a realização de um processamento preliminar que permita obter uma imagem preliminar dos perfis (secções) sísmicos gerando, eventualmente, um cubo sísmico 3D.

Devido à complexidade acrescida deste projecto, por se tratar de uma área de ocupação urbana, entre outras razões já mencionadas, o QC tem, para além das suas funções usuais, de possuir perspicácia e destreza na identificação e solução de vários obstáculos que iremos expor de seguida.

### **5.1.1 Planeamento Dinâmico**

#### **5.1.1.1 Alteração ao plano inicial**

Como era de esperar, houve necessidade de efectuar alterações de fundo à geometria teórica inicial (malha dos pontos emissores e receptores sísmicos), já que esta não teve em conta a realidade do terreno (densidade populacional, permissão entre outros). Normalmente, estas alterações de pontos são realizadas pelas equipas de topografia que percorrem o terreno. Nesta campanha, optou-se por colocar a equipa de topografia responsável somente pela posição e o levantamento topográfico dos pontos receptores, ficando o QC responsável pela

colocação dos pontos emissores no terreno (Figura 5.1). Neste âmbito foram montados, nos *Thumpers*, equipamentos com o sistema de posicionamento por satélite EGNOS permitindo, assim, o levantamento topográfico dos pontos de emissão em simultâneo com a realização do “tiro”. A movimentação dos pontos foi orientada e efectuada pelo QC a partir do gabinete, tendo posteriormente, os pontos, sido carregados para aparelhos GPS. Estes mesmos aparelhos foram também utilizados pelos operadores dos *Thumpers* para navegar de um ponto para outro. Esta movimentação dos pontos para uma nova posição foi feita cuidadosamente, de modo a conseguir o melhor local para a nova posição, e realizada com o apoio do programa Omni que permitia produzir mapas de cobertura (*Fold*) para testar a distribuição do sinal para diferentes *offset's*, garantindo assim sempre uma boa geometria cobertura múltipla de sinal.

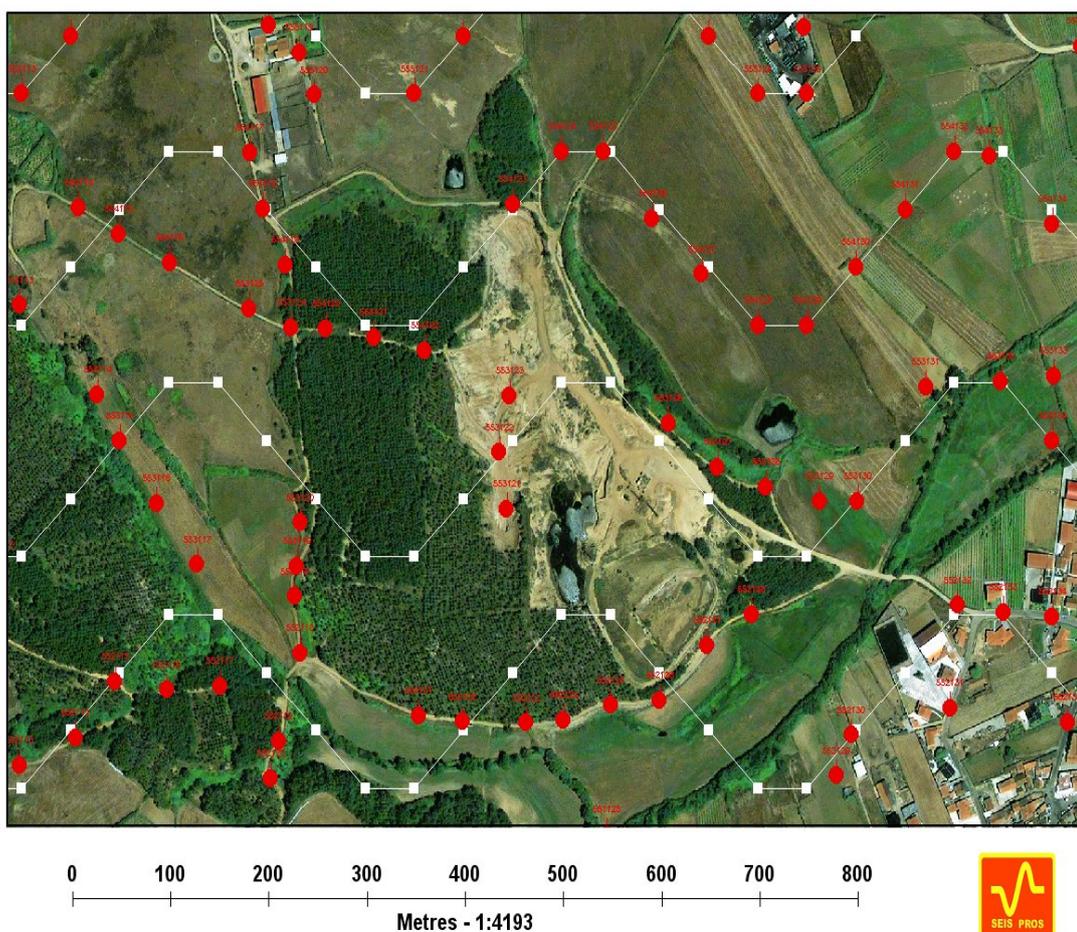


Figura 5.1 – Ortofotomapa com a sobreposição das diferenças entre as malhas preplot (pontos brancos) e os pontos emissores alterados (pontos vermelhos).

O programa Omni é, de facto, uma ferramenta essencial para o planeamento das operações de campo, podendo acrescentar, retirar e modificar a localização dos pontos da malha, analisando, simultaneamente, o resultado final em termos de cobertura do sinal.

Assim, com o trabalho da equipa de topografia e o do controlo de qualidade, obtivemos uma nova malha de emissores e receptores, mantendo uma boa geometria.

### **5.1.1.2 Movimentações de pontos**

Para além da alteração ao plano inicial, já durante o decorrer dos trabalhos houve necessidade de movimentar novamente mais pontos (receptores e emissores). Por vezes estas mudanças eram incómodas pelo facto de alguns pontos já terem sido utilizados na aquisição sísmica como estando numa posição e depois, posteriormente, serem utilizados novamente mas numa nova posição. Esta situação criava complicações e obrigava a um cuidado especial no acompanhamento diário por parte do departamento de controlo de qualidade, com uma constante revisão dos planos inicialmente estabelecidos, ou seja, recorrendo a um planeamento dinâmico para os resolver. Estas movimentações implicavam alterações nos mapas de cobertura múltipla (*Fold*) de modo a continuar a garantir uma boa geometria e cobertura da área.

### **5.1.1.3 Programas e metodologias utilizados**

Como já referido, o *software* Omni desempenhou um papel importante para a movimentação de pontos. Na utilização deste programa, pudemos usar como fundo um ortofotomapa devidamente georreferenciado, que possibilitou a visão de obstáculos no terreno. De seguida, recorrendo também à sobreposição de uma rede quadrada (*Bin Grid*), com 25 metros de lado, que nos ajudou a mover os pontos mantendo-os o mais equidistantes possível, obtivemos uma distribuição razoavelmente homogénea.

Ao movimentar os pontos foi necessário levar em conta alguns factores de campo, como seja o facto de os pontos da mesma linha deverem ter sempre a mesma ordem numérica inicial e não se deverem cruzar linhas ao mudar um ponto.

Depois de efectuadas as modificações com o programa Omni, efectuava-se o teste da malha e o programa simulava como ia ser executado o novo *Script*<sup>1</sup> de aquisição. O script informava o sistema de aquisição da dimensão do *Patch* que ia ser disposto no terreno, como seriam executados os “tiros” e que geofones receberiam o sinal desses “tiros”. Todos estes parâmetros eram introduzidos manualmente no programa Omni, podendo ser modificados se necessário. Sempre que havia uma mudança de posição dos pontos da malha, que já tinham sido usados previamente, tinham de ser criados novos ficheiros *Script*, ou seja, tínhamos de programar o *Script* novamente (*reshoot*) para posteriormente ser carregado, de novo, no sistema de aquisição.

#### **5.1.1.4 Limitações e obstáculos**

Os pontos de emissão movidos em gabinete recorriam ao uso de um ortofotomapa com cerca de 4 anos, já não integralmente representativo da realidade, pois dado o intervalo temporal podia haver estruturas não visíveis na imagem, como sejam cultivos agrícolas, áreas florestais, vedações com muros portões ou cancelas.

Outro problema associado à imagem era ser 2D, não sendo possível ver a inclinação do relevo. Para ajudar a resolver esta situação recorreu-se à utilização do programa ArcGis. Numa primeira fase foi usado o Arcmap para criar uma grelha triangular TIN (*triangular irregular networks*) com base em coordenadas de cerca de 1200 pontos receptores, medidos pela equipa de topografia. Numa segunda fase, no Arcglobe, sobrepôs-se o ortofotomapa à *Tin* anteriormente

---

<sup>1</sup> O script era constituído por 3 ficheiros de texto gerados pelo programa e que tinham de ser carregados no sistema de aquisição Sercel, que seguidamente processava todos os parâmetros do projecto. Um dos ficheiros era carregado com os pontos receptores, outro com os pontos emissores e o terceiro com o conjunto dos dois anteriores e as ligações respectivas.

gerada, obtendo-se uma imagem 3D do terreno, que simulava as altitudes com base nas coordenadas já medidas pela equipa topografia, possibilitando calcular as inclinações para verificar, por exemplo, se os *thumpers* eram capazes de aceder a certas zonas.

Por estas razões, a geometria, que já tinha sofrido várias alterações à inicialmente projectada, sofreu novamente modificações, sendo a geometria final obtida a partir dos receptores medidos pela topografia e emissores medidos pelos *thumpers* no terreno. Sempre que os pontos não garantissem a qualidade da geometria, o CQ mandava repetir os “tiros”. Se os problemas fossem a falta de permissão dos proprietários, havia a possibilidade de executar pontos extra em várias posições ao longo dos limites dessas propriedades (Figura 5.2) com o propósito de aumentar o *fold*; no entanto, nestes casos, o cliente é que decidia pois podia implicar custos adicionais.

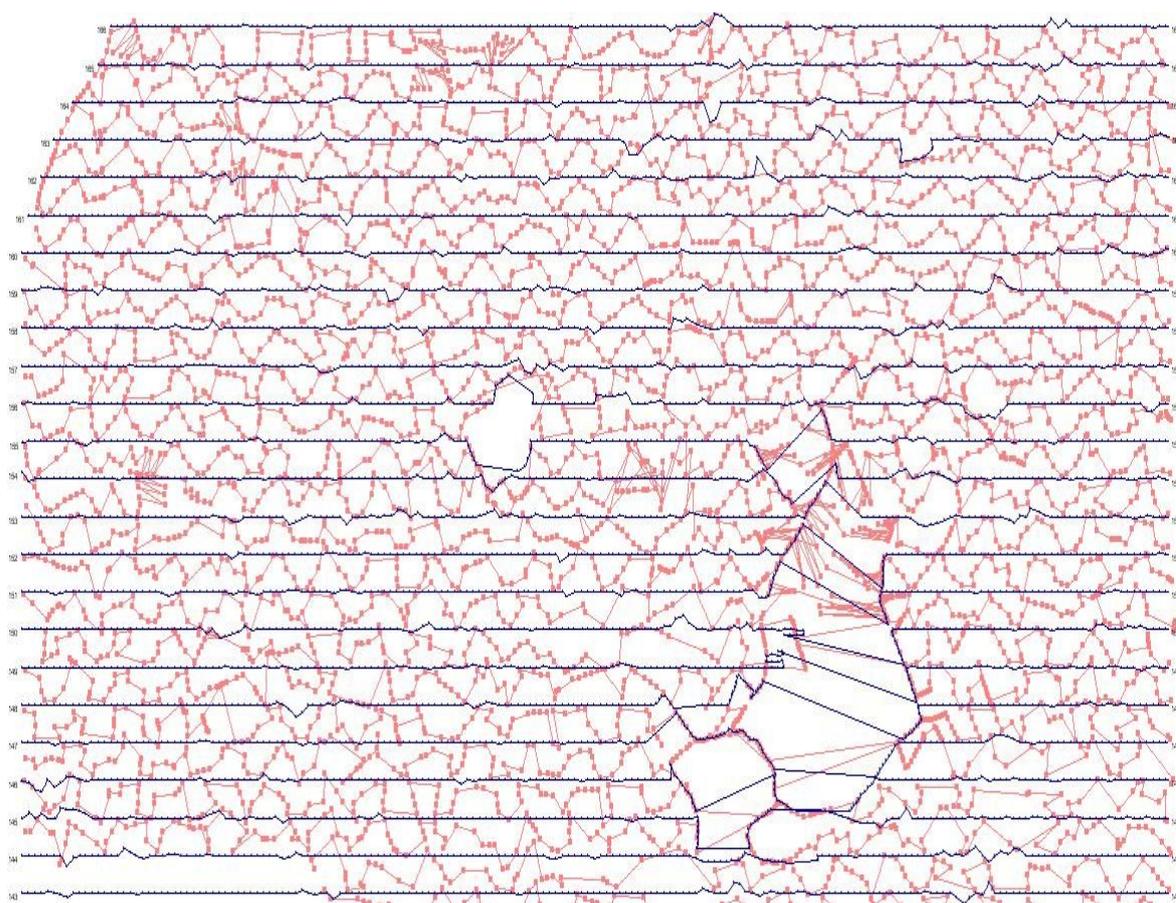


Figura 5.2 – Geometria final da malha. Os receptores correspondem aos pontos azuis, os emissores aos pontos vermelhos, as zonas de exclusão às áreas em branco e os pontos extra aos pontos vermelhos em “zigzag” nos limites das zonas de exclusão.

Para diminuir o impacto das interrupções na aquisição (motivadas por exemplo pelo corte de cabos efectuados por tractores, falhas com baterias descarregadas, ou outras dificuldades do terreno) o departamento de CQ decidiu diminuir o *patch*, isto é, diminuir a área activa de geofones no terreno no momento do “tiro”. Assim, passou-se de cerca de 1600 estações activas para menos de 1400. Tal solução implicou nova alteração ao *script* mas não afectou a qualidade da aquisição e ainda incrementou a velocidade operacional na aquisição de dados sísmicos.

### **5.1.2 Mapas de apoio ao trabalho de campo**

Para ajudar nas operações de campo, o departamento de QC elaborava mapas de apoio. Para isso recorria ao programa ArcGis que, a partir de uma base de dados existente, sobrepunha por camadas (*layers*) todas as informações pretendidas e as projectava num ortofotomapa. A base de dados era composta por informação das equipas de topografia e dos agentes de permissão.

As equipas de topografia, simultaneamente ao levantamento topográfico, registavam *waypoints* (com coordenadas, como já foi referido anteriormente) que se referiam a todos os perigos encontrados, aos caminhos com bom acesso e à medição de todas as estradas existentes no projecto.

Os agentes de permissão/notificadores registavam também toda a informação de perigos, e todos os dados relativos aos proprietários e aos limites das propriedades.

Na elaboração dos mapas, toda esta informação podia ser utilizada e sobreposta à imagem de satélite, segundo as necessidades específicas das equipas de campo, nomeadamente na prevenção de possíveis acidentes ou possíveis conflitos com proprietários (áreas sem permissão ou de exclusão).

### **5.1.3 Relatórios recebidos da *Dog House***

O QC recebia diariamente da *Dog House* dois relatórios, um elaborado pelo observador e outro produzido automaticamente pelo sistema Sercel.

O observador criava um ficheiro em Excel, onde elaborava um relatório a partir do trabalho de registo (*recording*) realizado nesse dia. Este relatório continha a identificação do projecto e do sistema de registo, os parâmetros de aquisição e gravação e, mais importante ainda, a informação sobre a quantidade de tiros efectuados, o número de *raws* (registo sísmico bruto) por ponto de emissão sísmico e o respectivo *dump* (soma dos *raws* num único registo), a identificação dos ficheiros de campo (FFID: *Field File Identification*) e eventuais comentários sobre ocorrências relevantes.

O sistema Sercel gerava, também de modo automático, um relatório por dia com a identificação e o número de geofones que tinham estado activos e registaram sinais dos vários tiros realizados, a informação do registo das coordenadas medidas pelo sistema EGNOS dos thumpers (pontos de emissão) e os respectivos FFID's.

É fácil de perceber que todas as informações descritas nos relatórios eram de extrema importância para quem ia seguidamente processar (QC) os dados da aquisição sísmica, pois de outra forma, em caso de problemas ou dúvidas no processamento desses dados, o QC não teria como saber o que se passou no campo, dificultando assim o esclarecimento e solução do problema. Ainda assim, o QC não se podia limitar a uma mera leitura dos relatórios; necessitava sempre de cruzar as informações desses relatórios, tendo em atenção as informações contraditórias, de modo a produzir um único relatório final.

Nesse relatório final tinham de constar os pontos a omitir, os pontos extra que tinham sido efectuados, os pontos que precisavam de voltar a ser medidos (devido a erros nas coordenadas obtidas) e os pontos receptores movidos no campo que, por esse motivo, necessitavam de ser medidos novamente. Neste mesmo relatório constavam também as correcções de erros produzidos de modo sistemático pelo sistema Sercel, que consistia em usar a primeira coordenada medida pelo sistema EGNOS, que erradamente atribuía essa coordenada ao *Dump*. A correcção baseava-se em fazer a média de todas as coordenadas obtidas nos *Raws* e atribuir essa coordenada média ao *Dump*.

### **5.1.4 Controlo e validação dos dados de campo**

Um dos principais objectivos do QC foi garantir que todos os pontos de emissão e recepção tivessem a posição correcta. Para isso cruzava todos os dados obtidos do campo.

Como primeiro passo de verificação tínhamos que verificar o registo diário no sistema NAS (*Network-Attached Storage*) da Dog House e extrair os dados aí gravados. Para descarregar esses dados dos NAS utilizava-se o programa Filezilla. Estes mesmos dados eram, depois, importados para um programa de processamento de dados sísmicos, o Vista, que permitia controlar a qualidade dos dados.

Seguidamente, já utilizando o programa Vista, carregavam-se os registos excluindo aqueles que o observador, por sua decisão, afastava no seu relatório. Posteriormente, separavam-se os registos originais, relativos aos *Raw*, dos registos *Dump*, e simultaneamente, eliminava-se o *Time Break*, isto é, eliminava-se o canal auxiliar. Depois de separados os dados, era verificado se o número de ficheiros importados para o Vista correspondia ao mesmo número de ficheiros existentes no relatório do observador, deduzido dos ficheiros omitidos, e verificava-se também o cabeçalho criado pelo programa, concretamente se não existiam zeros no campo que dizia respeito aos canais, de modo a garantir que não importávamos o canal auxiliar. Com o Vista existia, ainda, a possibilidade de editar e corrigir algum erro encontrado *a posteriori*.

### **5.1.5 Atribuição da geometria aos traços sísmicos**

Antes do departamento de QC produzir um ficheiro com as coordenadas dos pontos de emissão, para posterior utilização na atribuição da geometria aos traços, era necessário ainda resolver alguns problemas.

Como referido anteriormente, o sistema de coordenadas obtido no sistema EGNOS (ITRF: International Terrestrial Reference Frame) é diferente do exigido pela Direcção Geral de Geologia e Energia (sistema de coordenadas UTM ED50 Portugal - Espanha), sendo necessário enviar as coordenadas para o

departamento de topografia, para que elas pudessem ser transformadas no sistema de coordenadas exigido.

Para as situações em que as coordenadas dos pontos de emissão não tinham sido medidas com precisão, ou simplesmente tinha falhado a medição, era necessário enviar a equipa de topografia para determinar novamente as coordenadas desses pontos.

Depois de todas estas situações mencionadas estarem resolvidas, era criado o ficheiro de texto com os FFIDs, os nomes dos pontos e as respectivas coordenadas. O departamento de topografia ficava então responsável por elaborar e entregar ao QC um ficheiro idêntico mas com os pontos receptores.

Pelas muitas razões já referidas anteriormente, e devido à complexidade operacional existente no terreno, a posição dos pontos receptores era alterada diversas vezes no decorrer da campanha sísmica.

Na situação de mudança de posição dos pontos receptores, que já tinham sido utilizados na obtenção de registos, possuíamos duas posições e duas coordenadas para um mesmo ponto de recepção. Para resolver esta situação, antes de ser atribuída geometria aos traços, estes tinham de ser divididos em intervalos de FFIDs, definidos sempre que um ponto receptor fosse mudado de posição no campo (Figura 5.3). A geometria tinha de ser atribuída individualmente aos vários intervalos criados.

Finalmente, podíamos então atribuir a geometria aos traços, que era uma das operações mais importantes realizadas pelo QC e tratava de garantir que a cada ponto correspondia uma única coordenada, sem que houvesse ambiguidades.

Para gerir toda a informação relativa aos grupos de FFID criados, cada vez que a posição de um ponto receptor era mudada, era elaborado um procedimento no Vista (*Job Flow*) que, basicamente, combinava todas as informações e ficheiros relativas aos FFID de modo a obter um ficheiro final com a geometria a aplicar.

Depois de ter gerado o ficheiro final, este tinha de ser importado para o cabeçalho (*headers*) do Vista substituindo assim as coordenadas preplot (coordenadas teóricas e sem elevação) pelos valores das coordenadas reais de

cada ponto. Por fim era introduzido no programa o *Bin* do projecto (25 x 25 metros) e calculado o *Fold* para o *Bin* definido.

**TV Preplot Changes-B**

Found:

- occurrences when receivers have been moved: 103
- number of affected receiver stations: 390
- receivers moved more than once: 20

FFID	LineStation	Ext.	Easting	Northing	Elevation	Date	Comments
214	160203	1				2008-01-25	
	161237	1				2008-01-25	
2291	156250	1	471925.30	4325954.12	16.93	2008-01-29	
	156251	1	472001.07	4325920.48	15.95	2008-01-29	
	156252	1	472051.10	4325929.40	16.96	2008-01-29	
	156253	1	472101.16	4325934.44	17.30	2008-01-29	
	156254	1	472151.20	4325920.27	18.17	2008-01-29	
	156255	1	472201.14	4325957.29	19.09	2008-01-29	
2730	161197	1	469301.80	4326979.59	8.60	2008-01-29	
	162199	1	469410.48	4327200.12	9.01	2008-01-29	
2821	160203	2	469594.06	4326800.53	9.35	2008-01-30	
	161237	2	471318.43	4327001.67	16.88	2008-01-30	
3117	156278	1	473347.59	4325960.37	39.08	2008-01-30	
	156279	1	473387.11	4325958.07	28.45	2008-01-30	
3244	152280	1	473449.00	4325208.03	93.88	1969-12-31	
3615	159238	1	471341.73	4326612.41	11.77	2008-01-30	
3688	163166	1				2008-01-31	
4218	166208	1	469844.13	4328022.70	36.60	2008-01-31	
	160144	1				2008-02-02	
5025	160205	1				2008-02-02	
	159104	1	464651.43	4326615.86	69.65	2008-02-06	
9559	159105	1	464705.04	4326616.93	71.50	2008-02-06	
	159106	1	464752.52	4326611.50	72.31	2008-02-06	
	159107	1	464797.20	4326608.82	72.13	2008-02-06	
	156192	1	469013.74	4326043.82	8.75	2008-02-08	
10558	156193	1	469091.30	4326040.20	8.34	2008-02-08	
	156194	1				2008-02-08	
	156195	1				2008-02-08	
	156196	1				2008-02-08	
10741	158206	1	469730.01	4326453.87	25.85	2008-02-08	
	158207	1	469806.65	4326421.42	29.06	2008-02-08	
	158208	1	469876.40	4326402.16	37.54	2008-02-08	
	158209	1	469916.54	4326392.73	41.83	2008-02-08	
	158210	1	469970.29	4326394.21	50.39	2008-02-08	
	163202	1	469544.76	4327398.36	14.04	2008-02-08	
	163203	1	469606.47	4327416.05	10.12	2008-02-08	

Figura 5.3 - Base de dados com informação relativa às estações activas movidas.

## 5.2 Processamento preliminar

Há várias razões para se proceder à aquisição sísmica numa determinada área. A mais importante é a necessidade de definir, com precisão, a forma geométrica das estruturas geológicas e a sua anisotropia em termos de falhas (Figura 5.4). Para que os dados sísmicos sejam interpretáveis é necessário processar previamente os registos sísmicos usando algoritmos sofisticados.

Só a partir do processamento dos dados sísmicos se consegue obter uma secção, ou imagem sísmica, que se pareça com a realidade geológica. Para

passar desse registo de ondas sísmicas para uma secção geológica, que produza um modelo realista, é necessário aplicar várias correcções e passos de processamento que exploraremos de seguida.

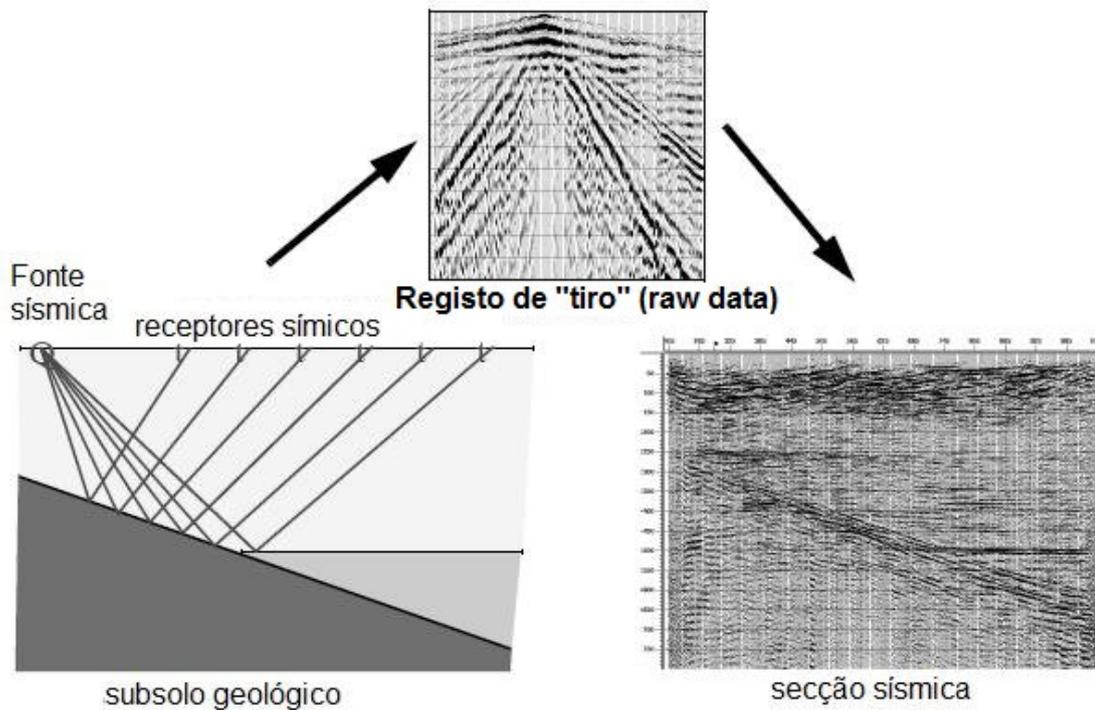


Figura 5.4 – Esquema simplificado da obtenção de uma secção sísmica a partir da aquisição sísmica.

### 5.2.1 Re-amostragem e redução do tempo de registo

O processamento é uma operação que envolve a aplicação de diversos algoritmos e é bastante morosa. Como os dados importados para o processamento continham informação relativa a perfis sísmicos com profundidades por volta dos 6-7 km (4 segundos TWT, tempo de ida e volta da reflexão) e os *Targets* (objectivos) para este projecto ficavam a profundidades bem menores, foi possível eliminar os últimos 2 segundos TWT dos perfis sísmicos. Desta forma, o tempo de processamento nesta fase inicial foi reduzido para cerca de metade, evitando perda de tempo no processamento de informação desnecessária.

O tempo de processamento foi também reduzido com base na redução do intervalo de amostragem dos traços.

O intervalo de amostragem foi estabelecido no momento de conversão do sinal analógico (função contínua sinusoidal) para um sinal digital (função discreta para pontos amostrados com um dado de amostragem). Para alterar este parâmetro havia que ter em atenção o fenómeno de *Aliasing* (deformação de uma onda) por sub-amostragem (Figura 5.5). Este fenómeno acontecia quando a frequência de amostragem era inferior à frequência Nyquist<sup>2</sup>.

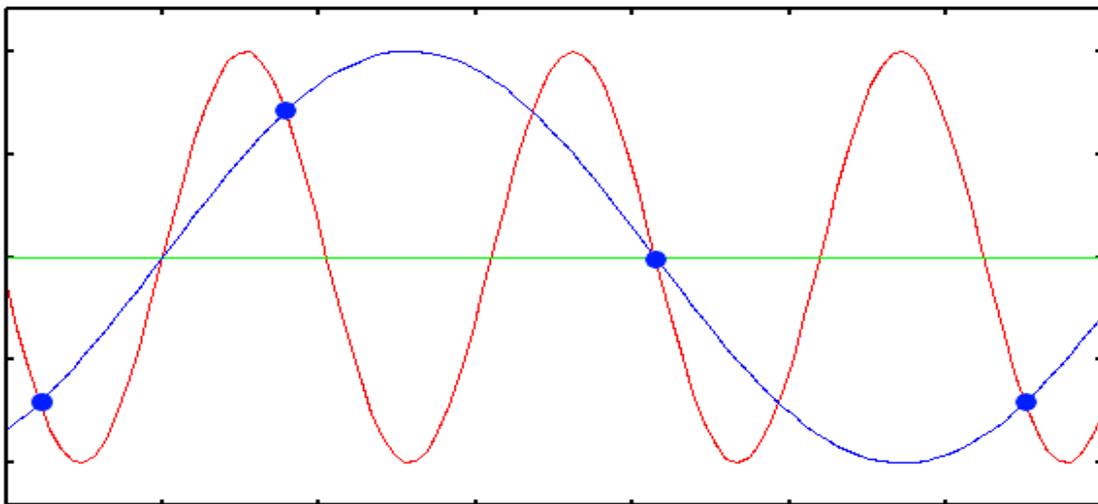


Figura 5.5 – Resultado de uma sub-amostragem da função *aliasing*, onda azul. Na passagem da onda analógica (original, onda vermelha) para digital (pontos azuis) verificámos a influência de uma sub amostragem e a subsequente deformação da onda original, que aparece com um conteúdo em frequência incorrecto (Kuc,1982).

O tempo de amostragem pode ser reduzido recorrendo a uma função (*resample*) que permite aumentar o passo de amostragem dos traços.

As duas funções descritas estavam relacionadas de tal forma que ao passar de um intervalo de amostragem de 2 para 4ms foi alterado o valor da frequência máxima preservada de 250Hz (numa amostragem de 500 ciclos por segundo) para 125Hz. Para tal foi utilizado um filtro passa-baixo *Anti-Alias* a 125Hz para excluir a possibilidade de *aliasing*.

---

<sup>2</sup> Metade da frequência de amostragem é chamada frequência de *Nyquist* e corresponde ao limite mínima de frequência do sinal que pode ser reproduzida, sem perda ou distorção de informação.

## 5.2.2 Correções estáticas

As correções de estática foram usadas para eliminar os efeitos topográficos causados pelas diferentes cotas entre os geofones e os *Thumpers*, bem como eliminar as variações na velocidade sísmica das camadas superficiais, que provocavam desvios na trajetória dos raios (correção do tempo vertical). Na prática, o perfil sísmico foi referenciado a uma elevação comum e superior à cota mais alta do projecto (emissores e receptores projectados num mesmo *datum* de referência). Neste caso o *datum* utilizado foi 140m. O que se pretendia, com a correção de estática, era fazer com que todos os efeitos sísmicos produzidos pelas camadas geológicas presentes acima do *datum* fossem eliminados.

O programa Vista tem várias rotinas para correções de estática com a optimização e a correção dos traços, por forma a obter-se o melhor sinal possível para o processamento posterior. Utilizando as correções estáticas (*elevation statics*, do Vista) foi criado um ficheiro de texto (ascii), para utilização posterior nas secções de *stack*.

Numa fase mais avançada do processamento, foram ainda aplicadas correções estáticas mais sofisticadas utilizando as chegadas das ondas refractadas (*refraction statics*).

## 5.2.3 Desconvolução

A desconvolução é necessária para tentar remover o efeito da energia sísmica ser filtrada pela terra, alterando a forma da onda reduzindo o seu conteúdo em altas frequências e baixando a sua resolução vertical. O objectivo da aplicação da desconvolução é recuperar as frequências altas e atenuar múltiplos entre outros, para obter uma melhoria da resolução e qualidade do registo (em relação à frequência) e da capacidade de separar no tempo, intervalos e eventos anteriormente impossíveis, melhorando a razão sinal/ruído (Yilmaz, 2001).

No programa Vista foi aplicada a desconvolução após a correcção da divergência esférica<sup>3</sup> (*Spherical divergence*) para corrigir a perda de densidade da energia local à medida que a onda se propagava por uma superfície cada vez maior.

## 5.2.4 Análise de velocidades

Uma parte crítica do processamento sísmico é a análise de velocidades. É imperativo saber a velocidade de cada formação geológica, por forma a corrigir os dados sísmicos e poder inferir a geologia de sub-superfície. Existem várias razões para que a velocidade em cada formação seja diferente, tais como variações de densidade, constantes elásticas, etc. O problema que se coloca é saber o valor exacto da velocidade de cada formação no local onde passava o perfil sísmico. Esta velocidade podia ser obtida por duas formas.

A mais correcta, foi obtida ao longo de um furo de sondagem existente na zona de estudo. A diagrafia de velocidade contínua (*sonic log*) nesse furo foi obtida através de uma sonda que possuía geradores de som e receptores colocados a determinada distância entre si. À medida que a sonda ia descendo ao longo do poço, a fonte geradora de som ia emitindo ondas sísmicas e, nos receptores, iam-se medindo os tempos de chegada das respectivas ondas. A velocidade era depois calculada através da medição da diferença de tempos (*travel time*) entre a fonte e o receptor.

A outra forma, menos exacta, é que se utiliza sempre que não há dados de poços nas áreas em estudo e é obtida durante o processamento, através de algoritmos de análise de velocidade, ajustando hipérboles teóricas às reflexões nas várias camadas (yilmaz, 2001).

Apesar do departamento de qualidade ter efectuado uma análise preliminar de velocidades usando secções de velocidade constante (CVS: *constant velocity stacks*), no fim, as velocidades utilizadas foram obtidas de informações e estudos

---

<sup>3</sup> 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 de energia por unidade de área.

anteriores a este projecto realizados na zona, com a atribuição de velocidades características a cada formação já conhecida. Estas velocidades eram necessárias para a correcção de *Normal Moveout* (NMO) como se expõe de seguida.

## 5.2.5 NMO

O NMO (*normal moveout*) permite corrigir as variações no tempo de reflexões provenientes de um ponto reflector comum devidas às distâncias de separação (*offset*) entre os geofones e a fonte de energia serem variáveis. O efeito da aplicação do NMO ao display CMP (*common mid point*) permite fazer com que cada traço sísmico obtido representasse o traço produzido, se o geofone e a fonte sísmica ocupassem a mesma posição espacial (incidência vertical, Figura 5.6). Resumidamente, a correcção de NMO elimina o efeito da separação (*offset*) geofone/*thumper* para pontos reflectores comuns, permitindo a sua soma (*stack*).

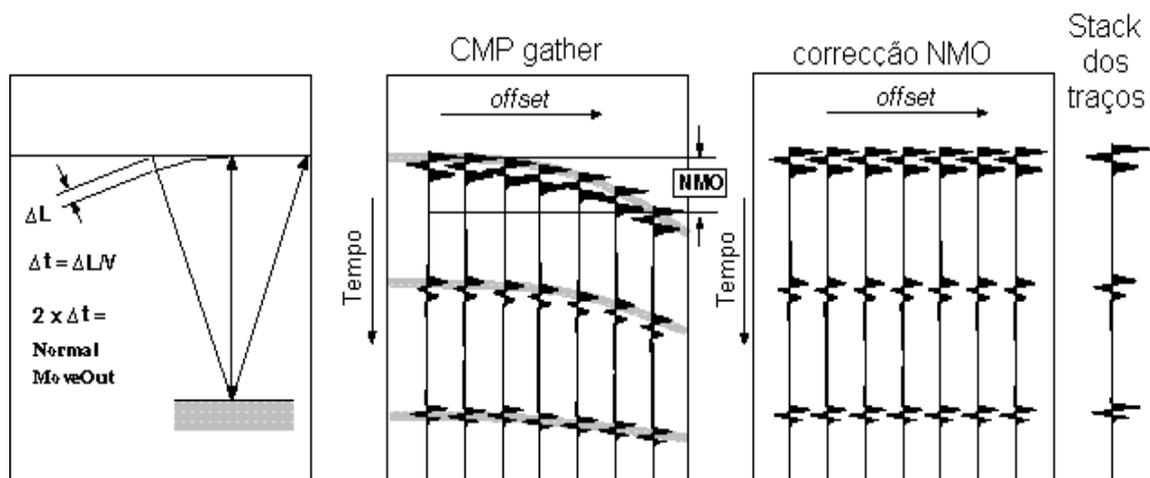


Figura 5.6 – Correção com *Normal Moveout* (NMO) e, do lado direito, o resultado do respectivo *stack* (soma). Segundo Kuc,1982.

## 5.2.6 Stack

Depois da correcção NMO, é necessário proceder-se à soma de todos os traços sísmicos correspondentes ao mesmo ponto comum em profundidade

(CDP: *common depth point*). Este processo de soma de traços de um reflector comum, por forma a obter um único traço representativo, designa-se por *stacking*. A razão principal para se proceder ao CDP *stack* depois da correcção do NMO é amplificar as reflexões e melhorar a razão sinal/ruído. A quantidade de dados a serem processados após esta operação diminui significativamente, pois os vários traços para cada ponto reflector comum são somados num mesmo Bin (yilmaz, 2001).

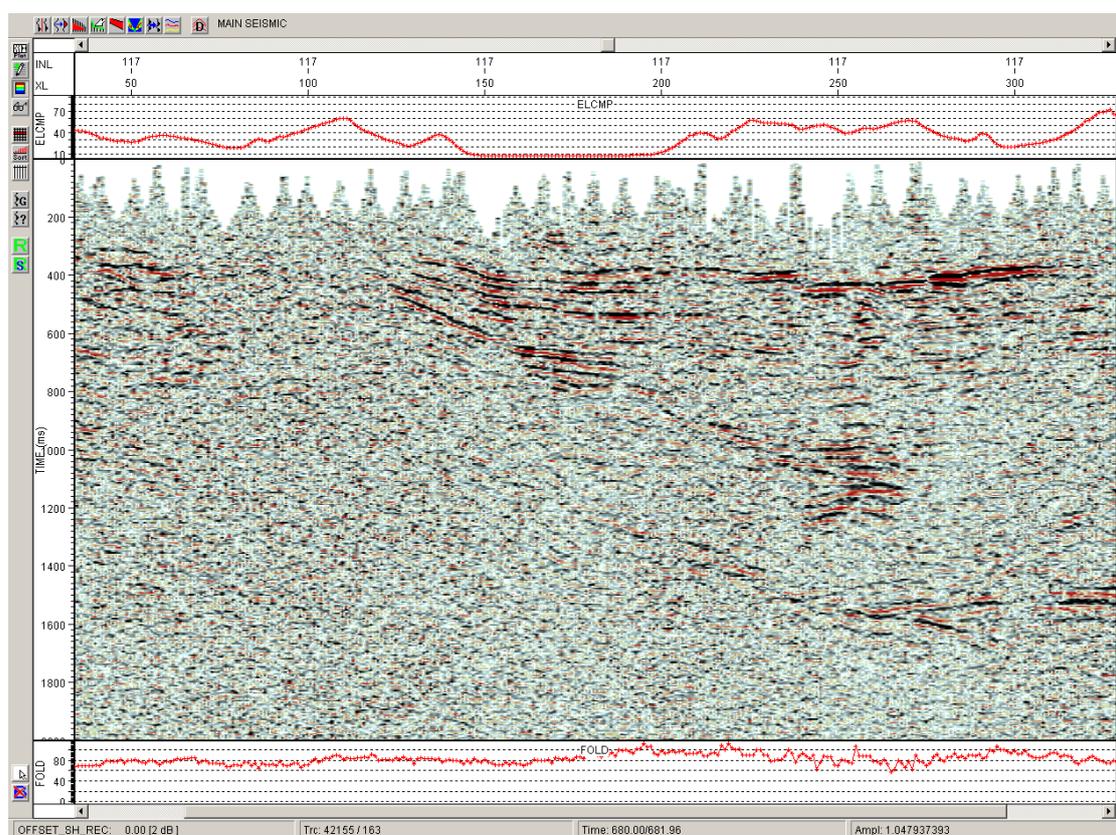


Figura 5.7 – Secção sísmica *Brute stack* com aplicação de correcções estáticas automáticas (auto-Static) e filtros de predição (fxprediction). É possível observar a orientação e a inclinação de estruturas geológicas.

No Vista foi possível criar um procedimento (*Job Flow*) para a geração de secções *stack*. Começou-se por introduzir os parâmetros calculados anteriormente (correcções de estática e NMO), sendo de seguida retiradas as chegadas das ondas superficiais e directas, o *Ground Roll* (propagada pela superfície terrestre). Depois procedeu-se à amplificação do ganho do sinal e ao melhoramento das secções com a rotina *Auto-static*, que melhorou a qualidade

das correcções de estática, aplicadas anteriormente) e o *FXprediction* (filtro que melhorou a qualidade do sinal, formando os reflectores mais nítidos) (Figura 5.7).

Pudemos obter como resultado deste *Job Flow* diferentes tipos de secções *stack* consoante as velocidades e procedimentos utilizados. A secção de base designa-se *Brute Stack*, e serve de referência e base de comparação para todas as outras, já que não possui qualquer tipo de processamento extra (nem o *Auto-Static* nem o *FXprediction*).

### 5.2.7 Imagem 3D e respectivas secções

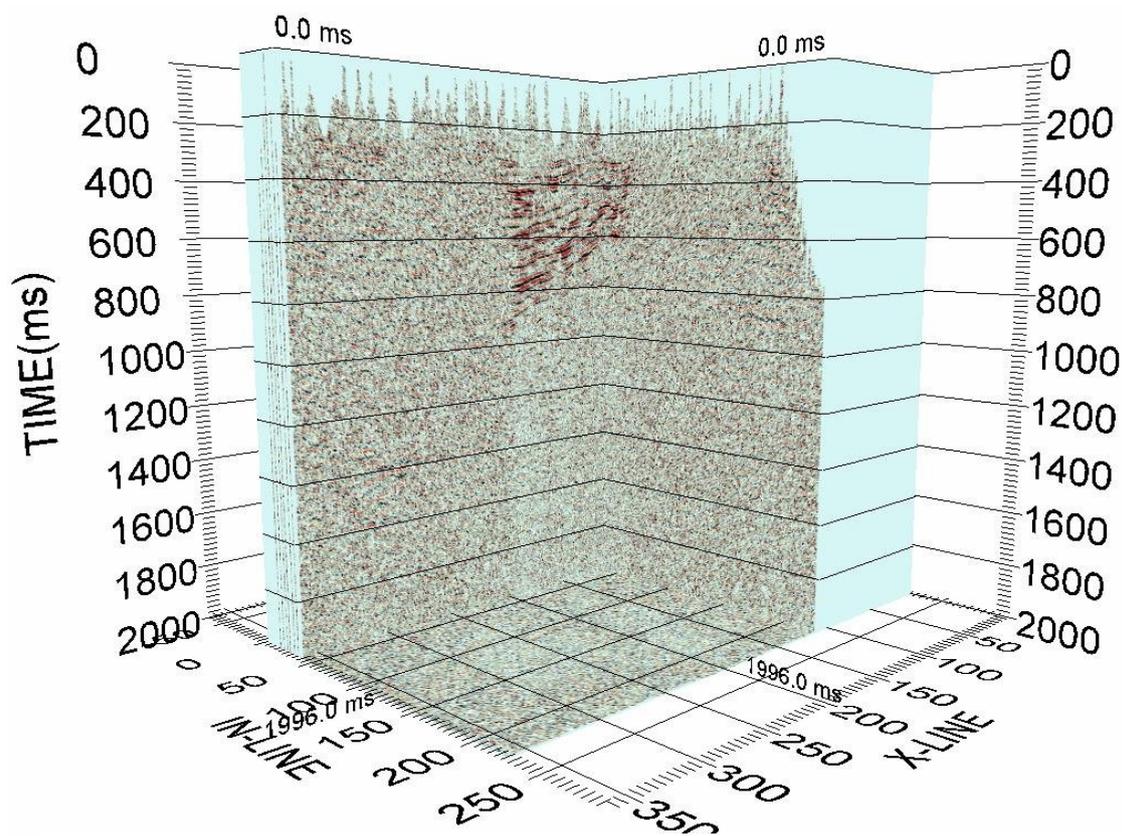


Figura 5.8 – Secção sísmica tridimensional (cubo sísmico) preliminar. São visíveis bons reflectores entre os 400 e 800ms.

Com este processamento preliminar foi possível, no programa Vista, gerar um cubo sísmico 3D (Figura 5.8) constituído pelas respectivas secções sísmicas, sendo possível obter fatias verticais ou horizontais conforme se desejar. Através

deste cubo pudemos ter, não só, uma melhor percepção da qualidade dos dados obtidos, como também, verificar irregularidades e até tomar decisões para o preenchimento de eventuais faltas de cobertura de dados em zonas em que a informação seja de grande interesse.

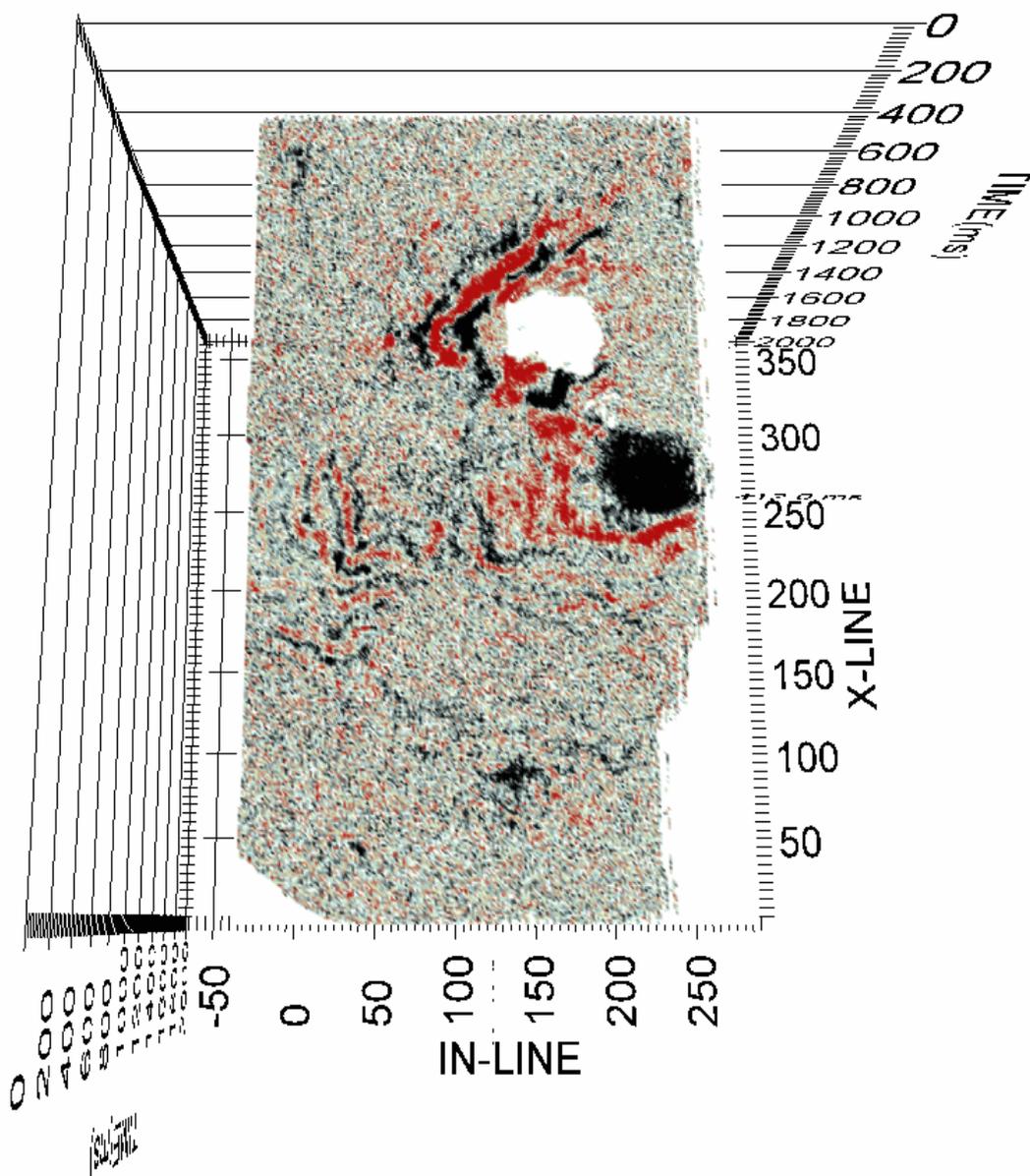


Figura 5.9 – Secção horizontal vista de cima. Com vários reflectores curvos ou mesmo circulares que apresentavam alguma relevância.

Na Figura 5.9 temos uma perspectiva em planta dos dados adquiridos até à conclusão deste estágio. É bem visível a influência de uma grande área de não permissão/exclusão (de onde não se obteve dados) representado na imagem pela zona a branca. Também são visíveis reflectores curvos (a vermelho) com reflectores muito fortes, com uma geometria circular, podendo estar eventualmente associadas à presença de um diapiro de sal ou de um recife. No entanto devido a insuficiências dos dados de que dispúnhamos, não nos foi possível obter uma conclusão.

## CAPÍTULO 6: Conclusões

A realização de qualquer estágio curricular em empresa tem como objectivo a interacção de conhecimentos técnico-científicos teóricos com a sua aplicação prática. Este estágio em concreto foi muito mais enriquecedor pois, para além do seu objectivo inicial, possibilitou a participação e colaboração num projecto inovador na área da aquisição sísmica 3D numa zona urbana em Portugal.

Em concreto permitiu acompanhar as diferentes fases de planeamento, aquisição, processamento e interpretação de dados de uma campanha sísmica 3D em meio urbano. Por outro lado possibilitou também adquirir experiência num estágio em ambiente empresarial e a familiarização com as técnicas utilizadas na fase de pesquisa na indústria petrolífera.

O desafio que nos colocou, para além de aliciante por se tratar da primeira campanha deste tipo realizada até hoje em Portugal, exigiu-nos dinamismo, empenhamento e participação em todas as fases do projecto e permitiu-nos não só obter novos conhecimentos como aprofundar outros obtidos nas várias disciplinas do curso. Como se tratou de um projecto completamente inovador na área da aquisição sísmica, no planeamento e execução dos trabalhos não foi possível seguir procedimentos e técnicas já utilizadas noutros trabalhos do género, facto que lhe incutiu um dinamismo constante e exigiu alterações frequentes aos planos inicialmente delineados. Assim, e não obstante neste projecto terem participado profissionais experientes em aquisição sísmica 3D em áreas não urbanas, o desafio foi constante, tanto para nós como para esses especialistas. Existiu ainda um salutar intercâmbio multicultural e aperfeiçoamento de algumas línguas estrangeiras.

Por outro lado, o facto de termos utilizado ferramentas específicas, tanto de hardware (sismógrafo, GPS diferencial, estação total) como de software (Vista, ArcGis, Omni, Oziexplorer), contribuiu para sedimentar conhecimentos já estudados e a familiarização com as técnicas utilizadas na indústria petrolífera.

No campo da topografia, para além do aprofundamento de todas as técnicas e metodologias e da experiência de campo, foi possível ainda acompanhar e participar no intercâmbio social entre as equipas de topografia e os proprietários, de forma a concretizar a nossa intervenção nos terrenos privados e a minimizar o número e dimensão das áreas de exclusão causadas pela não obtenção de permissão. Na verdade, sempre que não era obtida permissão gerava-se uma zona de exclusão que obrigava a uma alteração na planificação, pois o departamento do controlo de qualidade para ultrapassar a situação definia novos pontos de emissão, o que normalmente gerava uma maior concentração de pontos nos limites das referidas áreas. Estas alterações implicavam tempo e custos adicionais. As movimentações dos pontos de emissão e a alteração também dos pontos de recepção no decorrer da aquisição implicaram que a planificação fosse dinâmica, para garantir a qualidade da malha. Assim, embora a distribuição dos pontos pareça aleatória, foi conseguida uma boa geometria conforme os requisitos do cliente.

O carácter inovador do projecto permitiu que, apesar da nossa reduzida experiência, tivéssemos dado um contributo positivo nas soluções adoptadas para ultrapassar os obstáculos que foram levantados pela especificidade do projecto. De entre estas destacamos duas: a elaboração de uma imagem 3D da área do projecto em ArcGis e a diminuição do tamanho do patch. A primeira permitiu visualizar o relevo e calcular as inclinações de modo a aferir a eventual inacessibilidade dos “*Thumpers*”. A segunda possibilitou a diminuição de interrupções causadas por cortes na linha activa e desta forma permitiu uma maior produção, isto é, realização de mais “tiros” por dia.

Finalmente, e de forma a melhorar a eficácia na realização de futuras campanhas sísmicas em ambientes similares ao desta, em nossa opinião, seria positivo uma maior persistência na divulgação e esclarecimento prévio das populações que desmistifique as operações de campo possibilitando muitas vezes, se não ganhar tempo, pelo menos manter a execução dos trabalhos no “*timing*” planeado. Por outro lado, uma maior cooperação e articulação entre as equipas de permissão e as de topografia evitaria paragens e/ou demoras desnecessárias no levantamento topográfico.

No âmbito da planificação, consideramos ainda que devem ser tidas em conta as estações do ano de modo a evitar épocas de maior actividade agrícola e determinar as melhores horas do dia para a realização dos “tiros”, de modo que, os cabos que cruzam as estradas sejam o menos possível perturbados pela passagem de veículos motorizados. Com este mesmo objectivo, as operações devem ser planeadas, de forma a que o tempo em que os cabos e geofones estejam distribuídos nos terrenos seja o menor possível.

Por último, considera-se essencial a utilização de um sismógrafo para monitorizar o impacto dos “tiros” realizados pelos “Thumpers” e garantir que as estruturas envolventes não sejam afectadas e, assim, que a empresa não incorra em custos acrescidos com a responsabilização por eventuais danos alheios às operações da campanha sísmica. Nunca será de mais enfatizar também a importância da planificação e do *scouting* e esmiuçar, antever e/ou antecipar todos os possíveis problemas que advenham da actividade humana.

## Bibliografia

Alves, T. M.; Gawthorpe, R. L.; Hunt, D. W. & Monteiro, J. H. (2002) - Jurassic tectono-sedimentary evolution of the Northern Lusitanian Basin (offshore Portugal). *Marine and Petroleum Geology*, 19, pp. 727-754.

Antunes, M.T., Pais, J., 1992. The Neogene of Portugal. *Ciências da Terra*, Special Issue II, 13-24.

Apontamentos geologia de Portugal 2007, departamento Geociencias Universidade Aveiro.

Azerêdo, A. C. (1998) - Geometry and facies dynamics of Middle Jurassic carbonate ramp sandbodies, West Central Portugal. V. P. Wright & T. P. Burchette (Eds.), *Geological Society Special Publication*, 149, pp. 281-314.

Carvalho, J., Matias, H., Torres, L., Manupella, G., Pereira, R., Mendes-Victor, L., 2005. The Structural and sedimentary evolution of the Arruda and Lower Tagus sub-basins, Portugal, *Marine and Petroleum Geology*, v. 22, 427-450.

Casaca, J. M. (2000). *Topografia Geral*. Lisboa: Lidel.

Cunha, P. Proença & Reis, R. Pena dos (1995) - Cretaceous sedimentary and tectonic evolution of the northern sector of the Lusitanian Basin. *Cretaceous Research*, 16, pp. 155-170.

*Decreto-Lei nº 109/94, de 26 de Abril,*

DPEP (Divisão para a Pesquisa e Exploração de Petróleo), Obtido em 10 de 09 de 2009. URL: [http://www.dge.pt/dpep/intro\\_pt.htm](http://www.dge.pt/dpep/intro_pt.htm).

Dinis, J. (2001) - Definição da Formação da Figueira da Foz — Aptiano a Cenomaniano do sector central da margem oeste ibérica. *Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, Lisboa, tomo 88, pp. 127-160.

Duarte, L. V. (1995) - *O Toarciano da Bacia Lusitaniana. Estratigrafia e evolução Sedimentogenética*. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra, 349 p.

Gustavo Paneiro, 2006. MEDIÇÃO DE RUÍDOS E VIBRAÇÕES PARA AVALIAR A INCOMODIDADE HUMANA. CENTRO DE GEOTECNIA DO I.S.T.

Hatton, L., Worthington, M.H. and Makin, J. (1986). *Seismic data processing - Theory and practice*. Blackwell Scientific publications, Oxford, UK, 177 pp.

INE (2006). *Anuário Estatístico de Região Centro e Lisboa*, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.

INETI (Instituto Nacional de engenharia, tecnologia e Inovação), obtido 03 de 08 de 2009. URL: <http://e-geo.ineti.pt/publicacoes/legislacao/petroleo.htm>

João J. S. Cruz, Paula M. Redweik, 2003. Manual Do Engenheiro Topógrafo., Lisboa.

Jorge S. Gomes, Fernando B. Alves., 2007. O Universo Da Indústria Petrolífera Da Pesquisa à Refinação., Lisboa.

Kullberg, J., 2000. Evolução tectónica mesozóica da Bacia Lusitânica, Dissertação de Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa

Minimate Plus Manual, General Specifications, 2007

Maura Esteves, J. (1993)., Controlo de vibrações provocadas por explosões na industria da construção., Edição do LNEC, Lisboa.

Norma portuguesa (NP-2074), 1983. *Avaliação da influência em construções de vibrações provocadas por explosões ou solicitações similares.*

Pereira, D. Insua; Alves, M. I. C.; Araújo, M. A. & Cunha, P. Proença (2000) - Estratigrafia e interpretação paleogeográfica do Cenozóico continental do norte de Portugal. *Ciências da Terra* (UNL), nº 14, pp. 73-82.

Pinheiro, L. M.; Wilson, R. C. L.; Reis, R. Pena dos; Whitmarsh, R. B. & Ribeiro, A. (1996) - The western Iberia margin: A geophysical and geological overview. Whitmarsh, R. B., Sawyer, D. S., Klaus, A. and Masson, D. G. (Eds.) *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, Vol. 149, pp. 3-23.

Rasmussen, E., Lomholt, S., Andersen, C., Vejbaek, O., 1998. Aspects of the structural evolution of the Lusitanian Basin in Portugal and the shelf and slope area offshore Portugal, *Tectonophysics*, v. 300, 199-223.

Relatório o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), processo 054/72/11031, 05 de 07 de 1996. Avaliação Do Impacte De Detonação De Cargas Explosivas No Parque Natural Das Serras De Aires E Candeeiros.

Ribeiro A. et al., 1979. Introduction a la géologie générale du Portugal, *Serviços geológicos de Portugal*.

Ribeiro, A., Silva, J.B., Cabral, J., Dias, R., Fonseca, P., Kullberg, M.C., Terrinha, P., Kullberg, J.C., 1996. Tectonics of the Lusitanian Basin. Final Report, Proj. MILUPOBAS, contract No. JOU-CT94-0348 *ICTE/GG/GeoFCUL*, Lisboa.

Sercel, Manual Installation, 428 XL, 2007

Sistema EGNOS, informação obtida em 17 de 08 de 2009. URL: <http://www.esa.int/esaNA/eqnos.html>

Soares, A. F.; Rocha, R.; Elmi, S.; Henriques, M. H.; Mouterde, R.; Almeras, Y.; Ruget, C.; Marques, J.; Duarte, L. V.; Carapito, M. C. & Kullberg, C. (1993) – Le sousbassin nord lusitanien (Portugal) du Trias au Jurassique moyen: histoire d'un "rift avorté". *C. R. Ac. Sc. Paris*, t. 317, Sér. II, pp. 1659-1666.

Trimble, informação obtida em 23 de 08 de 2009. URL: <http://www.trimble.com>.

Vieira, R., 1992. Geologia e estratigrafia das Bacias Sedimentares Portuguesas – Perspectivas para a Prospecção e Pesquisa de Petróleo em Portugal, 5ª *Jornadas Técnicas de Engenharia Naval do IST*.

Wilson, R., Hiscott, R., Willis, M. and Gradstein, F., 1989. The Lusitanian Basin of west central Portugal: Mesozoic and Tertiary tectonic, stratigraphic and subsidence history. *Extensional Tectonics and Stratigraphic and subsidence history. Extensional Tectonics and Stratigraphy of North Atlantic Margins*. Edited by Tankard, A.J. and Balkwill, H. *Am. Ass. Petrolm Geol. Memoir*, 46, pp. 341-361.

Yilmaz, O. *Seismic data analysis, processing, inversion and interpretation of seismic data*. Investigations in geophysics series no. 10 (Ed by Doherty, S. M.), Soc. Explo. Geophys. Tulsa. 2001

Zbyszewsky, G. (1947) - Étude géologique de la région d'Almeirim. *Com. Serv. Geol. Portugal*, tomo XXVIII, pp. 217-263.

## Anexo I

### Procedimento para o levantamento topográfico

Começámos por ligar o colector de dados e no menu principal seleccionámos **Files** e **Job Management** (lista de trabalhos *preplot* previamente carregados) escolhendo o trabalho que desejamos. No menu principal seleccionámos o ícone **Survey** onde apareciam vários modos de nivelamento, dos quais escolhemos o modo **RTK** e de seguida carregamos no **Start Survey**. Assim, todo o sistema entrou em funcionamento podendo verificar na barra de inicialização **RTK=FIXED**. No ecrã pudemos também verificar outras informações úteis como satélites disponíveis, o indicador de sinal de rádio, o estado das baterias, modo de nivelamento (*no survey, float, fixed*), a degradação da precisão horizontal (**HDOP**) e vertical (**VDOP**) e os valores **RMS**<sup>1</sup> (*Root Mean Square*) (figura 33). No menu **Stakeout** seleccionámos a opção **add all points** e carregámos todos os pontos do *preplot*. Nesta lista de pontos seleccionámos o ponto para o qual queremos navegar aparecendo no ecrã do colector de dados os parâmetros de navegação (Figura I.1).

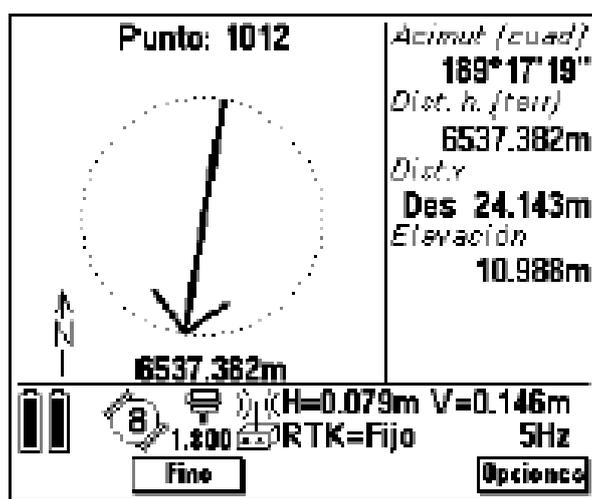


Figura I.1 – Ecrã do colector de dados exibindo vários parâmetros como a direcção do ponto para o qual estamos a navegar e a distância a que estamos desse ponto (H. Dist), entre outros.

<sup>1</sup> RMS utiliza-se para expressar a precisão da medição de um ponto. Corresponde ao raio do círculo de erro, dentro da qual se encontraram aproximadamente 70% das posições fixas. Expressa-se em ciclos de longitude de onda ou unidades de distância.

Quando a distância do ponto que queremos medir é menor que 3 metros, a seta desaparece e aparece uma cruz, que é a posição do “rover”, e um círculo, que é o ponto que pretendemos medir. Quando estes dois símbolos se sobrepõem significa que estamos em cima do ponto. Para obter as coordenadas do ponto seleccionamos a opção **Measure** (Figura I.2).

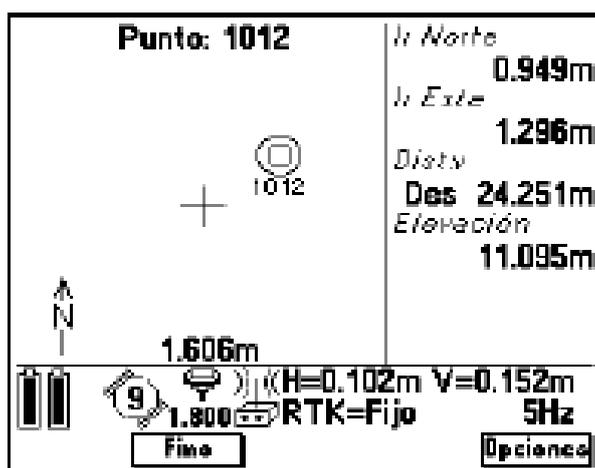


Figura I.2 - Ecrã do colector quando a distância do ponto que queremos medir é menor que 3 metros.

### Procedimento para nivelamento de pontos auxiliares.

Para sair do menu **Stakout** carregamos no **ESC**, até aparecer o menu **Survey** e escolhemos a opção **Measure points**. Introduzimos um nome para o ponto e a altura da antena GPS. Por fim pressionamos a opção **Measure**, ficando assim o ponto gravado com as respectivas coordenadas (Figura I.3).

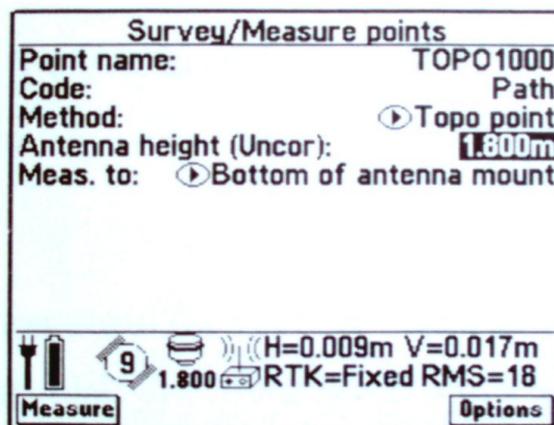


Figura I.3 - Menu do TSC-1 para gravação de ponto extra.