



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

**MESTRADO EM CIÊNCIAS DA TERRA, DA ATMOSFERA E DO
ESPAÇO**

(Geofísica Interna)

**TOMOGRAFIA SÍSMICA DA
LITOSFERA CONTINENTAL ALGARVIA**

- DISSERTAÇÃO -

186155

João Pedro Mendes Rocha

Orientador: Prof. Dr. Mourad Bezzeghoud

2010

ÍNDICE

Resumo.....	i
Abstract.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Introdução geral.....	iv

CAPÍTULO 1

1. Introdução.....	1
1.1 A Sismicidade em Portugal Continental.....	2
1.2 Sismicidade Histórica.....	2
1.3 Sismicidade Instrumental.....	4
1.4 Conclusão.....	6

CAPÍTULO 2

2. Contexto Sismotectónico.....	7
2.1 Tectónica da Região do Algarve.....	8
2.2 Mecanismos Focais.....	9
2.3 Contexto Sísmico, Morfológico E Tectónico.....	10
2.4 Conclusão.....	13

CAPÍTULO 3

3. Tomografia Sísmica (Teoria).....	15
3.1 Introdução.....	16
3.2 Localização de Sismos.....	16
3.3 Tempo de Percorso dos Raios Sísmicos.....	19
3.4 Conclusão.....	22

CAPÍTULO 4

4. A Campanha Sísmica	23
4.1 Introdução.....	24
4.2 A Rede Sísmica.....	24
4.2.1 A Rede Autónoma.....	25
4.2.2 A rede Telemétrica.....	26
4.3 Desempenho da Rede Sísmica.....	27
4.3.1 Manutenção da Rede e registo dos dados.....	28
4.4 Conclusão.....	29

CAPÍTULO 5

5. Análise e Processamento dos dados.....	31
5.1 Introdução.....	32
5.2 Análise dos dados.....	32
5.2.1 identificação das Fases <i>P</i> e <i>S</i> (<i>Trgeost</i>).....	32

5.2.2 Ficheiros de Fases(<i>Mergepic</i> , <i>Merge</i> e <i>Hipe</i>).....	35
5.3 Localização dos Eventos Sísmicos (<i>Hypoinverse</i>).....	37
5.4 Relocalização Hipocentral.....	38
5.4.1 O Programa <i>HypoDD</i>	38
5.4.2 O Programa <i>Veles</i>	40
5.4.2.1 Procedimento de Inversão.....	41
5.4.2.2 Determinação do Modelo Mínimo 1D.....	42
5.4.3 O Programa <i>Simulps</i>	48
5.3 Conclusão.....	50

CAPÍTULO 6

6. Resultados.....	53
6.1 Introdução.....	54
6.2 Análise Geomorfológica das regiões de Almodôvar e Monchique.....	54
6.3 Microsismicidade na região de Almodôvar.....	55
6.4 Microsismicidade na região de Monchique.....	57
6.5 Tomografia Sísmica Local (Preliminar) da região do Algarve.....	59
6.6 Conclusão.....	69

CAPÍTULO 7

7. Conclusão.....	71
Introdução.....	72
7.1 A Sismicidade em Portugal Continental.....	72
7.2 Contexto Sismotectónico.....	72
7.3 A Campanha Sísmica.....	73
7.4 Tomografia Sísmica.....	73
7.5 Processamento dos dados.....	74
7.6 Resultados.....	74

REFERÊNCIAS.....	77
------------------	----

ANEXO A.....	83
--------------	----

RESUMO

A Tomografia Sísmica produz imagens detalhadas da litosfera, das variações de velocidade ou das suas velocidades absolutas (Tomografia Sísmica Local - TSL). Com a TSL é possível determinar a velocidade de propagação das ondas *P* e *S*.

Em Portugal Continental, a região sul representa a zona de maior actividade sísmica e por isso mais susceptível de sofrer impactes significativos.

Em Janeiro de 2006 o Centro de Geofísica de Évora/Universidade de Évora (CGE/UE), instalou uma rede sísmica na região Algarvia.

Os dados entre Janeiro e Abril de 2006 foram processados e analisados, tendo-se procedido à sua localização, relocalização e inversão.

A TSL realizada principalmente nas regiões compreendidas entre Monchique–Portimão (M-P) e Loulé–Faro (L-F) permitirá um conhecimento detalhado da crosta e possibilitará o constrangimento dos limites das zonas sismogénicas e a determinação das áreas geradoras de sismos e zonas de falhas activas na região.

Palavras chave: *Tomografia, Microsismicidade, Inversão.*

Seismic Tomography of the Continental Litosphere of Algarve

ABSTRACT

Seismic Tomography produces detailed images of the litosphere, of the variations in velocity or in terms of its absolute velocities (Local Earthquake Tomography - LET). With the LET is possible to determine the velocity propagation of *P* and *S* seismic waves.

In Continental Portugal, the region at south and respective coastline, represents the major seismic zone and so has more susceptibility to this hazard.

In January 2006, the Geophysical Centre of Évora/University of Évora (CGE/UE), installed a seismic network in the Algarve region.

Data corresponding to the period between January and April 2006 were processed and analyzed, to proceed for location, relocation and inversion.

The LET of Monchique–Portimão (M-P) and Loulé-Faro (L-F) will give knowledge of the crust and will constrain the limits of seismogenic zones and also determines the potential areas responsible for major earthquakes as active faults in the region.

Keywords: *Tomography, Microseismicity, Inversion.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Mourad Bezzeghoud (CGE/DFIS*/UE), pela excelente orientação geral e específica, no desenvolvimento e escrita desta tese, que ao longo de todo o trabalho soube incutir um contributo particularmente profissional, facultando-me referências, bibliografia e dados que deram mais relevância a todo o contexto do trabalho e em especial pelas suas revisões críticas e apurado sentido de bem fazer. Agradeço, em especial, a confiança que desde sempre depositou na minha pessoa e que contribuiu decisivamente para levar em frente a minha formação académica, incutindo-me constante motivação e empenho.

Reitero o meu reconhecimento e agradecimento, por me ter seleccionado para o projecto “TOPOEUROPE/0001/2007” como Bolseiro de Investigação, conferindo-me assim a possibilidade de uma vez mais realizar trabalho de investigação sob a sua douda orientação. Realço o grande incentivo que me deu na participação deste projecto e a possibilidade que me facultou em incluir na minha tese toda a informação necessária para a sua realização e que resultam em grande parte de trabalho realizado no âmbito do referido projecto.

À Prof. Dr^a Ana Maria Silva (CGE/DFIS*/UE), na qualidade de directora do Mestrado em Ciências da Terra, da Atmosfera e do Espaço, pelo elevado profissionalismo, mas também pela total disponibilidade que sempre manifestou na resolução e correcto encaminhamento dos diversos assuntos que se relacionaram com este curso, pela cordialidade e atenção com que sempre me recebeu, pela amabilidade que sempre demonstrou e também pelo apoio e encorajamento para prosseguir e terminar a minha formação.

Aos Prof. Dr. José Fernando Borges (CGE/DFIS*/UE) e Bento Caldeira (CGE/DFIS*/UE), que desde sempre demonstraram o seu apoio, dando valiosos contributos e sugestões que me levaram a melhorar o meu trabalho e em particular revelando sempre disponibilidade na resolução dos problemas que surgiram ao longo do tempo. Realço em particular, a inestimável ajuda e colaboração na resolução das muitas dificuldades com que me deparei na resolução de problemas relacionados com os programas de inversão de dados, contributos este que considero imprescindíveis.

Ao Prof. Dr. Alexandre Araújo (CGE/DGEO**/UE), agradeço a inestimável colaboração e disponibilidade que me manifestou desde o início. O seu contributo para uma área relevante deste trabalho conferiu-lhe uma perspectiva mais enquadrada emais objectiva.

Ao Prof. Dr. Nuno Dias (ISEL & IDL/CGUL) por toda a colaboração e disponibilidade prestada, em particular na fase final deste trabalho e que muito contribuiu para o aprofundar do conhecimento nos métodos de inversão utilizados e também pelas suas críticas e sugestões que permitiram melhorar a qualidade dos resultados deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Youssef Timoulali (CNRST) pelo auxílio prestado na abordagem a alguns programas de inversão essenciais para este trabalho e na amabilidade que sempre teve no esclarecimento das minhas dúvidas e também na forma prestável com que sempre me facultou os seus resultados de inversão com os dados deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Luís Matias (IM) pela cedência de informação com a qual foi possível realizar uma parte importante deste trabalho.

Ao Prof. Dr. António Correia (CGE/DFIS*/UE) pelo seu apoio e encorajamento e pelas discussões pontuais de alguns aspectos do meu trabalho, tendo-me sempre manifestado inteira disponibilidade.

Ao Centro de Geofísica de Évora, na pessoa do seu director, a Prof.^a Dra. Ana Maria Silva (CGE/DFIS*/UE), pelo total apoio ao longo da minha formação, tendo-me sido sempre disponibilizado o acesso a todos os equipamentos e instalações deste centro, para que pudesse aprofundar a minha formação, apoio esse que manifestamente agradeço.

À Dra. Carla Fernandes (CGE/UE) por todo o apoio administrativo que facultou e que permitiu mais facilmente resolver os assuntos inerentes a esta área.

Ao Departamento de Física da Universidade de Évora, na pessoa do seu director, Prof. Dr. João Figueiredo, pela cedência e utilização dos espaços e demais equipamentos, que facilitaram e contribuíram para a realização das muitas tarefas que foram necessárias para realizar os trabalhos inerentes à minha tese.

A todos os elementos deste departamento, que directa ou indirectamente contribuíram igualmente para o bom sucesso do meu trabalho.

Ao Eng. Paulo Cabido (CGE/UE) que muito contribuiu para uma parte importante do meu trabalho, nomeadamente no desenvolvimento dos programas necessários à leitura de dados.

À École et Observatoire de Physique du Globe de Strasbourg (EOPGS, Universidade Louis Pasteur, Estrasburgo – França), em especial a Catherine Dorbath, Louis Dorbath e Michel Frogneux com quem tive o privilégio de colaborar na instalação da rede sísmica.

Ao Instituto de Meteorologia e Geofísica, em especial ao Eng. Guilherme Madureira (IM), com quem dividi muitas tarefas de campo e cuja ajuda imprescindível muito contribuiu para o meu trabalho e ao Mestre Fernando Carrilho (IM) pela cedência de dados e informação que contribuíram para melhor integrar o meu trabalho.

À Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior, pela atribuição das bolsas de investigação no âmbito dos projectos FCT/POCTI/CTE-GIN/59750/2004 e TOPOEUROPE/0001/2007, que permitiram a realização deste trabalho.

Finalmente, agradeço à minha família, todo o apoio e incentivo em particular à minha mulher Leonela pelo carinho e paciência que sempre me demonstrou e às minhas filhas Catarina e Joana, que muitas vezes sentiram as minhas ausências ao longo destes últimos seis meses.

DFIS*/UE - Departamento de Física da Universidade de Évora

DGEO**/UE - Departamento de GeoCiências da Universidade de Évora

CGE/UE – Centro de Geofísica de Évora/Universidade de Évora

ISEL & IDL/CGUL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa e Instituto D. Luis/Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa

CNRST - Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique, Laboratoire de Géophysique, Rabat, Morocco

INTRODUÇÃO GERAL

Objectivos gerais:

- Microsismicidade das regiões de Monchique e Almodôvar
- Detecção de falhas activas na região em estudo
- Tomografia Sísmica (preliminar) da região do Algarve

O presente trabalho apresenta os resultados preliminares de dados sísmicos obtidos com as Rede Transfrontiere (1999-2003) e Rede Sísmica Temporária (2006-2007), que instaladas na região do Algarve.

O objectivo inicial foi definido no sentido de realizar a TSL nas regiões de M-P e L-F, mas os primeiros resultados da Rede Sísmica Temporária permitiu identificar microsismicidade nas regiões de Monchique e Almodôvar, pelo que parte deste trabalho reflecte a análise mais detalhada destas duas regiões.

O Cap. 1 apresenta uma breve introdução à sismicidade histórica e instrumental em Portugal Continental. Na sismicidade histórica são referidos os principais sismos que afectaram a nossa história, em particular o sismo de 1 de Novembro de 1755 e é ainda apresentado um estudo com três modelos prováveis para a fonte do sismo de 1755.

O Cap. 2 faz referência ao enquadramento sismotectónico da região do Algarve. É apresentada uma curta descrição da tectónica do Algarve, relacionando a formação da bacia algarvia com a tectónica regional. É também referido o contexto sísmico, morfológico e tectónico da região SW de Portugal Continental e margem atlântica adjacente e a relação da sismicidade com os mecanismos focais desta região

O Cap. 3 apresenta um breve resumo teórico sobre a tomografia, nomeadamente nas partes mais importantes deste trabalho - localização de sismos e tempo de percurso dos raios sísmicos.

O Cap. 4 apresenta a Campanha Sísmica do Algarve, realizada em 2006 e refere de forma breve as redes que foram instaladas e mantidas em actividade no Algarve entre 2006-2007 e todo o trabalho subsequente de manutenção e recolha dos dados.

No Cap. 5 descrevem-se os principais passos no tratamento, análise e processamento dos dados e os primeiros resultados da inversão 1D. Apresentam-se os programas que foram utilizados e os que foram necessários desenvolver para realizar tarefas específicas em determinadas fases do trabalho e apresentam-se os resultados obtidos para determinar parâmetros específicos nos programas de inversão 1D.

No Cap. 6 apresentam-se os resultados obtidos. Referem-se os resultados determinados para as regiões de Monchique e Almodôvar com a determinação de dois “clusters” de microsismicidade, os resultados das localizações e relocalizações, determinações hipocentrais e os resultados do modelo tomográfico.

O Cap. 7 apresenta as conclusões gerais deste trabalho.

1. INTRODUÇÃO

1.1 A SISMICIDADE EM PORTUGAL CONTINENTAL

O território de Portugal Continental encontra-se situado próximo da fronteira de placas Euro-Asiática (*EA*) e Africana (*Af*), pelo que a interacção destas estruturas é a principal responsável pela ocorrência de sismicidade significativa no território português, principalmente na região sul do país (ver Figura 1.1).

A sismicidade no território nacional caracteriza-se por ser heterogénea, encontrando-se principalmente concentrada a sul, em especial na região do Algarve e na orla oceânica adjacente. A actividade sísmica é constituída por eventos de magnitude moderada ($M < 5$), podendo ocorrer ocasionalmente eventos de magnitude superior ($5 < M < 7.8$) (Bezzeghoud et al., 2006).

A actividade sísmica mais intensa localiza-se na área imersa a S-SW de Portugal Continental, numa faixa que se prolonga desde o Banco de Gorringe (*BG*) a Oeste (W) até ao Estreito de Gibraltar a Este (E) (cf. Fig. 1.1).

Na região do *BG* ocorre sismicidade instrumental importante nos primeiros 30 km de profundidade, podendo no entanto atingir os 90 km (Bufo et al., 1988).

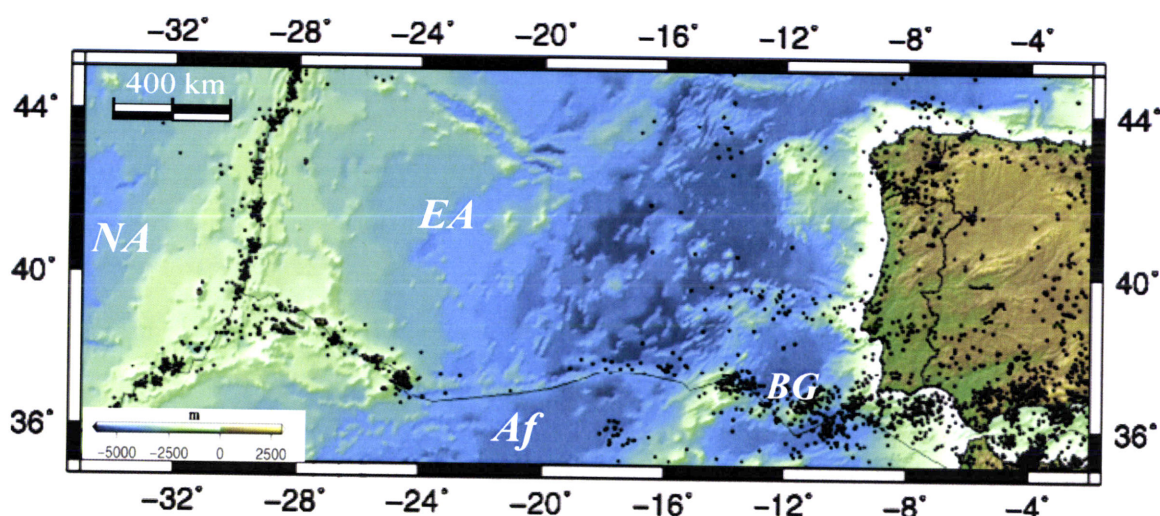


Fig.1.1 – Sismicidade na área S-SW de Portugal e ao longo das fronteiras entre as placas Euro-Asiática, Africana e Norte-Americana.

1.2 SISMICIDADE HISTÓRICA

A sismicidade histórica compreende o período que antecedeu a sismicidade instrumental, pelo que na ocorrência de um evento sísmico as estimativas de epicentros, hipocentros e magnitudes são obtidas com recurso a informação macrossísmica registada a partir de documentos.

Em Portugal Continental esta sismicidade histórica é relativamente escassa até meados do séc. XIV, data a partir da qual começaram a surgir as primeiras referências relativas aos eventos sísmicos.

Os sismos mais importantes registados em Portugal, segundo Martins e Mendes Victor (2001), ocorreram na zona Sudoeste do Cabo de São Vicente (*CSV*) e na zona do Vale do Tejo, nos anos de 1344, 1356, 1531, 1534, 1755 e 1909 (Figura 1.2).

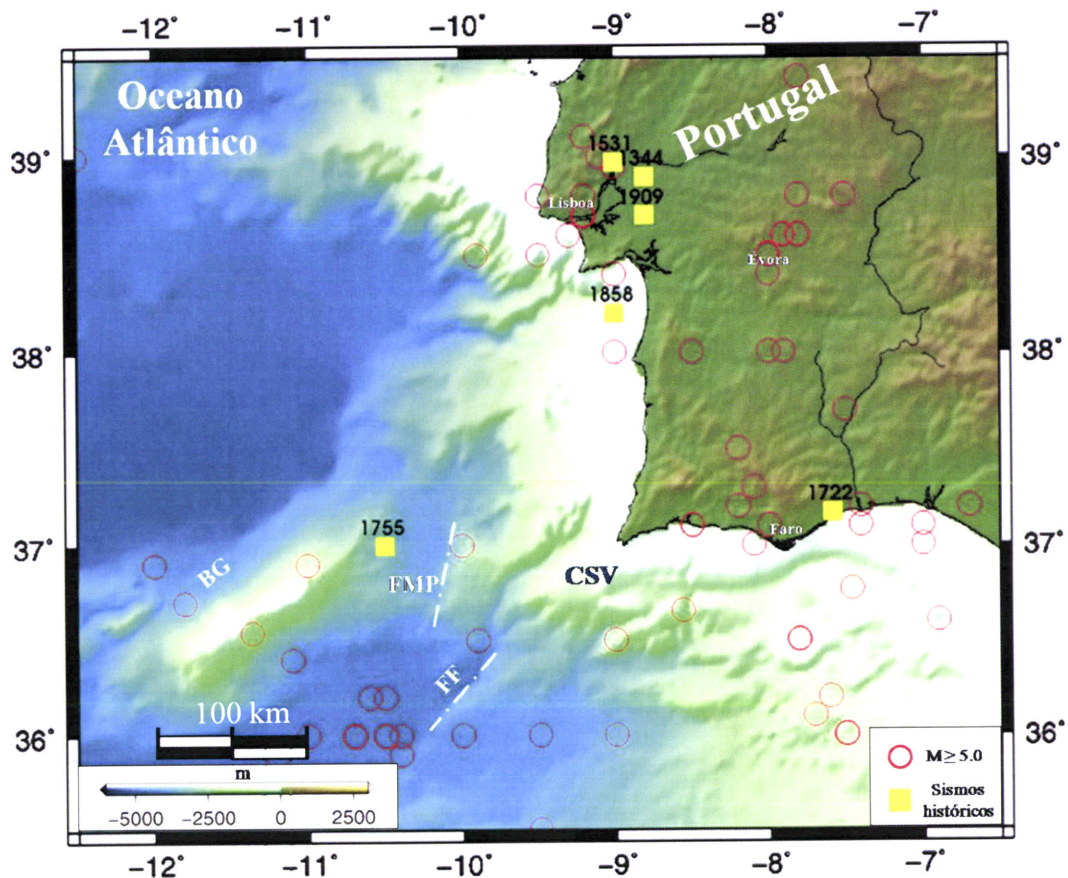


Fig.1.2 – Sismicidade histórica (círculos, $M \geq 5$) na zona SW de Portugal Continental e margem atlântica adjacente. A amarelo realçam-se os sismos históricos mais importantes (segundo Martins e Mendes Victor, 2001).

Perto de 60 a.C. terá ocorrido o primeiro sismo de que há memória, conhecendo-se as zonas afectadas com localização na costa de Portugal Continental e da Galiza. Os eventos seguintes mais importantes ocorreram nos anos de 1344 e 1531 e tiveram origem na zona do Vale do Tejo, provocando grande destruição na região de Lisboa. Em 1356 um sismo de intensidade aproximada à intensidade do sismo de Lisboa de 1755 provocou também grande destruição em Portugal. No ano de 1531 ocorreu um sismo nas proximidades da Falha do Vale do Tejo e perto de Vila Franca de Xira, tendo causado a destruição de muitas povoações ao longo do Vale de Santarém (Carrilho, 2005).

O maior sismo da história de Portugal Continental ocorreu no dia 1 de Novembro de 1755 e ficou conhecido como o sismo de Lisboa. As suas consequências foram devastadoras, uma vez que após o sismo a cidade foi arrasada por um violento incêndio a que se seguiu uma onda gigante com uma amplitude na região de Lisboa de cerca de seis metros e que atingiu a cidade, provocando grande destruição e perda de vidas humanas.

O epicentro deste sismo é ainda alvo de reserva, no entanto foi possível desenvolver três cenários para este evento que foram modelados por Grandin et al. (2007) e que correspondem a outras tantas propostas publicadas: 1) fonte do Banco de Gorringe (G, Figura 1.3); 2) modelo de falha Marquês de Pombal (M, Figura 1.3); 3) modelo de subducção no golfo de Cádiz (C, Figura 1.3). Os resultados obtidos por estes autores demonstram que, de entre os modelos sugeridos, o modelo mais provável corresponde a uma fonte localizada no Banco de Gorringe (G, Figura 1.3) (Grandin et al., 2007).

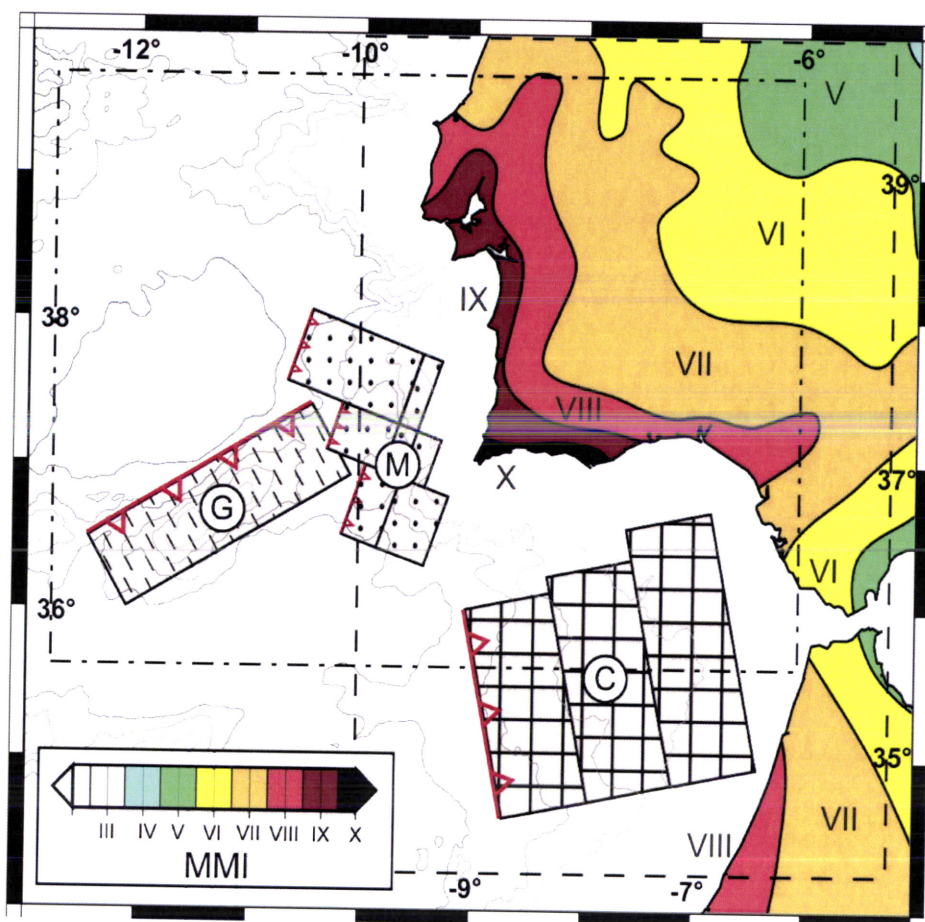


Fig.1.3 – Três cenários para o sismo de 1755. O modelo de falha representa pela letra G é a fonte sísmica mais provável do epicentro do sismo de 1755 (Grandin et al., 2007).

1.3 SISMICIDADE INSTRUMENTAL

O registo instrumental em rede, a nível mundial, verifica-se no ano de 1964 com o funcionamento da ¹WWSSN. Esta época ficou conhecida como “era instrumental” e a correspondente sismicidade como sismicidade instrumental.

Com a proliferação de redes sísmicas conseguiu-se obter informação detalhada e mais precisa que anteriormente não era possível. Com recurso a esta informação tornou-se mais fácil e mais precisa a determinação das localizações hipocentrais dos sismos. Com recurso aos dados registados pela rede mundial, é possível construir catálogos sísmicos, que são hoje ferramentas essenciais para a caracterização estatística da sismicidade (Carrilho, 2005).

Em Portugal Continental a sismicidade instrumental recente mais significativa está localizada na região sul e na orla marítima adjacente.

¹WWSSN - Worldwide Standardized Seismographic Network (WWSSN)

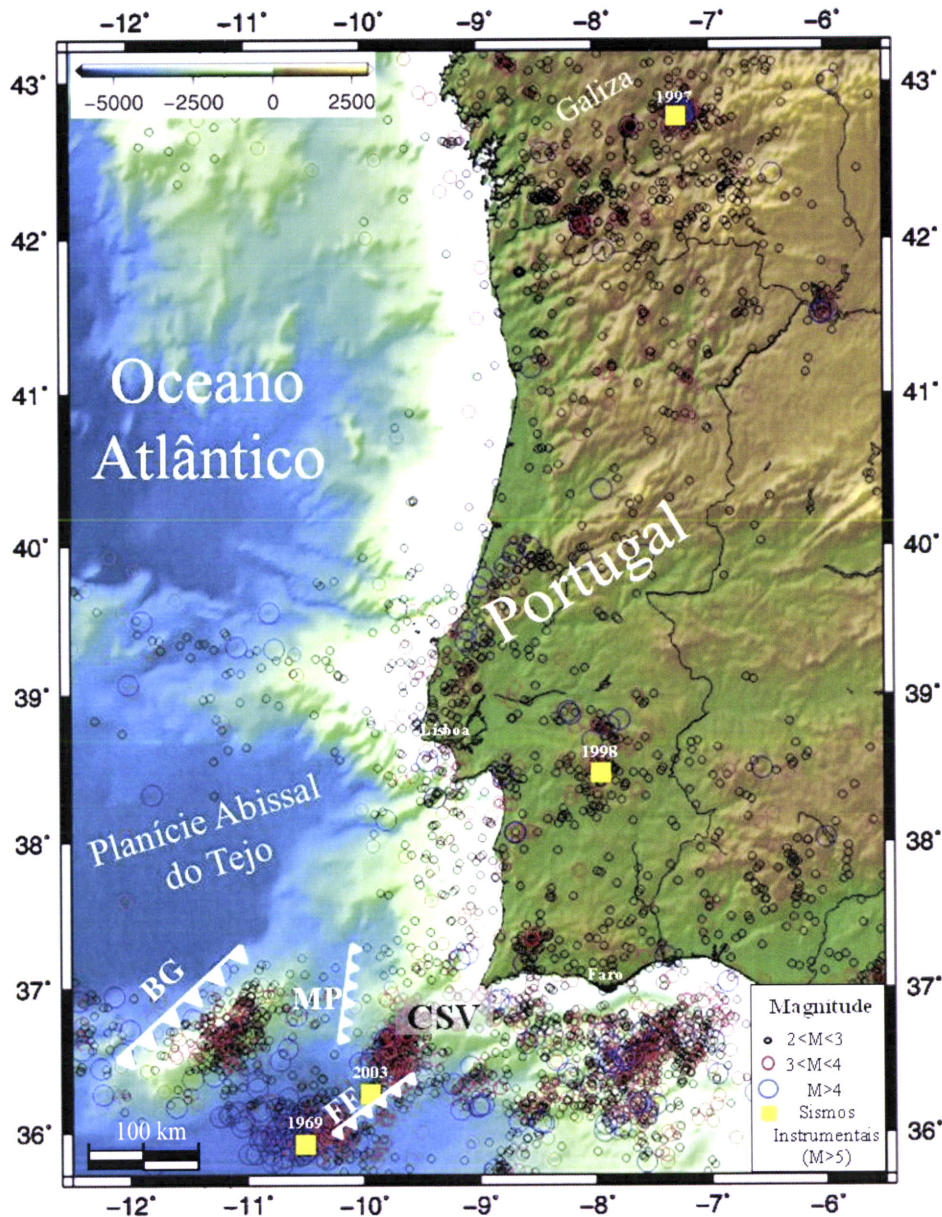


Fig.1.4 – Sismicidade instrumental na zona SW de Portugal Continental e margem atlântica adjacente.

As regiões mais importantes em termos de actividade sísmica em Portugal e a sua margem atlântica são (ver Figura 1.4):

- a norte, na região da Galiza (Lugo), com ocorrência de eventos sísmicos significativos;
- a região a norte de Lisboa até aproximadamente 40° N paralelamente ao vale inferior do Tejo;
- a região de Évora que embora se caracterize por ter actividade sísmica difusa, registou o último sismo significativo de $M_L=4,1$ em Julho de 1998;
- a região do Algarve cuja actividade sísmica mais importante se concentra na zona Oeste – área da Serra de Monchique e que se prolonga para o mar paralelamente à falha de Portimão;
- Golfo de Cádiz (Banco de Guadalquivir);

- A região SW do Cabo de São Vicente com grande concentração de eventos nesta área – actividade possivelmente relacionada com as falhas do Marquês de Pombal, da Ferradura (planície abissal da Ferradura) e a zona do Banco de Gorringe (Zitellini et al., 2001, Bezzeghoud et al., 2010);

Um grande sismo com epicentro na zona a SW do BG na Planície da Ferradura (PF) ocorreu em 28-02-1969. Este sismo que atingiu magnitude 8.0 ($M=8.0$) foi sentido em toda a Península Ibérica e ainda numa grande extensão ao largo da costa de Marrocos. Este sismo provocou um “tsunami” que foi registado em estações maregráficas em Portugal Continental. Contudo as consequências directas dos efeitos deste sismo não se fizeram sentir de forma significativa no nosso país, uma vez que existe uma grande distância do território continental à zona epicentral do sismo.

1.4 CONCLUSÃO

Da análise sobre a sismicidade em Portugal Continental, tanto histórica como instrumental, pode concluir-se que o território continental apresenta actividade sísmica moderada ($M<5$), podendo ocorrer sismos de maior magnitude ($5<M<7.8$). Esta sismicidade caracteriza-se por ser heterogénea, estando concentrada principalmente a sul do território continental, sendo consequência da interacção das placas tectónicas Euro-Asiática (*EA*) e Africana (*Af*), dada a proximidade de Portugal com a essa fronteira de placas. Este facto decorre de se verificar na região (orla oceânica adjacente) actividade sísmica intensa, estando identificados nestas zonas alguns dos principais sismos da nossa história (e.g. sismos de 1755 e de 1969). A sismicidade histórica de Portugal Continental é pouco conhecida até meados do séc. XIV, data a partir da qual surgiram as primeiras referências relativamente à ocorrência de sismos em território nacional. De toda a actividade sísmica histórica destaca-se o sismo de Lisboa ocorrido em 1 de Novembro de 1755, que ocorreu a SW do CSV que teve consequências trágicas e avassaladoras não só para a cidade de Lisboa como para toda a região sul de Portugal Continental. Este sismo teve origem possivelmente na zona do BG, no entanto permanece alguma reserva em identificar a sua verdadeira origem. Neste sentido foram modelados os efeitos de três cenários possíveis para a fonte do sismo de Lisboa e cujos resultados apontam como fonte mais provável para este sismo o BG (Grandin et al., 2007; ver Figura 1.3).

O registo instrumental da sismicidade, que se desenvolveu principalmente a partir de 1940, deu um contributo decisivo para a melhoria na qualidade da informação obtida a partir dos eventos sísmicos. Tornou-se possível a determinação precisa das localizações epicentrais dos sismos, bem como o registo preciso da data e hora da sua ocorrência, determinação das magnitudes e a possibilidade da construção de catálogos sísmicos, que permitem hoje em dia a caracterização estatística da sismicidade. Com a sismicidade instrumental é possível definir a actividade sísmica mais significativa, identificando assim as zonas potencialmente mais susceptíveis de ocorrerem sismos, contribuindo desta forma para a prevenção e redução do risco sísmico.

2. CONTEXTO SISMOTECTÓNICO

2.1 TECTÓNICA DA REGIÃO DO ALGARVE

A Bacia do Algarve começou a formar-se no Triásico. Esta formação decorreu em regime distensivo, segundo as direcções NW-SE e NS, na orla meridional e EW a WNW-ESE na orla ocidental. Este facto decorre do movimento transtensivo entre as placas *Af* e Ibérica, numa zona transformante de direcção E-W e durante os períodos do Jurássico e Cretácico Inferior ocorreu estiramento da crosta tendo sido reactivadas as falhas tardi-variscas com a orientação NE-SW (Terrinha, 1998).

Durante o Cretácico Inferior tem início a expansão oceânica ao longo da orla ocidental da Península Ibérica, tendo esta sofrido uma rotação devido à abertura do Golfo da Biscaia. Este golfo deve-se à génese de um ponto triplo situado a NW da península, responsável pela expansão oceânica. Este mecanismo induziu a rotação anti-horária da Península Ibérica (Ibéria), passando esta a comportar-se como uma microplaca independente relativamente à Eurásia, segundo Srivastava et al., 1990. O Golfo da Biscaia torna-se na fronteira principal entre África, Ibéria e Eurásia, devido à sua abertura e consequente movimentação solidária da Ibéria com África, que formam a fronteira de placas E-W ligadas pela crista média oceânica. Após a separação inicial do continente americano, África começou a deslocar-se para SE em relação à Europa (cerca de 69 Ma); a tectónica alpina resulta desta deslocação, que se torna acentuada a partir dos 59 Ma, com convergência próxima de NS (Srivastava et al., 1990). No Cretácico Superior o movimento relativo entre África e a Ibéria modifica-se devido à alteração do regime tectónico que ocorre nesta fase. Este facto, proporcionou o surgimento de tectónica compressiva regional – início do Ciclo Orogénico Alpino (Srivastava et al., 1990). Durante a primeira fase tectónica de compressão, ocorreram dobramentos e cavalgamentos, com levantamento regional da crosta, estando estas estruturas geralmente associadas à reactivação de falhas inversas extensionais mesozóicas. Na fase antecedente à sedimentação do Miocénico, deu-se um novo período de inversão tectónica, responsável por uma descontinuidade importante. A compressão varia de NS a NNW-SSE, com encurtamento da bacia pela formação de falhas inversas nos blocos inferiores de anteriores falhas normais (Ruben Dias, 2001). A Bacia do Algarve formou-se entre duas estruturas tectónicas muito importantes – BG e Cadeia Bética (CB), cuja origem decorre do surgimento de um campo de tensões compressivo NS a NW-SE (na sua compressão máxima, Terrinha, 1998).

Na região algarvia, as deformações compressivas que afectam a discordância miocénica imersa e depósitos posteriores – Neogénico e Quaternário, são menos importantes relativamente às estruturas de deformação originadas por episódios tectónicos anteriores, nomeadamente a ausência de dobras e cavalgamentos na Região do Algarve e ocorrência de subsidência durante o Neogénico e Quaternário (Terrinha, 1998 e Terrinha et al., 1998). Desta forma, o cenário tectónico poderá ter ocorrido da seguinte forma (ver Figura 2.1):

- A *CB* absorveu a maioria da colisão entre as placas africana e ibérica, em que a estrutura do Bloco Bético terá funcionado como um bloco rígido entre as duas placas;
- as trajectórias de tensão compressiva máxima encontravam-se paralelamente à trajectória da placa africana relativamente à placa europeia (nas zonas deformadas da Ibéria);

- as falhas extensionais NE-SW a ENE-WSW, limitantes do Banco de Guadalquivir, poderão ter sido causadas por extensão secundária com compressão radial na região circundante de Gibraltar, ou poderão ter sido originadas na litosfera profunda (Ruben Dias, 2001).

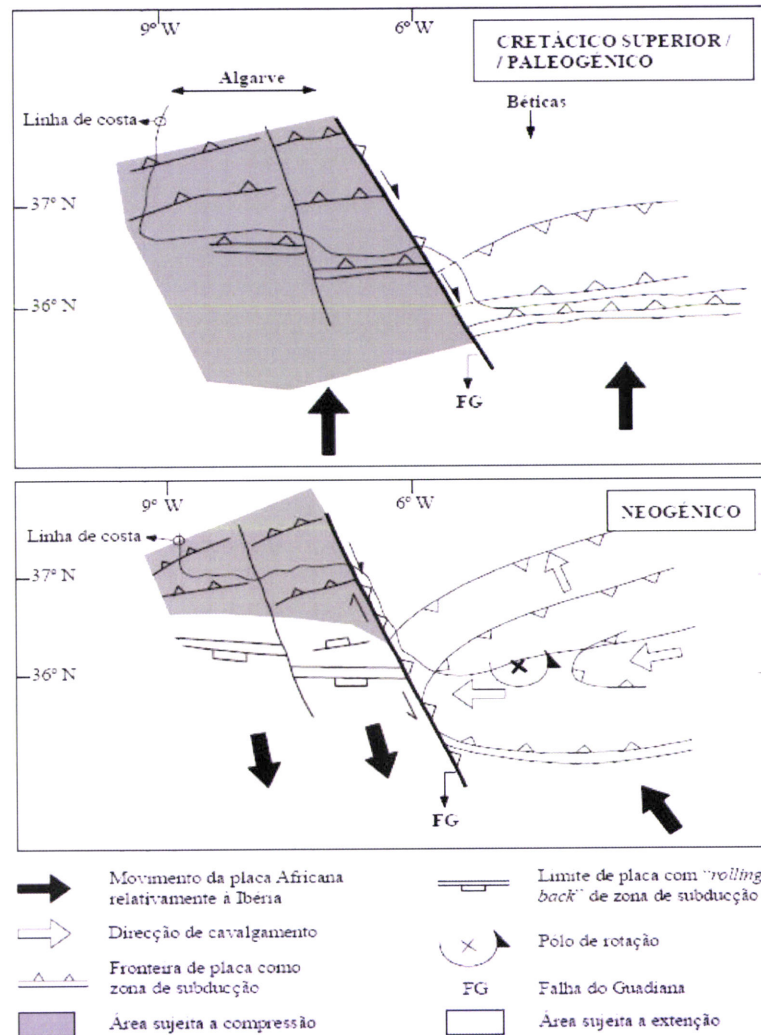


Fig.2.1 - Modelo provável para a formação da bacia do Algarve, segundo Terrinha (1998, p.407, fig. IX. 4. 2.).

Assim, a Bacia do Algarve poderá ter sido formada por tracção secundária englobada no desenvolvimento do Arco Bético, considerando a falha do Guadiana como uma fronteira de deformação em relação à compressão da CB, afastando-se do regime distensivo a Oeste (Terrinha, 1998).

2.2 MECANISMOS FOCAIS

Devido à proximidade da fronteira entre as placas tectónicas *EA* e *Af*, Portugal Continental apresenta actividade sísmica, que se estende de Gibraltar até ao arquipélago

dos Açores. Esta região sísmica é conhecida como a fractura Açores-Gibraltar e é condicionada tectonicamente por estas duas placas. A fronteira entre as placas *NA* e *EA* e entre as placas *EA* e *Af*, encontra-se situada na zona de rift designada como **Crista Média Atlântica (CMA)**. A união destas 3 placas constitui a “*Junção Tripla dos Açores*”, cuja interacção entre os seus limites é responsável pela considerável actividade sísmica, que se faz sentir no território nacional (Bezzeghoud e Borges, 2003; Bezzeghoud et al., 2008, 2010).

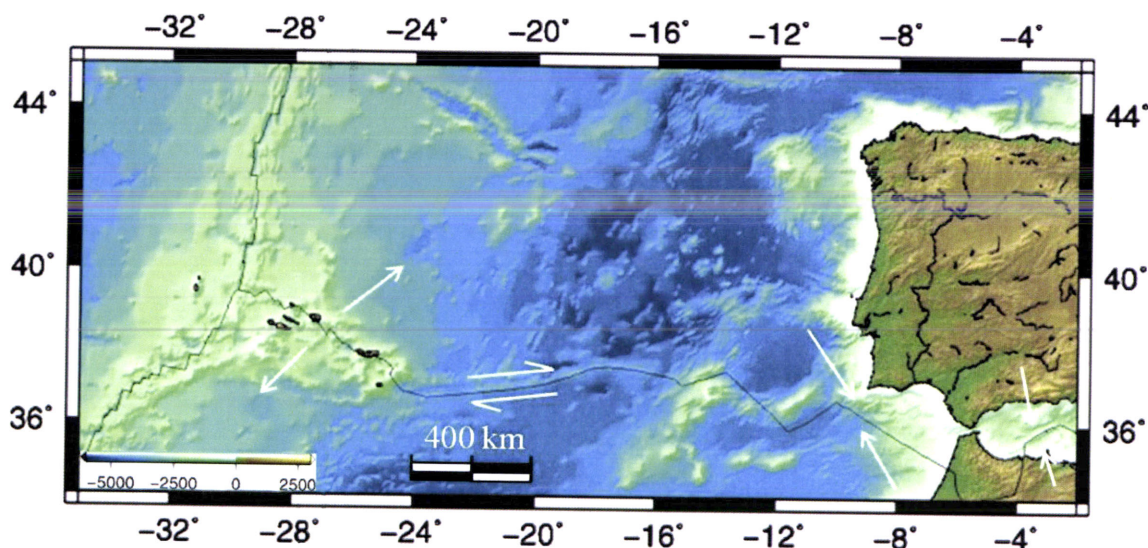


Fig. 2.2 – Interação das placas tectónicas EA e Af conjugadas com a placa NA, sendo indicado o tipo de deslizamento a que estas placas estão sujeitas: deslizamento horizontal esquerdo (Bezzeghoud et al., 2008, 2010).

Na região próxima da fronteira de placas, têm ocorrido eventos sísmicos que apresentam mecanismos focais compressivos de falha inversa, entre as placas *EA* e *Af*, sugerindo convergência entre ambas, que será progressiva - do tipo oceânica para tipo continental - à medida que se avança para Este (Bezzeghoud e Buforn, 1999; Bezzeghoud et al., 2008, 2010). Esta tectónica poderá justificar a sismicidade significativa associada à margem sul e sudoeste de Portugal Continental e aos mecanismos a esta associados (Borges et al., 2001; Bezzeghoud et al., 2008, 2010).

2.3 CONTEXTO SÍSMICO, MORFOLÓGICO E TECTÓNICO

A região de Portugal Continental e orla atlântica adjacente apresenta batimetria complexa, constituída por uma cadeia de montanhas submarina alinhada na direcção EW a ENE-WSW, na qual se inclui o *BG*. Em torno destas montanhas surgem planícies abissais profundas, entre as quais se destacam as Planície do Tejo (*PT*) e Planície da Ferradura (*PF*). Pode-se ainda realçar a estrutura de grandes dimensões, que se situa entre o *BG* e a costa oeste de Portugal designada por Cavalgamento Marquês de Pombal (*MP*).

A distribuição da sismicidade instrumental no território nacional é muito heterogénea, estando essencialmente concentrada a sul e na margem oceânica adjacente. Nesta região predomina actividade sísmica moderada (ver Figura 2.3). A localização dos epicentros dos sismos em Portugal Continental permite determinar que estes ocorrem de forma dispersa por todo o território, embora as regiões mais favoráveis à sua

ocorrência sejam o Vale do Tejo, a região de Évora, orla meridional algarvia a SW do Cabo de São Vicente (CSV), numa faixa que se prolonga desde PF até ao BG (Bezzeghoud e Borges, 2003; Bezzeghoud et al., 2010).

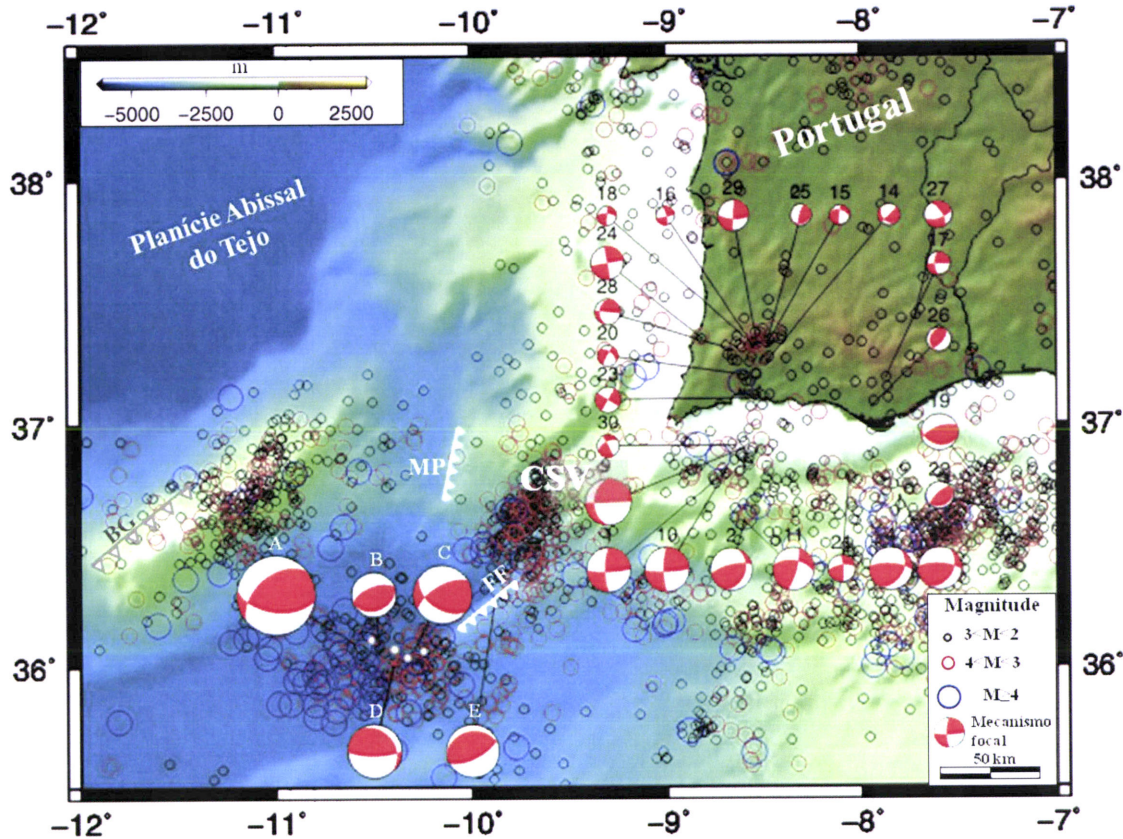


Fig.2.3 - Distribuição da sismicidade entre 1969 e 2007 em Portugal Continental e margem atlântica adjacente e mecanismos focais de alguns dos sismos mais significativos. A) 28/02/1969 8.0Ms, B) 21/06/2006 4.6Mw, C) 12/02/2007 5.9Mw, D) 28/02/1969 5.6Ms, E) 13/12/2004 5.4M_L, (Borges et al., 2001; Bezzeghoud e Borges, 2003; Bezzeghoud et al., 2010).

A região sul de Portugal, a zona do vale do Tejo e a orla meridional, são genericamente as regiões sísmicas mais activas, apresentando capacidade de gerar sismos de magnitude elevada ($M \geq 6$), normalmente com potencial de impactos humanos e materiais significativos. Nesta região predominam os mecanismos focais do tipo *strike-slip* (deslizamento-horizontal), com planos orientados nas direcções NS e EW, com excepção dos eventos que são de tipo inverso (Figura 2.3 e Figura 2.4). A maioria dos sismos representados na Figura 2.3 de fraca magnitude ($1.9 \leq M \leq 3.7$) apresentam mecanismos focais correspondentes que revelam a tendência geral da direcção de compressão máxima que ocorre na região do Algarve (Bezzeghoud e Borges, 2003; Bezzeghoud et al., 2008, 2010).

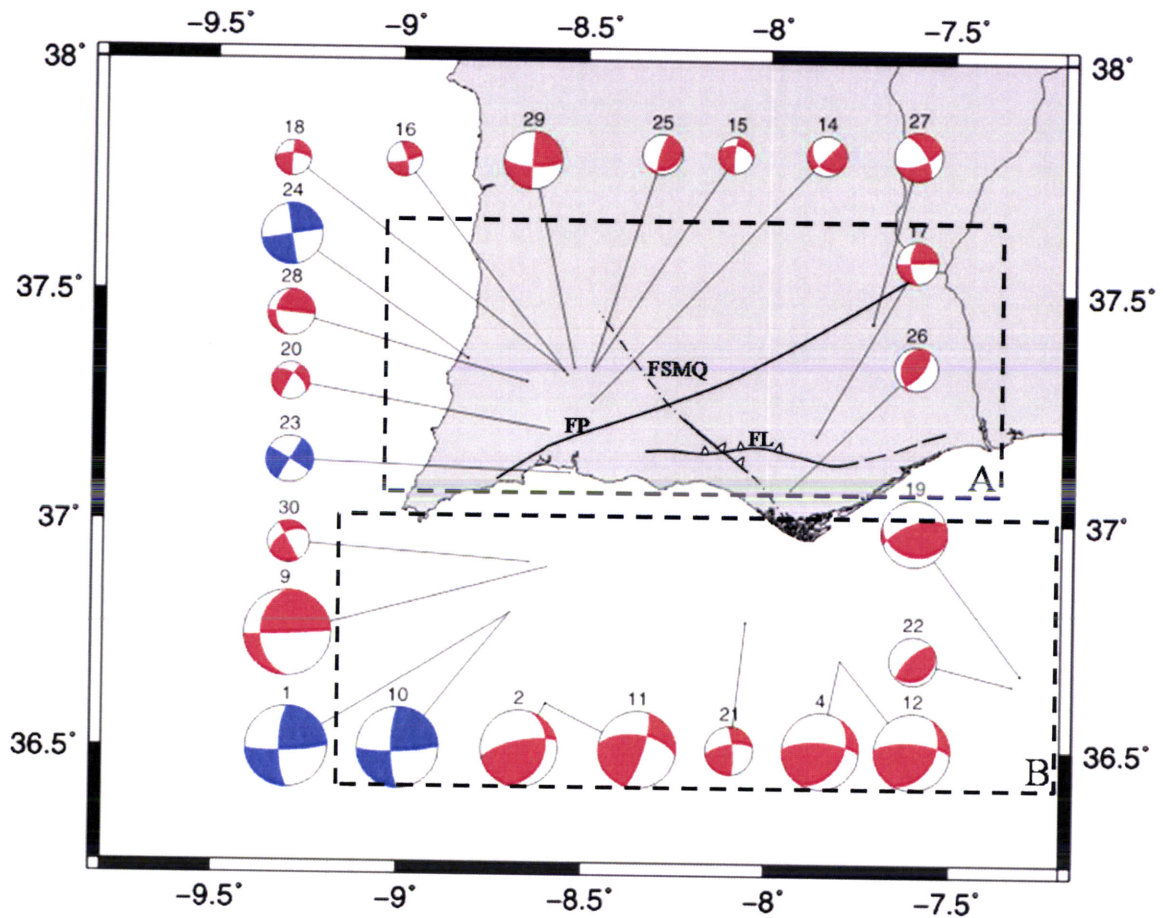


Fig. 2.4 - Detalhe dos mecanismos focais e de algumas falhas geológicas na região algarvia (A) e zona a sul inter - placas (B). Os mecanismos focais a azul são de *strike-slip*. FP – Falha de Portimão, FSMQ – Falha de São Marcos-Quarteira, FL – Falha de Loulé. (Bezzeghoud e Borges, 2003; Bezzeghoud et al., 2008, 2010).

Verifica-se que (cf. Fig. 2.4):

- a) os eventos 1, 10, 23 e 24 apresentam a mesma tendência (*strike-slip*);
- b) estes eventos de fraca magnitude apresentam uma tendência aproximada a alguns de magnitude superior ($4.3 \leq M \leq 5.0$), representados na Figura 2.4 pelos mecanismos 1, 9, e 10;
- c) a distribuição espacial destes eventos cobre a maior parte da região algarvia (Figura 2.4-A).

De modo a verificar o modelo proposto por Terrinha (1998) e confirmado por Borges et al., 2001 e Bezzeghoud et al., 2010, foram estudadas mais soluções focais para os sismos que ocorreram nos últimos anos nesta região. Estes sismos foram agrupados por zonas, segundo um critério de proximidade, como se apresenta na Figura 2.5.

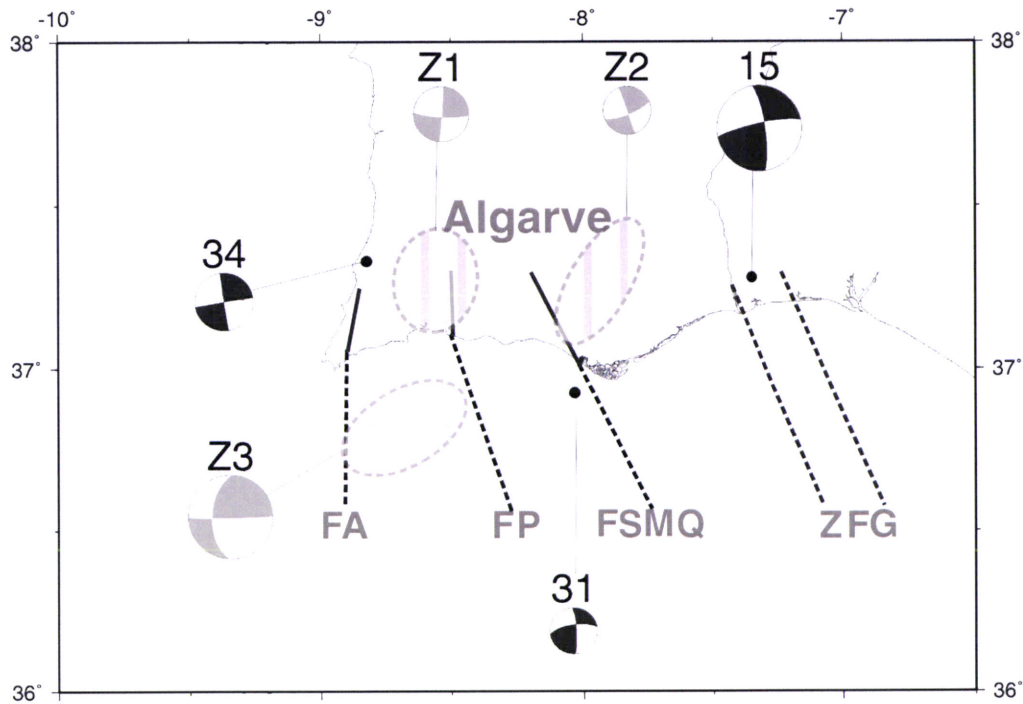


Fig.2.5 - Modelo tectónico para a bacia do Algarve, constituído por falhas de deslizamento-horizontal e mecanismos focais (15, 31 e 34) (Bezzeghoud e Borges, 2003).

As três zonas onde estão indicadas as soluções focais individuais para os eventos 15, 31 e 34, apresentam movimentos de deslizamento horizontal. Estes factos demonstram que toda a região algarvia se encontra condicionada a movimentação de deslizamento horizontal. A composição deste modelo, por quatro falhas de deslizamento horizontal e orientação NS a NNW-SSE, que inclui a hipotética falha do Guadiana, segundo Terrinha (1998), poder-se-á associar ao evento de Huelva de 20 de Dezembro de 1989. Esta interpretação reforça o facto de na margem algarvia, as falhas terem orientação aproximada NS.

Considera-se assim, que os mecanismos da região do Algarve e sua margem atlântica decorrem de deslizamento horizontal esquerdo, desenvolvido por falhas orientadas com direcção NS (Bezzeghoud e Borges, 2003; Bezzeghoud et al., 2010).

2.4 CONCLUSÃO

Na região do Algarve e orla oceânica adjacente, predominam os sismos de tipo deslizamento-horizontal, com orientação aproximada NS e que são coincidentes com as falhas geológicas com a mesma orientação (Bezzeghoud e Borges, 2003; Bezzeghoud et al., 2010).

Na região SW de Portugal, próximo da fronteira de placas, os mecanismos focais apresentam uma certa homogeneidade, quer na forte componente inversa, quer na orientação dos planos (direcção aproximada EW), concordante com as falhas identificadas na região. Os mesmos autores justificam este comportamento devido à proximidade da fronteira de placas e ao tipo de movimentação que lhe está associado. A orientação axial dos mecanismos focais e os indicadores de tensão de origem geológica (baseados em dados de furo) sustentam a hipótese de que Portugal Continental se encontra sujeito a um campo de tensões compressivas com orientação

aproximada NW-SE. Este campo compressivo está de acordo com o campo regional de tensão esperado para esta região e que resulta da colisão entre as placas Euro-Asiática e Africana (Bezzeghoud e Borges, 2003; Buform et al., 2004; Bezzeghoud et al., 2008, 2010).

3. TOMOGRAFIA SÍSMICA (TEORIA)

3.1 INTRODUÇÃO

As primeiras localizações de sismos foram baseadas em métodos gráficos (círculos ou elipses, com centro em cada estação e curvas dromocrónicas), utilizando principalmente as ondas *P* e *S*. Os primeiros métodos numéricos foram desenvolvidos por L. Geiger, em 1910 e V. Inglada, em 1926. Estes métodos permitem reduzir as diferenças existentes entre os tempos de chegada teóricos e calculados para ondas sísmicas *P* e *S*, de maneira a que os resíduos sejam minimizados num certo sentido mediante mínimos quadrados. Assim, a localização dos sismos, como um problema de optimização não linear, foi resolvido. Este método é parte essencial dos diversos programas de localização utilizados frequentemente (*Hypo71*, *Hypoinverse*, *Fasthypo*, entre outros). Outro enfoque deste problema é a determinação conjunta de um grupo de hipocentros.

Vários métodos de tomografia sísmica (ou estrutura 3D) foram desenvolvidos desde meados da década de 70, quando o primeiro resultado (Aki *et al.*, 1974) foi divulgado, cada um com suas vantagens e limitações sendo que a maioria destes métodos se baseia na teoria de inversão. O exemplo de aplicação da teoria da inversão abordado neste capítulo será para o método de tomografia sísmica dos tempos de percurso, onde os dados utilizados são resíduos de tempo e os parâmetros são perturbações de velocidade para as ondas sísmicas. Neste capítulo apresenta-se uma breve abordagem teórica da tomografia sísmica. A formulação teórica que permite compreender os processos físicos relacionados com a tomografia sísmica é complexa e, não sendo objectivo deste trabalho a sua explicação detalhada, pretende-se apenas obter uma melhor compreensão dos problemas que se colocam quando se aborda este tema de um ponto de vista mais aplicado.

O resultado final da tomografia sísmica é a obtenção de imagens do interior da Terra, pelo que todo o trabalho inerente à obtenção destes resultados deve ser compreendido, nomeadamente os processos físicos que se relacionam com a localização de sismos e com o tempo de percurso dos raios sísmicos e a identificação e formulação dos problemas directo e inverso que surgem nestes casos.

3.2 LOCALIZAÇÃO DE SISMOS

Um sismo cujo tempo de chegada às estações (d_i') depende do tempo (t) de origem na fonte e dos tempos de propagação entra a fonte (x) e a estação (x_i) ($T(x, x_i)$), pode ser descrito por:

$$d_i' = T(x, x_i) + t \quad (1)$$

Se a velocidade de propagação das ondas sísmicas no meio for conhecida, este problema directo devolve uma equação vectorial da forma

$$d = A(m) \quad (2)$$

em que d é o vector dos tempos de chegada calculados a um conjunto de estações e A é uma função ou operador que actua sobre o modelo m ,

$$m = x, y, z, t. \quad (3)$$

m depende das três coordenadas espaciais (x , y , z) e do tempo de origem (t). Tanto o modelo como os dados, sendo definidos vectorialmente, permitem que a eq. (1) possa ser descrita em termos das suas componentes vectoriais: $d_i = A(m_j)$. O problema inverso pode ser apresentado a partir dos tempos de chegada de um sismo às estações, em que se pretende determinar o modelo que melhor se adapta aos dados. O modelo inicial m^o , é uma estimativa relativamente ao modelo ou solução que se procura, devendo obter-se os dados observados na forma $d_i^o = A(m_j^o)$. Estes dados representam variações Δm_j ao modelo inicial $m_j = m_j^o + \Delta m_j$ que irão aproximar os dados estimados aos dados observados. Não se verificando dependência linear dos dados relativamente aos parâmetros do modelo, pode-se linearizar o problema em função do modelo inicial,

$$d_i \approx d_i^o + \sum_j \left. \frac{\partial d_i}{\partial m_j} \right|_{m^o} \Delta m_j \quad (4)$$

A diferença entre os dados observados e os dados estimados pode ser escrita como

$$\Delta d_i^o = d_i' - d_i^o \approx \sum_j \left. \frac{\partial d_i}{\partial m_j} \right|_{m^o} \Delta m_j \quad (5)$$

sendo estas relações comuns em problemas de inversão. A matriz das derivadas parciais pode ser simplificada ficando,

$$G_{ij} = \frac{\partial d_i}{\partial m_j} \quad (6)$$

pelo que a eq. (6) pode ser reescrita em notação matricial na forma

$$\Delta d = G \Delta m \text{ ou } \Delta d_i = \sum_j G_{ij} \Delta m_j. \quad (7)$$

Simplificando a eq. (7) obtém-se $d = Gm$. Esta equação matricial representa um sistema de equações lineares. A sua solução é obtida pelo produto das variações no modelo (Δm) e as derivadas parciais da matriz G devolvem os dados (Δd) com as devidas modificações. Este caso representa um problema inverso, ao contrário do problema directo que determina as alterações nos dados (Δd) previstos pelo modelo (Δm) devidamente alterado.

A localização de sismos pode-se tornar um problema complexo, decorrente do facto de um evento poder ser detectado em várias estações sísmicas e de se observarem tempos de chegada em número superior aos parâmetros utilizados na resolução do modelo. Concretizando este facto: a eq. (7) apresenta o argumento j como um parâmetro do modelo cujo intervalo é variável (e.g. entre 1 e 4) e o argumento i que varia de 1 até n (neste caso com $n \gg 4$) e identifica cada um dos n dados a usa. Como cada tempo de chegada corresponde a uma equação e cada um dos parâmetros do modelo representa uma incógnita, a matriz G apresenta um número de linhas igual ao número dos tempos de chegada observados; o número de colunas é igual ao número dos parâmetros do modelo. Como se verificam mais equações (n) que incógnitas (4) G torna-se numa matriz com mais linhas que colunas, pelo que o problema é sobredeterminado (Stein e Wysession, 2003). A matriz G tem a forma seguinte:

$$\begin{bmatrix} \Delta d_1 \\ \Delta d_2 \\ \vdots \\ \Delta d_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & G_{13} & G_{14} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G_{n1} & G_{n2} & G_{n3} & G_{n4} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta m_1 \\ \Delta m_2 \\ \Delta m_3 \\ \Delta m_4 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Uma abordagem possível para a resolução deste problema é considerar, por exemplo, a possibilidade de $n=4$, pelo que desta forma a matriz G seria uma matriz quadrada (número de linhas igual ao número de colunas) e desta forma a eq. (7) poderia ser resolvida através do produto da matriz G pela sua inversa G^{-1} , de tal modo que:

$$G^{-1}\Delta d = G^{-1}G\Delta m = \Delta m \quad (9)$$

Com efeito, para alcançar a solução exacta do problema bastaria utilizar os tempos de chegada observados em quatro estações e deste modo assumir que a restante informação seria apenas “redundante”. Esta suposição é plausível se considerarmos o meio como isotrópico e homogéneo (meio ideal) o que não se verifica na realidade. De facto, os tempos de chegada observados contêm erros associados às leituras, imprecisões nos relógios das estações, determinação inadequada das primeiras chegadas e erros sistemáticos relativamente à velocidade do meio (que não se conhece com precisão) e às variações laterais da velocidade. Desta forma o resultado é inconsistente e o modelo não tem capacidade de resolução. Acrescenta-se ainda o facto de ao considerar apenas os tempos de chegada em quatro estações corre-se o risco de estar a eliminar informação de melhor qualidade relativamente aos dados escolhidos (Stein e Wysession, 2003). A melhor abordagem para uma possível solução passa pela determinação dos tempos de chegada que melhor se ajustam ao problema. Nestas condições, consideram-se os dados observados (d_i') como tendo erros associados que podem ser descritos pelo seu desvio padrão e estima-se o modelo que melhor minimiza estes erros. A expressão

$$\chi^2 = \sum_i \frac{1}{\sigma_i^2} (\Delta d_i - \sum_j G_{ij} \Delta m_j)^2 \quad (10)$$

representa o erro da soma da diferença dos quadrados entre os tempos de chegada observados e os tempos de chegada previstos pelo modelo. A função de ajuste (χ^2) a ser minimizada, “pesa” os dados (a partir do recíproco das variâncias) de modo a que os que apresentam maior incerteza tenham menos influência. Para o melhor ajuste, a derivada parcial do erro em ordem à variação dos parâmetros do modelo (Δm_k) é zero.

$$\frac{\partial \Delta m_j}{\partial \Delta m_k} \delta_{jk} \quad (11)$$

A derivada parcial do erro é

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial \Delta m_k} = 0 = 2 \sum_i \frac{1}{\sigma_i^2} (\Delta d_i - \sum_j G_{ij} \Delta m_j) G_{ik} \quad (12)$$

Se as variâncias dos dados (observados e estimados) forem iguais ($\sigma_i^2 = \sigma^2$) então a eq. (12) pode ser reescrita para

$$\sum_i \Delta d_i G_{ik} = \sum_i (\sum_j G_{ij} \Delta m_j) G_{ik} \quad (13)$$

ou em notação matricial

$$G^T \Delta d = G^T G \Delta m \quad (14)$$

A vantagem desta notação reside no facto de a matriz G não poder ser invertida, mas quando multiplicada pela sua transposta $G^T G$ resulta numa matriz quadrada e neste caso torna-se possível a sua inversão. A eq. (15) dá a Δm uma solução de mínimos quadrados para um conjunto de equações que não têm solução exacta, porque

$$\Delta m = (G^T G)^{-1} G^T \Delta d = G^{-g} \Delta d \quad (15)$$

O operador $(G^T G)^{-1} G^T$ actua sobre os dados para estabilizar o modelo e designa-se por matriz inversa generalizada de G e devolve a melhor solução em termos de mínimos quadrados. Se G é quadrada e tem inversa (G^{-1}) então $G^{-1} = G^{-g}$. Este método consiste no modelo inicial m^o (tempo na origem) e nos valores esperados para os dados,

$$d^o = A(m^o) \quad (16)$$

em que os dados mal ajustados formam o vector dos resíduos $\Delta d^o = d' - d^o$, a matriz das derivadas parciais do modelo inicial

$$G_{ij} = \left(\frac{\partial d_i}{\partial m_j} \right) \Big|_{m^o} \quad (17)$$

e a aplicação da sua inversa para determinar Δm^o , que representa as variações ao modelo inicial que melhor se ajusta aos dados observados. O novo modelo

$$m^1 = m^o + \Delta m^o \quad (18)$$

prevê novos valores para os dados

$$d^1 = A(m^1) \quad (19)$$

que serão mais bem ajustados aos dados observados relativamente aos valores previstos pelo modelo inicial (Stein e Wyssession, 2003).

3.3 TEMPO DE PERCURSO DOS RAIOS SÍSMICOS

Um raio sísmico com um determinado percurso s através de um meio cuja velocidade v varia com a posição, apresenta um tempo de percurso pode ser descrito pela equação

$$T = \int \frac{1}{v}(s) ds = \int u(s) ds \quad (20)$$

em que o integral do inverso da velocidade ao longo do percurso do raio, representa a **lentidão**. O percurso do raio sísmico, por sua vez, é determinado pela distribuição da

velocidade. Supondo que a lentidão ao longo do percurso sofre perturbações em vários pontos, numa certa quantidade $\delta u(s)$, de tal modo que o percurso do raio não é afectado mas o seu tempo de percurso sofre perturbação também numa certa quantidade que pode ser definido por

$$\delta T = \int \Delta m G_{ij} \quad (21)$$

As variações no tempo de percurso reflectem as perturbações da lentidão ao longo do traçado do raio, no entanto, uma única observação não é suficiente para definir como estas perturbações se distribuem ao longo do percurso (Stein e Wyssession, 2003).

Uma forma de melhorar a resolução é considerar os raios sísmicos que atravessam o meio de forma diferenciada. A distribuição espacial mais simples da perturbação da lentidão é dividir o meio que é atravessado pelos raios sísmicos em células ou blocos, como se exemplifica na Figura 3.1. A eq. (21) pode ser discretizada na forma

$$\Delta T_i = \sum_j G_{ij} \Delta m_j \quad (22)$$

em que ΔT_i representa a perturbação do tempo de percurso ao longo do i -ésimo raio sísmico; G_{ij} é a distância que o i -ésimo raio percorre ao longo da j -ésima célula e Δm_j reflecte a perturbação da lentidão na mesma célula. Esta perturbação pode ser obtida a partir dos tempos de chegada observados ao longo de vários percursos.

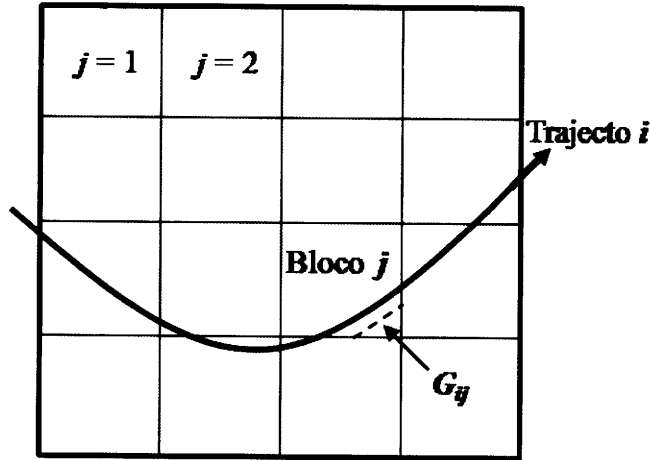


Fig.3.1 – Geometria de uma região, que se encontra dividida em blocos j , cuja perturbação da velocidade será determinada a partir dos tempos de percurso dos raios sísmicos ao longo do trajecto i . A velocidade fora dos blocos assume-se como sendo lateralmente homogénea, pelo que as perturbações no tempo de percurso relativamente ao modelo de referência são utilizadas para determinar as perturbações da velocidade nos blocos (Stein e Wyssession, 2003).

As observações de propriedades ao longo de percursos através do meio (interior da Terra) são utilizadas para estimar a distribuição de propriedades físicas nesse meio e a estas observações chama-se genericamente tomografia (Stein e Wyssession, 2003). Estas perturbações podem ser definidas por imagens, que se pretendem reconstruir a partir das observações.

Para o tempo de percurso dos raios sísmicos o problema inverso que reside em determinar as perturbações na lentidão a partir dos dados observados, assume a mesma forma que a equação $d = Gm$ do ponto anterior deste capítulo (3.2). O vector m representa a perturbação da lentidão no modelo inicial e o vector d (dados) representa a

diferença entre os tempos de percurso observados e os tempos de percurso previstos pelo modelo. Os elementos da matriz das derivadas parciais

$$G = \frac{\partial d_i}{\partial m_j} = \frac{\partial \tau_i}{\partial u_j} \quad (23)$$

são iguais à distância que o i -ésimo raio percorre através da i -ésima célula, que representa as derivadas parciais do tempo de percurso dos raios em ordem à lentidão nas células.

A matriz G é um operador que relaciona os vectores do modelo e os vectores dos dados. Tal como no problema da localização, estes vectores representam quantidades fisicamente diferentes e com dimensões diferentes. Os vectores do modelo possuem tantos elementos como o número de células presentes no modelo e os vectores dos dados têm o número de elementos igual ao número de percursos dos raios sísmicos. Se se verificam m células no modelo, qualquer vector do modelo representa um modelo espacial com dimensão m . De forma análoga, ao verificarem-se n tempos de percurso e portanto n percursos dos raios sísmicos, qualquer vector do modelo representa um modelo espacial com dimensão n . Desta forma verifica-se a existência de mais equações do que incógnitas e volta-se a constatar um problema sobredeterminado. O problema inverso, neste caso, pode ser resolvido de forma semelhante ao problema inverso encontrado na localização de sismos (ver 3.2 deste capítulo).

Para os diferentes percursos dos raios sísmicos, os tempos de chegada e as distâncias percorridas em cada célula são previstos a partir do modelo de referência. O modelo inicial é normalmente homogéneo, pelo que os tempos de chegada podem ser facilmente determinados. Os resíduos dos tempos de percurso são calculados para cada traçado dos raios sísmicos a partir da diferença entre os tempos de chegada previstos pelo modelo e os tempos de chegada observados. As variações na lentidão são obtidas por inversão do vector dos resíduos dos tempos de chegada, a partir da matriz inversa generalizada (G^{-g}) (Stein e Wyssession, 2003).

Para melhor exemplificar esta situação, considere-se uma determinada região que se encontra monitorizada por um “array” sísmico e que é dividida em quatro células (Figura 3.2(a)). Os dados são obtidos a partir do percurso de seis raios sísmicos (Figura 3.2(b)). Quatro destes trajectos podem ser interpretados como sendo informação obtida de um evento telesísmico e que atravessam o modelo verticalmente. Os restantes dois trajectos podem ser entendidos como eventos sísmicos locais e que atravessam o modelo horizontalmente.

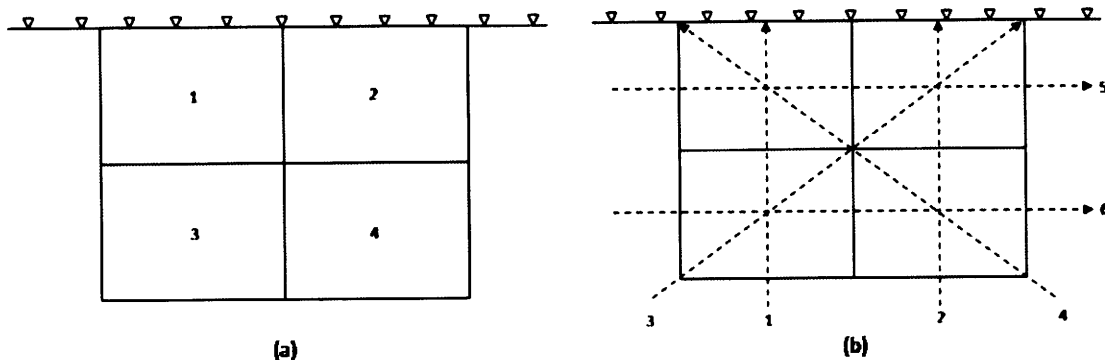


Fig. 3.2 – Trajecto de raios sísmicos e geometria dos blocos numa experiência de tomografia ideal em que cada bloco é atravessado por três raios diferentes (in Stein e Wyssession, 2003).

A lentidão de referência do modelo é considerada como sendo a adequada fora das células, para que os resíduos dos tempos de percurso para cada traçado sejam atribuídos às perturbações nas células. Este problema pode ser descrito pela matriz

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & \sqrt{2} & \sqrt{2} & 0 \\ \sqrt{2} & 0 & 0 & \sqrt{2} \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \\ d_6 \end{bmatrix} \quad (24)$$

Como esta matriz não é quadrada, não pode ser invertida e tal como foi resolvido anteriormente (3.2 deste capítulo), esta matriz fica com a notação

$$G^T d = G^T G m, \quad (25)$$

desta forma a matriz $G^T G$ já pode ser invertida. Nestas condições é possível determinar a matriz inversa generalizada (G^{-g}). A solução do modelo tem a notação

$$m_g = (G^T G)^{-1} G^T d = G^{-g} d. \quad (26)$$

O modelo obtido por inversão (m_g) é comparado ao modelo da lentidão que originou os dados dos tempos de percurso. Por comparação e substituindo Gm por d na equação anterior

$$m_g = (G^T G)^{-1} G^T G m = m \quad (27)$$

O modelo real é resolvido pela equação correctamente (Stein e Wysession, 2003).

3.4 CONCLUSÃO

A compreensão dos processos físicos tratados neste trabalho é, de certo modo, facilitada com o contributo da formulação teórica dos problemas que decorrem do tratamento e processamento dos dados que têm como objectivo final a obtenção de um modelo tomográfico do interior da Terra para uma dada região.

Tendo adquirido ao longo deste trabalho uma perspectiva mais aprofundada da tomografia sísmica, deve-se também realçar uma maior compreensão da complexidade do trabalho subjacente aos resultados finais, pelo que esta breve síntese teórica pretende realçar este facto.

4. A CAMPANHA SÍSMICA

4.1 INTRODUÇÃO

A campanha sísmica realizou-se no âmbito do *Projecto de Tomografia Sísmica da Litosfera Continental Algarvia*, desenvolvido e coordenado pelo Centro de Geofísica de Évora/Universidade de Évora (CGE/UE) com a participação de: “École et Observatoire de Physique du Globe de Strasbourg” (EOPGS, Universidade Louis Pasteur, Estrasburgo - França), o Instituto de Meteorologia e Geofísica (IM) e a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL).

Para a instalação da rede de tomografia sísmica foi necessário, numa fase inicial, o reconhecimento dos locais para instalação das estações sísmicas, que decorreu em Dezembro de 2005. Foram efectuados estudos prévios recorrendo a cartas sísmicas, geológicas (1/200000) e topográficas (1/25000) da região em estudo, a partir dos quais se definiram as localizações para as estações da rede. As saídas de campo necessárias para o reconhecimento das localizações das estações foram realizadas por duas equipas constituídas por membros do CGE e do IM. A distribuição das estações sísmicas foi feita de modo a cobrir a zona em estudo com actividade sísmica significativa.

A rede sísmica temporária entrou em funcionamento em Janeiro de 2006 e prolongou-se durante os dezoito meses seguintes, tendo sido desactivada na sua totalidade em Julho de 2007.

O principal objectivo do projecto foi realizar a Tomografia Sísmica Local (TSL) na região do Baixo Alentejo e Algarve, principalmente nas zonas de Monchique-Portimão (M-P) e Loulé-Faro (L-F), de forma a permitir um melhor conhecimento da crosta continental e sua estrutura e ainda identificar as áreas de geração de sismos e as zonas de falhas activas destas regiões.

4.2 A REDE SÍSMICA

A Rede Sísmica temporária instalada na região do Baixo Alentejo e Algarve foi dividida em duas sub-redes, designadas por Rede Autónoma (Geostar) e Rede Telemétrica. Ambas as redes foram instaladas de forma a proporcionar uma cobertura eficaz de toda a região do Baixo Alentejo e Algarve (Figura 4.1).

Esta rede foi composta por trinta estações sísmicas, vinte e três estações constituíram a Rede Autónoma e as restantes sete a Rede Telemétrica.

A instalação da rede sísmica temporária ficou concluída em doze de Janeiro de dois mil e seis, data a partir da qual entrou em funcionamento, com excepção de sete estações autónomas que foram instaladas em Fevereiro de 2006 e que foram da responsabilidade do Instituto Geofísico D. Luís (IDL, Lisboa).

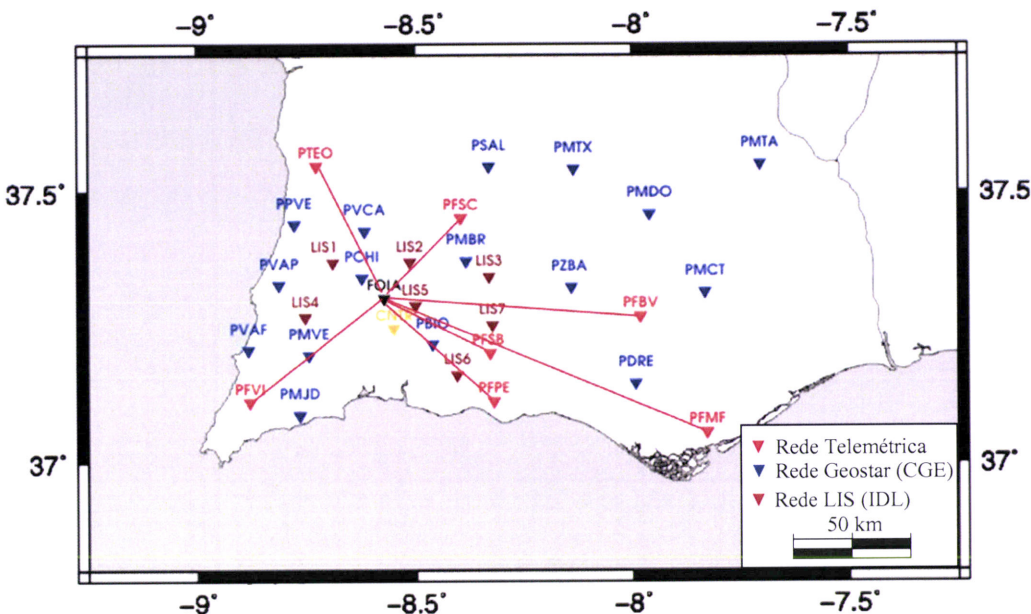


Fig. 4.1 - Configuração da rede sísmica. A preto indica-se a estação central (Fóia) da Rede Telemétrica e a amarelo o ponto central da Rede Autónoma.

4.2.1 A REDE AUTÓNOMA

A Rede Autónoma foi instalada com vinte e três estações, que foram distribuídas pelas regiões do Baixo Alentejo e Algarve e cuja geometria da sua instalação permitiu efectuar a cobertura do Algarve em cerca de dois terços da sua área. Para esta rede a EOPGS cedeu dezasseis estações e as restantes sete pelo IDL, que teve a responsabilidade da sua instalação, recolha de dados e manutenção. A Figura 4.2 ilustra a configuração final da rede após a instalação. Algumas das estações ficaram distribuídas na zona em redor de Monchique, de modo a permitir uma cobertura mais “apertada” desta zona de sismicidade mais significativa e já anteriormente estudada (com a Rede Transfrontiere, 1999-2003, assunto que será abordado no Cap. 6).

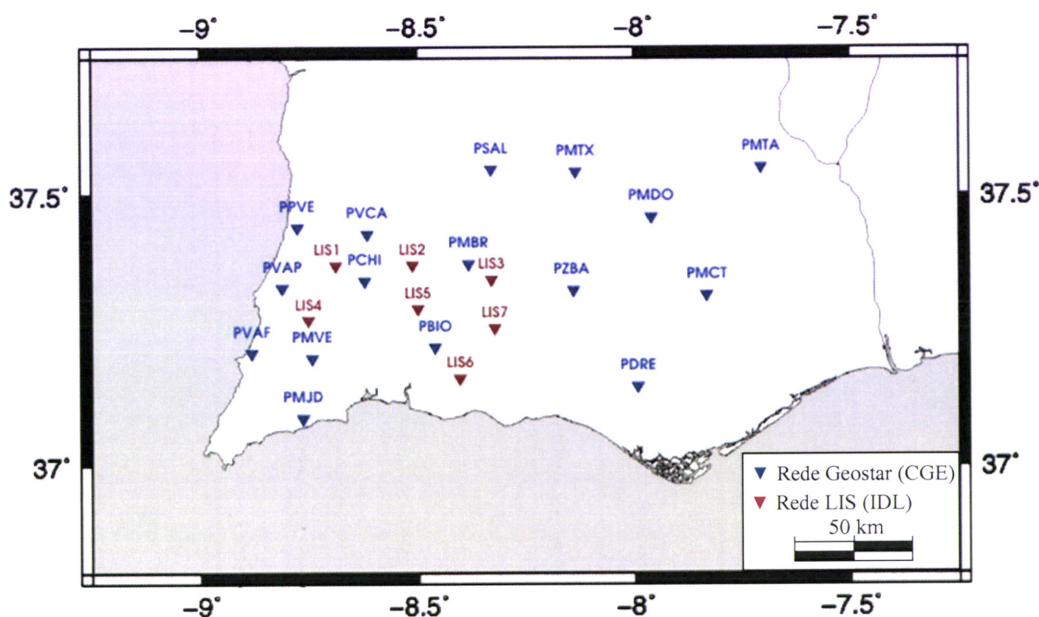


Fig. 4.2 – Configuração da rede autónoma, sendo indicado as posições da rede LIS (IDL) e da rede Geostar (CGE).



A Rede Autónoma foi instalada com:

- i. sismómetros de curto período de 3 componentes (NS, EW e Z) com frequência de 1, 2 e 4 Hz e configurados para uma taxa de amostragem de 150 Hz (amostras/segundo);
- ii. estações autónomas de registo contínuo, com capacidade de armazenamento dos dados em disco rígido correspondente a quarenta e cinco dias (cerca de mês e meio);
- iii. alimentação eléctrica por acumuladores de gel (12 V) com carregamento por painéis fotovoltaicos;
- iv. sistema de georeferenciação GPS.

4.2.2 A REDE TELEMÉTRICA

A Rede Telemétrica foi instalada com sete estações, que foram distribuídas em redor da Serra de Monchique, de modo a poder cobrir esta área eficazmente, sabendo-se *a priori* ser uma zona de actividade sísmica significativa. As sete estações foram equipadas com sismómetros da componente vertical (Z) de curto período (1 e 2 Hz) cujo registo dos dados foi feito por telemetria (via rádio) para uma estação central em Fóia na Serra de Monchique.

A configuração da geometria desta rede (Figura 4.3) em função da sismicidade mais significativa permitiu constranger a zona da Serra de Monchique relativamente à distribuição das estações sísmicas nesta zona.

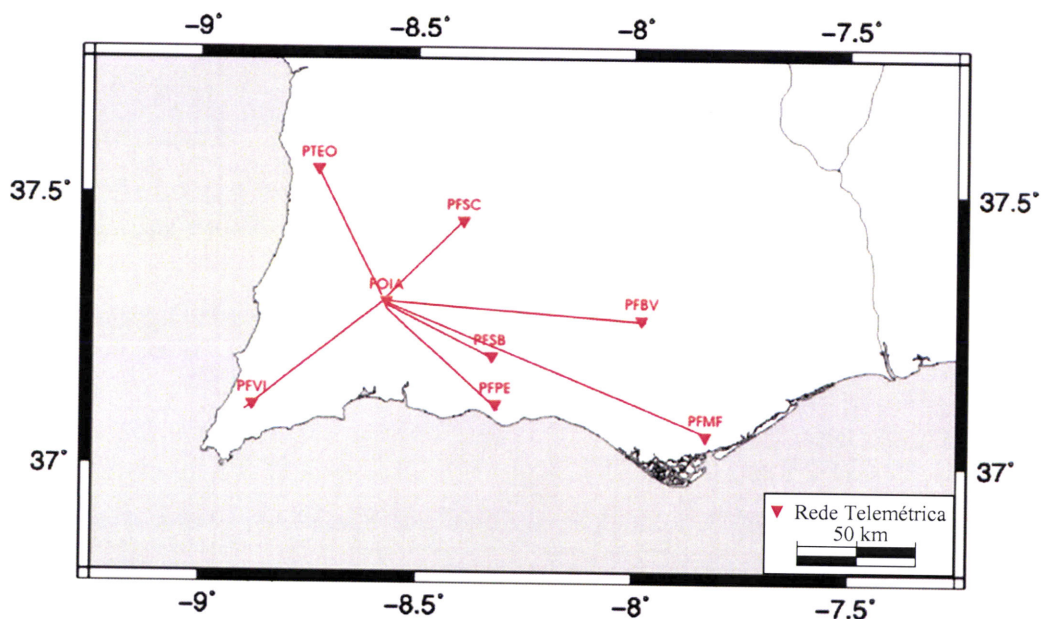


Fig.4.3 - Configuração da Rede Telemétrica (CGE). Todas as estações desta rede foram orientadas com as suas antenas para a estação central em Fóia.

A Rede Telemétrica foi instalada com:

- sismómetros com uma componente (vertical - Z) de curto período de 1 e 2 Hz, , calibrados para uma taxa de amostragem de 150 Hz;
- emissor e antena, para envio de dados para a estação central em Fóia;
- alimentação eléctrica por acumuladores de gel com carregamento por painéis fotovoltaicos;
- estação central em Fóia equipada com 7 antenas dirigidas (para cada estação) um receptor de rádio, um desmultiplicador de frequências e 2 computadores portáteis para registar os dados recebidos das 7 estações.

4.3 DESEMPENHO DA REDE SÍSMICA

O desempenho da rede sísmica foi garantido através de um programa de acompanhamento que incluiu o registo de dados e tarefas de manutenção das estações sísmicas. O acompanhamento foi realizado em campanhas periódicas correspondentes a cerca de metade do tempo de autonomia das estações, de forma a não comprometer o registo dos dados (e.g. o excesso de tempo de registo não permitia efectuar a gravação dos dados por falta de espaço em disco). Este acompanhamento permitiu entre outras situações verificar as estações com problemas, relocalizar estações que se verificou estarem em situações inadequadas a um bom desempenho ou ainda substituir estações que apresentaram problemas de funcionamento.

A Figura 4.4 representa o período entre Janeiro e Abril de 2006, no qual se verifica a ocorrência “inopinada” de ausência de registo nas estações, ao longo do mês de Março. Este facto poderá dever-se à falta de capacidade de registo dos discos das estações sísmicas. O acompanhamento regular, tendo sido realizado principalmente em função da capacidade de registo das estações, foi cumprido de forma rigorosa, pelo que provavelmente esta situação se poderá explicar pela capacidade de registo das estações ser inferior ao que inicialmente se conhecia.

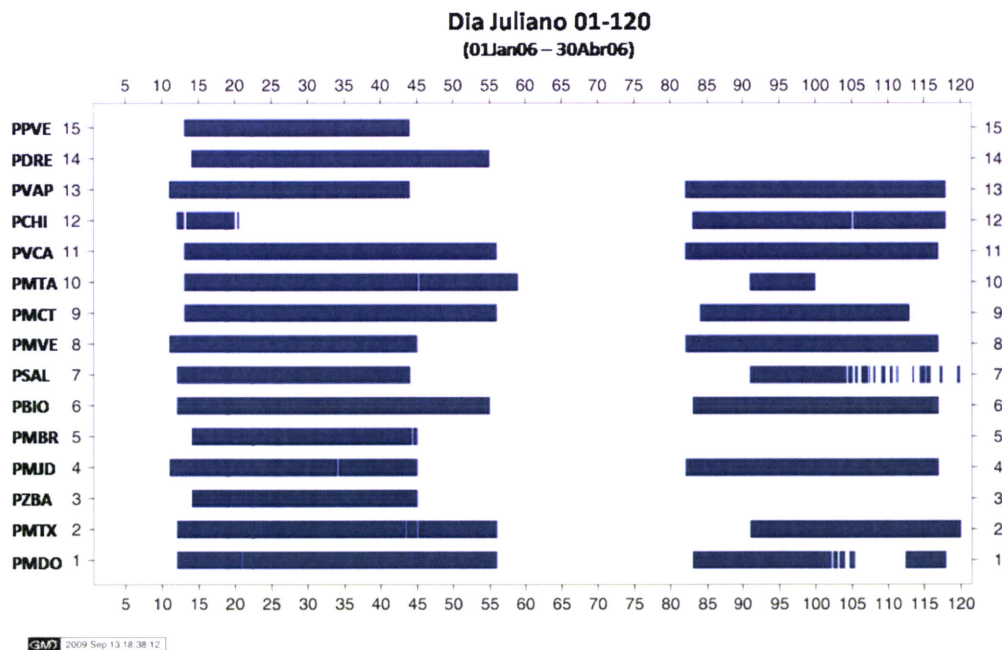


Fig. 4.4 – Funcionamento da rede sísmica temporária para o período compreendido entre Janeiro e Abril de 2006. As barras horizontais a azul correspondem aos períodos de registo das estações. Verifica-se uma ausência prolongada de registo dos dados, que poderá ser consequência de falta de espaço no disco, para o período de registo definido. Os nomes das estações e os dias julianos são representados, respectivamente, no eixo vertical e horizontal.

4.3.1 MANUTENÇÃO DA REDE E REGISTO DOS DADOS

A manutenção da rede foi realizada de modo a permitir a continuidade do funcionamento das estações, garantindo que o registo dos dados fosse efectuado correctamente. Foi necessário assegurar que as estações mantivessem um desempenho elevado em termos da sua operacionalidade, sendo para tal necessário realizar alguns procedimentos importantes, indicados a seguir:

- i. Verificação do estado de tensão da bateria – baterias abaixo de 12 V, foram substituídas por precaução, para não correr o risco de a bateria descarregar e deixar de alimentar a estação, impossibilitando a recolha dos dados;
- ii. Verificação dos ficheiros de dados – registo em disco externo;

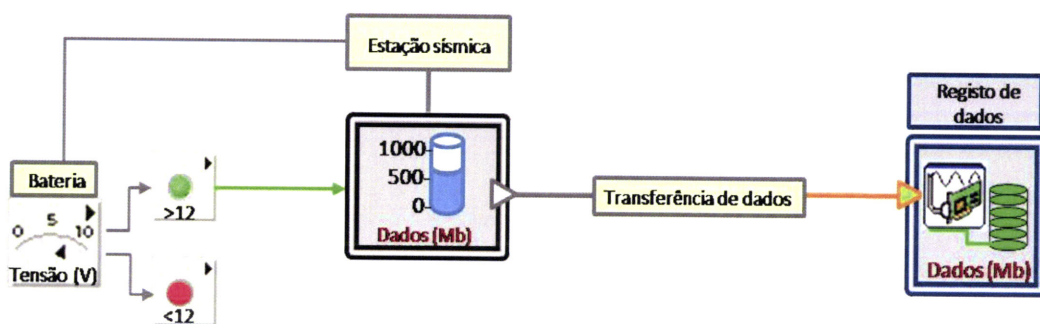


Fig. 4.5 – Representação esquemática da recolha de dados. O registo dos dados obedeceu rigorosamente aos procedimentos estabelecidos.

- iii. verificação do desempenho do sismómetro; no caso de se constatarem falhas no seu desempenho (e.g bloqueio das massas das componentes) o sismómetro era desinstalado para corrigir o problema e novamente colocado em posição devidamente orientado e estabilizado;

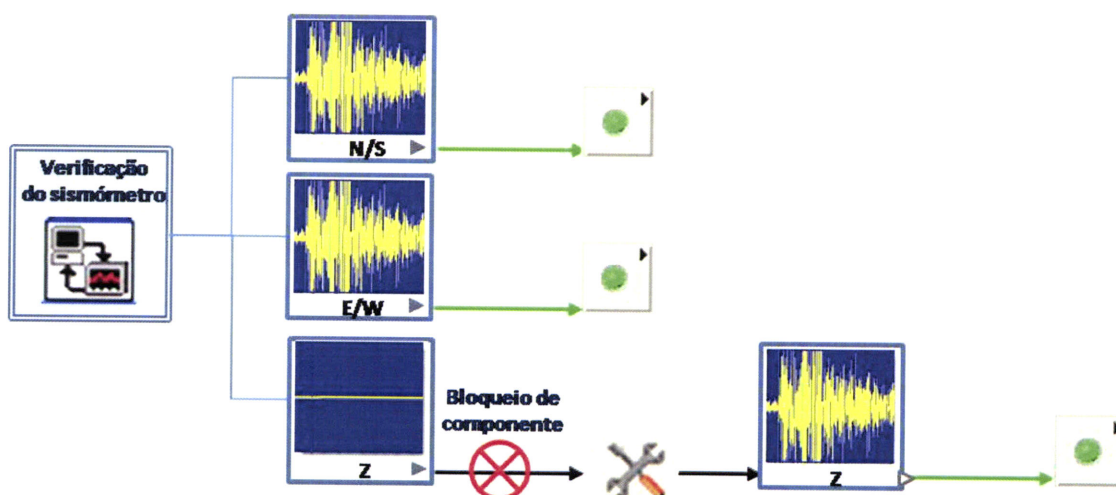


Fig. 4.6 – Representação esquemática da verificação do desempenho do sismómetro.

Todas as ocorrências (problemas/avarias) foram registadas em livro de campo no qual consta toda a informação de cada estação individualmente e que serve como consulta na fase de tratamento e análise de dados, o que se tem revelado de grande utilidade na determinação e esclarecimento de problemas relacionados com os dados.

4.4 CONCLUSÃO

A campanha sísmica, que se realizou entre Janeiro de 2006 e Julho de 2007, decorreu conforme planeado e sem problemas relevantes relativamente ao seu funcionamento. Com a instalação da rede sísmica foi possível não só monitorizar a sismicidade do Baixo Alentejo e Algarve, como cumprir o objectivo principal do Projecto de Tomografia Sísmica da Litosfera Continental Algarvia - a realização da TSL nas zonas de M-P e L-F.

A rede sísmica foi instalada em função das zonas com sismicidade significativa, principalmente nas zonas de M-P e L-F (objectivo definido previamente) tendo sido possível uma cobertura da região em estudo em cerca de dois terços da área do Algarve. A realização da campanha implicou um acompanhamento constante que se traduziu em saídas de campo periódicas com a realização de tarefas de manutenção e registo dos dados das estações. Estas saídas de campo revelaram-se importantes porque permitiram ao longo do período de funcionamento da rede, resolver problemas pontuais que se foram apresentando com o decorrer do tempo. Da análise do registo das ocorrências, observadas através deste acompanhamento, verificou-se que as situações em que houve falhas temporárias no funcionamento de algumas estações não comprometeram o desempenho eficaz da rede na sua globalidade. Verificaram-se três situações em que houve inoperância completa das estações, enquanto que a generalidade das ocorrências que se detectaram resumiram-se a problemas pontuais que não chegaram a afectar o seu desempenho.

A desactivação da rede sísmica foi realizada em Dezembro de 2006 para a Rede Autónoma e Julho de 2007 para a Rede Telemétrica.

5. ANÁLISE E PROCESSAMENTO DOS DADOS

5.1 INTRODUÇÃO

Com a realização da campanha sísmica foram registados dados correspondentes ao tempo de funcionamento da rede, aproximadamente doze meses para a rede autónoma e dezoito meses para a rede telemétrica.

O processamento dos dados obtidos consistiu na aplicação de diferentes metodologias, desde a identificação das fases das ondas *P* e ondas *S* para construção de ficheiros de fases e localização dos eventos com o programa *Hypoinverse* (Klein, 2002) e posterior relocalização através de dois métodos diferentes: 1) um com recurso ao programa *HypoDD* (Waldhauser & Ellsworth, 2000) e 2) com recurso ao programa *Veles* (Kissling, 1995) baseado na inversão 1D, relocalização dos eventos e obtenção de um modelo mínimo 1D de velocidades. Para a relocalização e inversão 3D será utilizado o programa *Simulps* (Thurber, 1983) que permitirá por fim obter o modelo 3D de velocidades e as primeiras imagens tomográficas da região em estudo.

Com o processamento dos dados a informação obtida a partir dos ficheiros das estações foi tornando possível a identificação de algumas ocorrências, cuja análise ainda não tinha sido realizada (e.g. problemas de GPS, paragens temporárias das estações, análise das componentes dos sensores devido a bloqueios, etc...). Esta fase de processamento, tratamento e análise dos dados tem-se revelado demorada devido à grande quantidade de informação disponível, pelo que os dados tratados correspondem apenas ao período compreendido entre Janeiro e Abril de 2006, da rede Geostar.

5.2 ANÁLISE DOS DADOS

A análise e tratamento dos dados seguem uma sequência de procedimentos que envolve a utilização de vários programas, para a identificação das fases *P* e *S*, para construção dos ficheiros de fases, para a relocalização dos eventos identificados e posterior inversão dos dados. Neste contexto, apresentam-se as fases do trabalho correspondentes às várias etapas do processamento dos dados, os procedimentos e critérios utilizados.

5.2.1 IDENTIFICAÇÃO DAS FASES *P* E *S* (*Trgeost*)

A identificação das fases das ondas *P* e *S* corresponde ao primeiro passo de todo o processo de processamento dos dados e revela-se de grande importância, pois nesta fase a correcta identificação das fases de cada evento poderá corresponder a melhores resultados em termos da relocalização dos eventos, pois contribuem para reduzir os resíduos e o erro quadrático médio associados (RMS) de cada evento, o que se traduz num melhor constrangimento e aumento da certeza na relocalização dos eventos.

O programa *Trgeost* (Michel Frogneux, EOPGS) é utilizado para a identificação dos eventos e para o “picking” das primeiras chegadas das fases *P* e *S* das ondas *P* e das ondas *S*.

Para realizar o tratamento dos dados com este programa é necessário aceder à informação de cada estação a partir dos ficheiros *sismo.dat* e *sismo.cat*. A utilização do programa *Trgeost* resume-se à seguinte sequência:

- 1) Acesso aos dados de cada estação (Figura 5.1) a partir da data/hora pretendida, sendo a informação apresentada em sismogramas;

```

STATION: St#37 (1)
Sampling rate: 150.0 (2)
Durée de l'enregistrement: 63014 minutes (3)
soit 1 mois 13 jours
Plus ancienne donnée disponible: 2006 01 12 16:55
Jusqu'à: 2006 02 25 11:08 (4)

Pas d'interruption d'enregistrement
277 minutes avec trig sur 1 canal
91 minutes avec trig sur 2 canaux (5)
30 minutes avec trig sur 3 canaux
Nombre de vérifications horloge: 3458
Entrez votre choix:
1 : Visualisation minute par minute ou suivant trig ou liste
2 : Visualisation 'A la MEQ...'
3 : Visualisation 'A la MEQ' de GPS (6)
4 : Fin du programme 2

Affichage 6 heures par écran...
Entrez le point de depart (AAAAJJ, 0 pour debut)060120 (7)

```

Fig. 5.1 – Acesso ao programa *Trgeost*. A informação disponível sobre cada estação encontra-se como “fileheader” no início do programa. (1) Identificação da estação; (2) Taxa de amostragem da estação; (3) Duração de registo dos dados; (4) Período de registo dos dados; (5) Registo dos dados em cada componente; (6) Opção para visualização dos dados; (7) Data/Hora para visualização do registo dos dados.

- 2) Identificação e selecção dos eventos (Figura 5.2);

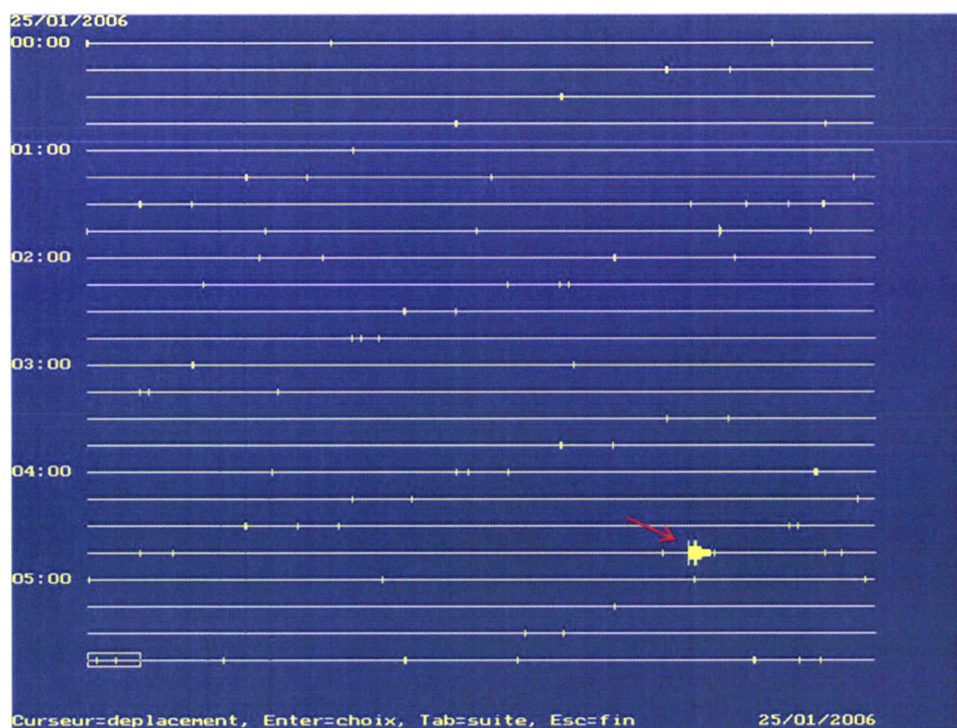


Fig. 5.2 – Identificação dos eventos.

- 3) Para cada evento - identificação das fases *P* e *S* (Figura 5.3);

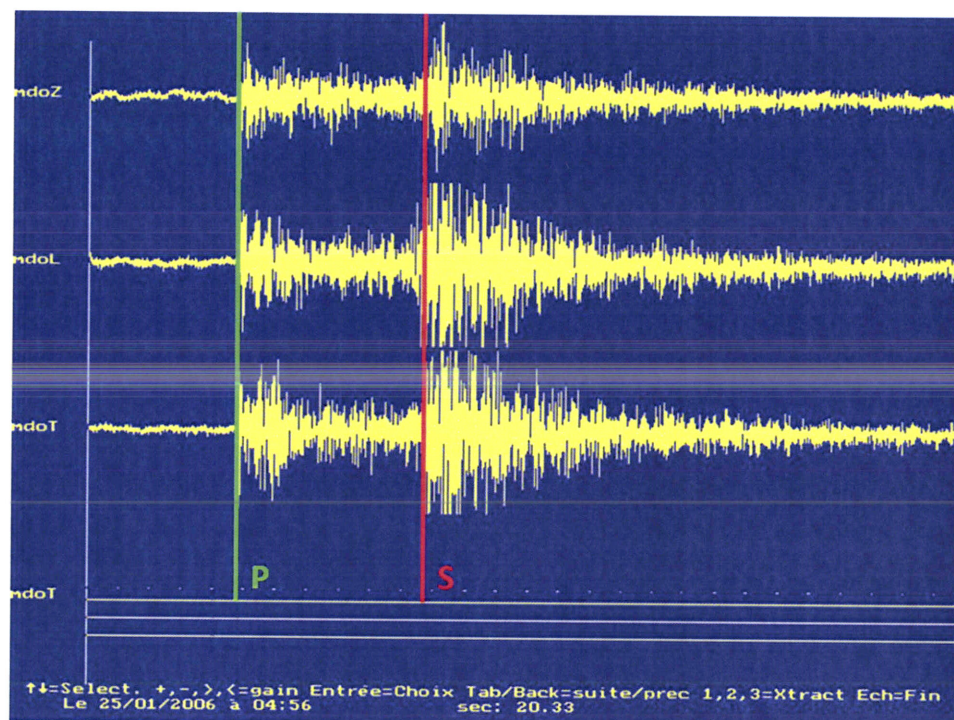


Fig. 5.3 – “Picking” das fases *P* e *S* (primeiras chegadas das ondas *P* e *S*).

- 4) Criação do ficheiro “.pic” que é posteriormente convertido para ficheiro de texto (.txt), com recurso ao programa *Pic2Text* (cf. esquema da Figura 5.4).

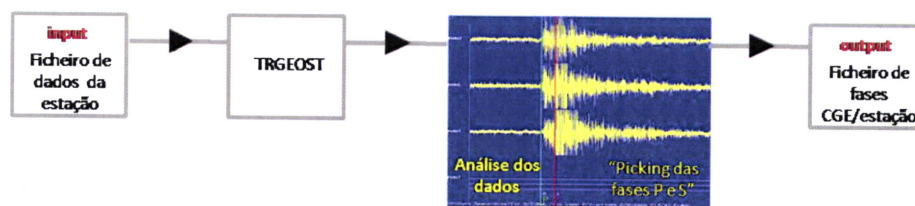


Fig. 5.4 – Representação esquemática do processo de tratamento e análise dos dados registados para cada estação até à criação dos ficheiros de fases.

- 5) O novo ficheiro (.txt) agrupa os eventos por estação, sendo a informação respeitante a cada evento apresentada com o seguinte formato:

MDO PD2 060413123714.18 16.01 S 2

- I. **MDO** – código da estação;
- II. **PD2** – fase *P* com polaridade *D* (dilatação) e o peso (2);
- III. **060413123714.18** – data e hora até ao segundo decimal da fase *P*;
- IV. **16.01 S 2** – diferença de tempo (em segundos) da fase *S* para a fase *P* (*S-P*), fase *S* e peso (2).

Este procedimento é repetido para todas as estações, criando desta forma, por estação, os ficheiros de fases correspondentes ao período de tempo seleccionado.

5.2.2 FICHEIROS DE FASES (*Mergepic*, *Merge* e *Hipe*)

Os ficheiros de fases criados pelo programa *Trgeost* (5.2.1 deste capítulo) são agrupados por estação. Após gerados estes ficheiros e uma vez que o seu formato não é compatível com o formato de ficheiro de entrada do programa de localização, foi necessário proceder à alteração do formato (eventos agrupados por estação para ficheiros com estações agrupadas por evento) de modo a tornar o ficheiro de “input” compatível com o respectivo programa.

- 1) O programa “*Mergepic*” foi desenvolvido no âmbito deste trabalho, em linguagem *python* para juntar todos os ficheiros de fases criados pelo programa *Trgeost* e convertidos em ficheiros de texto pelo programa *Pic2Text*, permitindo desta forma gerar um único ficheiro de fases agrupando todas as estações por evento (cf. Figura 5.5).

PMJD	PC3	060327191637.62	37.73	S	3
FBIO	PC2	060327191602.29	43.29	S	3
PMDO	PC2	060327191652.53	55.41	S	3
PVCA	PC3	060327191641.04	43.46	S	3
FBIO	PC3	060328045218.23	25.26	S	3
PMDO	PDO	060328045210.26	12.12	S	2
PVCA	PC3	060328045218.17	25.39	S	3

Fig. 5.5 – Exemplo de um ficheiro de fases, após conversão pelo programa *Mergepic*, apresentando-se dois eventos e as estações que detectaram os respectivos eventos.

O esquema da funcionalidade do programa *Mergepic* é apresentado na Figura 5.6.

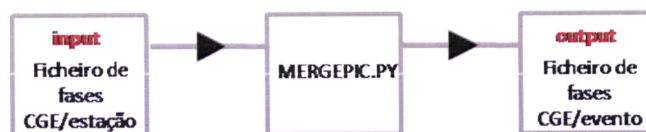


Fig. 5.6 – Esquema do programa *Mergepic*.

- 2) O programa *Hipe* foi desenvolvido em linguagem *python*, no âmbito deste trabalho, com o objectivo de agrupar todos os ficheiros de fases dos dados da rede LIS (IDL). Os ficheiros de fases desta rede foram gerados por dia ao longo da campanha, pelo que foi necessário agrupar esta informação num único ficheiro de fases (cf. esquema da Figura 5.7).

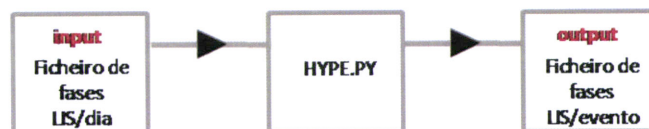


Fig. 5.7. – Esquema do programa *Hipe*.

- 3) O programa *Merge* foi desenvolvido, no âmbito deste trabalho em linguagem *python*. Este programa permite “fundir” os dados da rede LIS (IDL) com os dados da rede Geostar (CGE/UE).

Os dados da rede LIS por apresentarem um formato diferente (*Seisan*) (Figura 5.8) do formato de “input” para o programa de localização (formato *Hypo*) obrigou a que o programa *Merge* também tornasse possível a conversão directa dos dados no seu formato original para o formato pretendido. Este programa permitiu não só juntar os dados de duas redes diferentes e que geram dados em formatos diferentes como também seleccionar os dados agrupando-os por eventos.

```

2006 5 1 0225 40.9 IQ 36.892 -7.821 15.0 Ric 6 1.1 0.8CRic 1
GAP=342 1.44 20.0 37.1617.1 0.5715E+02 -0.2013E+05 0.5495E+04E
ACTION:UP 09-02-13 15:40 OP:nad STATUS: ID:20060501022459 I
2006-05-01-0224-59S.ALGAR_018 6
STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO AIN AR TRES W DIS CAZ7
LIS7 SZ EP 9 226 7.79 27 93 16.80 0 59.6 300
LIS7 SN ES 226 16.02 0.7010 59.6 300
LIS6 SZ EP 225 53.40 92 -0.0710 76.0 293
LIS6 SE ES 226 2.56 92 -0.3110 76.0 293
LIS5 SN ES 226 3.81 92 0.2410 78.6 302
LIS2 SZ EP 1 225 54.79 92 0.51 7 81.1 311
LIS2 SN ES 226 3.90 92 -0.3910 81.1 311
MORF BZ EP 3 226 0.34 92 5.17 2 86.9 302
MORF BN ES 226 5.90 92 0.0610 86.9 302
LIS1 SN ES 2 226 7.02 91 -0.57 5 93.7 305

```

Fig. 5.8 – Exemplo de um ficheiro de fases dos dados da rede LIS (IDL) no seu formato original (*Seisan*).

As diferenças nos ficheiros de fases das duas redes revelaram a necessidade da conversão dos dados da rede LIS (formato *Seisan*) para o formato de dados da rede Geostar (formato *Hypo*) (cf. Figura 5.9).

```

LIS2 P 1 060214192047.56 3.10 S 0
LIS5 P 2 060214192048.00 3.20 S 2
MORF P 0 060214192048.60 4.31 S 0
LIS6 P 3 060214192048.66 4.39 S 2
LIS1 PC0 060214192049.27 4.28 S 0

```

Fig.5.9 – Exemplo de um ficheiro de fases da rede LIS após conversão pelo programa *Hipe* para o formato *Hypo* (rede Geostar – CGE/UE).

A Figura 5.10 representa o esquema do programa *Merge*, exemplificando como os ficheiros de fases das duas redes se juntam para formar um “output” único para o programa *Hypoinverse*.

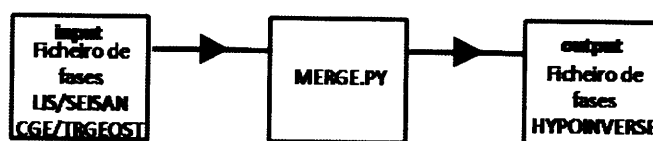


Fig.5.10 – Esquema do programa *Merge*.

5.3 LOCALIZAÇÃO DOS EVENTOS SÍSMICOS (*Hypoinverse*)

A localização dos eventos sísmicos decorre após o tratamento e análise dos dados, sendo o resultado final o ficheiro de fases que é um “*input*” para o programa de localização *Hypoinverse*.

O programa *Hypoinverse* foi desenvolvido por Fred Klein, USGS – United States for Geological Survey, 1978 e processa ficheiros com informação de estações sísmicas relativamente a um evento sísmico (e.g. tempos de chegada das ondas *P* e *S*) e converte esta informação em localizações epicentrais. Os parâmetros de entrada para o programa são três:

- 1) **Ficheiro das estações da rede** – neste ficheiro encontram-se todas as estações, com as respectivas coordenadas, altitudes e o ponto central (*Cntr*) da rede.
- 2) **Ficheiro do modelo de velocidades da região** – o modelo de velocidades utilizado é considerado para uma Terra plana (isotrópica e homogénea) em que as estações se assumem todas à mesma superfície (mesma altitude média), pelo que as suas altitudes relativas não se consideram. O facto de se assumir a Terra plana implica que as profundidades a que os sismos ocorrem são relativas a uma superfície média, definida localmente pela proximidade das estações. Para estes modelos de velocidade apenas se consideram as mudanças de velocidade em profundidade. As variações laterais de velocidade apenas podem ser consideradas para modelos baseados na localização (ou possuindo dois modelos de velocidade para o mesmo sismo, para estações diferentes) (Klein, 2002).
- 3) **Ficheiro de fases** – este ficheiro apresenta uma lista dos eventos detectados para um determinado período. Com base num dos critérios do *Hypoinverse* – número mínimo de estações que detectam o mesmo evento tem que ser igual ou superior a três – o ficheiro de fases é gerado de forma a cumprir este critério.

Após o processamento dos dados, o programa devolve dois ficheiros de “*output*” designados por *hypprt* e *summ71* respectivamente. O ficheiro *hypprt* gera a informação das estações (códigos das estações e coordenadas), o modelo de velocidades utilizado (velocidade das ondas *P* em kms^{-1} , profundidade e espessuras das camadas em km), executa testes aos parâmetros e lista todos os eventos e as estações que os detectam. O ficheiro *summ71* gera um sumário dos parâmetros obtidos no ficheiro *hypprt* que torna possível a sua utilização imediata em termos de processamento de dados e *input* noutros programas.

A Figura 5.11 ilustra o processo de conversão dos dados para o formato *Hypo*.

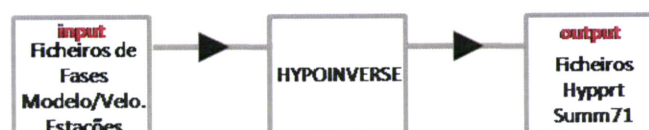


Fig. 5.11 – Esquema do programa *Hypoinverse*.

5.4 RELOCALIZAÇÃO HIPOCENTRAL

5.4.1 O PROGRAMA *HypoDD*

O programa *HypoDD* (Waldhauser, 2001) permite proceder à relocalização dos eventos sísmicos a partir do algoritmo “*double-difference - DD*” (Waldhauser e Ellsworth, 2000). A vantagem desta técnica reside no facto de a separação hipocentral entre dois sismos ser reduzida, em comparação com a distância sismo-estação, então o percurso dos raios sísmicos entre a região da fonte e uma dada estação serão semelhantes ao longo do percurso do raio sísmico (Fréchet, 1985; Got et al., 1994; Waldhauser, 2001). A diferença observada nos tempos de percurso entre dois sismos pode ser explicada pelo “*offset*” espacial entre os dois eventos com precisão (Waldhauser, 2001). Os resíduos entre os tempos observados e os tempos calculados (diferença tempo-distância) entre dois eventos para a mesma estação, devem-se à posição relativa dos hipocentros e os tempos de origem (através das derivadas parciais dos tempos de percurso para cada evento). O programa *HypoDD* calcula os tempos de percurso em modelos de velocidade por camadas, em que a velocidade depende apenas da profundidade. Os resíduos para pares de sismos próximos em cada estação são minimizados por mínimos quadrados através do método *SVD* (*Singular Value Decomposition*). As soluções são encontradas por iterações sucessivas do vector diferença entre pares de hipocentros de sismos próximos, com as localizações determinadas após cada iteração (Waldhauser, 2001).

A relocalização de sismos com recurso ao *HypoDD* é realizada em dois passos:

1. O primeiro passo é converter o ficheiro *hypprt* do programa *Hypoinverse* em ficheiros de entrada para o *HypoDD*. Esta conversão é realizada através de uma rotina designada por *HypInv2ph* de modo a devolver os dois ficheiros de input (fases e estações) necessários (representação esquemática deste procedimento na Figura 5.12).

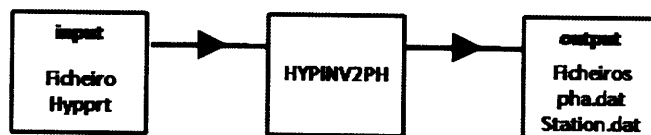


Fig. 5.12 – Esquema do programa *HYPINV2ph*.

O programa *ph2dt* permite realizar a análise dos dados a partir dos ficheiros de “*input*” das estações e dos ficheiros de fases, que resultará nas diferenças dos tempos de percurso para cada par de eventos. Os ficheiros de “*output*” obtidos – *dt.ct* e *event.dat*, representam respectivamente a selecção dos pares de tempos de percurso e o sumário (ou resumo) de todos os eventos (esquema representativo na Figura 5.13). O *ph2dt* cria pares de eventos com tempos de percurso para cada estação e estabelece uma relação de pares de fases entre os respectivos eventos. Este programa cria uma rede de ligações entre os pares de eventos que se relacionam entre si, sendo a distância entre estes a menor possível. Esta rede de ligações de eventos comuns é estabelecida a partir do parâmetro *MAXNGH* que permite um valor máximo de eventos “vizinhos”, dentro de um determinado raio

definido pelo parâmetro **MAXSEP**. Para que se consiga obter o maior número possível de eventos “vizinhos”, o *ph2dt* apenas considera os eventos que se enquadram dentro do parâmetro **MINLNK**, ou seja, os eventos “vizinhos” terão que ter um número de pares de fases superior ao valor definido por este parâmetro. Os eventos abaixo deste valor sendo considerados como eventos não são interpretados (contabilizados) como eventos “vizinhos” (Waldhauser and Ellsworth, 2001).

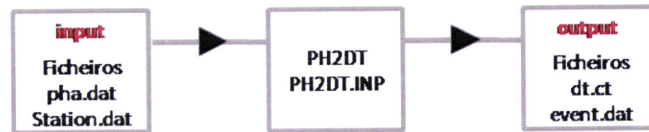


Fig. 5.13 – Esquema do programa PH2DT.

2. O programa *HypoDD* procede à relocalização hipocentral a partir do método “double-difference - DD” com base nas diferenças dos tempos de percurso. O programa realiza as ligações entre eventos através do agrupamento destes em “clusters” (Waldhauser, 2001), estabelecendo-se em cada *cluster* uma cadeia de ligações entre todos os eventos. Como o processamento dos dados no *HypoDD* é realizado em função das fases (tempos de chegada/percurso) das ondas *P* e *S*, as ligações por pares de eventos em cada *cluster* têm que ser definidas por um mínimo de oito estações. Se o número de estações a detectar cada par de eventos ligados entre si for inferior a oito o programa inclui um número maior de ligações de pares de eventos em cada *cluster*, no entanto pode comprometer a estabilidade da solução; da mesma forma um número mais elevado de estações não garante que as relocalizações sejam completamente estáveis. A ligação entre os vários pares de eventos é também definida pela separação hipocentral máxima; quanto menor for a separação hipocentral menor será a ligação entre os pares de eventos e da mesma forma, aumentando a distância da separação hipocentral máxima obter-se-á maior ligação entre os pares de eventos. O *HypoDD* minimiza os resíduos a partir da diferença entre os tempos de percurso calculados e os observados, através de um processo iterativo, em que cada iteração recalcula os ajustes às localizações e os pesos atribuídos “*a priori*” dos dados que sofrem desajustes durante o processo de inversão. Neste processo a resolução do sistema de equações “DD” que se obtém pode ser resolvido através do método “Singular Value Decomposition - SVD” ou através do método dos gradientes conjugados “Least Square Root - LSQR”. O método “SVD” pode ser útil na análise dos sistemas em que o número de eventos é reduzido (até cerca de 100 eventos), pois fornece informação relativamente à solução dos parâmetros hipocentrais e à qualidade dos dados. O método “LSQR” será melhor aplicado a um sistema esparso de equações “DD”, podendo resolver sistemas muito extensos e pode resolver eficientemente também o problema do amortecimento nos ajustes hipocentrais. O amortecimento do vector solução permite controlar a rapidez de convergência da solução que determina o número de iterações. Geralmente as primeiras iterações representam os maiores ajustes nas localizações hipocentrais e devido a este facto (e após cada iteração) o número de eventos poderá não ser o mesmo

que o inicial, uma vez que muitos dos eventos perdem ligações entre si e são eliminados, (Waldhauser e Ellsworth, 2000).

Os ficheiros de “input” *dt.ct*, *event.dat* e *station.dat* são utilizados para realizar a relocalização hipocentral, como se esquematiza na Figura 5.14.

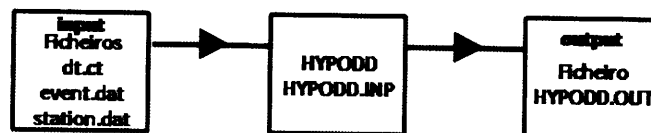


Fig. 5.14 – Esquema do programa *HypoDD*.

Após o processamento dos dados o *HypoDD* devolve ficheiros de saída com informação relativamente aos parâmetros que traduzem o desempenho das sucessivas iterações e reporta informação complementar no ficheiro *hypoDD.log*.

5.4.2 O PROGRAMA *Velest*

A inversão de velocidades do modelo 1D e relocalização hipocentral foi realizada com recurso ao programa *Velest*. O problema directo é resolvido através da determinação dos tempos de percurso (traçado dos raios sísmicos fonte-receptor) e o problema inverso resolve-se com a inversão completa da matriz dos mínimos quadrados.

A solução obtida é conseguida à custa de iterações sucessivas e a localização hipocentral com recurso ao método *JHD - Joint Hypocenter Determination* (Kissling, 1995; Husen et al., 2000).

O processo de inversão com o *Velest* consiste na execução repetida do programa, em que se introduzem vários modelos “*a priori*” todos diferentes, de modo a obter-se o modelo 1D o mais ajustado possível. Para proceder à inversão com o *Velest* foi necessário converter os ficheiros de eventos do “output” (formato *Hypo*) para o formato de “input” do *Velest*, através do programa *Tomo.py*, desenvolvido no âmbito deste trabalho, como representa o esquema da Figura 5.15.

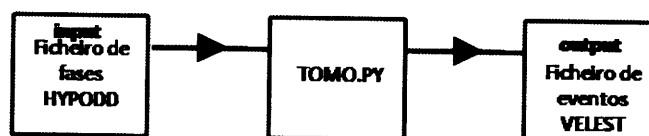


Fig. 5.15 – Esquema representativo da conversão dos ficheiros de fases em formato *Hypo* para o formato do programa *Velest*.

Os novos ficheiros de eventos obtidos têm o formato conforme se apresenta na Figura 5.16, em que no cabeçalho de cada evento consta o grupo data/hora (ano-mês-dia; hora-minuto-segundo decimal), as coordenadas epicentrais e a profundidade.


```

6 116 1143 6.18 37.1273N 8.5815W 2.09
MJD P1 2.89MJD S4 16.29VCA P1 7.09VCA S2 23.49SAL P3 10.82SAL S2 29.70
MTX P2 12.22MTX S2 32.88MCT P2 12.68MCT S2 34.53MTA P2 14.74MTA S4 36.89

6 116 1221 0.44 37.1273N 8.5815W 5.00
MJD P1 2.00MJD S4 53.61BIO P4 1.12BIO S2 39.72VCA P2 3.44VCA S3 4.07

6 114 2148 3.35 37.0165N 8.8563W 11.91
MJD P1 3.86MJD S4 8.11MVE P1 4.74MVE S2 9.50BIO P3 7.12BIO S2 13.72
VCA P1 8.92VCA S2 17.05SAL P2 23.35SAL S2 35.56DRE P2 39.30DRE S4 92.03
MTX P3 12.73MTX S2 39.46MDO P3 39.67MDO S2 93.22MCT P2 42.98MCT S2 95.97

6 115 530 29.55 37.3667N 8.5307W 5.31
BIO P3 23.49BIO S2 2.84SAL P2 6.67SAL S2 8.22ZBA P4 8.45ZBA S2 11.20
MTX P4 12.27MTX S2 13.68MCT P3 14.50MCT S2 19.68

6 116 614 13.23 37.3047N 8.5305W 10.95
BIO P3 3.52BIO S2 4.39VCA P1 4.12VCA S2 6.87MVE P1 4.28MVE S2 63.38
FVE P1 5.01FVE S2 8.50MJD P1 5.45MJD S4 -7.48ZBA P2 6.21ZBA S2 10.77
SAL P1 6.68SAL S2 11.34VAF P1 -5.53VAF S4 10.77MTX P1 8.45MTX S2 14.10
DRE P2 9.66DRE S4 59.52MDO P3 9.75MDO S2 15.92MCT P2 11.01MCT S2 19.00
MTA P1 12.06MTA S4 20.67

```

Fig. 5.16 – Exemplo de um ficheiro de fases convertido para o formato do programa *Velest*.

5.4.2.1 PROCEDIMENTO DE INVERSÃO

O procedimento de inversão para este trabalho foi realizado a partir de várias corridas do programa, com a introdução de vários modelos “*a priori*” de velocidade, todos diferentes, com a finalidade de obter o modelo 1D o mais ajustado possível aos dados obtidos (ou à região em estudo). A necessidade de testar vários modelos surge do facto de o programa não permitir ajustes nas camadas do modelo, em termos da profundidade e das espessuras (Dias, 2005). Os ficheiros de “input” para a inversão são quatro: 1) o modelo de velocidade; 2) o ficheiro de controlo dos parâmetros (*velest.cmn*); 3) o ficheiro dos eventos; 4) o ficheiro das estações. O ficheiro *velest.cmn* (Figura 5.17) contém todos os parâmetros de inversão que são integrados no programa e a partir dos quais se vai definindo, num processo iterativo de tentativa-erro, os ajustes a realizar para obter o melhor modelo possível. Alguns parâmetros importantes foram definidos para se proceder à inversão, como a opção “*nsp*” que relaciona a informação das ondas P e S e que foi definido com o valor de “*nsp=1*” de modo a utilizar apenas a informação das ondas P. O parâmetro que define a razão de velocidades vp/vs foi definido para $vp/vs = 1.75$, não tendo sido utilizado o programa “*wadati*” do pacote *Seisan* (Havskov e Ottemöller, 1999), uma vez que não se utilizou este programa para o tratamento dos dados. Contudo, a perspectiva de obtenção de mais dados permitirá estabelecer com rigor um valor adequado deste parâmetro para o modelo mínimo 1D de velocidade. O número de iterações em cada corrida dado pelo parâmetro “*ittmax*” foi definido para “*ittmax=5*” e o parâmetro “*invertratio*” foi definido para o valor de “*invertratio=5*” para que deste modo o *Velest* proceda à inversão simultânea do conjunto hipocentros-modelo.

```

***** CONTROL-FILE FOR PROGRAM V E L E S T (28-SEPT1993) *****
***
*** ( all lines starting with * are ignored! )
*** ( where no filename is specified,
***   leave the line BLANK. Do NOT delete! )
***
*** next line contains a title (printed on output):
CALAVERAS area7 1.10.93 EK startmodell vers. 1.1
***   starting model 1.1 based on Castillo and Ellsworth 1993, JGR
***   olat      olon  iccoordsystem  zshift  itrial  ztrial  ised
37.2500      -8.5000      0          0.000      0      0.00      0
***
***   neqs      nshot      rotate
280      0      0.0
***
***   isingle      iresolcalc
0          0
***
***   dmax      itopo      zmin      veladj      zadj      lowveloclay
280.0      0      0.00      0.20      5.00      0
***
***   nsp      swtfac      vpvs      nmed
1          0.50      1.750      1
***
***   othet      xythet      zthet      vthet      stathet
0.01      0.01      0.01      1.0      0.1
***
***   nsinv      nshcor      nshfix      useelev      usestacorr
0          0          0          1          0
***
***   iturbo      icnvout      istacut      ismpout
1          1          1          0
***
***   irayout      idrvout      ialecut      idspout      irflout      irfrout      iredout
0          0          0          0          0          0          0
***
***   delmin      ittmax      invertratio
0.010      05          1
***

```

Fig. 5.17 – Ficheiro de controlo do programa *Velest*, apresentando todos os parâmetros de inversão.

5.4.2.2 DETERMINAÇÃO DO MODELO MÍNIMO 1D

♣ Modelo mínimo – breve síntese

A determinação do modelo mínimo 1D tem por objectivo resolver com a menor ambiguidade possível o problema não linear do acoplamento hipocentros-estrutura de velocidades e que no fundo representa a solução de mínimos quadrados que torna válida a hipótese de linearidade do modelo adoptado.

O modelo 1D é função da informação “*a priori*” introduzida (ondas *P*, ondas *P* e *S*). Neste caso, as velocidades serão aproximadas em cada camada à velocidade média da estrutura 3D atravessada. Desta forma, a distribuição das estações (receptores) e as fontes (sismos) condicionarão a estrutura 1D que se obtém, pelo que a selecção dos dados que poderão contribuir para a melhor cobertura espacial possível deve ser muito rigorosa, desde que não afecte a qualidade da informação (Dias, 2005).

♣ Modelo 1D preliminar

A primeira abordagem para a determinação do modelo 1D realizou-se com um pacote de dados constituído por 413 eventos, resultantes da junção dos dados das redes Transfrontier e CGE_Lis.

Foram usados doze modelos “*a priori*”, todos diferentes, que foram corridos no programa *Velest*, tendo sido escolhido o modelo de velocidades com o RMS mais baixo. Contudo, a fraca correlação dos dados das duas redes, constatado no elevado número de eventos com RMS excessivo (>1), leituras em menos que quatro estações e

GAP superior ao valor definido ($>200^\circ$), levou a que a metodologia inicial fosse alterada. Desta forma, optou-se por separar os dados em dois pacotes diferentes de eventos: um conjunto de dados apenas com eventos da rede Transfrontier e um outro conjunto de dados apenas com eventos da rede CGE_Lis.

Para os dados da rede *Transfrontiere* a inversão iniciou-se com 280 eventos. Os critérios de selecção estabelecidos consistiram em eliminar sucessivamente todos os eventos (“instáveis”) que apresentaram $\text{RMS} > 1$, um número de observações inferior a quatro estações e $\text{GAP} > 200^\circ$. O resultado final da inversão para este pacote de dados obrigou a eliminar 146 eventos e deixar desta forma um conjunto de dados que representam uma solução final mais estável, em que todos os eventos apresentam $\text{RMS} < 1$ (RMS médio deste conjunto é de 0.085) e $\text{GAP} < 200^\circ$ [86° , 202°] (com excepção de dois eventos que apresentam GAP's de 201° e 202° ; o GAP médio é de 138°).

Para os dados da rede CGE_LIS a inversão iniciou-se com 133 eventos. Definiram-se critérios de selecção “menos apertados” para este pacote de eventos, uma vez que o número de eventos deste pacote era reduzido relativamente ao outro conjunto de dados e apenas se eliminaram todos os eventos com $\text{RMS} > 1$. O resultado final após várias corridas no *Veles* permitiu eliminar 57 eventos (RMS médio é 0.66) e GAP entre [0° , 357°] em que a média do GAP é de 260° .

Após a inversão em separado para os dois pacotes de eventos e depois de analisar os resultados, decidiu-se juntar todos os eventos num único ficheiro e voltar a realizar uma nova corrida de modo a obter a solução mais estável para o conjunto de todos os dados. A inversão, neste caso, foi realizada com um conjunto de 210 eventos. Como foram eliminados todos os eventos com $\text{RMS} > 1$, a primeira corrida foi suficiente e determinou-se um valor de RMS médio de 0.20 para o pacote final de eventos. Contudo e apesar de alguns eventos apresentarem GAP excessivo, o valor médio deste parâmetro para o conjunto foi de 184° . A Figura 5.18 representa o GAP observado em função dos eventos detectados.

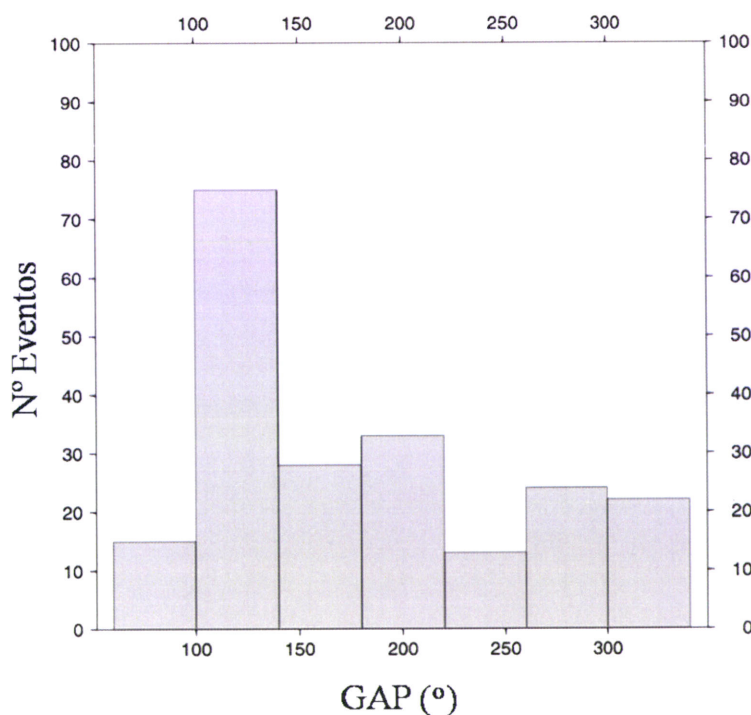


Fig.5.18 – Relação entre os eventos detectados e o GAP respectivo.

A estação de referência (centro da rede) foi definida segundo os critérios de centralidade à rede e também do maior número de eventos detectado, não descurando contudo as observações apresentadas por Dias, 2005; Crosson 1976a, Husen, 1999 e Husen et al., 1999. A Figura 5.19 apresenta um gráfico dos eventos detectados por estação, como exemplo do cumprimento de um dos critérios acima descritos.

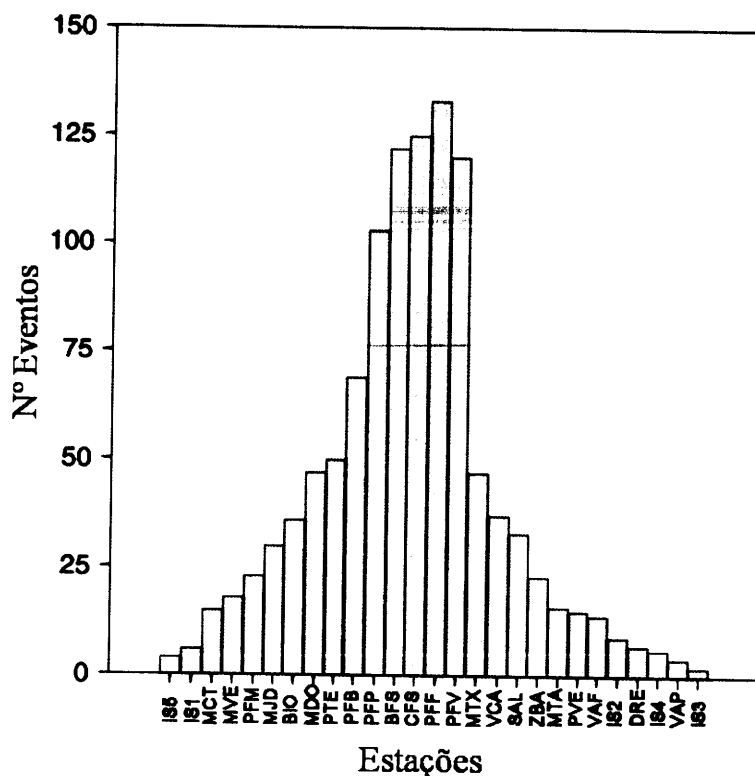


Fig. 5.19 – Número de eventos detectados por estação. A estação **PFF** foi escolhida como estação de referência por ser a estação com maior número de eventos detectados.

Os critérios para escolha da estação de referência podem-se resumir nos pontos seguintes:

- i. A estação de referência deve ser uma estação cuja centralidade à rede se verifique a mais adequada de modo a que a cobertura da sismicidade seja eficaz;
- ii. A sua localização deve ter em conta a geologia da região que deverá ser bem conhecida;
- iii. A estação de referência deverá efectuar registos da sismicidade de boa qualidade e em número elevado, de modo a que a estação possa representar um factor importante no processo de inversão.

♠ Modelo 1D final

Da análise dos resultados obtidos após todos os modelos de velocidade terem sido “corridos”, verificou-se que o modelo com menor RMS foi o modelo designado por Mod6, uma vez que foi este o modelo que devolveu o valor de RMS mais baixo (Anexo A). O gráfico da Figura 5.20 apresenta os resultados finais de todos os modelos relativamente ao RMS final obtido.

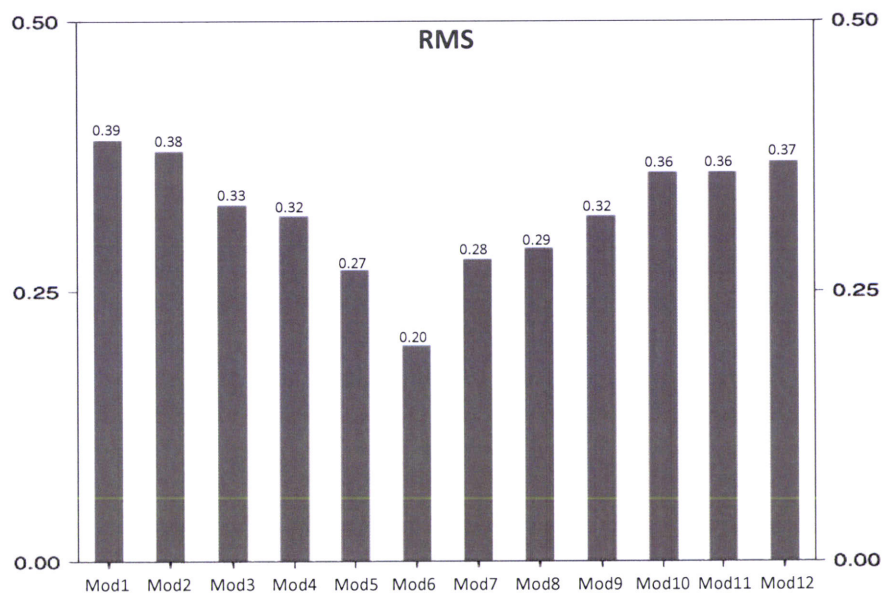


Fig. 5.20 – Representação dos valores de RMS obtidos para todos os modelos “a priori”, sendo o menor valor de RMS do modelo Mod6.

Os gráficos de cada modelo de velocidade que foram utilizados no processo de inversão para a determinação do modelo com menor RMS são apresentados nas Figuras 5.21 a 5.32.

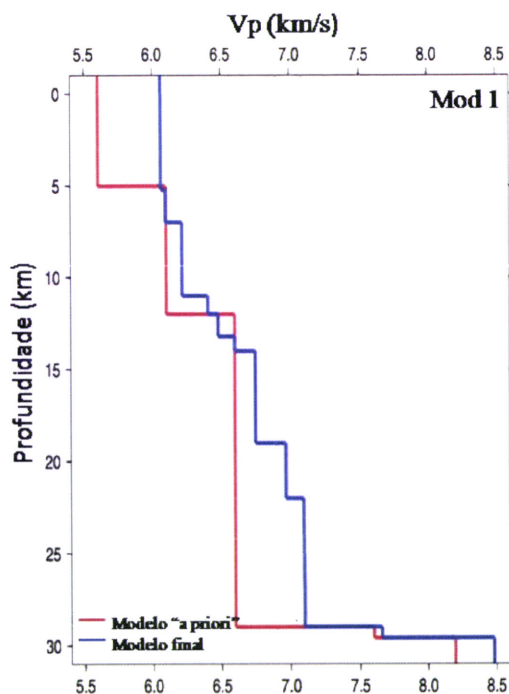


Fig. 5.21 – O modelo Mod1 foi obtido a partir do modelo designado originalmente por AlgarRD, por Dias, (2005).

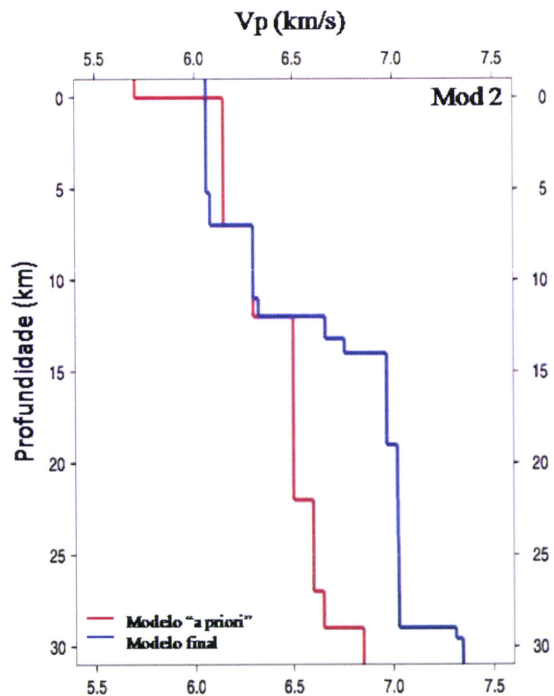


Fig. 5.22 - O modelo Mod2 foi obtido a partir do modelo designado originalmente por Carl, por Carrilho (2005).

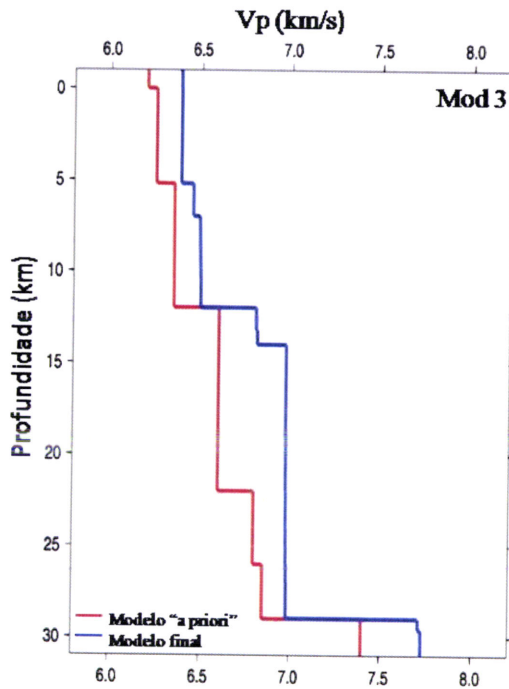


Fig. 5.23 - O modelo Mod3 foi obtido a partir do modelo designado originalmente por Car1, por Carrilho (2005).

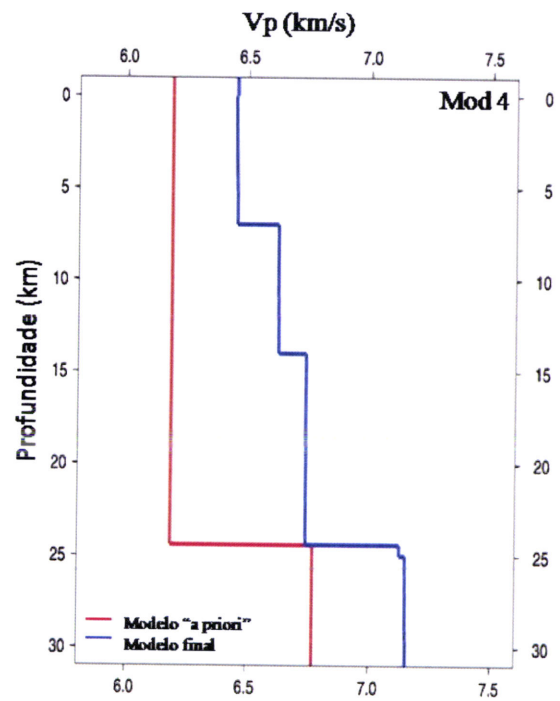


Fig. 5.24 - O modelo Mod4 foi obtido a partir do modelo designado originalmente por Eucrust07 (Tesauro et al., 2008).

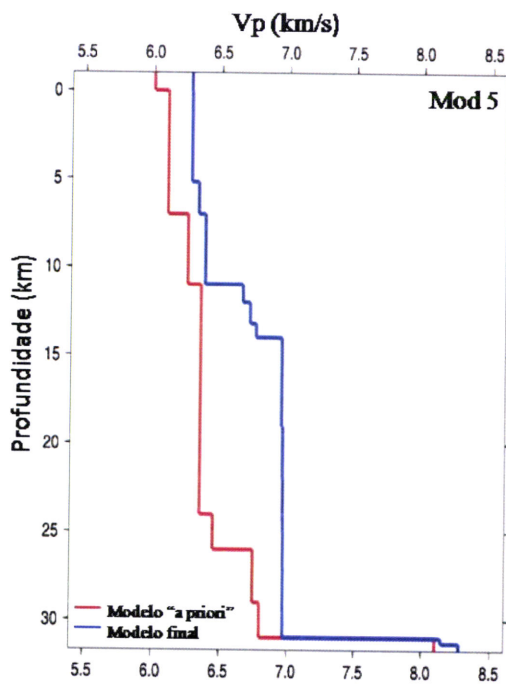


Fig. 5.25 - O modelo Mod5 foi obtido a partir do modelo designado originalmente por Geoalgar1, por Carrilho et al., (2004).

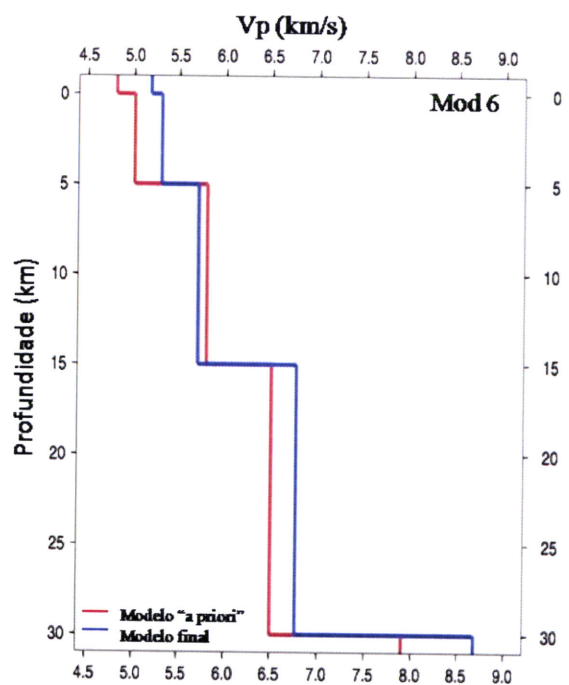


Fig. 5.26 - O modelo Mod6 foi obtido a partir de estudos realizados por Kissling et al., 2001.

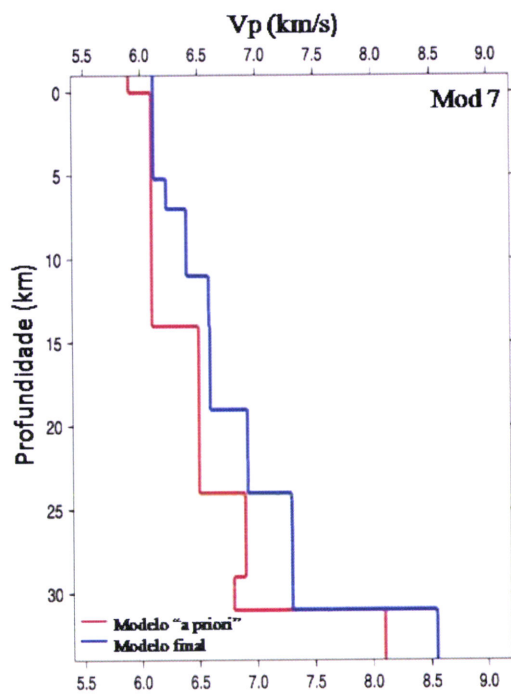


Fig. 5.27 - O modelo Mod7 foi obtido a partir do modelo designado originalmente por Geoalgar2, por Carrilho et al., (2004).

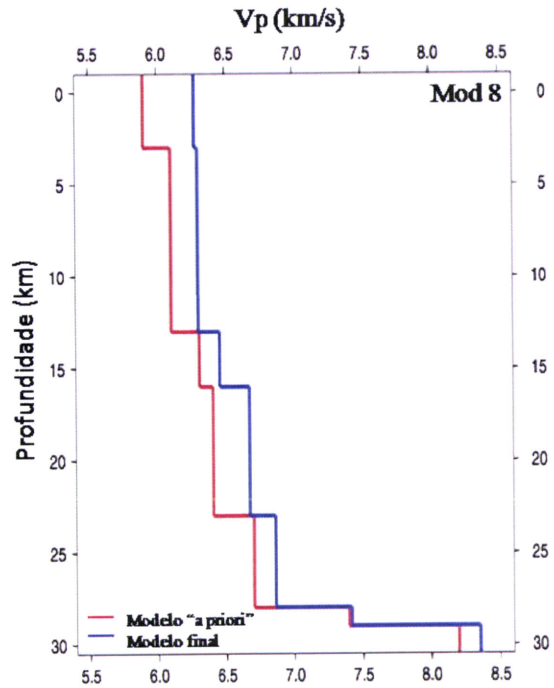


Fig. 5.28 - O modelo Mod8 foi obtido a partir do modelo designado originalmente por Sag5 (high), por Matias L., 1996.

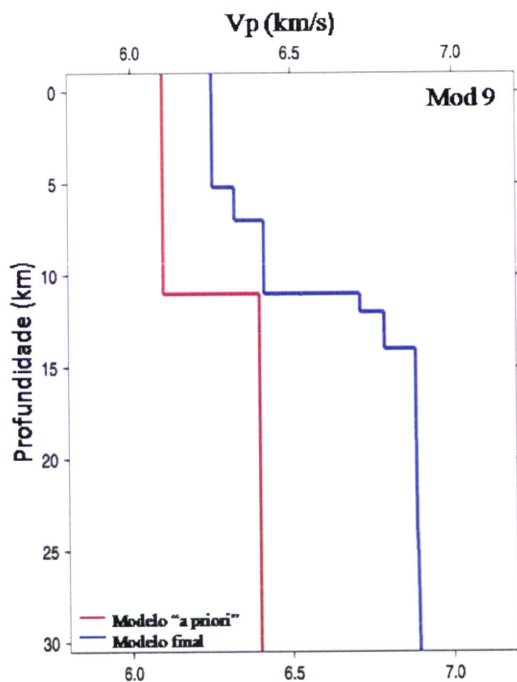


Fig. 5.29 - O modelo Mod9 foi obtido a partir do modelo designado originalmente por IMG, por Fernando Carrilho (comunicação pessoal).

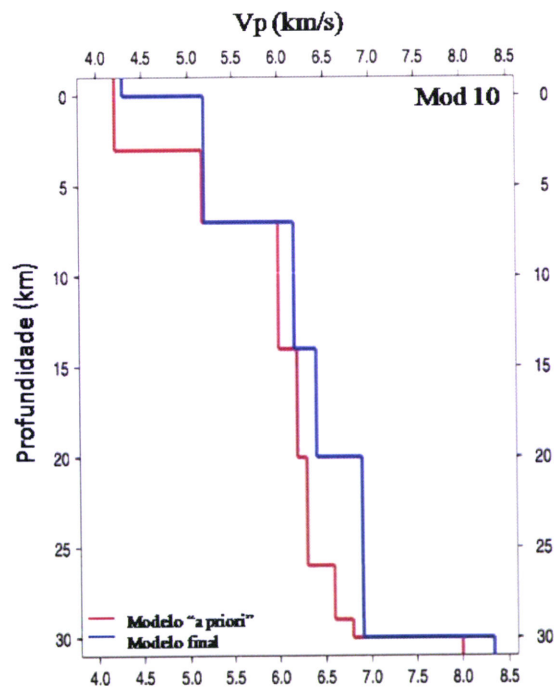


Fig. 5.30 - O modelo Mod10 foi obtido a partir do modelo designado originalmente por Sag5 (low), por Matias L., 1996.

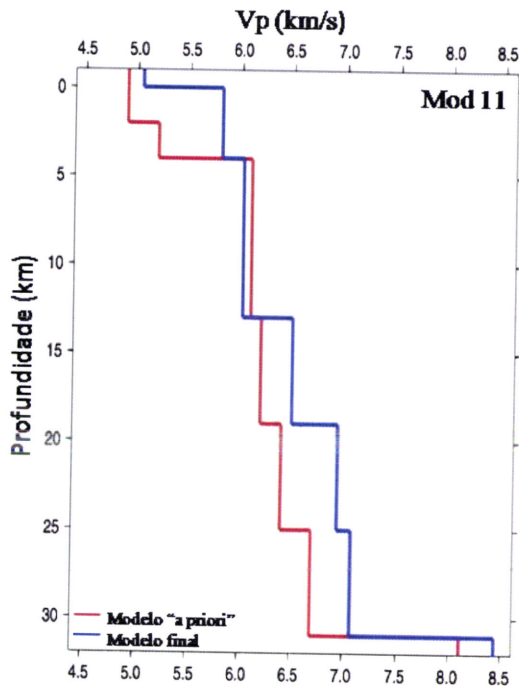


Fig. 5.31 - O modelo Mod11 foi obtido a partir do modelo designado originalmente por Sag5 (mean), por Matias L., 1996.

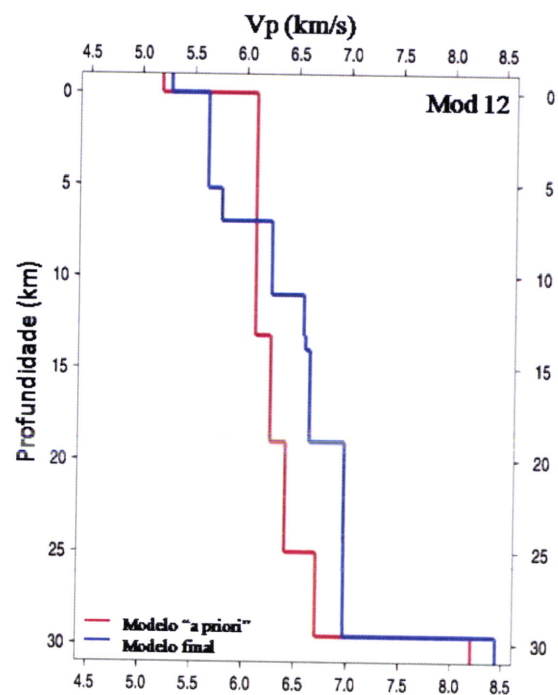


Fig. 5.32 - O modelo Mod12 foi obtido a partir do modelo designado originalmente por Sagres-Elvas, por Matias L., 1996.

5.4.3 O PROGRAMA *Simulps*

O programa *Simulps*, desenvolvido por Thurber (1983) utiliza algoritmos para o traçado aproximado de raios sísmicos ou *Aproximate Ray Tracing (ART)* e Pseudo-Dobramento ou *Pseudo-Bending (PB)*, para a modelação dos tempos de chegada das ondas *P* e *S*, num percurso iterativo, de amortecimento e de inversão de mínimos quadrados para os hipocentros e para a estrutura 3D de velocidades. A técnica de separação de parâmetros (Pavlis e Booker, 1980) também utilizada no *Simulps* permite efectuar a separação do problema em duas partes, i.é, resolver separadamente para os hipocentros e modelo de velocidades, mantendo matematicamente a natureza do problema. Evans et al., (1994) descreve detalhadamente a técnica e todos os parâmetros envolvidos.

Apresenta-se de seguida uma breve descrição de alguns passos importantes na utilização do programa, que serão objecto de trabalho mais aprofundado futuramente:

- ♣ **Estrutura 2D/3D** - A avaliação da estrutura 2D ou 3D de uma determinada região é conseguida a partir da técnica de tomografia sísmica (para este trabalho em particular a tomografia sísmica local – *TSL*, ou local earthquake tomography - *LET*). Esta avaliação obtém-se em função da velocidade de propagação das ondas sísmicas num dado meio ou pela perturbação (*lentidão* - ver 3.2 do Cap.3) que afecta essa velocidade. A estrutura deve ser representada por uma malha tridimensional (Figura 5.33), em que cada ponto (ou nodo) dessa malha representa a intersecção de três planos ortogonais (paralelos às três direcções cartesianas do espaço *X*, *Y*, *Z*) e respectivamente para cada um é atribuído um

parâmetro vp , vs ou vp/vs (Dias, 2005). A vantagem neste tipo de representação, reside na possibilidade de obter malhas com espaçamento variável, podendo atribuir a zonas de maior interesse um maior número de nodos de modo a constranger mais eficazmente uma dada região e deixar outras zonas de menor importância ou menos bem amostradas com um número mais reduzido de nodos.

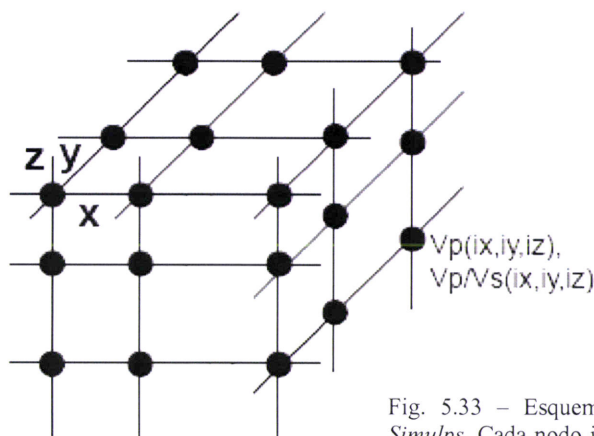


Fig. 5.33 – Esquema da malha tridimensional a utilizar no *Simulps*. Cada nodo i (coordenadas ix, iy, iz) contém os valores de vp e vp/vs (in Dias 2005; Husen, 1999).

- ♣ **Solução hipocentral** – a determinação da solução hipocentral a partir do *Simulps* implica que se resolva o problema directo através da determinação da velocidade de propagação das ondas sísmicas e o traçado dos raios sísmicos para cada par evento-estação e os respectivos tempos de propagação das ondas sísmicas entre a fonte e o receptor (Dias, 2005); o traçado 3D de raios sísmicos é obtido em duas etapas, em que na primeira é implementado o algoritmo de traçado aproximado dos raios sísmicos; o algoritmo selecciona a trajectória com o menor tempo de percurso a partir de um conjunto de arcos de círculo com diferentes raios que ligam a fonte ao receptor; o passo seguinte é a execução do método de pseudo-dobrimento ou **PB** (*Pseudo-Bending*) que implica um ajustamento através de um “dobramento” da trajectória do raio obtido pelo *ART* ao raio real definido pelo gradiente local de velocidade (Um e Thurber, 1987).
- ♣ **Método de Inversão** – a tomografia sísmica contempla vários aspectos, desde a distribuição da fonte e receptores que determina se os raios sísmicos são total ou parcialmente modelados, o tipo de dados utilizados, os métodos de minimização dos erros (método dos mínimos quadrados), os constrangimentos “*a priori*” (o problema torna-se insolúvel se não forem introduzidos constrangimentos: e.g. minimização na complexidade dos modelos, etc...). O método de inversão de Thurber (Thurber 1983, 1993) tem por base os mínimos quadrados amortecidos, com inversão completa da matriz para ser utilizada na sismicidade natural local. Esta sismicidade deverá ocorrer no volume da região em estudo, cuja cobertura homogênea de uma rede sísmica deverá ser eficaz. O modelo de velocidades é construído a partir dos tempos de chegada dos eventos detectados pela rede. Geralmente Vp (velocidade de propagação das ondas P) é modelada a partir dos tempos de chegada das ondas P . Contudo, os erros e artifícios que podem ocorrer nos modelos de Vp e Vs (devido a diferenças na qualidade dos dados, diferentes trajectos dos raios sísmicos) tornam a divisão simples dos modelos

para obter a razão vp/vs , inadequada – na prática o resultado não pode ser interpretado. O *Simulps* realiza uma aproximação ao problema que consiste na inversão de **ts-tp** (**ts** - tempo de chegada das ondas *S*, **tp** - tempo de chegada das ondas *P*) directamente para a razão vp/vs (Thurber, 1993). Para os mínimos quadrados amortecidos a norma das perturbações no modelo (complexidade do modelo) é aferida (pesada) e combinada com os dados mal ajustados (quadrado dos dados), sendo esta combinação minimizada em cada iteração. No caso dos eventos ocorridos dentro do volume da região de interesse, mas cuja origem é desconhecida, podem surgir problemas de não linearidade e que se podem resumir em: (1) – dependência das trajectórias dos raios sísmicos; (2) – dependência na determinação dos hipocentros e dos tempos de origem na estrutura de velocidade; (3) – não linearidade na localização dos hipocentros; (4) – redução na avaliação (atribuição dos pesos) dos dados com grandes desajustes, para o processo de inversão (Evans, Eberhart-Phillips, Thurber, 1994).

Apesar do método de inversão de Thurber ser utilizado rotineiramente com sucesso, esta metodologia pode ser abordada a partir de sequências de inversões (Kissling et al., 1994). Neste caso, o recurso a modelos 1D são necessários, geralmente derivados de resultados de inversão com o programa *Velest* e de forma gradativa para modelos 3D, mais detalhados, com recurso ao programa *Simulps*. A resolução de modelos com malhas mais largas e maior afastamento dos nodos para modelos de malhas mais apertadas e com menor afastamento dos nodos, devolve normalmente bons resultados (Eberhart-Phillips, 1993).

As metodologias aqui brevemente descritas para utilização do programa *Simulps* com vista à realização de inversão 3D e consequentemente à obtenção de modelos tomográficos, não foi implementada de forma prática neste trabalho. Este facto decorre de não existir ainda um conjunto de dados em número suficiente que possa suportar a realização desta metodologia. Encontra-se em curso e como perspectiva de trabalho futuro, a construção de uma base de dados suficientemente satisfatória de eventos detectados, para que seja possível a aplicação das metodologias descritas, neste capítulo com vista à obtenção de soluções estáveis e resultados em termos da modelação 3D o mais aproximados possível da realidade.

5.3 CONCLUSÃO

O processamento dos dados resultantes da campanha sísmica do Algarve 2006-2007, é um trabalho demorado (devido à própria metodologia ser relativamente demorada – identificação dos eventos e “picking” das fases) que tem vindo a ser desenvolvido, no sentido de permitir o acesso à informação, tratamento e análise, de forma mais rápida. Para que seja possível tornar eficaz o acesso a esta informação de forma expedita, o tratamento e análise dos dados, terá que continuar a ser realizado segundo a metodologia adoptada – identificação dos eventos, “picking” das fases das ondas *P* e ondas *S* e construção de ficheiros de fases para serem utilizados nos diferentes programas, quer de localização – *Hypoinverse* – quer de relocalização – *HypoDD* – com base no método das diferenças duplas (*double-difference* - *DD*) (Waldhauser e Ellsworth, 2000). Com esta metodologia, o objectivo foi identificar a sismicidade detectada, permitindo a sua localização e proceder à relocalização dos dados, tendo sido identificados dois “clusters” de sismicidade, que serão discutidos no

capítulo seis, deste trabalho. Esta fase de identificação, selecção de eventos e construção de ficheiros de fases, permitiu identificar alguns constrangimentos operacionais, do ponto de vista da utilização desta informação nos programas *Hypoinverse* e *HypoDD*. Com efeito, o formato dos ficheiros resultantes do tratamento dos dados com recurso ao programa *Trgeost* não permitiu a utilização imediata da informação tratada nos referidos programas, pelo que foi necessário desenvolver programas que permitissem converter esta informação do formato original (*Trgeost*) para o formato *Hypo*, compatível com os programas de localização e relocalização, como foi referido anteriormente (5.2.3 e 5.2.4 deste capítulo).

Sendo objectivo realizar a *TSL* da região do Algarve e Baixo Alentejo, entendeu-se abordar o trabalho com novas metodologias, nomeadamente com recurso aos programas *Velest* e *Simulps*.

O programa *Velest* realiza a inversão dos dados com vista à obtenção do modelo mínimo 1D de velocidades e procede igualmente à relocalização dos eventos. Com este programa, o processamento dos dados foi mais complexo, dado que para determinar o modelo mínimo 1D, foi necessário que os dados sofressem um processamento rigoroso de modo a que o conjunto de dados final representasse a solução mais estável possível para a inversão 1D. Com efeito e como existiram dois conjuntos de dados diferentes e de períodos diferentes, foi necessário o seu tratamento em separado. Filtraram-se todos os eventos que não cumpriam os critérios definidos (e.g. $RMS < 1$, $GAP < 200^\circ$). Após este primeiro processamento e apresentando em ambos os conjuntos os dados mais estáveis, juntaram-se ambos num único conjunto e realizaram-se novamente várias inversões até atingir os critérios referidos anteriormente. A convergência dos dados para os critérios definidos permitiu obter um conjunto final de 210 eventos, com o qual se determinou o modelo mínimo 1D. Foram ensaiados doze modelos de velocidade “*a priori*” todos diferentes de modo a possibilitar a escolha do melhor modelo a utilizar na inversão. Para a determinação do modelo mínimo não se utilizou a razão vp/vs a partir do programa “*wadati*” do pacote de software *Seisan* (Havskov e Ottemöller, 1999), tendo sido antes utilizado um valor ponderado (entre todos os modelos corridos) de $vp/vs=1.75$, ficando a determinação mais rigorosa deste parâmetro em trabalho futuro e quando o conjunto de dados for substancialmente maior que o número de eventos actual.

O modelo mínimo 1D de velocidades determinado neste trabalho não representa contudo um modelo definitivo, uma vez que existem condicionantes desfavoráveis a que este modelo seja interpretado como definitivo. Pode-se apontar como primeira razão o facto de ainda existirem muitos dados por tratar (os dados tratados correspondem ao período de Janeiro a Abril de 2006, faltando ainda os restantes meses de Maio a Dezembro de 2006 das redes autónomas e da Rede Telemétrica e ainda todo o primeiro semestre de 2007 de dados provenientes da Rede Telemétrica), em segundo deverá ter-se em conta que o trabalho realizado representa uma primeira abordagem (por parte do autor) ao problema da Tomografia Sísmica, tendo sido testados e executados vários programas que permitiram um melhor conhecimento das questões relacionadas com o tratamento, análise e processamento dos dados; mas no entanto e devido ao conjunto dos dados ser reduzido não foi possível explorar o potencial de alguns destes programas na sua totalidade, nomeadamente o *Velest* e *Simulps* pois a exigência dos critérios levaria à eliminação substancial dos dados e não tornaria possível atingir o objectivo final.

6.1 INTRODUÇÃO

Estudos anteriores determinaram na região do Algarve zonas de sismicidade significativa, como foi o caso da Rede Transfrontiere, que entre 1999 e 2003 esteve em funcionamento na Região do Algarve e permitiu identificar a sismicidade da região de Monchique e também em 2006 com a Rede Sísmica Temporária que esteve em funcionamento de Janeiro de 2006 a Julho de 2007 (doze meses com a Rede Autónoma e dezoito meses com a Rede Telemétrica (ver Capítulo 4) e que permitiu identificar a sismicidade da região de Almodôvar.

Verifica-se que a sismicidade na região de Monchique se caracteriza por eventos de fraca magnitude ($1 < M < 3.5$) (Bezzeghoud et al., 2006), não tendo sido possível ainda realizar o cálculo das magnitudes para a região de Almodôvar). É possível definir na região de Monchique, de forma evidente, alinhamentos epicentrais que sugerem uma correspondência com falhas prováveis nesta zona. Também na região NW de Almodôvar, apesar de ainda não existir um conjunto de dados suficiente, é possível definir uma tendência da distribuição epicentral dos eventos, pelo que de forma análoga se poderá sugerir a ocorrência de uma falha ainda não cartografada nesta região.

Estes resultados são apresentados nos pontos 6.3 e 6.4 deste capítulo, de forma mais detalhada.

6.2 ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DAS REGIÕES DE ALMODÔVAR E MONCHIQUE

Na região de Almodôvar, verifica-se a ocorrência de falhas com a orientação NE-SW cartografadas na Carta Geológica de Portugal à escala 1/200.000, folha 8. Na carta, verificam-se também falhas com orientação variável entre NE-SW e ENE-WSW, para sul desta região, até à Orla Algarvia. Estes acidentes são considerados desligamentos esquerdos tardi-variscos. Numa análise geomorfológica preliminar, com recurso às cartas topográficas 557 e 565, à escala 1/25000, procurou-se identificar eventuais desníveis na superfície da Meseta, alinhados segundo a orientação NE-SW (Figura 6.2). A morfologia da região não parece denotar quaisquer ressaltos na superfície da Meseta segundo esta direcção, contudo, a orientação geral das principais linhas de água é perfeitamente concordante com esta direcção (Figura 6.2). O traçado dos rios tende a fixar-se em zonas em que as rochas são mais brandas e a orientação das três principais linhas de água, subparalelas e quase perpendiculares à orientação das estruturas variscas (NW-SE), é um provável indicador de corredores de fracturação segundo a direcção NE-SW (Figura 6.1).

Na região de Monchique é notório um alinhamento segundo a direcção NE-SW materializado pelos troços mais a montante das Ribeiras de Monchique (que corre para NE) e de Boina (que corre para SW). As duas ribeiras têm as zonas de cabeceira perfeitamente alinhadas na portela de Ceiceira, materializando vales de fractura que no conjunto definem um lineamento com mais de 5km de extensão. Este lineamento corresponde aproximadamente à orientação NE-SW (Figura 6.1).

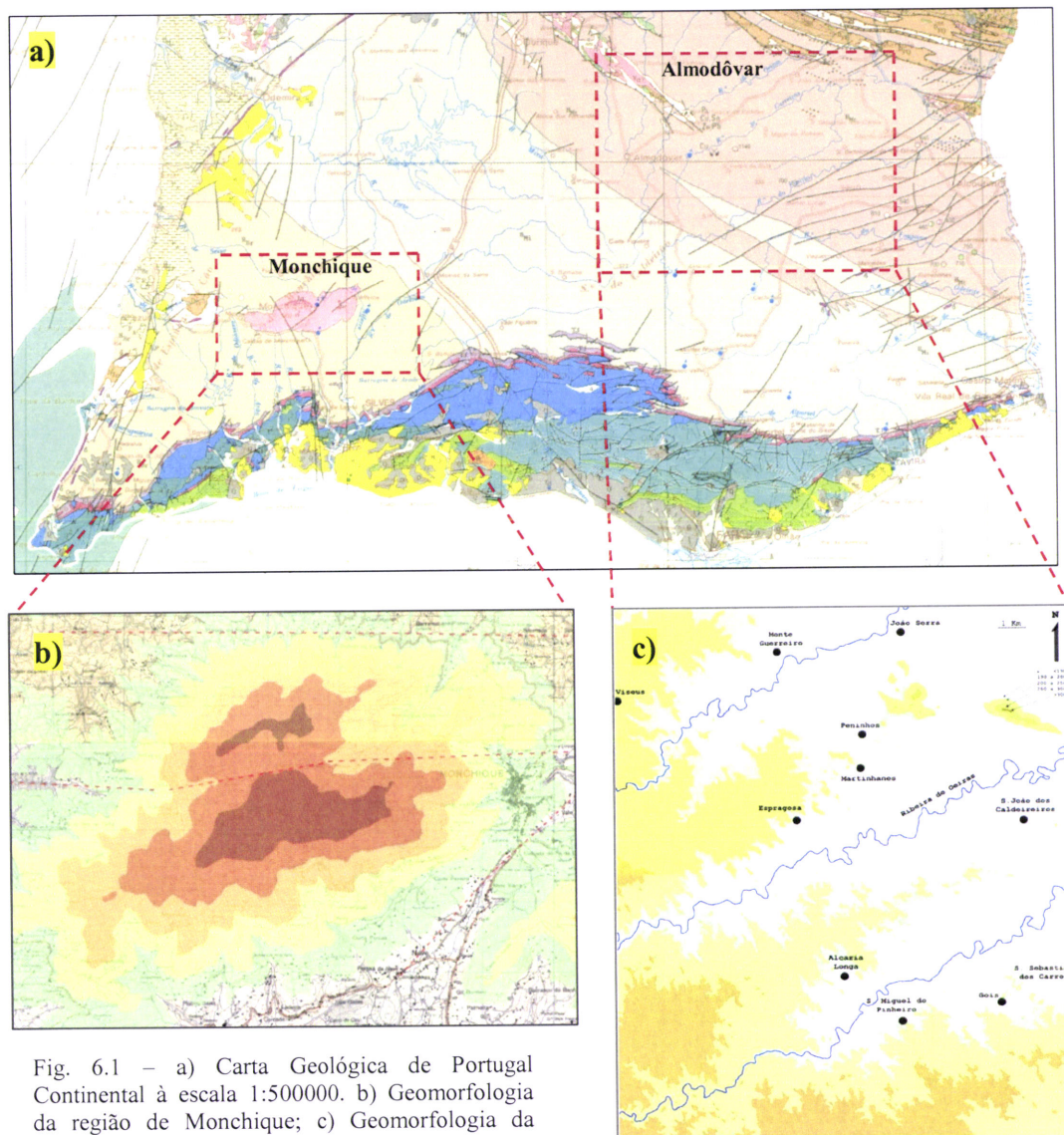


Fig. 6.1 – a) Carta Geológica de Portugal Continental à escala 1:500000. b) Geomorfologia da região de Monchique; c) Geomorfologia da região de Almodôvar.

A tendência geral para uma gradual descida da superfície topográfica em direcção a NE, reflecte o rebaixamento erosivo associado à actual rede de drenagem, uma vez que o principal rio da região, o Guadiana, onde desaguam as três linhas de água representadas na Figura 6.1, corre a NE.

6.3 MICROSISMICIDADE NA REGIÃO DE ALMODÔVAR

Os primeiros resultados obtidos com a Rede Sísmica Temporária do Algarve, permitiram identificar, juntamente com a sismicidade local, regional e longínqua (catalogada nos boletins do IM) a ocorrência de eventos de magnitude reduzida, não catalogados. Com recurso aos programas de localização (*Hypoinverse*; Klein, 2002) e relocalização (*HypoDD*; Waldhauser, 2001) foi possível definir uma zona sísmica na região de Almodôvar (cf. Figura 6.2).

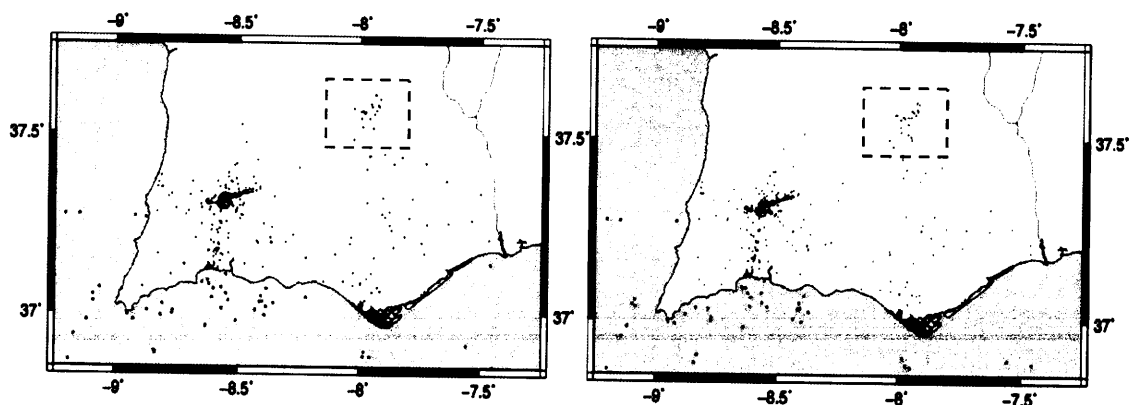


Fig. 6.2 – a) Mapa das localizações epicentrais obtidas com o programa *Hypoinverse*. b) Mapa das relocalizações epicentrais obtidas com o programa *HypoDD*.

A sismicidade detectada na região de Almodôvar apresenta uma tendência segundo a orientação NE-SW, que se torna mais evidente com a redistribuição epicentral, obtida após a relocalização. A Figura 6.3 apresenta um realinhamento dos epicentros das localizações (azul) ao longo da direcção NE-SW que sofrem um constrangimento espacial, sendo redistribuídos de forma mais precisa na mesma direcção mas mais alinhados segundo a mesma orientação.

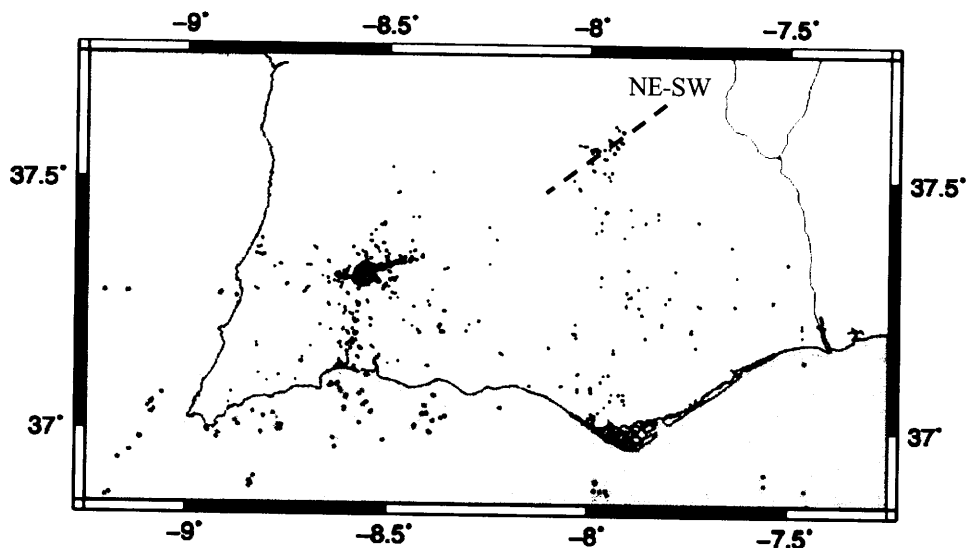


Fig. 6.3 – As relocalizações na região de Almodôvar confirmam e definem de forma mais evidente a tendência do alinhamento epicentral segundo a direcção NE-SW. As localizações e relocalizações são apresentadas, respectivamente, a cor vermelha e azul.

Uma análise mais detalhada de alguns eventos das localizações/relocalizações, permite compreender a tendência assinalada, uma vez que se verifica que os deslocamentos dos epicentros relocalizados se aproximam da orientação NE-SW referida anteriormente (Figura 6.4).

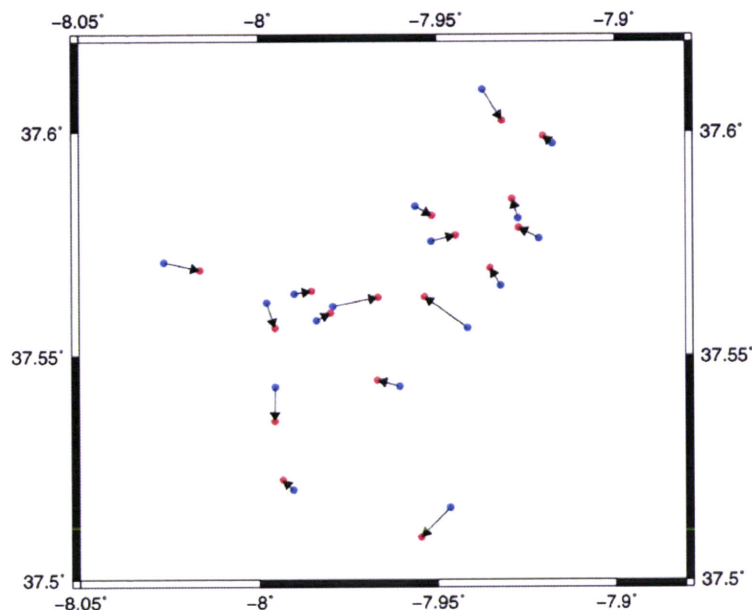


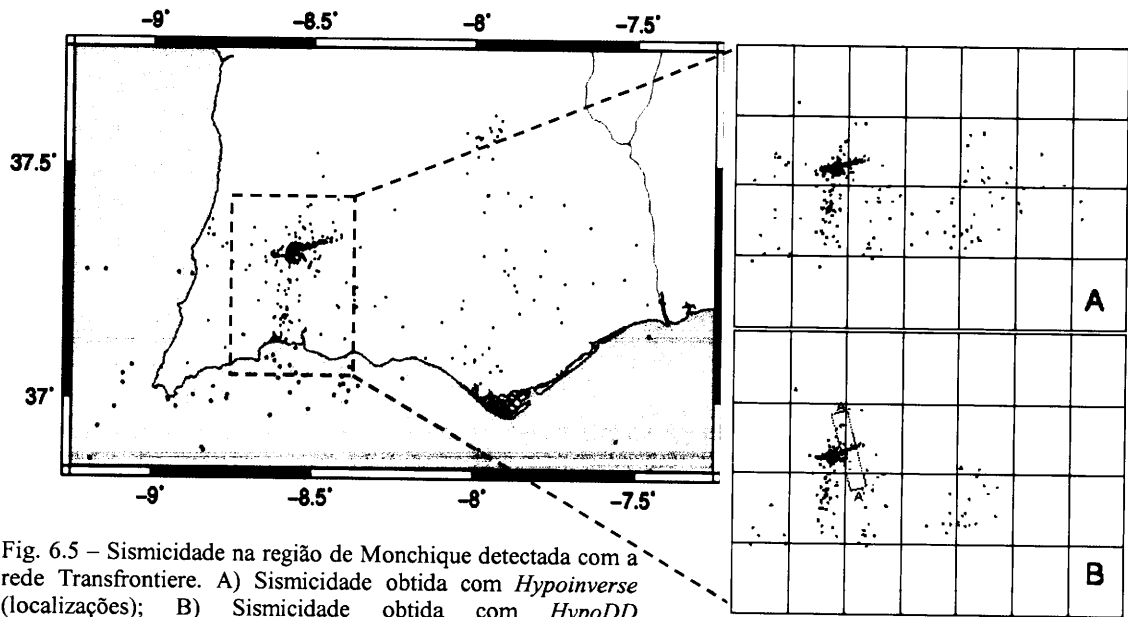
Fig. 6.4 – Relocalização: detalhes da Figura 6.3 relativos à relocalização dos eventos detectados na região de Almodôvar. Com excepção de dois eventos que apresentam uma tendência diferente, todos os restantes são realinhados segundo a direcção NE-SW, concordante com as principais falhas cartografadas na região. As setas indicam o sentido das relocalizações.

Verifica-se que na zona de Almodôvar, a orientação NE-SW da distribuição dos epicentros detectados pela rede sísmica temporária é confirmada pelo alinhamento das principais falhas cartografadas (cf. Figura 6.1a)).

A “*Falha de Almodôvar*” detectada pela Rede Sísmica Temporária (2006-2007), é a primeira cartografia sísmica realizada no âmbito deste estudo e com dados de um período de aproximadamente quatro meses.

6.4 MICROSISMICIDADE NA REGIÃO DE MONCHIQUE

Os resultados obtidos com a rede Transfrontiere (1999-2003) permitiram definir uma zona de sismicidade significativa em torno da região de Monchique. Com esta rede foram detectados 544 sismos com magnitudes entre $1 < M < 3.5$. O mapa da sismicidade obtido após a relocalização, utilizando os programas de cálculo Hypoinverse (Klein, 2002) e *HypoDD* (Waldhauser, 2001), permitiu definir claramente um alinhamento epicentral na região de Monchique coincidente com falhas prováveis (Figura 6.5). A Rede Sísmica Temporária (2006-2007) manteve sete estações telemétricas, de Janeiro de 2006 a Julho de 2007 nos mesmos locais da rede Transfrontiere, de modo a adquirir mais dados da mesma região e em condições semelhantes com estações de curto período de uma só componente (Z-vertical) (ver Capítulo 4).



A análise da sismicidade nesta região (Figuras 6.5 e 6.6, Caldeira et al., 2007), que está constrangida entre os 5 e os 15 km de profundidade permitiu identificar duas falhas prováveis, uma segundo a direcção ENE-WSW e a outra segundo a direcção NNE-SSW (ver Figura 6.7). Não se verificou a ocorrência de sismicidade significativa nos primeiros 5 km.

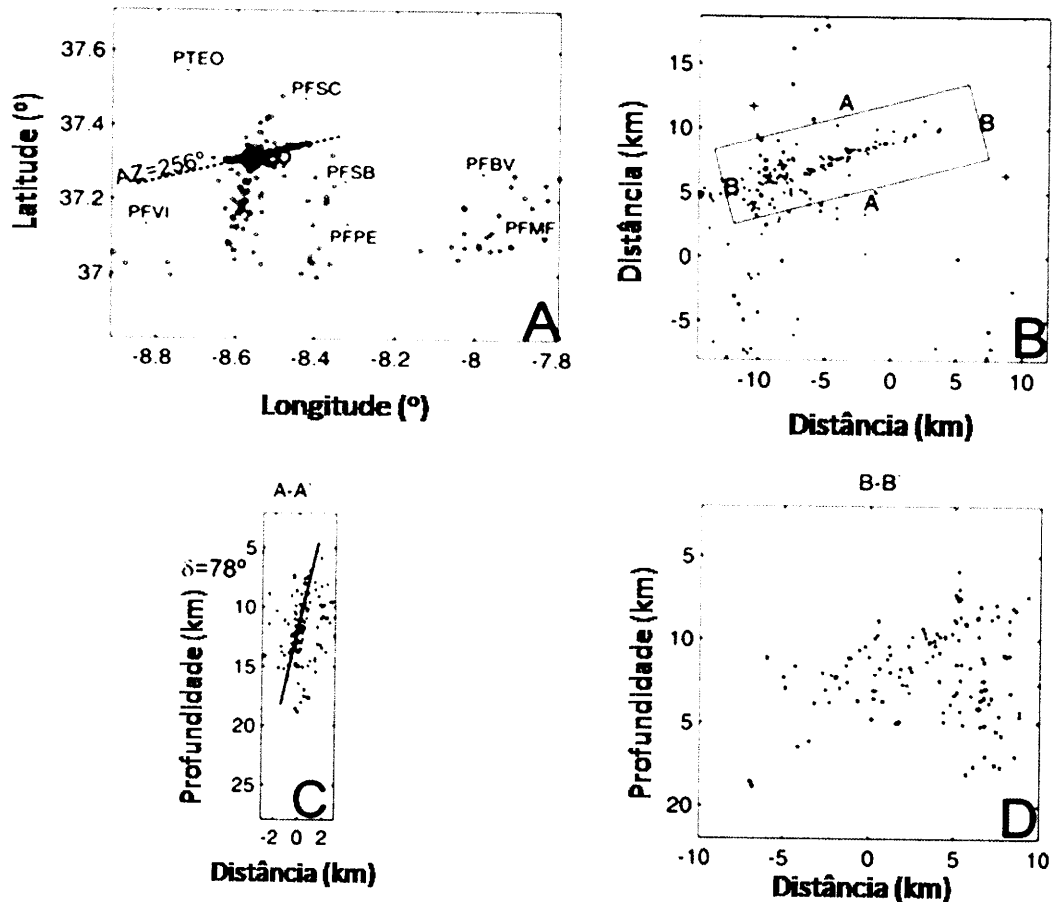


Fig. 6.6 - Relocalização da sismicidade registada pela rede Transfrontiere, mostrada na Fig. 6.5(A), entre 1999 e 2003. A) Distribuição espacial da sismicidade; C) e D) representam os cortes AA' e BB' indicados em B).

Os resultados da sismicidade que se observa na região de Monchique podem ser verificados no mapa das principais estruturas activas actuais (Terrinha et al., 2006) (cf. Figura 6.7). As indicações de falhas prováveis indicadas neste mapa são corroboradas pelos dados da sismicidade obtida.

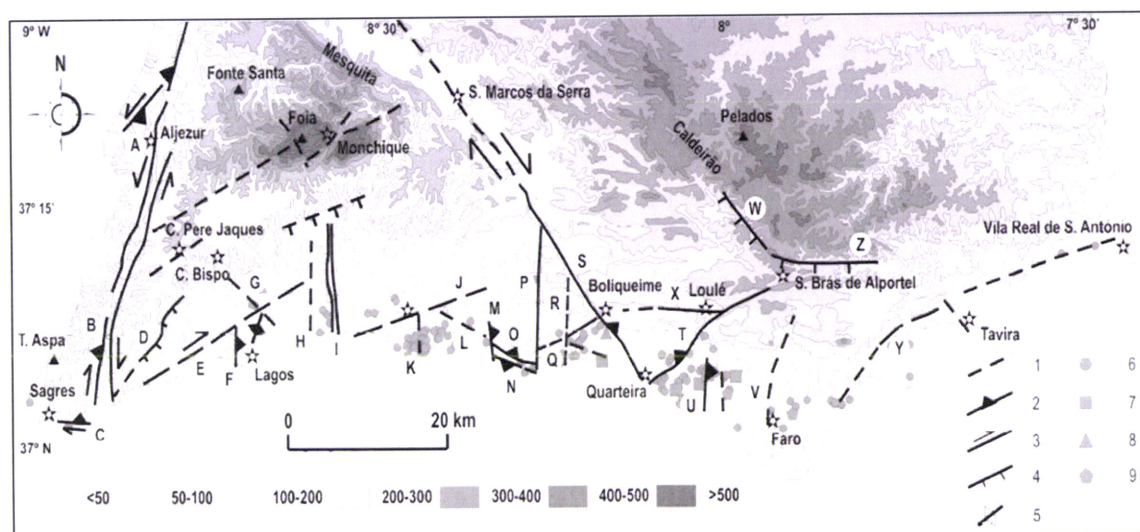


Fig. 6.7 - Mapa sintético das principais estruturas activas no presente e a localização dos sismos identificados na região do Algarve. 1, falha provável; 2, falha com componente de movimentação inversa (marcas no bloco superior); 3, falha com componente de deslizamento; 4, falha com componente de movimentação vertical de estilo desconhecido (traços no bloco abatido); 5, dobra antiforma. Falhas activas identificadas por letras, com a designação correspondente: A - Aljezur; B - Sinceira (A e B correspondem ao sistema de falhas S. Teotónio-Aljezur-Sinceira-Ingrina); C - Martinhal; D - Barão de S. João; E - Espiche-Odiáxere; F - Lagos; G - Rib.ª de Odiáxere; H - Alvor; I - Portimão; J - Ferragudo; K - Sr.ª do Carmo; L - Relvas; M - Rib.ª de Espiche; N - Vale Rabelho; O - Baleeira; P - Albufeira; Q - Mosqueira; R - Oura; S - S. Marcos-Quarteira; T - Carcavai; U - Areias de Almansil; V - Faro; Y - S. Estevão; X - Loulé; W - Eira de Agosto; Z - S. Brás de Alportel. Cd, serra do Caldeirão; EC, serra do Espinhaço de Cão; M, serra da Mesquita. Hipsometria definida por curvas de nível a cada 100 m, com excepção da primeira, a 50 m (adaptado de Dias, 2001, Dias e Cabral, 2002b). Sismos: 1, filão detrítico intrusivo; 2, filão neptuniano; 3, dobramentos convolutos; 4, estruturas em chama (adaptado de Dias, 2001, Dias e Cabral, 2002b); (in Terrinha et al., 2006).

A informação gerada pela Rede Telemétrica (18 meses de dados) ainda se encontra em fase de análise e processamento dos dados, pelo que os primeiros resultados obtidos não foram ainda corroborados. Apesar desta contingência, é esperado que o trabalho futuro que se perspectiva, ainda no decorrer do ano de 2010, permita confirmar os dados previamente adquiridos, assim como contribuir com mais dados que possam complementar a informação já obtida sobre a sismicidade da região.

6.5 TOMOGRAFIA SÍSMICA LOCAL (PRELIMINAR) DA REGIÃO DO ALGARVE

Diferentes metodologias usadas para a tomografia sísmica (Thurber, 1993; Thurber e Kissling, 2000) podem ser utilizadas; neste estudo foi utilizado o programa *Simulps* (Thurber, 1993) para a inversão 3D do modelo de velocidades. Apesar de o número de eventos ser ainda reduzido para realizar a inversão 3D, foi possível gerar as primeiras imagens tomográficas da região em estudo e assim aferir a qualidade da informação que se obteve relativamente ao conhecimento prévio da sismicidade e da geologia da região.

Com o processamento dos dados foi possível obter informação relevante para o estudo em curso, nomeadamente para a definição dos modelos 1D e 3D de velocidades. A informação obtida relativamente à ocorrência do número de sismos em função da profundidade (Figura 6.8) e a sua distribuição epicentral e também hipocentral, permitiu estabelecer com maior rigor o número de camadas e a malha a definir para os modelos

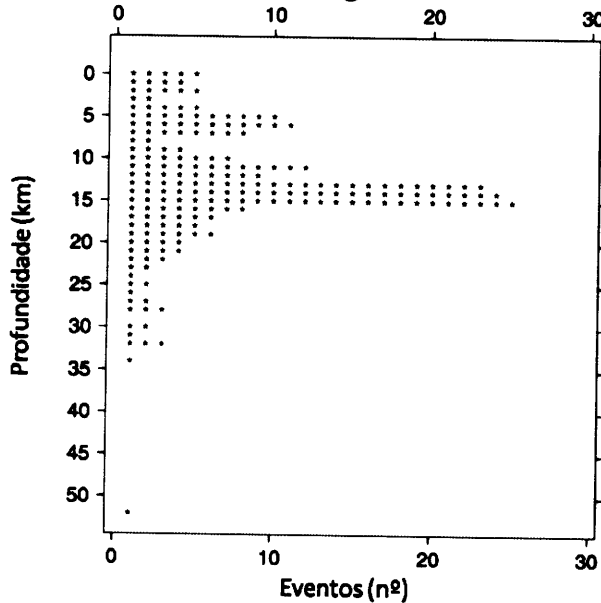


Fig. 6.8 – Distribuição hipocentral dos 210 eventos sísmicos. Verifica-se uma ocorrência significativa entre a superfície e os primeiros cinco quilómetros, que resultam da sismicidade na região de Almodôvar e a ocorrência em maior número dos eventos na região de Monchique, entre os cinco e os vinte quilómetros de profundidade.

de velocidades. Com base nestes critérios o grau de confiança nos modelos é maior e a informação que se poderá obter com os modelos é mais rigorosa. Os dados têm por base a informação obtida com os 210 eventos com que se realizou a inversão 1D e com que se obteve o respectivo modelo mínimo 1D de velocidades derivado do programa *Velest*.

No sentido de compreender melhor a ocorrência da sismicidade em profundidade, projectaram-se no espaço 3-D os 210 hipocentros (Figura 6.9), de modo a facilitar a análise da sismicidade da região.

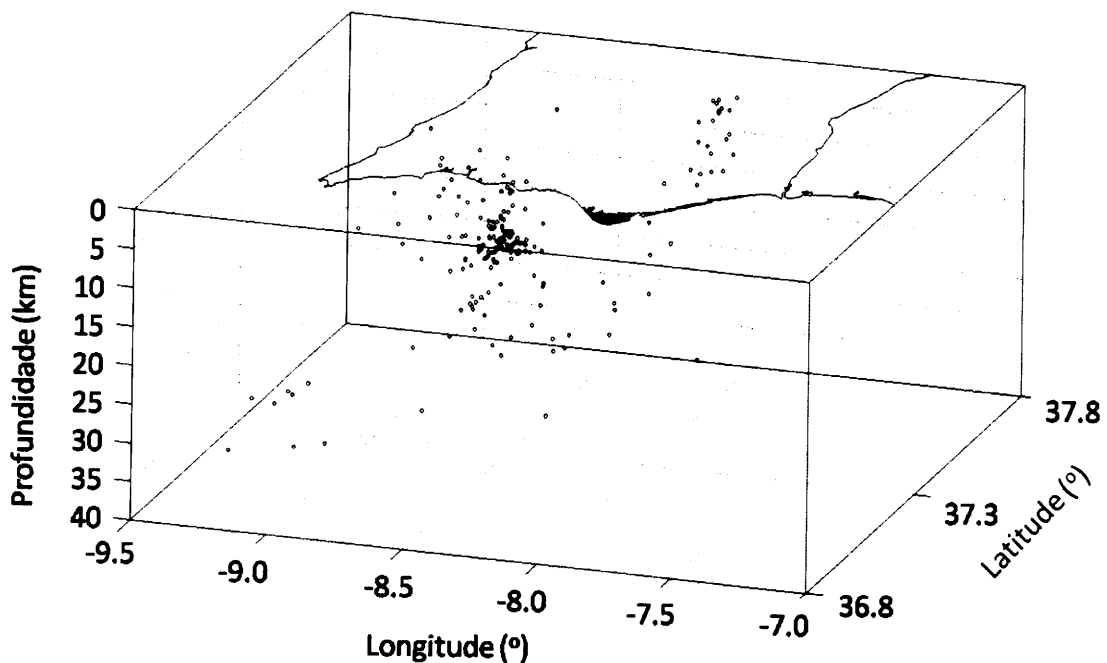


Fig. 6.9 – Distribuição espacial 3D dos 210 hipocentros determinados, na região de Monchique e Almodôvar.

O perfil ao longo da direcção AB, representado na Figura 6.10, permite identificar a distribuição hipocentral da sismicidade e definir a orientação segundo a qual será mais interessante obter informação.

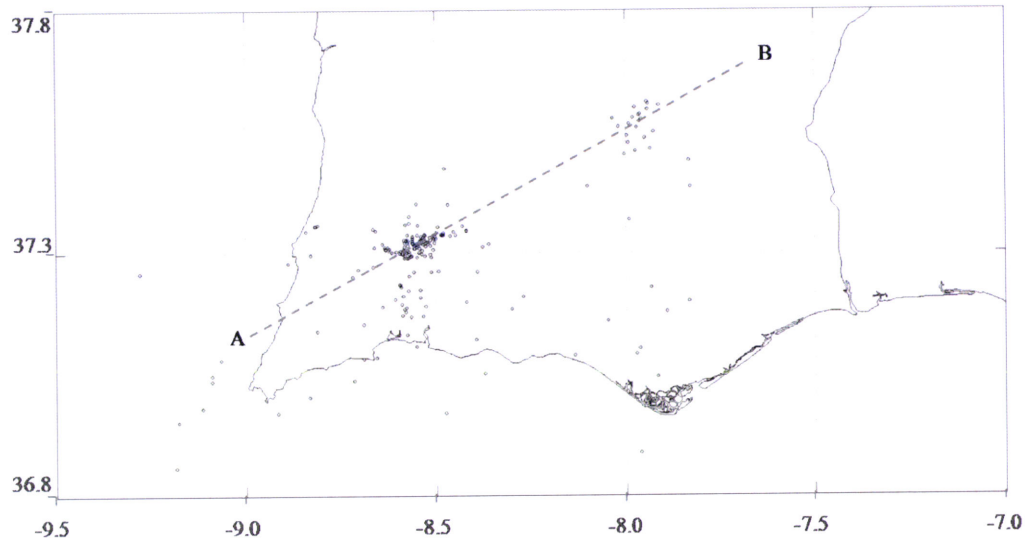


Fig.6.10 – Direcção AB do perfil e sismicidade da região de Monchique e Almodôvar.

Verifica-se a ocorrência de uma falha ‘*Mon*’ ((*Mon* - Monchique), Figura 6.11) identificada anteriormente na região de Monchique e que se confirma nesta análise; na região de Almodôvar, pelo facto de ainda não haver informação suficiente que confirme uma possível falha, aponta-se apenas como provável a estrutura identificada em ‘*Alm*’ ((*Alm* - Almodôvar), Figura 6.11).

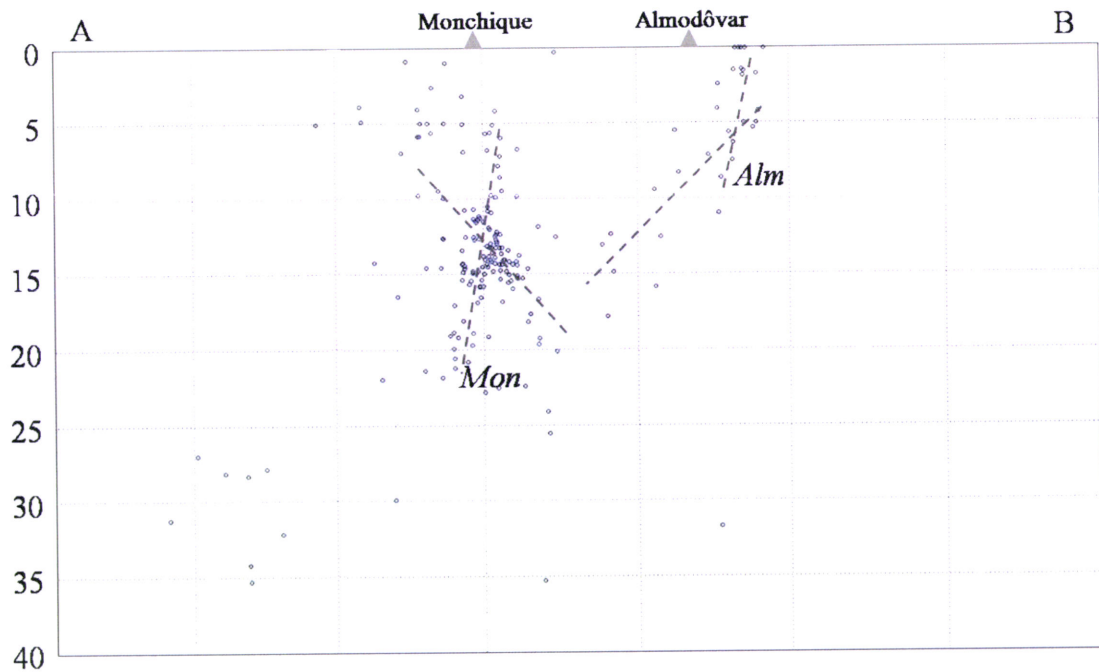


Fig. 6.11 – Ocorrência da sismicidade em profundidade nas zonas entre Monchique e Almodôvar. A falha identificada como “*Mon*” encontra-se representada no corte AA’ da Figura 6.6. Em “*Alm*” está representada uma hipótese para a “*Falha de Almodôvar*”.

Esta análise sísmica contribuiu para compreender a evolução espacial da micro-sismicidade e definir com base nesta informação alguns critérios para realizar a inversão 3D do modelo de velocidades com vista à obtenção de um modelo tomográfico preliminar. Nesta primeira abordagem (em termos de modelação) tentaram-se obter alguns resultados de funções que permitem aferir a qualidade dos dados, nomeadamente através das funções *Derivative Weight Sum* – *DWS*, *Spread Function*, *VP Perturbation(%)* e *Absolute Velocities (kms⁻¹)*.

A função *DWS* permite aferir quanto à resolução da malha utilizada, “pesando” a importância de cada raio pela sua distância a cada nodo da malha e devolve uma medida qualitativa do comprimento total dos raios na vizinhança de cada nodo. Esta função estima a quantidade da informação devolvida pela densidade dos raios sísmicos, cuja soma ponderada derivada corresponde a um determinado parâmetro de velocidade. A indicação de que a velocidade em cada nodo é determinada por um significativo volume de dados, corresponde a um valor de *DWS* elevado; a ponderação geométrica realizada por esta função para cada raio que contribui para um certo nodo, compreende o comprimento total do segmento de raio que afecta o respectivo parâmetro (Toomey e Foulger, 1989; Foulger e Arnott, 1993). A Figura 6.12 representa a função *DWS* para os dados obtidos com a Rede Transfrontiere e com a Rede Sísmica Temporária.

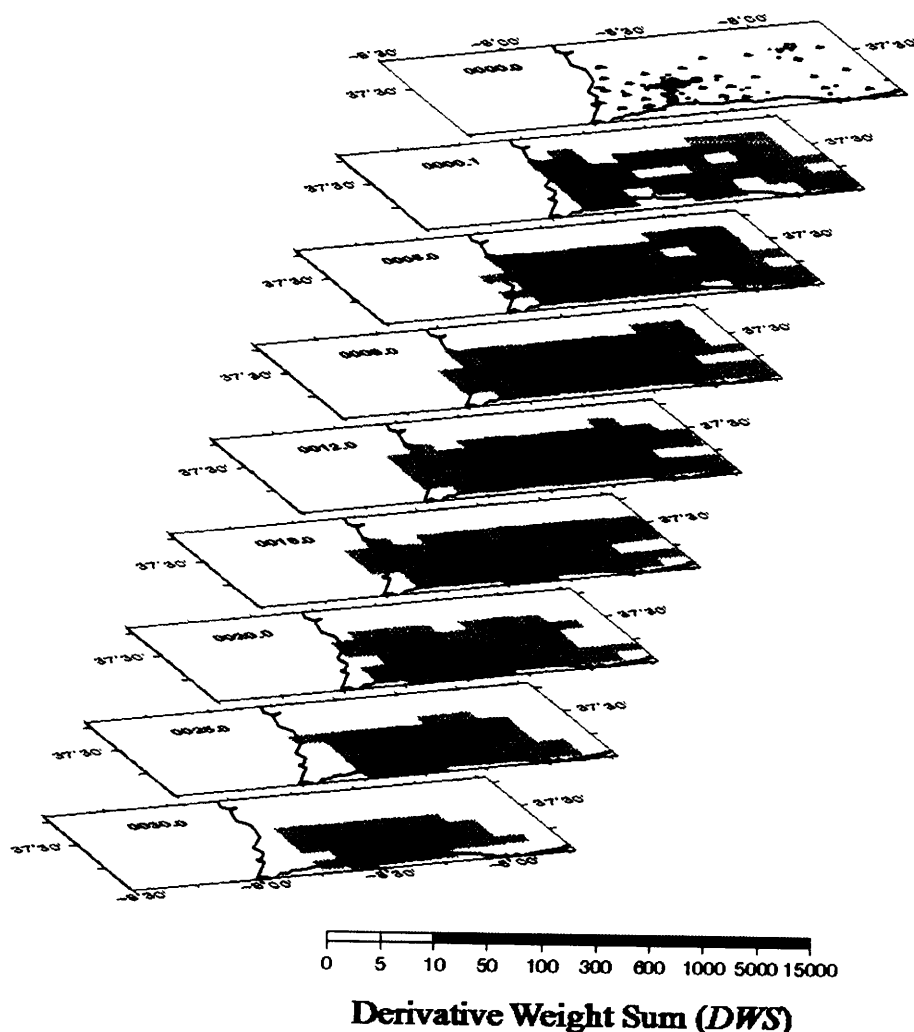


Fig. 6.12 – Representação em perspectiva, até 30 km de profundidade para a função *DWS*.

A representação no plano (cf. Figura 6.13) para a função DWS , permite verificar que entre 1 km e 5 km de profundidade a resolução traduz-se em função da proximidade dos nodos da malha às estações, podendo-se atribuir a estas perturbações de baixo valor entre [5; 1000] ao reduzido número de raios sísmicos nestas camadas. A partir dos 8 km até aos 16 km de profundidade, verificam-se perturbações com valores mais elevados no intervalo [600; 5000] que se poderão dever aos nodos que contêm maior número de eventos ou que se situam na sua vizinhança (efeito do percurso eventos-estação).

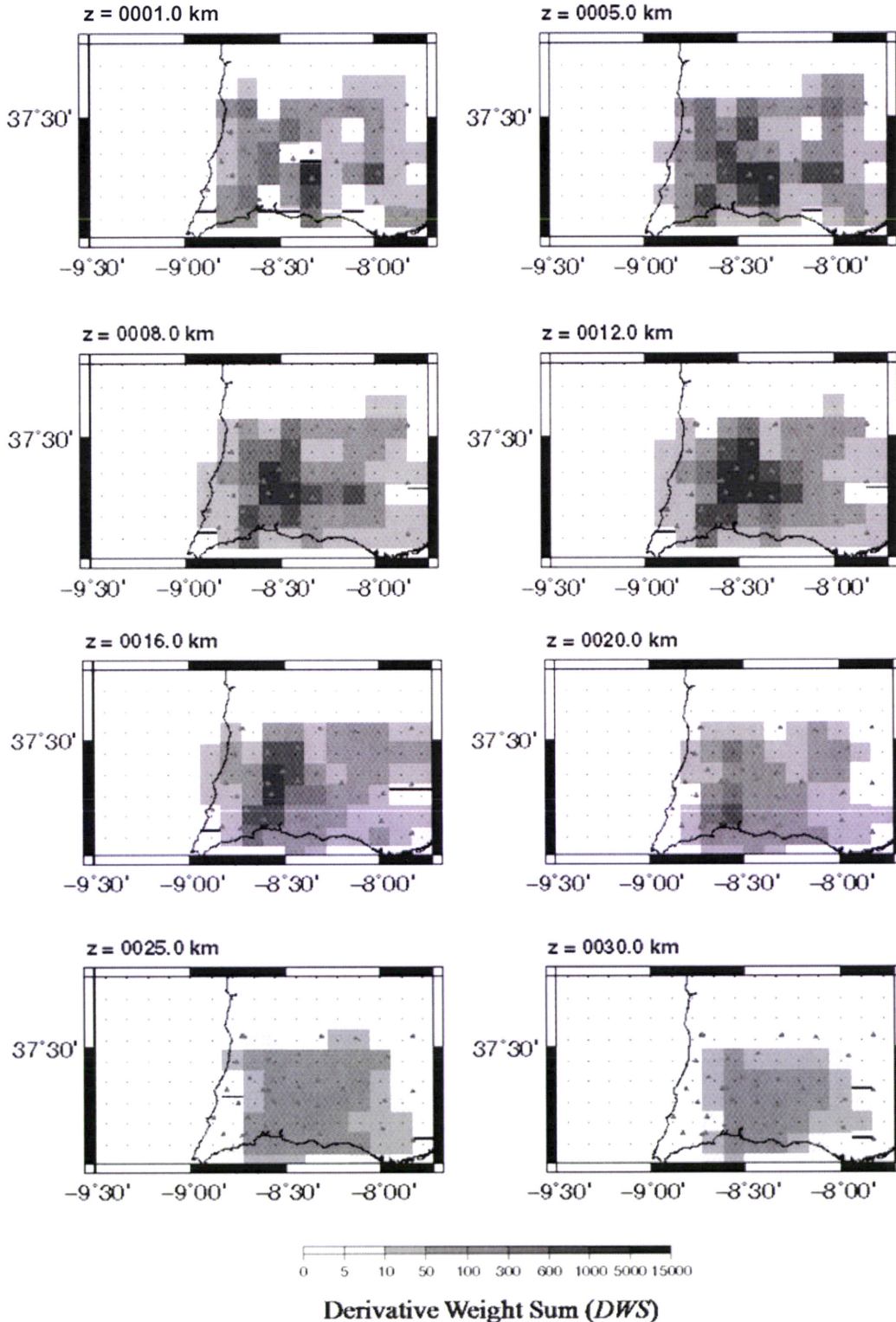


Fig. 6.13 – Representação no plano, até 30 km de profundidade da distribuição para a função DWS que contribui para cada nodo.

Nas camadas mais profundas, abaixo dos 20 km verificam-se perturbações com valores mais baixos que variam no intervalo [10; 600] em função do aumento da profundidade.

A função de dispersão “*Spread function*” define o constrangimento da velocidade média em cada nodo da malha, i.é, em cada um destes pontos as velocidades calculadas correspondem, em realidade, à velocidade média no espaço (ou volume) em torno de cada nodo. Esta função pode ser definida pelo vector (que corresponde a cada linha da matriz de resolução) que define a interferência dos vários parâmetros na resolução de um determinado parâmetro em particular. Em cada nodo a densidade dos raios sísmicos é definida pelo valor da função, sendo que onde a densidade dos raios é elevada o valor desta função será reduzido, significando que existe boa resolução. Onde a densidade dos raios for reduzida, o valor da função será mais elevado, uma vez que mais nodos estarão a contribuir para a resolução de um nodo em particular, indicando que neste caso a resolução será inferior.

A função “*Spread*” distingue portanto entre valores correspondentes a soluções locais e valores correspondentes à média da concentração/dispersão da informação (Dias, 2005; Hauksson e Haase, 1997). Neste caso, a função “*Spread*” é bem resolvida entre os 5 km e os 12 km de profundidade, em particular na zona central da rede, onde se verifica o valor mais baixo desta função.

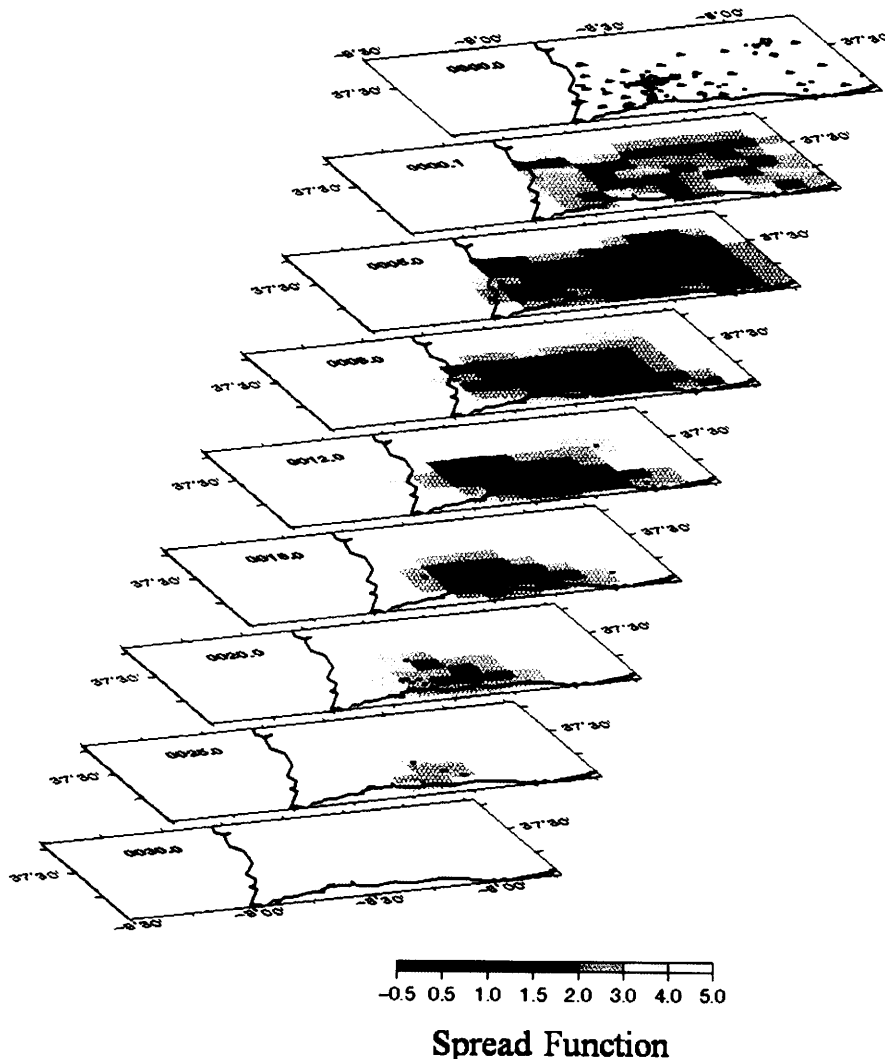


Fig. 6.14 – Representação em perspectiva, até 30 km de profundidade para a função *Spread*.

Da análise no plano (cf. Figura 6.15) da função *Spread* pode-se referir que para os nodos mais bem resolvidos, o valor de *Spread* é mais baixo. Para as camadas mais superficiais verificam-se valores mais elevados da função que variam no intervalo [0.5; 3], sendo indicador de uma menor densidade dos raios, a que se poderão atribuir zonas de baixa velocidade. Nas camadas intermédias, entre os 5 km e os 12 km, os valores de *Spread* são mais baixos e variam no intervalo [-0.5; 3], sendo indicadores do aumento da densidade dos raios sísmicos a que se pode relacionar uma zona de velocidade mais elevada. Abaixo dos 16 km os valores aumentam consideravelmente com uma variação entre [1.5; 5], o que poderá corresponder uma perda de resolução devido à densidade dos raios sísmicos diminuírem em função da profundidade.

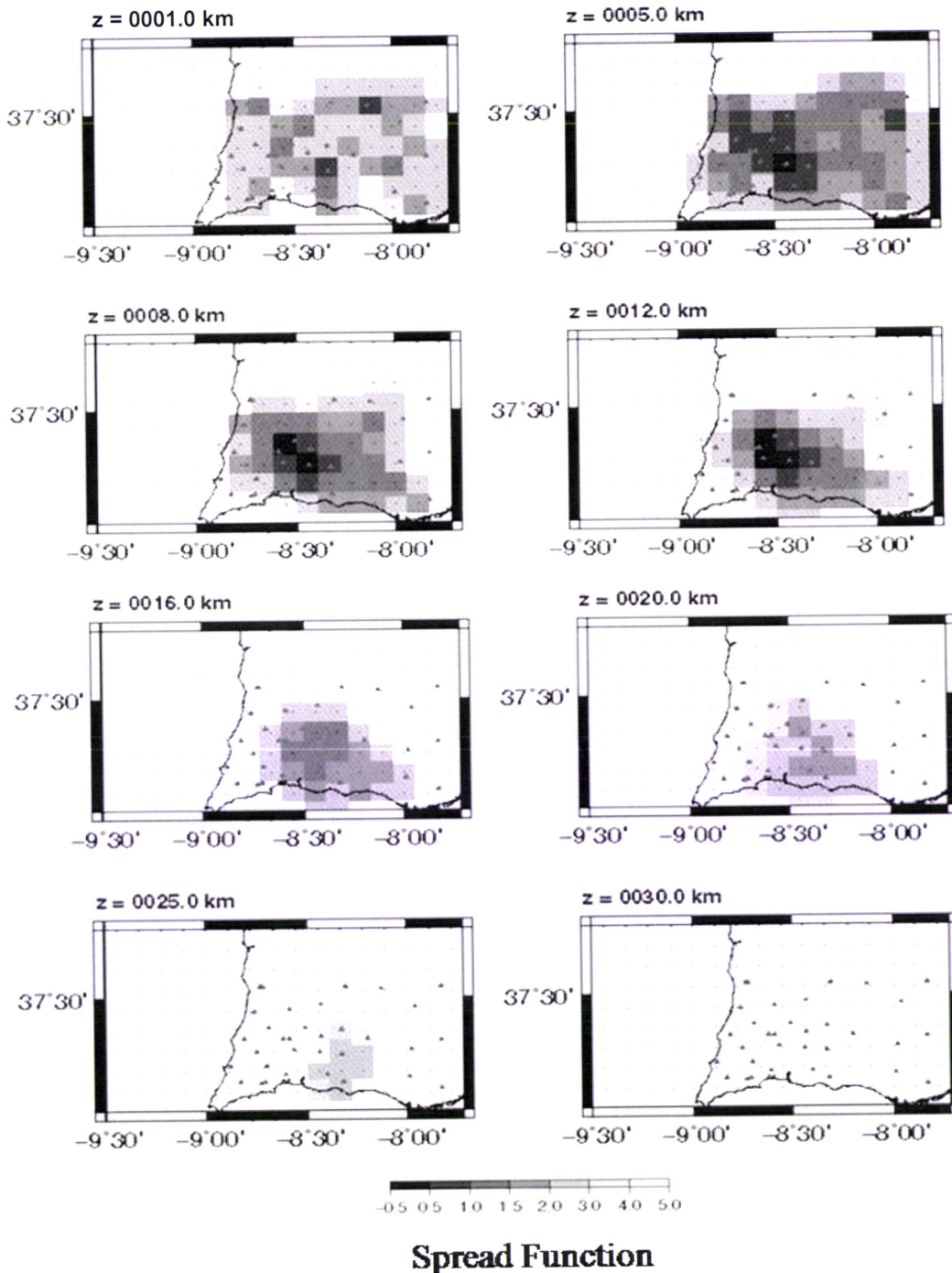


Fig. 6.15 - Representação no plano, até 30 km de profundidade da distribuição para a função *Spread*.

Relativamente aos resultados, optou-se por representar a perturbação da velocidade através da função “ V_p Perturbation” em termos de percentagem. Realizaram-se testes de sensibilidade ao longo de toda a estrutura crustal até 30 km de profundidade. Apenas o perfil ao longo da latitude 37.3° é representado em termos das **Velocidades Absolutas** V_p (kms^{-1}); esta opção deriva do facto de ao longo da região, segundo a direcção indicada, as estruturas geológicas serem caracterizadas por acidentes tectónicos e falhas, sendo que nestes casos a assinatura dos modelos de velocidades se tornam relativamente simples em termos da sua interpretação.

A Figura 6.16 representa em perspectiva, a estrutura ao longo de 30 km de profundidade, para a perturbação V_p , de modo a permitir a sua correlação.

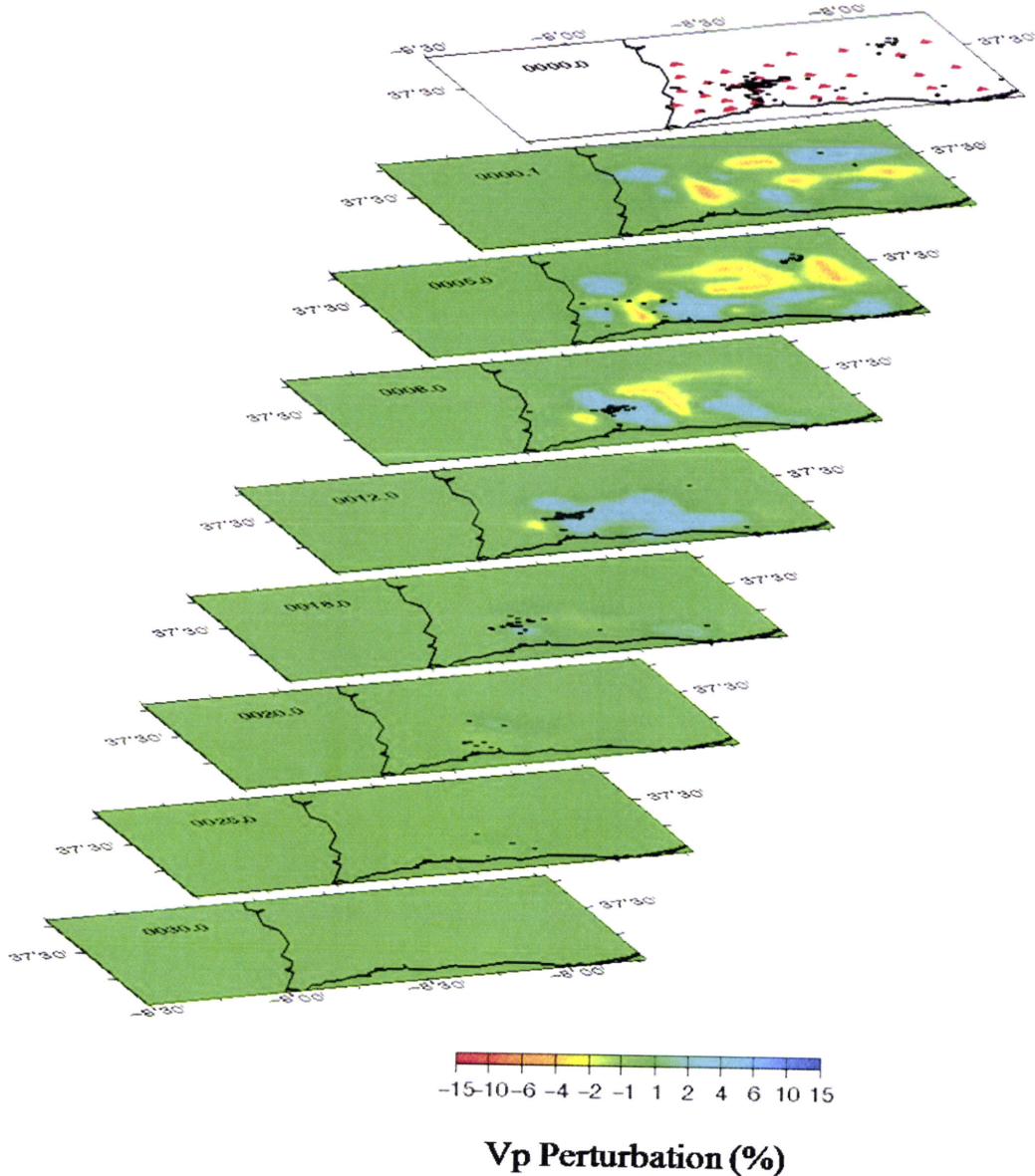


Fig. 6.16 – Representação em perspectiva da Perturbação V_p em termos de percentagem até aos 30 km de profundidade. Em cada camada são projectados os eventos detectados.

A representação no plano destas estruturas (cf. Figura 6.17) permite a análise em termos das perturbações V_p da velocidade e a sua relação com as anomalias de

velocidade às diferentes profundidades. Verifica-se que na primeira estrutura a partir de 1 km de profundidade, ocorre uma perturbação V_p negativa entre os -6% e os -4% na região de Monchique, que poderá corresponder a uma anomalia de baixa velocidade. A região de Almodôvar apresenta uma perturbação V_p entre os -4% e os -2%, que se repete para SE com valores de V_p entre os -2% e 0%; as zonas NE e SW de Monchique apresentam uma perturbação V_p positiva entre os 2% e os 4%, que poderá ser associada

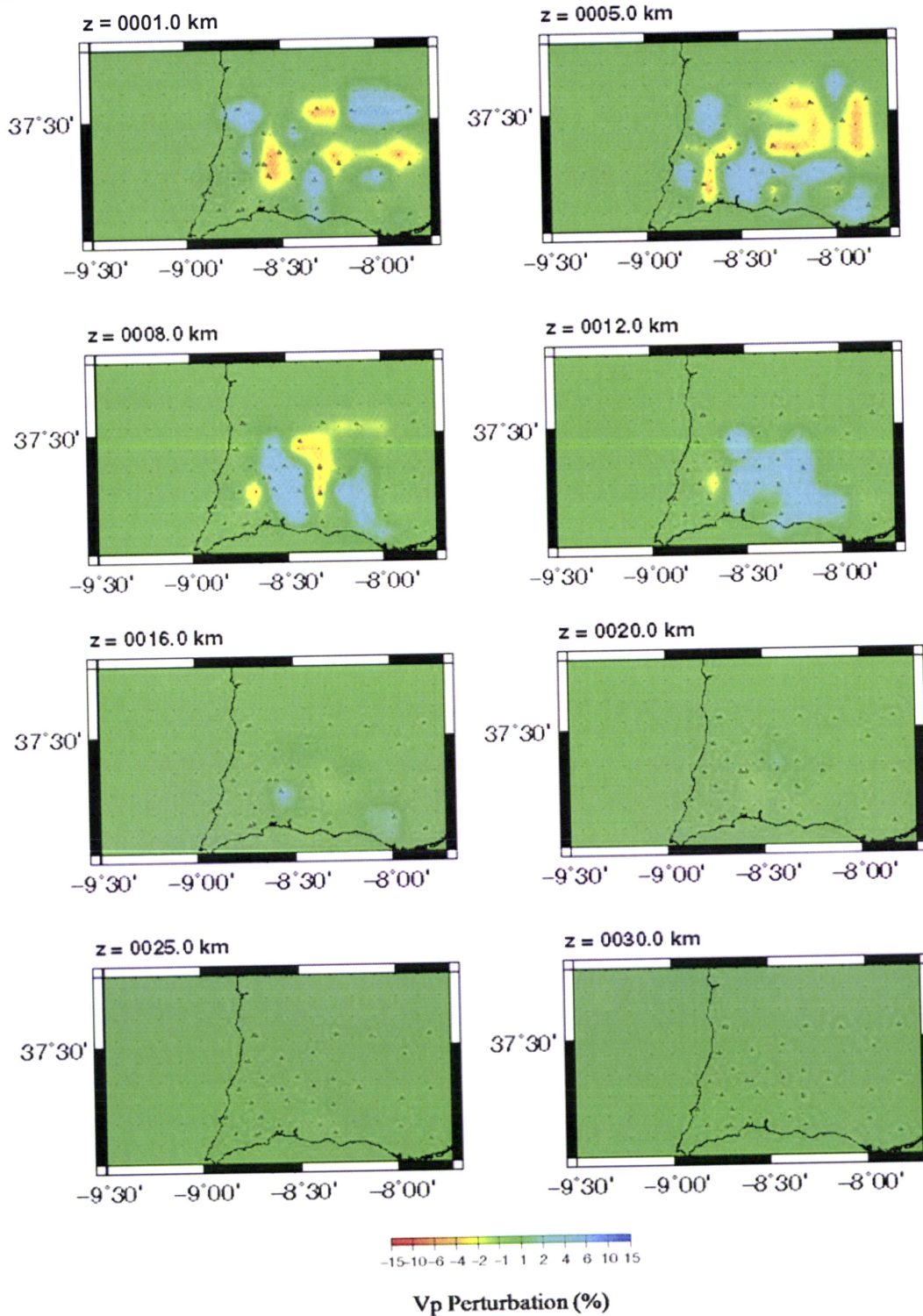


Fig. 6.17 – Representação no plano das várias camadas do modelo de perturbação V_p de propagação das ondas P , até 30 km de profundidade.

a uma anomalia de velocidade mais elevada. O mesmo se verifica para a região a E-NE de Almodôvar. Aos 5 km de profundidade constata-se que na região de Monchique a perturbação V_p que se verificou na primeira camada se mantém, porém a sua assinatura é mais bem delineada e concordante com a distribuição epicentral apresentada nas Figuras 6.5 e 6.6. Assinala-se o facto de nesta zona a sismicidade ser pouco significativa até aos 5 km de profundidade. Na região de Almodôvar ocorre um alastramento da perturbação V_p negativa em toda a zona, verificando-se que a NE da Serra do Caldeirão surge uma perturbação V_p negativa bastante pronunciada com valores entre os -6% e -2% e com uma certa orientação N-S que se encontra interligada à região de Almodôvar; toda esta área é portanto caracterizada por uma anomalia de baixa velocidade. Aos 8 km de profundidade a alteração na assinatura das perturbações é notória, tendo-se dissipado em grande parte as perturbações V_p negativas mas ocorrendo um alastramento de outra perturbação V_p negativa com valores entre -6% e -2% a partir de E-SE da região de Almodôvar para sul até à região de Loulé. A região de Monchique é caracterizada ainda por uma perturbação V_p negativa pontual entre os -4% e os -2% e verifica-se um aumento da perturbação V_p positiva nesta zona entre os 2% e 4% tanto a norte como a sul até à zona entre Silves e Lagoa. Aos 12 km ocorre um alastramento em toda esta zona da perturbação V_p positiva com valores entre os 2% e 4%. A partir dos 16 km de profundidade as perturbações da velocidade dissipam-se verificando-se apenas uma pequena anomalia positiva na região de Monchique e com o aumento da profundidade até aos 30 km não ocorrem perturbações da velocidade.

Para a região do Algarve foi representado um perfil tomográfico (Figura 6.18) até 30 km de profundidade, segundo a direcção W-E à latitude de 37.3°. A região de Monchique sendo a mais significativa do ponto de vista da actividade sísmica não apresenta contrastes significativos em termos de variação da velocidades Para o conjunto de dados amostrado, nesta fase não se verificam variações significativas da velocidade absoluta de propagação (V_p) das ondas P .

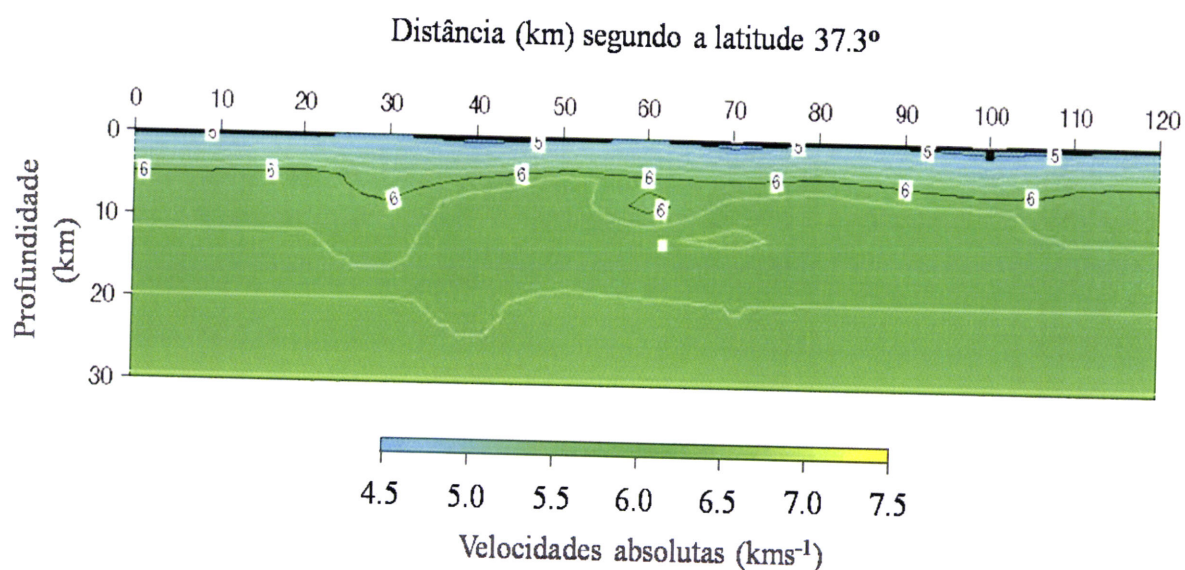


Fig. 6.18 – Perfil tomográfico da região do Algarve, segundo a orientação W-E. Neste perfil não se verificam variações significativas da velocidade das ondas P (V_p).

6.6 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste trabalho reflectem o tratamento e análise dos dados obtidos com a Rede Transfrontiere e Rede Sísmica Temporária. No primeiro caso, os dados obtidos correspondem a um período compreendido entre 1999-2003 e no segundo caso, os dados obtidos correspondem a um período de quatro meses (Janeiro-Abril de 2006).

Região de Almodôvar

O enquadramento da sismicidade na geomorfologia da região de Almodôvar, com a informação disponível, permite referir que a distribuição epicentral que se verifica nesta região, ocorre numa zona caracterizada por desligamentos tardi-variscos e que poderá decorrer da possível reactivação de uma destas estruturas. O delineamento sísmico que se verifica nesta zona apresenta uma tendência segundo a orientação NE-SW, perpendicular às estruturas variscas (NW-SE), que é concordante com a orientação das principais falhas cartografadas e confirmado ainda pela orientação dos corredores de fracturação dos principais cursos de água que existem nesta zona.

A microsismicidade na região de Almodôvar apresenta a ocorrência de eventos de fraca magnitude não catalogados, juntamente com eventos locais, regionais e longínquos catalogados nos boletins do IM.

Com recurso aos programas de cálculo *Hypoinverse* e *HypoDD* realizaram-se as localizações e relocalizações dos eventos, verificando-se a ocorrência de uma distribuição epicentral, já referida, segundo a direcção NE-SW. Esta tendência acentua-se na relocalização dos eventos que tendem a ser alinhados segundo esta orientação, como se demonstra na Figura 6.4. Esta sismicidade é relativamente limitada entre a superfície e os primeiros 5 km de profundidade.

A possível “*Falha de Almodôvar*” é a primeira cartografia sísmica que se realizou no âmbito deste trabalho.

Região de Monchique

Na região de Monchique, a microsismicidade foi inicialmente monitorizada pela Rede Transfrontiere durante o período de 1999-2003. Esta sismicidade é caracterizada por eventos de magnitude reduzida ($1 < M < 3.5$) e ocorre na sua maioria entre os 5 km e os 15 km de profundidade, não se verificando contudo a ocorrência de eventos nos primeiros 5 km. Após a relocalização dos dados com o programa *HypoDD* foi possível definir melhor duas falhas oblíquas na região de Monchique (cf. Figura 6.6). Estas falhas encontram-se marcadas como falhas prováveis no mapa sintético das principais estruturas tectónicas activas na região (cf. Figura 6.7) (Terrinha et al, 2006).

Tomografia sísmica

Com base na distribuição hipocentral dos 210 eventos, realizaram-se os primeiros testes da Tomografia Sísmica Local (TSL). Foram testadas as funções *DWS*, *Spread Function* e as perturbações *V_p*.

A função *DWS* permite aferir a capacidade de resolução da malha adoptada no modelo 3D de velocidades, definindo a importância de cada raio sísmico pela sua distância a cada nodo da malha, obtendo uma avaliação qualitativa do comprimento total dos raios na vizinhança de cada nodo. Para a malha adoptada verifica-se que nas primeiras camadas as perturbações apresentam um baixo valor que se pode explicar pela fraca densidade dos raios e que a resolução que se verifica resulta da proximidade dos nodos da malha às estações. Entre os 5 km e os 12 km de profundidade a função *DWS*

apresenta a melhor resolução uma vez que a densidade dos raios sísmicos assume o seu valor mais elevado, em especial na região de Monchique, concretamente na zona central da rede, que é confirmada por exemplo, pela distribuição hipocentral da Figura 6.8. Abaixo dos 20 km a resolução decresce em função da velocidade nos nodos ser menor devido ao reduzido volume de dados a esta profundidade.

Na função *Spread* os nodos mais bem resolvidos apresentam valores mais baixos. As camadas mais superficiais apresentam valores mais elevados da função, sendo indicador de uma menor densidade dos raios, a que poderá estar associada uma zona de baixa velocidade. As camadas intermédias, entre os 5 km e os 12 km, têm valores de *Spread* mais baixos, o que indica que a densidade dos raios sísmicos é maior e portanto poderá corresponder a uma zona de velocidade mais elevada. Abaixo dos 16 km os valores aumentam consideravelmente, pelo que se verifica uma perda de resolução devido à densidade dos raios sísmicos diminuir em função da profundidade.

Os resultados obtidos são representados em função da perturbação V_p (ou lentidão) da velocidade de propagação das ondas P , em termos de percentagem. Para as estruturas mais superficiais ocorrem perturbações V_p negativas na região de Monchique provavelmente associadas a zonas de baixa velocidade. Na região de Almodôvar também se verificam perturbações V_p negativas dentro dos mesmos valores, verificando-se as mesmas perturbações para SE desta região. As perturbações V_p positivas em Monchique ocorrem a NE e SW, associadas a zonas de velocidade mais elevada. Na serra de Monchique verifica-se contudo aos 5 km de profundidade que a assinatura da perturbação V_p negativa assume um delineamento concordante com a sismicidade verificada anteriormente (cf. Figuras 6.5 e 6.6); a esta zona está associada ocorrência de sismicidade pouco significativa. A esta profundidade, na região de Almodôvar as perturbações V_p negativas alastram para Leste a toda a região circundante, pelo que toda esta zona se poderá caracterizar de baixa velocidade. As alterações da perturbação V_p que se verificam abaixo dos 8 km de profundidade apresentam a tendência gradual de se dissiparem, predominando aos 12 km anomalias de velocidade elevada na região a Sul de Almodôvar e a Leste de Monchique até Loulé-Faro. A partir dos 16 km de profundidade não se verificam perturbações V_p significativas dissipando-se totalmente entre 25 km e os 30 km.

7. CONCLUSÃO

INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta os primeiros resultados relativos à microsismicidade e **Tomografia Sísmica da Litosfera Continental Algarvia**, assim como as metodologias utilizadas no tratamento, análise e processamento dos dados. Realizou-se uma primeira abordagem ao problema da microsismicidade e tomografia desta região. Deste ponto de vista, o trabalho realizado permitiu adquirir conhecimentos sólidos ao longo de todo o processo, tendo-se conseguido igualmente “rotinar” tarefas que contribuem para que os resultados possam ser gradualmente analisados à medida que se avança no trabalho – e.g. tratamento da informação para “input” dos programas de localização, relocalização e inversão, assim como da representação dos próprios resultados.

O presente trabalho contribui consideravelmente para uma forte consolidação de conhecimentos nesta área científica e é expectável que esta experiência se possa reflectir numa contribuição em trabalhos futuros.

7.1 A SISMICIDADE EM PORTUGAL CONTINENTAL

A sismicidade em Portugal Continental, histórica e instrumental, apresenta actividade sísmica moderada ($M < 5$), verificando-se ocasionalmente a ocorrência de eventos de intensidade mais significativa ($5 < M < 7.8$). Esta sismicidade, considerada heterogénea, ocorre principalmente a sul do território continental, em função da interacção das placas tectónicas Euro-Asiática (*EA*) e Africana (*Af*), dada a proximidade de Portugal com os limites das fronteiras destas duas estruturas. A actividade sísmica intensa que se verifica na orla oceânica adjacente, é responsável por alguns dos principais sismos da nossa história, como por exemplo o sismo de Lisboa ocorrido a 1 de Novembro de 1755 a SW do CSV. Este sismo teve origem possivelmente na zona do *BG*, no entanto permanece alguma reserva relativamente à sua origem. No entanto, os três cenários possíveis que foram modelados para a fonte do sismo de Lisboa apontam como origem mais provável o *BG* (Grandin et al., 2007a).

7.2 CONTEXTO SISMOTECTÓNICO

Os mecanismos focais no SW de Portugal Continental apresentam uma certa homogeneidade, na sua componente inversa e na orientação dos planos (direcção aproximada EW), concordante com as falhas identificadas na região. A orientação axial dos mecanismos focais e os indicadores de tensão de origem geológica (baseados em dados de furo), sustentam a hipótese de que Portugal Continental se encontra sujeito a um campo de tensões compressivas com orientação aproximada NW-SE. Este campo compressivo está de acordo com o campo regional de tensão esperado para esta região e que resulta da colisão entre as placas *EA* e *Af*.

A região do Algarve (e orla oceânica adjacente), é caracterizada por sismos de tipo desligamento-horizontal, com orientação aproximada NS e que são coincidentes com as falhas geológicas com a mesma orientação.

7.3 A CAMPANHA SÍSMICA

A campanha sísmica foi realizada entre Janeiro de 2006 e Julho de 2007 no âmbito do projecto **Tomografia Sísmica da Litosfera Continental Algarvia** financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT).

Com a instalação da rede sísmica foi possível monitorizar a sismicidade do Baixo Alentejo e Algarve e assim cumprir o objectivo principal do Projecto referido – realizar a Tomografia Sísmica Local (*TSL*) – nas zonas de Monchique-Portimão (M-P) e Loulé-Faro (L-F). A realização da campanha implicou um acompanhamento constante que se traduziu em saídas de campo periódicas com a realização de tarefas de manutenção e registo dos dados das estações. Estas saídas de campo permitiram acompanhar o funcionamento da rede e resolver problemas diários e pontuais que se foram verificando com o decorrer do tempo. Da análise do registo das ocorrências, observadas através deste acompanhamento, verificou-se que as situações em que houve falhas temporárias no funcionamento de algumas estações não comprometeram o desempenho eficaz da rede na sua globalidade. No período entre Janeiro e Abril de 2006, verifica-se a ocorrência “inopinada” de ausência de registo nas estações, ao longo do mês de Março. Este facto poderá dever-se à falta de capacidade de registo dos discos das estações sísmicas. O acompanhamento regular, tendo sido realizado principalmente em função da capacidade de registo das estações, foi cumprido de forma rigorosa, pelo que provavelmente esta situação se poderá explicar pela capacidade (45 dias) de registo das estações ser inferior ao que inicialmente se conhecia.

A desactivação da rede sísmica foi realizada em Dezembro de 2006 para a Rede Autónoma e Julho de 2007 para a Rede Telemétrica.

7.4 TOMOGRAFIA SÍSMICA

As primeiras localizações de sismos foram baseadas em métodos gráficos recorrendo principalmente às ondas *P* e *S*.

Actualmente os métodos numéricos permitem reduzir as diferenças existentes entre os tempos de chegada (teóricos e calculados) das ondas sísmicas *P* e *S*, minimizando os resíduos. Assim, a localização dos sismos, como um problema de optimização não linear, foi resolvido. Este método é parte essencial dos diversos programas de localização utilizados frequentemente, como é o caso deste trabalho.

O exemplo de aplicação da teoria da inversão abordado neste trabalho baseia-se na tomografia sísmica dos tempos de percurso, onde os dados utilizados são resíduos de tempo e os parâmetros são perturbações de velocidade para as ondas telessísmicas.

O resultado final da tomografia sísmica é a obtenção de imagens do interior da Terra. A compreensão dos processos físicos tratados neste trabalho é, de certo modo, facilitada com o contributo da formulação teórica dos problemas que decorrem do tratamento e processamento dos dados, que têm como objectivo final a obtenção de um modelo tomográfico do interior da Terra para uma dada região.

Tendo sido adquirida ao longo deste trabalho uma perspectiva mais aprofundada da tomografia sísmica, deve-se também realçar uma maior compreensão da complexidade do trabalho subjacente aos resultados finais.

7.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS

O tratamento e análise dos dados, continua a ser realizado (identificação dos eventos, “picking” das fases das ondas *P* e ondas *S* e construção de ficheiros de fases). Face ao tempo dispendido nesta fase em função da informação que se obtém, poder-se-á considerar a utilização de outra metodologia com recurso a programas que permitam realizar o mesmo trabalho de forma mais expedita (que reduza no fundo o tempo que se dispende actualmente com a identificação dos eventos e “picking” das fases, e.g. programa *Seisan*, desde que se consigam converter os dados do formato *Trgeost* para o formato deste programa). A fase de identificação, selecção de eventos e construção de ficheiros de fases, permitiu identificar alguns constrangimentos operacionais em termos da utilização desta informação nos programas *Hypoinverse* e *HypoDD* – e.g. conversão dos formatos dos ficheiros de fases para os programas.

Sendo objectivo deste trabalho conseguir realizar a *TSL* da região do Algarve e Baixo Alentejo, entendeu-se abordar o tema com novas metodologias, nomeadamente com recurso aos programas *Velest* e *Simulps*.

O programa *Velest* realiza a inversão dos dados com vista à obtenção do modelo mínimo 1D de velocidades e procede igualmente à relocalização dos eventos. Com este programa, o processamento dos dados foi mais complexo, uma vez que para determinar o modelo mínimo 1D, foi necessário que os dados sofressem um processamento rigoroso de modo a que o conjunto final de dados representasse a solução mais estável possível para a inversão 1D. A convergência dos 413 eventos para os critérios definidos permitiu obter um conjunto final de 210 eventos, com o qual se determinou o modelo mínimo.

O modelo mínimo 1D de velocidades determinado neste trabalho não representa contudo um modelo definitivo, uma vez que existem condicionantes desfavoráveis a que este modelo seja interpretado como definitivo. Pode-se apontar uma das razões ao facto de ainda existirem muitos dados por tratar, uma segunda razão levará em conta que o trabalho realizado representa uma primeira abordagem ao problema da Tomografia Sísmica e nesse sentido foram testados vários programas que permitiram um melhor conhecimento das questões relacionadas com o tratamento, análise e processamento dos dados; contudo e devido ao conjunto dos dados ser reduzido não foi possível explorar o potencial de alguns destes programas na sua totalidade.

É necessário referir que existe ainda uma parte considerável de trabalho a realizar até se conseguir um resultado final consistente, uma vez que existem dezoito meses de registos, sendo que apenas foram tratados quatro meses.

7.6 RESULTADOS

Os resultados apresentados neste trabalho reflectem o tratamento e análise dos dados obtidos com a Rede Transfronteiriça instalada pelo IM (ver Cap. 4) e Rede Sísmica Temporária instalada no âmbito do projecto referido (ver Cap. 4). No primeiro caso, os dados obtidos correspondem a um período compreendido entre 1999-2003 e no segundo caso, os dados obtidos correspondem ao período entre Janeiro e Abril de 2006.

Na região de Almodôvar, verifica-se a ocorrência de falhas cartografadas com a orientação NE-SW; verificam-se também falhas com orientação variável entre NE-SW e ENE-WSW, para sul desta região, até à Orla Algarvia. Numa análise geomorfológica

preliminar, procurou-se identificar eventuais desníveis na superfície da Meseta, alinhados segundo a orientação NE-SW. Não se verificam ressaltos na superfície da Meseta ao longo desta direcção contudo, a orientação geral das principais linhas de água é perfeitamente concordante com esta direcção. O traçado dos rios tende a fixar-se em zonas em que as rochas são mais brandas e a orientação das três principais linhas de água, subparalelas e quase perpendiculares à orientação das estruturas variscas (NW-SE), é um provável indicador de corredores de fracturação segundo a direcção NE-SW.

Na região de Monchique verifica-se um alinhamento segundo a direcção NE-SW das Ribeiras de Monchique (que corre para NE) e de Boina (que corre para SW). As duas ribeiras têm as zonas de cabeceira perfeitamente alinhadas, materializando vales de fractura que no conjunto definem um lineamento com mais de 5km de extensão. Este lineamento corresponde aproximadamente à orientação NE-SW.

A microsismicidade na região de Almodôvar apresenta ocorrência de eventos de fraca magnitude não catalogados, juntamente com eventos locais, regionais e longínquos catalogados nos boletins do IM. Realizaram-se as localizações e relocalizações dos eventos, verificando-se a ocorrência de uma distribuição epicentral segundo a direcção NE-SW. Esta sismicidade é relativamente limitada entre a superfície e os primeiros 5 km de profundidade.

Tomografia sísmica

Com base na distribuição hipocentral dos 210 eventos, realizaram-se os primeiros testes da Tomografia Sísmica Local (TSL). Foram testadas as funções DWS, *Spread Function* e as perturbações V_p .

A função *DWS* permite aferir a capacidade de resolução da malha adoptada no modelo 3D de velocidades. Para a malha adoptada verifica-se que nas primeiras camadas (entre 1 km e 5 km) as perturbações apresentam um intervalo de valores mais baixos [5; 1000] que se pode explicar pela fraca densidade dos raios e a resolução que se verifica resulta da proximidade dos nodos da malha às estações. Entre os 8 km e os 16 km de profundidade verifica-se a melhor resolução com valores no intervalo [600; 5000] pois a densidade dos raios sísmicos é mais elevada, em especial na região de Monchique na zona central da rede, que é confirmada por exemplo, pela distribuição hipocentral da Figura 6.8. Abaixo dos 20 km a resolução decresce para o intervalo de valores [10; 600] em função da velocidade nos nodos ser menor devido ao reduzido volume de dados a esta profundidade.

Para a função *Spread* as camadas mais superficiais apresentam valores mais elevados a variarem no intervalo [0.5; 3], sendo indicador de uma menor densidade dos raios, podendo-se atribuir a este facto zonas de baixa velocidade. Nas camadas intermédias, entre os 5 km e os 12 km, os valores de *Spread* são mais baixos e variam no intervalo [-0.5; 3], sendo indicadores do aumento da densidade dos raios sísmicos correspondendo a uma zona de velocidade mais elevada. Abaixo dos 16 km os valores aumentam consideravelmente com uma variação entre [1.5; 5], o que poderá significar uma perda de resolução devido à densidade dos raios sísmicos diminuírem em função da profundidade.

Os resultados obtidos são representados em termos de percentagem da perturbação V_p (ou lentidão) da velocidade de propagação das ondas P . Para as estruturas mais superficiais (1 km e 5 km) ocorrem perturbações V_p negativas na região de Monchique provavelmente associadas a zonas de baixa velocidade. Na região de Almodôvar verificam-se igualmente perturbações V_p negativas dentro dos mesmos valores, com as mesmas perturbações para SE desta região. As perturbações V_p positivas da velocidade ocorrem a NE e SW de Monchique, associadas a zonas de velocidade mais elevada. Na

serra de Monchique verifica-se contudo aos 5 km de profundidade que a assinatura da perturbação V_p negativa assume um delineamento concordante com a sismicidade verificada anteriormente (cf. Figuras 6.5 e 6.6); a esta zona está associada ocorrência de sismicidade pouco significativa. A esta profundidade, na região de Almodôvar as perturbações V_p negativas alastram para Leste a toda a região circundante, pelo que toda esta zona se poderá caracterizar de baixa velocidade de propagação das ondas P . As alterações da perturbação V_p que se verificam abaixo dos 8 km de profundidade apresentam a tendência gradual para se dissiparem, predominando aos 12 km anomalias de velocidade elevada na região a Sul de Almodôvar e a Leste de Monchique até Loulé-Faro. A partir dos 16 km de profundidade não se verificam perturbações V_p significativas dissipando-se totalmente entre os 25 km e os 30 km.

Futuramente, com o acréscimo de mais informação, será possível obter melhor qualidade nos resultados e definir com maior precisão os modelos mais adequados para a estrutura crustal da região do Algarve, em particular para as regiões de Monchique-Portimão (M-P) e Loulé-Faro (L-F) (Bezzeghoud et al., 2006), assim como da zona de Almodôvar. A partir deste modelo, espera-se conseguir constranger as localizações dos hipocentros de forma a determinar o limite superior da zona sismogénica e constranger os mecanismos focais de forma a compreender o padrão de tensão na litosfera. Espera-se conseguir um conhecimento mais detalhado da estrutura da crosta continental e da sismotectónica em geral da região, a identificação das zonas geradoras de sismos assim como de falhas activas na região e outras características e parâmetros, em estudos futuros.

REFERÊNCIAS

- Aki, K., Christofferson, A., Husebye, E. S. et al, 1974. Three-dimensional seismic-velocity anomalies in the crust and upper-mantle under the U.S.G.S. (abstract). *Eos Trans. Am. Geophys. Union*, 56, 1145.
- Bezzeghoud M., C. Dorbath, B. Caldeira A. Araújo, J.P. Rocha, M. Frogneux, G. Madureira, C. Corela, L.M. Matias, R. Izarar, J.F. Borges; F. Carrilho, L. Dorbath, 2006. Tomografia Sísmica da crusta algarvia: estudos preliminares. Congresso Nacional de Geologia, Estremoz, Julho 2006. 309-312.
- Bezzeghoud M. and J.F Borges, 2003. Mecanismos focais dos sismos em Portugal continental e margem adjacente. Física de la Tierra, Sismicidade de la Península Ibérica, Eds: E. Bufo y A. Udias, Madrid, vol. 15, 229-245.
- Bezzeghoud M., J.F. Borges e B. Caldeira, 2010. Fontes sísmicas ao longo da fronteira de placas tectónicas entre os Açores e a Argélia: um modelo sismotectónico. Em: Geologia de Portugal no contexto da Ibéria, R. Dias, A. Araujo, P. Terrinha, J.C Kullberg (Eds). In press.
- Bezzeghoud M., J. F. Borges, B. Caldeira, E. Bufo, A. Udias, 2008. Seismic activity in the Azores Region in the context of the western part of the Eurasia-Nubia plate boundary. International Seminar on Seismic risk and rehabilitation on the 10th Anniversary of the July 9 1998 Azores Earthquake, Horta-Azores, 9-13 July. P. 27-31.
- Bezzeghoud M. and E. Bufo, 1999. Source parameters of 1992 Melilla (Spain, Mw=4.8), 1994 Alhoceima (Morocco, Mw=5.8) and 1994 Mascara (Algeria, Mw=5.7) earthquakes and seismotectonic implications. *Bul. Seis. Soc. Am.*, 89, 2, 359-372.
- Borges J. F., A. J. S. Fitas, M. Bezzeghoud and P. Teves-Costa, 2001. Seismotectonics of Portugal and its adjacent Atlantic area. *Tectonophysics*, 337, 373-387.
- Bufo E., Bezzeghoud M., Udias A. & Pro C. 2004. Seismic sources on the Iberia-African plate boundary and their tectonic implications. *Pure appl. Geophys.*, 161, 3, 623-646.
- Bufo, E., Udias, A. and Colombas, M.A. (1988). Seismicity, source mechanisms and seismotectonics of the Azores-Gibraltar plate boundary. *Tectonophysics*, 152, 89-118.
- Caldeira B., M. Bezzeghoud, J. F. Borges, C. Dorbath, L. Matias, J.P. Rocha, G. Madureira, A. Araújo, C. Corela e F. Carrilho; 2007; Seismic Tomography of the Algarve Crust: Previous studies, Campaign and first data, actas do 5º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG, 5-8 Fevereiro de 2007, Peninche-Portugal, 76-80.
- Carrilho, F., P. Teves-Costa, I. Morais, J. Pagarete and R. Dias, 2004. Geoalgar Project – first results on seismicity and fault-plane solutions. *Pure and Applied Geophys.*, 161, 4, in press.
- Carrilho F., 2005. Estudo da Sismicidade da Zona Sudoeste de Portugal Continental. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 147 p.

- Crosson, R. S., 1976a. "Crustal Structure Modeling of Earthquake Data .1. Simultaneous Least-Squares Estimation of Hypocenter and Velocity Parameters". *J. Geophys. Res.*, 81, 3036-3046.
- Dias R. P., 2001. Neotónica das Região do Algarve. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, p. 369.
- Dias N., 2005. "Estudo da sequência sísmica gerada pelo sismo do faial de 9 de julho de 1998: Anisotropia Crustal, Inversão Tomográfica e Caracterização Sismo-Tectónica". Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, pp. 540.
- Dias R., "Estrutura Sismotectónica em Portugal Continental: Contribuição dos Dados Digitais Registados pelo IGIDL/1990-2002", Relatório de Estágio Profissionalizante da Licenciatura em Ciências Geofísicas, FCUL, Lisboa, 2005.
- Eberhart-Phillips, D., 1993. "Local earthquake tomography: earthquake source regions". *Seismic Tomography: Theory and practice*, H. M. Iyer and K. Hirahara, Eds., Chapman & Hall, 613-643.
- Evans, J. R., D. Eberhart-Phillips, & C. H. Thurber, 1994. "User's Manual for SIMULPS12 for imaging Vp and Vp/Vs: a derivative of the Thurber Tomographic Inversion SIMUL3 for Local Earthquakes and Explosions". Open-file Report 94-431, 101 pp.
- Foulger, G. R. & S. K. Arnott, 1993. "Local tomography: volcanoes and the accretionary plate boundary in Iceland". *Seismic Tomography: Theory and practice*, H. M. Iyer and K. Hirahara, Eds., Chapman & Hall, 644-675.
- Geiger L., 1910. Herdbestimmung bei Erdbeben aus den Ankunftszeiten. Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse, 331-349. 1912 transliterated in English by F. W. L. Peebles & A. H. Corey: Probability method for the determination of earthquake epicenters from the arrival time only. Bulletin St. Louis University 8, 60-71.
- Got, J. L., J. Frechet, & F. W. Klein, 1994. "Deep Fault Plane Geometry Inferred from Multiplet Relative Relocation beneath the South Flank of Kilauea". *J. Geophys. Res.*, 99, 15375-15386.
- Grandin, R., Borges, J.F., Bezzeghoud, M., Caldeira, B. and Carrilho, F., 2007a. Simulations of strong ground motion in SW Iberia for the 1969 February 28 (MS = 8.0) and the 1755 November 1 (M ~ 8.5) earthquakes – II. Strong ground motion simulations, *Geophys. J. Int.*, doi:10.1111/j.1365- 246X.2007.0357.x.
- Grandin, R., Borges, J.F., Bezzeghoud, M., Caldeira, B. and Carrilho, F., 2007b. Simulations of strong ground motion in SW Iberia for the 1969 February 28 (MS = 8.0) and the 1755 November 1 (M ~ 8.5) earthquakes – I. Velocity model, *Geophys. J. Int.*, doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03570.x.

- Havskov, J. & L. Ottemöller, 1999. "Seisan earthquake analysis software". *Seism. Res. Lett.*, 70, 532-534.
- Husen, S., 1999. "Local earthquake tomography of a convergent margin, North Chile: a combined On- and Offshore study", *PhD thesis*, Christian Albrechts Universität, Kiel, 129p.
- Husen, S., E. Kissling, E. Flueh, & G. Asch, 1999. "Accurate hypocentre determination in the seismogenic zone of the subducting Nazca Plate in northern Chile using a combined on-/offshore network". *Geophys. J. Int.*, 138, 687-701.
- Husen, S., E. Kissling, & E. R. Flueh, 2000. "Local earthquake tomography of shallow subduction in north Chile: A combined onshore and offshore study". *J. Geophys. Res.*, 105, 28183-28198.
- Inglada V., 1926. Nuevo procedimiento de cálculo de las coordenadas del foco sísmico por medio de las de P registradas en varias Estaciones proximas. – Revista «Ibérica», núm. 639, del 14 de agosto de 1926.
- Kissling, E., W. L. Ellsworth, D. Eberhart-Phillips, & U. Kradolfer, 1994. "Initial Reference Models in Local Earthquake Tomography". *J. Geophys. Res.*, 99, 19635-19646.
- Kissling, E., 1995. "Program VELEST user's guide - Short introduction". 26.
- Kissling E., Husen S., Haslinger F., 2001. Elsevier - Physics of Earth and Planetary Interiors, volume 123; issues 2-4, p. 89-101.
- Klein F., 2002. User's Guide to HYPOINVERSE-2000, a Fortran Program to Solve for Earthquake Locations and Magnitudes (4/2002 version 1.0); USGS Open File Report 02-171, p. 123.
- Matias L., 1996. "A Sismologia experimental na modelação da crosta em Portugal Continental". Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, pp. 397.
- Pavlis, G. L. & J. R. Booker, 1980. "The Mixed Discrete-Continuous Inverse Problem - Application to the Simultaneous Determination of Earthquake Hypocenters and Velocity Structure". *J. Geophys. Res.*, 85, 4801-4810.
- Srivastava, S.P., Roest, W.R., Kovacs, L.C., Oakey, G., Lévesque, S., Verhoef, J., J & MacNab, R. (1990). Motion of Iberia since the late Jurassic: Results from detailed aeromagnetic measurements in the Newfoundland Basin. *Tectonophysics*, 184 p. 229-260.
- Stein S., Wyssession M., 2003. An Introduction to Seismology, Earthquakes ,and Earth Structure. Blackwell Publishing, Malden, Mass, 2003, 498 p.

- Waldhauser F., 2000. **hypoDD** -- A Program to Compute Double-Difference Hypocenter Locations (*hypoDD* version 1.0 - 03/2001) . U.S. Geol. Survey 345 Middlefield Rd, MS977 Menlo Park, CA 94025.
- Terrinha P. A. G., 1998. Structural geology and tectonic Evolution of the algarve basin, South Portugal. PhD Thesis, Royal School of Mines, Imperial College, London, 430 p.
- Terrinha P., R. Rocha, J. Rey, M. Cachão, D. Moura, C. Roque, L. Martins, V. Valadares, J. Cabral, M. R. Azevedo, L. Barbero, E. Clavijo, R. P. Dias, J. Gafeira, H. Matias, L. Matias, J. Madeira, C. Marques da Silva, J. Munhá, L. Rebelo, C. Ribeiro, J. Vicente, N. Youb, 2006. A Bacia do Algarve: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. Em: Geologia de Portugal no contexto da Ibéria, R. Dias, A. Araujo, P. Terrinha, J.C Kullberg (Eds), Univ. de Évora, Évora, 247-316.
- Tesauro M., Kaban M. K., Cloetingh S, 2008. EuCRUST-07: A new reference model for the European crust GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 35, L05313, 5 PP., 2008, doi:10.1029/2007GL032244
- Thurber, C. H., 1983. "Earthquake Locations and 3-Dimensional Crustal Structure in the Coyote Lake Area, Central California". *J. Geophys. Res.*, 88, 8226-8236.
- Thurber, C. H., 1993. "Local earthquake tomography: velocities and Vp/Vs - theory". *Seismic Tomography: Theory and practice*, H. M. Iyer and K. Hirahara, Eds., Chapman & Hall, 563-583.
- Thurber, C. H. & E. Kissling, 2000. "Advances in travel-time calculations for three-dimensional structures". *Advances in Seismic Event Location*, C. H. Thurber and N. Rabinowitz, Eds., Kluwer, 71-100.
- Toomey, D. R. & G. R. Foulger, 1989. "Tomographic inversion of local earthquake data from the Hengill-Grensdalur central volcano complex, Iceland". *J. Geophys. Res.*, 94, 17497-17510.
- Um, J. & C. Thurber, 1987. "A Fast Algorithm for 2-Point Seismic Ray Tracing". *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 77, 972-986.
- Zitellini, N. e outros 30 autores, 2001. Source of 1755 Lisbon Earthquake and Tsunami Investigated. EOS, vol. 82, N°26.

Output dos dados finais resultantes da inversão 1D, com os resultados da última iteração (5ª). Destes resultados fazem parte os hipocentros finais.


```
>>> Start of program VELEST at
```

```

:.....:
V E L E S T - Version : January 3, 1995
(Authors: see source code)
:.....:

```

Title of this VELEST run:

CALAVERAS area7 1.10.93 EK startmodell vers. 1.1

Current array-dimensions of program VELEST:

```

Max. number of EARTHQUAKES for simult. inversion IEQ = 658
Max. number of SHOTS for simult. inversion INSHOT = 50
Max. number of (different) 1D-MODELS ITOTMODELS = 2
Max. number of LAYERS per one 1D-model INLTOT = 100
Max. number of STATIONS in stationlist IST = 650
Max. number of OBSERVATIONS per event MAXOBSPEREVENT = 180

```

INPUT - P A R A M E T E R S :

```

***
***  olat      olon      icoordsystem      zshift      itrial  ztrial      ised
   37.250000  -8.500000      0      0.000      0      0.00      0
***
***  neqs      nshot      rotate
   210      0      0.0
***
***  isingle      iresolcalc
      0      0
***
***  dmax      itopo      zmin      veladj      zadj      lowveloclay
   280.00      0      0.00      0.20      5.00      0
***
***  nsp      swtfac      vpvs      nmod
      1      0.50      1.750      1
***
***  othet      xythet      zthet      vthet      stathet
      0.01      0.01      0.01      1.00      0.10
***
***  nsinv      nshcor      nshfix      iuseelev      iusestacorr
      0      0      0      1      0
***
***  iturbo      icnvout      istaout      ismpout
      1      1      1      0
***

```

```

*** irayout   idrvout   ialeout   idspout   irflout   irfrout   iresout
      0         0         0         0         0         0         0
***
*** delmin    ittmax    invertratio
      0.010      5         1
***
*** Modelfile:
europ1.mod
***
*** Stationfile:
evora_tt.sta
***
*** Seismofile:

***
*** File with region names:

***
*** File with region coordinates:

***
*** File #1 with topo data:

***
*** File #2 with topo data:

***
*** DATA INPUT files:
***
*** File with Earthquake data:
eqks_tt.cnv
***
*** File with Shot data:

***
*** OUTPUT files:
***
*** Main print output file:
algar.OUT
***
*** File with single event locations:
velout.vel
***
*** File with final hypocenters in *.cnv format:
hyp-algar.CNV
***
*** File with new station corrections:
sta-algar.OUT
***
*** File with summary cards (e.g. for plotting):
toto
***
*** File with raypoints:
qqq
***
*** File with derivatives:
velout.drv

```



```

***
*** File with ALEs:
velout.ale
***
*** File with Dirichlet spreads:
velout.dspr
***
*** File with reflection points:
velout.rfl
***
*** File with refraction points:
velout.rfr
***
*** File with residuals:
evora-resim
***

```

```

Origin of cartesian coordinates:
      37.25000N      8.50000E

```

```

X,Y-AXES rotated clockwise from North
      Rotation angle (rotate):
      rotate=      0.0 degr.

```

```

icoordsystem =      0
normal SHORT DISTANCE CONVERSION will be made
x is positive towards west, y is positive towards north

```

```

SHORT DISTANCE CONVERSION on ELLIPSOIDE of WORLD GEODETIC SYSTEM 1972
(WGS72)

```

```

=====
=====

```

```

Radius at equator (REARTH)= 6378.13500 km
1. / (ellipticity)      =      298.260

```

```

Origin of cartesian coordinates [degrees]:
      37.2500000 N      -8.5000000 W

```

```

      Rotation angle (in degr.) clockwise from
North rotate=  0.0000000E+00

```

```

Radius of sphere at OLAT =      6370.367 km

```

```

Conversion of GEOGRAPHICAL LATITUDE to GEOCENTRICAL LATITUDE:
RLATC = TAN(GEOCENTR.LAT) / TAN(GEOGRAPH.LAT)
RLATC =      0.99331085

```

```

      Short distance conversions:
      one min lat ~      1.8497 km
      one min lon ~      1.4787 km

```

Station-corrections set to ZERO !
 (if you do NOT invert for station-corrections,
 then these 0.0-values are printed in file12 !)

INPUT - M O D E L :

Model(s) read from file :
 europ1.mod

model file title:
 Nord2D-modell (mod1.1)
 Velocity structure for model 1 :

layer	vel	depth	vdamp	reflector
1	4.80	-1.00	1.00	P-VELOCITY MODEL
2	5.00	0.00	1.00	
3	5.80	5.00	1.00	
4	6.50	15.00	1.00	
5	7.90	30.00	1.00	
6	8.00	45.00	1.00	
7	8.10	60.00	1.00	

Calculation of average velocity starts at layer # 1

z = -1.00 ... 0.00	v = 4.80	AVEL = 4.80	downto z = 0.00
z = 0.00 ... 5.00	v = 5.00	AVEL = 4.97	downto z = 5.00
z = 5.00 ... 15.00	v = 5.80	AVEL = 5.49	downto z = 15.00
z = 15.00 ... 30.00	v = 6.50	AVEL = 5.98	downto z = 30.00
z = 30.00 ... 45.00	v = 7.90	AVEL = 6.60	downto z = 45.00
z = 45.00 ... 60.00	v = 8.00	AVEL = 6.95	downto z = 60.00

Calculation of average velocity starts at layer # 2

z = 0.00 ... 5.00	v = 5.00	AVEL = 5.00	downto z = 5.00
z = 5.00 ... 15.00	v = 5.80	AVEL = 5.53	downto z = 15.00
z = 15.00 ... 30.00	v = 6.50	AVEL = 6.02	downto z = 30.00
z = 30.00 ... 45.00	v = 7.90	AVEL = 6.64	downto z = 45.00
z = 45.00 ... 60.00	v = 8.00	AVEL = 6.98	downto z = 60.00

INPUT - S T A T I O N S :

Station-parameters read from file :
evora_tt.sta

	stn	latitude	longitude	elev	x	y	z	ptcor	stcor	model
icc										
1	CHI	37.3225N	8.6218W	4791518.31	8.05	-0.48	0.00	0.00	1	
2										
2	DRE	37.1452N	7.9925W	2791464.22	-11.63	-0.28	0.00	0.00	1	
3										
3	MBR	37.3318N	8.4260W	1551500.86	9.08	-0.16	0.00	0.00	1	
10										
4	PTE	37.5455N	8.7242W	1191525.15	32.80	-0.12	0.00	0.00	1	
13										
5	CHI	37.3225N	8.6218W	4791518.31	8.05	-0.48	0.00	0.00	1	
14										
6	DRE	37.1452N	7.9925W	2791464.22	-11.63	-0.28	0.00	0.00	1	
15										
7	FBV	37.2702N	7.9825W	5301462.13	2.24	-0.53	0.00	0.00	1	
16										
8	FMF	37.0993N	7.8298W	3341450.21	-16.73	-0.33	0.00	0.00	1	
17										
9	FPE	37.1325N	8.3190W	451493.33	-13.04	-0.05	0.00	0.00	1	
18										
10	MCT	37.3138N	7.8340W	5421448.54	7.08	-0.54	0.00	0.00	1	
23										
11	MDO	37.4577N	7.9610W	3251458.41	23.05	-0.32	0.00	0.00	1	
24										
12	MJD	37.1213N	8.7200W	621529.04	-14.28	-0.06	0.00	0.00	1	
25										
13	MTA	37.5498N	7.8260W	2951445.57	33.27	-0.29	0.00	0.00	1	
26										
14	MVE	37.1975N	8.7005W	951526.55	-5.83	-0.09	0.00	0.00	1	
28										
15	PVE	37.4387N	8.7597W	771529.37	20.94	-0.08	0.00	0.00	1	
29										
16	SAL	37.5463N	8.3117W	1991488.61	32.88	-0.20	0.00	0.00	1	
30										
17	TEO	37.5468N	8.7278W	01525.45	32.94	0.00	0.00	0.00	1	
31										
18	VAF	37.2012N	8.8823W	331542.64	-5.42	-0.03	0.00	0.00	1	
32										
19	VAP	37.3175N	8.8133W	461535.35	7.49	-0.05	0.00	0.00	1	
33										
20	VCA	37.4465N	8.5867W	1301513.96	21.81	-0.13	0.00	0.00	1	
34										
21	ZBA	37.3228N	8.2005W	1941480.95	8.08	-0.19	0.00	0.00	1	
35										
22	IS1	37.3693N	8.6902W	3141523.91	13.24	-0.31	0.00	0.00	1	
36										
23	IS2	37.3695N	8.5125W	4041508.15	13.26	-0.40	0.00	0.00	1	
37										
24	IS3	37.3632N	8.3290W	1731491.95	12.56	-0.17	0.00	0.00	1	
38										
25	IS4	37.2580N	8.7535W	2561530.64	0.89	-0.26	0.00	0.00	1	
39										

26	IS5	37.2693N	8.5693W	1421514.19	2.14	-0.14	0.00	0.00	1
40									
27	IS6	37.1608N	8.6068W	341518.60	-9.90	-0.03	0.00	0.00	1
41									
28	IS7	37.1593N	8.4020W	411500.43	-10.07	-0.04	0.00	0.00	1
42									
29	BIO	37.2573N	8.4395W	1501502.79	0.81	-0.15	0.00	0.00	1
50									
30	MTX	37.5382N	8.1287W	2821472.49	31.99	-0.28	0.00	0.00	1
27									
31	PFM	37.1005N	7.8285W	1111450.08	-16.59	-0.11	0.00	0.00	1
43									
32	PFB	37.2715N	7.9808W	1111461.96	2.39	-0.11	0.00	0.00	1
44									
33	PFP	37.1347N	8.3178W	1111493.20	-12.80	-0.11	0.00	0.00	1
45									
34	BFS	37.2492N	8.3262W	1111492.82	-0.09	-0.11	0.00	0.00	1
46									
35	CFS	37.4737N	8.4260W	1111499.45	24.83	-0.11	0.00	0.00	1
47									
36	PTE	37.5455N	8.7242W	1191525.15	32.80	-0.12	0.00	0.00	1
13									
37	PFV	37.1328N	8.8268W	1111538.41	-13.01	-0.11	0.00	0.00	1
49									
38	PFF	37.3163N	8.5860W	1111515.20	7.36	-0.11	0.00	0.00	1
48									

NO Seismo-parameter-file specified
--> NO magnitudes calculated!

neqs= 210 nshot= 0 nltot= 7

~~~ input parameters read.  
~~~ set units for first iteration ...  
~~~ determine number of unknowns ...

Number of unknowns (for array-indexing): nvar = 847  
Number of effective unknowns : nvareff = 847  
Number of elements on/below main diagonal of matrix G = At\*A : kvar = 359128

~~~ reset G and RHT ...  
~~~ input data, raytracing, setup G ...

# I N P U T - D A T A

| eq     | origin-time | latitude      | longitude | depth        | x    | y     | z | mag |
|--------|-------------|---------------|-----------|--------------|------|-------|---|-----|
| ifxOBS |             |               |           |              |      |       |   |     |
| 1      | 000214 1902 | 8.04 37.2997N | 8.4928W   | 11.291507.10 | 5.52 | 11.29 |   |     |

|      |        |      |       |          |         |              |        |       |  |
|------|--------|------|-------|----------|---------|--------------|--------|-------|--|
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 2    | 960627 | 2009 | 34.22 | 37.2493N | 8.3947W | 21.131498.90 | -0.08  | 21.13 |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 3    | 960616 | 0940 | 15.68 | 37.3542N | 8.5542W | 13.731512.00 | 11.56  | 13.73 |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 4    | 960623 | 0815 | 13.11 | 37.1743N | 8.6175W | 13.461519.41 | -8.40  | 13.46 |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 5    | 960625 | 1015 | 5.57  | 37.1350N | 8.7122W | 6.151528.21  | -12.76 | 6.15  |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 6    | 960616 | 0658 | 51.39 | 37.2970N | 8.5413W | 8.561511.43  | 5.22   | 8.56  |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 7    | 980308 | 0546 | 5.04  | 37.3237N | 8.5493W | 8.331511.87  | 8.18   | 8.33  |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 8    | 000112 | 0359 | 36.14 | 37.0985N | 7.9717W | 20.611462.82 | -16.81 | 20.61 |  |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |  |
| 9    | 990222 | 1246 | 11.55 | 37.3302N | 8.5675W | 13.171513.42 | 8.90   | 13.17 |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 10   | 980322 | 0020 | 29.62 | 37.3370N | 8.4760W | 11.151505.24 | 9.66   | 11.15 |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 11   | 980326 | 2122 | 43.71 | 37.1620N | 8.5897W | 8.271517.07  | -9.77  | 8.27  |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 12   | 960114 | 1653 | 19.77 | 37.2807N | 8.5108W | 4.081508.89  | 3.41   | 4.08  |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 13   | 960905 | 0246 | 17.88 | 37.3348N | 8.4730W | 13.511505.00 | 9.41   | 13.51 |  |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |  |
| 14   | 980223 | 1152 | 57.13 | 37.3085N | 8.5747W | 15.101514.28 | 6.49   | 15.10 |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 15   | 960803 | 1131 | 58.75 | 37.3487N | 8.8125W | 5.671534.96  | 10.95  | 5.67  |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 16   | 960803 | 0738 | 51.17 | 37.3350N | 8.5535W | 10.851512.13 | 9.43   | 10.85 |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 17   | 960829 | 0338 | 6.02  | 37.2972N | 8.5743W | 9.921514.35  | 5.24   | 9.92  |  |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |  |
| 18   | 980101 | 0958 | 39.21 | 37.3128N | 8.5827W | 8.401514.94  | 6.97   | 8.40  |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 19   | 000223 | 1740 | 12.56 | 37.3117N | 8.5755W | 17.271514.32 | 6.85   | 17.27 |  |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |  |
| 20   | 000213 | 2342 | 0.16  | 37.3252N | 8.3513W | 23.671494.30 | 8.35   | 23.67 |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 21   | 000202 | 1133 | 2.66  | 37.2960N | 8.5597W | 14.251513.07 | 5.11   | 14.25 |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 22   | 000128 | 0542 | 53.86 | 37.2547N | 8.5485W | 16.871512.49 | 0.52   | 16.87 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 23   | 000126 | 0627 | 55.72 | 37.3147N | 8.4933W | 12.181507.00 | 7.18   | 12.18 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 24   | 000125 | 2203 | 7.56  | 37.2950N | 8.5475W | 15.311512.00 | 4.99   | 15.31 |  |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |  |
| 25   | 000121 | 2348 | 14.35 | 37.2193N | 8.2735W | 24.571488.44 | -3.41  | 24.57 |  |
| 0.00 | 0      | 8    |       |          |         |              |        |       |  |
| 26   | 990109 | 0319 | 59.08 | 37.3230N | 8.5263W | 9.701509.84  | 8.10   | 9.70  |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 27   | 990121 | 0229 | 5.10  | 37.2818N | 8.8307W | 17.281537.25 | 3.53   | 17.28 |  |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |  |
| 28   | 970323 | 1343 | 27.62 | 37.2975N | 8.5712W | 12.241514.08 | 5.27   | 12.24 |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 29   | 970322 | 0300 | 31.81 | 37.3042N | 8.5825W | 8.051515.01  | 6.02   | 8.05  |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |



|      |        |      |       |          |         |              |        |       |
|------|--------|------|-------|----------|---------|--------------|--------|-------|
| 30   | 970308 | 2255 | 39.98 | 37.3033N | 8.5697W | 9.621513.89  | 5.92   | 9.62  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |
| 31   | 990910 | 1743 | 58.85 | 37.3230N | 8.5125W | 8.881508.62  | 8.10   | 8.88  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 32   | 990906 | 1333 | 6.50  | 37.3215N | 8.5333W | 9.811510.48  | 7.94   | 9.81  |
| 0.00 | 0      | 8    |       |          |         |              |        |       |
| 33   | 970408 | 2040 | 42.90 | 37.3513N | 8.8292W | 9.991536.41  | 11.24  | 9.99  |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |
| 34   | 970402 | 2237 | 39.83 | 37.3095N | 8.5730W | 7.471514.12  | 6.60   | 7.47  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 35   | 970529 | 0621 | 28.74 | 37.1678N | 8.5395W | 21.411512.55 | -9.12  | 21.41 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 36   | 990915 | 2213 | 3.96  | 37.2863N | 8.5082W | 11.361508.60 | 4.03   | 11.36 |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |
| 37   | 990913 | 0028 | 50.96 | 37.1222N | 8.5840W | 5.381516.96  | -14.18 | 5.38  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |
| 38   | 970421 | 2000 | 21.45 | 37.3380N | 8.4755W | 12.441505.19 | 9.77   | 12.44 |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |
| 39   | 990920 | 0321 | 12.86 | 37.2223N | 8.5822W | 20.821515.80 | -3.07  | 20.82 |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |
| 40   | 990928 | 2217 | 20.25 | 37.3253N | 8.5747W | 12.851514.11 | 8.36   | 12.85 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 41   | 990102 | 0547 | 24.72 | 37.2962N | 8.5217W | 13.501509.70 | 5.13   | 13.50 |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |
| 42   | 980922 | 1424 | 16.84 | 37.2928N | 8.5745W | 8.971514.42  | 4.75   | 8.97  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |
| 43   | 980914 | 0450 | 18.72 | 37.0693N | 8.3837W | 22.981499.69 | -20.05 | 22.98 |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |
| 44   | 000118 | 1432 | 33.50 | 37.1790N | 8.5870W | 9.561516.66  | -7.88  | 9.56  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |
| 45   | 000117 | 0123 | 1.67  | 37.3180N | 8.5428W | 9.011511.35  | 7.55   | 9.01  |
| 0.00 | 0      | 8    |       |          |         |              |        |       |
| 46   | 000107 | 1558 | 1.85  | 37.1988N | 8.3053W | 14.791491.46 | -5.68  | 14.79 |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |
| 47   | 000102 | 2250 | 46.00 | 37.2077N | 8.5420W | 18.931512.38 | -4.69  | 18.93 |
| 0.00 | 0      | 8    |       |          |         |              |        |       |
| 48   | 000105 | 1804 | 50.43 | 37.3202N | 8.5255W | 10.311509.80 | 7.79   | 10.31 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 49   | 970414 | 0053 | 21.37 | 37.3447N | 8.4118W | 19.221499.47 | 10.51  | 19.22 |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |
| 50   | 990622 | 1142 | 4.19  | 37.3093N | 8.5343W | 10.341510.69 | 6.58   | 10.34 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 51   | 990729 | 0400 | 58.81 | 37.1863N | 7.8602W | 7.481452.08  | -7.07  | 7.48  |
| 0.00 | 0      | 8    |       |          |         |              |        |       |
| 52   | 970602 | 0738 | 45.56 | 37.3257N | 8.4937W | 10.021506.92 | 8.40   | 10.02 |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |
| 53   | 000114 | 0431 | 20.66 | 37.1957N | 8.5803W | 20.481515.90 | -6.03  | 20.48 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 54   | 990104 | 1725 | 50.89 | 37.3273N | 8.5165W | 12.171508.93 | 8.58   | 12.17 |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |
| 55   | 990110 | 0548 | 41.13 | 37.2020N | 8.6102W | 13.001518.49 | -5.33  | 13.00 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 56   | 990121 | 1445 | 6.66  | 37.3288N | 8.5670W | 15.441513.39 | 8.75   | 15.44 |
| 0.00 | 0      | 8    |       |          |         |              |        |       |
| 57   | 990131 | 2110 | 47.89 | 37.1258N | 8.6043W | 20.621518.72 | -13.78 | 20.62 |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |
| 58   | 990121 | 0325 | 50.05 | 37.3220N | 8.5253W | 8.811509.76  | 7.99   | 8.81  |

|      |        |      |       |          |         |              |        |       |  |
|------|--------|------|-------|----------|---------|--------------|--------|-------|--|
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 59   | 980601 | 0835 | 27.64 | 37.1713N | 8.5852W | 13.061516.58 | -8.73  | 13.06 |  |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |  |
| 60   | 980604 | 1723 | 16.53 | 37.2978N | 8.5820W | 7.761515.03  | 5.30   | 7.76  |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 61   | 980529 | 1202 | 50.72 | 37.3195N | 8.5698W | 12.191513.73 | 7.71   | 12.19 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 62   | 980530 | 1544 | 26.84 | 37.3362N | 8.4437W | 16.831502.38 | 9.57   | 16.83 |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 63   | 970611 | 2034 | 5.12  | 37.3037N | 8.6185W | 15.551518.21 | 5.96   | 15.55 |  |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |  |
| 64   | 970628 | 0031 | 41.46 | 37.1283N | 8.3983W | 24.351500.41 | -13.51 | 24.35 |  |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |  |
| 65   | 970630 | 1955 | 30.62 | 37.3257N | 8.5043W | 11.561507.86 | 8.40   | 11.56 |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 66   | 970705 | 2050 | 17.79 | 37.3027N | 8.6487W | 14.741520.90 | 5.85   | 14.74 |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 67   | 990228 | 0859 | 31.63 | 37.3122N | 8.6268W | 13.211518.86 | 6.90   | 13.21 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 68   | 980512 | 0114 | 11.19 | 37.3053N | 8.5945W | 13.161516.06 | 6.14   | 13.16 |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 69   | 980404 | 0951 | 18.35 | 37.2207N | 8.5395W | 20.571512.03 | -3.25  | 20.57 |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 70   | 980328 | 1131 | 8.41  | 37.3600N | 8.4310W | 12.611501.02 | 12.21  | 12.61 |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 71   | 980419 | 1957 | 14.77 | 37.3257N | 8.5297W | 10.921510.11 | 8.40   | 10.92 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 72   | 980507 | 0448 | 43.17 | 37.2933N | 8.5488W | 6.691512.13  | 4.81   | 6.69  |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 73   | 000717 | 0334 | 44.94 | 37.3228N | 8.5702W | 11.671513.73 | 8.08   | 11.67 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 74   | 000718 | 1022 | 1.11  | 37.3033N | 8.5643W | 13.401513.41 | 5.92   | 13.40 |  |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |  |
| 75   | 000730 | 1801 | 37.82 | 37.3197N | 8.5472W | 10.081511.73 | 7.74   | 10.08 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 76   | 000816 | 0427 | 49.15 | 37.3207N | 8.5790W | 15.931514.54 | 7.85   | 15.93 |  |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |  |
| 77   | 000826 | 0320 | 32.06 | 37.3062N | 8.5725W | 16.051514.10 | 6.24   | 16.05 |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 78   | 000826 | 0527 | 50.66 | 37.3405N | 8.4448W | 12.291502.44 | 10.04  | 12.29 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 79   | 000908 | 1022 | 56.78 | 37.1783N | 8.5783W | 0.431515.89  | -7.96  | 0.43  |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 80   | 000915 | 0240 | 45.28 | 37.3283N | 8.5408W | 14.951511.07 | 8.69   | 14.95 |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 81   | 000915 | 0915 | 5.54  | 37.3322N | 8.5640W | 13.431513.09 | 9.12   | 13.43 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 82   | 970912 | 0204 | 33.14 | 37.3063N | 8.5288W | 9.521510.23  | 6.25   | 9.52  |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 83   | 000502 | 2111 | 20.22 | 37.3067N | 8.5370W | 11.911510.95 | 6.29   | 11.91 |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 84   | 970901 | 2141 | 26.15 | 37.3327N | 8.4870W | 10.201506.26 | 9.18   | 10.20 |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 85   | 970829 | 2024 | 57.91 | 37.3293N | 8.4895W | 14.411506.51 | 8.80   | 14.41 |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 86   | 970911 | 1954 | 2.16  | 37.2478N | 8.6463W | 22.011521.23 | -0.24  | 22.01 |  |
| 0.00 | 0      | 8    |       |          |         |              |        |       |  |

|      |        |      |       |          |         |              |        |       |
|------|--------|------|-------|----------|---------|--------------|--------|-------|
| 87   | 970825 | 0626 | 3.56  | 37.1123N | 7.9515W | 17.171460.89 | -15.28 | 17.17 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 88   | 980217 | 0322 | 40.44 | 37.3270N | 8.4983W | 14.051507.32 | 8.55   | 14.05 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 89   | 990110 | 2218 | 51.70 | 37.2310N | 8.5863W | 18.571516.08 | -2.11  | 18.57 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 90   | 990614 | 0613 | 31.30 | 37.2903N | 8.5707W | 9.901514.10  | 4.47   | 9.90  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 91   | 990602 | 1621 | 55.68 | 37.3082N | 8.6297W | 11.871519.16 | 6.46   | 11.87 |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |
| 92   | 990611 | 1909 | 16.89 | 37.3275N | 8.5515W | 7.251512.03  | 8.60   | 7.25  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |
| 93   | 990611 | 2145 | 53.63 | 37.3252N | 8.5460W | 6.331511.56  | 8.35   | 6.33  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |
| 94   | 990602 | 0355 | 29.76 | 37.3182N | 8.5768W | 7.751514.37  | 7.57   | 7.75  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |
| 95   | 000923 | 0712 | 38.28 | 37.2533N | 8.5710W | 8.271514.50  | 0.37   | 8.27  |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |
| 96   | 000917 | 0529 | 56.73 | 37.3300N | 8.4932W | 12.511506.84 | 8.88   | 12.51 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 97   | 000101 | 1942 | 12.21 | 37.3207N | 8.5270W | 11.931509.92 | 7.85   | 11.93 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 98   | 000928 | 0412 | 52.08 | 37.3212N | 8.5092W | 11.871508.34 | 7.90   | 11.87 |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |
| 99   | 000928 | 0314 | 23.43 | 37.2920N | 8.5047W | 7.901508.23  | 4.66   | 7.90  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 100  | 000928 | 0304 | 50.83 | 37.3332N | 8.4953W | 12.061506.99 | 9.23   | 12.06 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 101  | 000114 | 0316 | 54.32 | 37.3297N | 8.5110W | 12.641508.42 | 8.85   | 12.64 |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |
| 102  | 980220 | 1520 | 24.44 | 37.3027N | 8.5403W | 10.491511.28 | 5.85   | 10.49 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 103  | 980202 | 0002 | 41.66 | 37.3038N | 8.6223W | 12.971518.54 | 5.97   | 12.97 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 104  | 980205 | 1054 | 35.12 | 37.3152N | 8.6220W | 8.121518.40  | 7.24   | 8.12  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |
| 105  | 000115 | 1107 | 13.50 | 37.3238N | 8.5120W | 12.721508.56 | 8.19   | 12.72 |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |
| 106  | 970930 | 1655 | 31.41 | 37.2312N | 8.6090W | 18.341518.09 | -2.09  | 18.34 |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |
| 107  | 970109 | 1834 | 42.49 | 37.1963N | 8.4183W | 23.501501.51 | -5.96  | 23.50 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 108  | 970927 | 0714 | 56.01 | 37.0895N | 8.1488W | 21.291478.63 | -17.81 | 21.29 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 109  | 970116 | 0907 | 28.49 | 37.3362N | 8.4725W | 13.521504.94 | 9.57   | 13.52 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 110  | 970414 | 0027 | 35.21 | 37.3515N | 8.4115W | 18.541499.38 | 11.26  | 18.54 |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |
| 111  | 990523 | 0610 | 54.05 | 37.2905N | 8.5578W | 8.061512.96  | 4.49   | 8.06  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 112  | 990519 | 0234 | 50.75 | 37.3000N | 8.5262W | 12.171510.06 | 5.55   | 12.17 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 113  | 990509 | 0623 | 29.52 | 37.3347N | 8.4563W | 13.961503.52 | 9.40   | 13.96 |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |
| 114  | 990429 | 0009 | 4.19  | 37.2353N | 8.5753W | 15.261515.06 | -1.63  | 15.26 |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |
| 115  | 990420 | 0533 | 6.53  | 37.3050N | 8.5855W | 13.291515.27 | 6.10   | 13.29 |

|      |        |      |       |          |         |              |        |       |  |
|------|--------|------|-------|----------|---------|--------------|--------|-------|--|
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 116  | 990414 | 0126 | 2.26  | 37.3068N | 8.6133W | 11.021517.72 | 6.30   | 11.02 |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 117  | 000331 | 0055 | 16.87 | 37.3265N | 8.5175W | 12.131509.02 | 8.49   | 12.13 |  |
| 0.00 | 0      | 8    |       |          |         |              |        |       |  |
| 118  | 000324 | 0935 | 52.13 | 37.3065N | 8.6210W | 13.901518.40 | 6.27   | 13.90 |  |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |  |
| 119  | 000318 | 1225 | 30.43 | 37.2923N | 8.6132W | 13.051517.85 | 4.69   | 13.05 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 120  | 000403 | 2344 | 5.97  | 37.3902N | 8.5408W | 15.451510.46 | 15.56  | 15.45 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 121  | 000407 | 1029 | 53.19 | 37.3158N | 8.5510W | 6.851512.10  | 7.30   | 6.85  |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 122  | 970824 | 1936 | 49.41 | 37.3147N | 8.5448W | 13.621511.56 | 7.18   | 13.62 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 123  | 000713 | 2134 | 15.65 | 37.3268N | 8.5022W | 14.371507.67 | 8.52   | 14.37 |  |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |  |
| 124  | 990308 | 1322 | 58.96 | 37.3505N | 8.8083W | 3.771534.57  | 11.15  | 3.77  |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 125  | 000409 | 0037 | 51.33 | 37.3167N | 8.5500W | 7.001512.00  | 7.40   | 7.00  |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 126  | 000418 | 1942 | 2.82  | 37.1950N | 8.5995W | 10.351517.61 | -6.10  | 10.35 |  |
| 0.00 | 0      | 8    |       |          |         |              |        |       |  |
| 127  | 000426 | 0720 | 11.79 | 37.3237N | 8.5078W | 6.391508.19  | 8.18   | 6.39  |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 128  | 000424 | 1459 | 44.28 | 37.3302N | 8.5542W | 8.351512.24  | 8.90   | 8.35  |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 129  | 000430 | 1158 | 53.06 | 37.3190N | 8.5647W | 12.551513.29 | 7.66   | 12.55 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 130  | 000429 | 0943 | 17.38 | 37.3440N | 8.4998W | 14.621507.28 | 10.43  | 14.62 |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 131  | 960520 | 0120 | 16.19 | 37.3633N | 8.5247W | 16.851509.30 | 12.57  | 16.85 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 132  | 960423 | 2300 | 29.58 | 37.2687N | 7.8957W | 16.411454.44 | 2.08   | 16.41 |  |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |         |              |        |       |  |
| 133  | 990128 | 0329 | 2.45  | 37.3055N | 8.6055W | 14.761517.04 | 6.16   | 14.76 |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 134  | 990125 | 1616 | 51.37 | 37.3310N | 8.5412W | 12.531511.08 | 8.99   | 12.53 |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 135  | 060116 | 1143 | 6.18  | 37.1273N | 8.5815W | 2.091516.69  | -13.62 | 2.09  |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 136  | 060116 | 1221 | 0.44  | 37.1273N | 8.5815W | 5.001516.69  | -13.62 | 5.00  |  |
| 0.00 | 0      | 2    |       |          |         |              |        |       |  |
| 137  | 060116 | 0614 | 13.23 | 37.3047N | 8.5305W | 10.951510.39 | 6.07   | 10.95 |  |
| 0.00 | 0      | 13   |       |          |         |              |        |       |  |
| 138  | 060114 | 2134 | 14.92 | 37.5562N | 7.9415W | 3.081455.74  | 33.98  | 3.08  |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 139  | 060208 | 1826 | 3.87  | 36.8938N | 8.8427W | 23.491542.24 | -39.53 | 23.49 |  |
| 0.00 | 0      | 12   |       |          |         |              |        |       |  |
| 140  | 060403 | 1320 | 10.37 | 37.5708N | 8.0265W | 2.531463.12  | 35.60  | 2.53  |  |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |         |              |        |       |  |
| 141  | 060410 | 0144 | 11.76 | 37.4165N | 7.8605W | 14.051449.90 | 18.48  | 14.05 |  |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |         |              |        |       |  |
| 142  | 060119 | 1520 | 58.33 | 37.0310N | 9.0878W | 29.261562.63 | -24.31 | 29.26 |  |
| 0.00 | 0      | 10   |       |          |         |              |        |       |  |
| 143  | 060119 | 0100 | 10.28 | 36.7612N | 7.7032W | 12.051442.15 | -54.25 | 12.05 |  |
| 0.00 | 0      | 11   |       |          |         |              |        |       |  |

|      |        |      |       |          |          |                     |       |
|------|--------|------|-------|----------|----------|---------------------|-------|
| 144  | 060116 | 1241 | 23.97 | 35.8148N | 10.0278W | 6.231659.17-159.28  | 6.23  |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |          |                     |       |
| 145  | 060116 | 1241 | 44.01 | 36.9803N | 9.1150W  | 29.361565.56 -29.93 | 29.36 |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |          |                     |       |
| 146  | 060117 | 2153 | 24.00 | 37.5432N | 7.9605W  | 8.511457.55 32.54   | 8.51  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |          |                     |       |
| 147  | 060118 | 0038 | 52.12 | 37.2623N | 8.4922W  | 5.001507.42 1.36    | 5.00  |
| 0.00 | 0      | 1    |       |          |          |                     |       |
| 148  | 060413 | 1237 | 11.11 | 37.5755N | 7.9515W  | 5.321456.44 36.12   | 5.32  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |          |                     |       |
| 149  | 060122 | 1627 | 56.34 | 37.4360N | 7.8267W  | 5.001446.72 20.64   | 5.00  |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |          |                     |       |
| 150  | 060122 | 1628 | 1.10  | 37.5248N | 8.4883W  | 10.881504.46 30.50  | 10.88 |
| 0.00 | 0      | 10   |       |          |          |                     |       |
| 151  | 060120 | 1329 | 59.34 | 36.9380N | 9.1665W  | 29.671570.58 -34.63 | 29.67 |
| 0.00 | 0      | 11   |       |          |          |                     |       |
| 152  | 060119 | 2102 | 33.81 | 36.7105N | 9.1768W  | 32.321573.83 -59.88 | 32.32 |
| 0.00 | 0      | 9    |       |          |          |                     |       |
| 153  | 060119 | 2143 | 20.01 | 37.5657N | 7.9322W  | 3.081454.82 35.04   | 3.08  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |          |                     |       |
| 154  | 060402 | 0646 | 44.43 | 37.8043N | 7.5577W  | 7.321419.42 61.52   | 7.32  |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |          |                     |       |
| 155  | 060122 | 2207 | 49.54 | 36.4978N | 7.8828W  | 6.881460.64 -83.48  | 6.88  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |          |                     |       |
| 156  | 060124 | 0559 | 43.29 | 37.5762N | 7.9215W  | 4.211453.78 36.20   | 4.21  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |          |                     |       |
| 157  | 060123 | 2134 | 13.94 | 37.5638N | 8.0088W  | 8.551461.62 34.83   | 8.55  |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |          |                     |       |
| 158  | 060403 | 1320 | 8.60  | 37.5973N | 7.9177W  | 3.281453.24 38.54   | 3.28  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |          |                     |       |
| 159  | 060403 | 2039 | 34.31 | 37.5973N | 7.9177W  | 5.001453.24 38.54   | 5.00  |
| 0.00 | 0      | 2    |       |          |          |                     |       |
| 160  | 060405 | 0439 | 40.54 | 37.4663N | 7.9908W  | 5.841460.97 24.01   | 5.84  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |          |                     |       |
| 161  | 060404 | 2043 | 15.74 | 37.5578N | 7.9837W  | 3.151459.46 34.16   | 3.15  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |          |                     |       |
| 162  | 060405 | 0103 | 52.35 | 36.8938N | 7.9808W  | 12.581465.59 -39.53 | 12.58 |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |          |                     |       |
| 163  | 060405 | 1723 | 18.45 | 37.4663N | 7.9908W  | 5.001460.97 24.01   | 5.00  |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |          |                     |       |
| 164  | 060405 | 2129 | 33.21 | 37.5610N | 7.9792W  | 3.021459.03 34.52   | 3.02  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |          |                     |       |
| 165  | 060224 | 0700 | 58.19 | 36.5722N | 9.1697W  | 52.481574.61 -75.22 | 52.48 |
| 0.00 | 0      | 7    |       |          |          |                     |       |
| 166  | 060228 | 0828 | 53.26 | 37.2233N | 8.6105W  | 5.001518.30 -2.96   | 5.00  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |          |                     |       |
| 167  | 060227 | 1052 | 3.58  | 37.1350N | 8.8163W  | 4.521537.46 -12.76  | 4.52  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |          |                     |       |
| 168  | 060225 | 0308 | 11.54 | 38.1988N | 8.0573W  | 4.811459.73 105.30  | 4.81  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |          |                     |       |
| 169  | 060123 | 1352 | 51.44 | 37.5833N | 7.9560W  | 3.081456.76 36.99   | 3.08  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |          |                     |       |
| 170  | 060328 | 0452 | 8.50  | 37.5200N | 7.9903W  | 4.261460.41 29.97   | 4.26  |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |          |                     |       |
| 171  | 060123 | 2110 | 8.55  | 37.3053N | 8.4767W  | 7.211505.62 6.14    | 7.21  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |          |                     |       |
| 172  | 060331 | 0357 | 9.75  | 36.4240N | 8.4127W  | 4.951508.60 -91.67  | 4.95  |



|      |        |      |       |          |         |              |        |       |  |
|------|--------|------|-------|----------|---------|--------------|--------|-------|--|
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |         |              |        |       |  |
| 173  | 060124 | 1331 | 3.19  | 36.8880N | 8.8385W | 7.341541.92  | -40.18 | 7.34  |  |
| 0.00 | 0      | 9    |       |          |         |              |        |       |  |
| 174  | 060411 | 1913 | 58.24 | 36.9780N | 8.5087W | 3.881511.70  | -30.19 | 3.88  |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 175  | 060406 | 0431 | 23.01 | 37.5110N | 8.0578W | 5.001466.47  | 28.97  | 5.00  |  |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |         |              |        |       |  |
| 176  | 060408 | 0452 | 7.77  | 37.5638N | 7.9900W | 6.631459.96  | 34.83  | 6.63  |  |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |         |              |        |       |  |
| 177  | 060219 | 1823 | 57.84 | 37.3205N | 8.5570W | 18.951512.59 | 7.82   | 18.95 |  |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |         |              |        |       |  |
| 178  | 060219 | 0657 | 10.95 | 37.2467N | 7.8760W | 12.931452.90 | -0.37  | 12.93 |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 179  | 060217 | 0414 | 58.03 | 37.4260N | 8.4220W | 8.411499.57  | 19.53  | 8.41  |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 180  | 060125 | 0909 | 3.87  | 36.6213N | 7.8708W | 10.721458.40 | -69.77 | 10.72 |  |
| 0.00 | 0      | 8    |       |          |         |              |        |       |  |
| 181  | 060125 | 1331 | 24.67 | 37.6093N | 7.9372W | 3.281454.85  | 39.88  | 3.28  |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 182  | 060125 | 1615 | 10.07 | 37.0703N | 9.0613W | 28.781559.87 | -19.94 | 28.78 |  |
| 0.00 | 0      | 9    |       |          |         |              |        |       |  |
| 183  | 060126 | 0558 | 12.42 | 37.5618N | 7.9978W | 4.771460.67  | 34.60  | 4.77  |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 184  | 060126 | 2210 | 53.17 | 37.5430N | 7.9955W | 3.411460.65  | 32.52  | 3.41  |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 185  | 060403 | 0552 | 14.63 | 37.1358N | 8.7175W | 18.521528.68 | -12.67 | 18.52 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 186  | 060213 | 1340 | 21.69 | 37.5160N | 7.9465W | 8.531456.57  | 29.52  | 8.53  |  |
| 0.00 | 0      | 2    |       |          |         |              |        |       |  |
| 187  | 060130 | 1817 | 52.16 | 37.0628N | 7.9157W | 12.111458.19 | -20.78 | 12.11 |  |
| 0.00 | 0      | 5    |       |          |         |              |        |       |  |
| 188  | 060128 | 2041 | 21.68 | 37.2653N | 8.8768W | 12.481541.51 | 1.70   | 12.48 |  |
| 0.00 | 0      | 8    |       |          |         |              |        |       |  |
| 189  | 060131 | 2140 | 53.51 | 37.5807N | 7.9273W | 5.181454.25  | 36.70  | 5.18  |  |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |         |              |        |       |  |
| 190  | 060131 | 1231 | 8.31  | 36.8678N | 9.1880W | 33.111573.21 | -42.42 | 33.11 |  |
| 0.00 | 0      | 11   |       |          |         |              |        |       |  |
| 191  | 060201 | 2316 | 32.47 | 37.3288N | 8.5343W | 4.101510.49  | 8.75   | 4.10  |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 192  | 060131 | 2355 | 38.89 | 37.0513N | 9.0887W | 31.431562.50 | -22.05 | 31.43 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 193  | 060131 | 2356 | 9.35  | 37.4055N | 8.2493W | 4.981484.47  | 17.26  | 4.98  |  |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |         |              |        |       |  |
| 194  | 060420 | 2351 | 5.12  | 37.2615N | 8.4298W | 20.391501.89 | 1.28   | 20.39 |  |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |         |              |        |       |  |
| 195  | 060420 | 2351 | 5.12  | 37.2615N | 8.4298W | 20.391501.89 | 1.28   | 20.39 |  |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |         |              |        |       |  |
| 196  | 060206 | 0250 | 48.91 | 37.0635N | 8.9698W | 27.991551.81 | -20.70 | 27.99 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 197  | 060113 | 2329 | 51.41 | 37.3192N | 8.5315W | 4.731510.34  | 7.68   | 4.73  |  |
| 0.00 | 0      | 4    |       |          |         |              |        |       |  |
| 198  | 060113 | 0837 | 14.21 | 37.1072N | 8.7718W | 11.561533.78 | -15.85 | 11.56 |  |
| 0.00 | 0      | 6    |       |          |         |              |        |       |  |
| 199  | 060113 | 1337 | 36.98 | 37.4850N | 8.0263W | 10.751463.94 | 26.08  | 10.75 |  |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |         |              |        |       |  |
| 200  | 060413 | 1036 | 54.54 | 37.2740N | 8.7087W | 5.001526.51  | 2.66   | 5.00  |  |
| 0.00 | 0      | 2    |       |          |         |              |        |       |  |

|      |        |      |       |          |          |             |         |      |
|------|--------|------|-------|----------|----------|-------------|---------|------|
| 201  | 060414 | 0040 | 39.73 | 36.9925N | 8.8145W  | 5.041538.73 | -28.58  | 5.04 |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |          |             |         |      |
| 202  | 060411 | 2208 | 9.12  | 36.1862N | 10.4838W | 9.271695.95 | -118.06 | 9.27 |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |          |             |         |      |
| 203  | 060508 | 1154 | 9.16  | 37.3368N | 8.6493W  | 3.631520.61 | 9.63    | 3.63 |
| 0.00 | 0      | 2    |       |          |          |             |         |      |
| 204  | 060511 | 1442 | 11.68 | 37.3580N | 8.5025W  | 4.991507.38 | 11.99   | 4.99 |
| 0.00 | 0      | 2    |       |          |          |             |         |      |
| 205  | 060525 | 1032 | 38.88 | 37.3737N | 8.5080W  | 5.001507.71 | 13.73   | 5.00 |
| 0.00 | 0      | 2    |       |          |          |             |         |      |
| 206  | 060528 | 2155 | 9.59  | 37.3652N | 8.6835W  | 4.981523.36 | 12.79   | 4.98 |
| 0.00 | 0      | 2    |       |          |          |             |         |      |
| 207  | 060326 | 0238 | 12.16 | 37.0130N | 8.5672W  | 4.901516.55 | -26.30  | 4.90 |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |          |             |         |      |
| 208  | 060328 | 1605 | 17.34 | 37.3825N | 8.8153W  | 4.981534.87 | 14.71   | 4.98 |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |          |             |         |      |
| 209  | 060316 | 0657 | 30.49 | 37.3268N | 8.5118W  | 5.001508.52 | 8.52    | 5.00 |
| 0.00 | 0      | 2    |       |          |          |             |         |      |
| 210  | 060318 | 1440 | 51.92 | 37.2913N | 8.7502W  | 4.281530.01 | 4.58    | 4.28 |
| 0.00 | 0      | 3    |       |          |          |             |         |      |

readings for station DRE : 7  
 readings for station PTE : 50  
 readings for station MCT : 16  
 readings for station MDO : 47  
 readings for station MJD : 30  
 readings for station MTA : 15  
 readings for station MVE : 18  
 readings for station PVE : 15  
 readings for station SAL : 36  
 readings for station VAF : 14  
 readings for station VAP : 4  
 readings for station VCA : 37  
 readings for station ZBA : 23  
 readings for station IS1 : 6  
 readings for station IS2 : 9  
 readings for station IS3 : 2  
 readings for station IS4 : 6  
 readings for station IS5 : 4  
 readings for station BIO : 33  
 readings for station MTX : 47  
 readings for station PFM : 23  
 readings for station PFB : 69  
 readings for station PFP : 103  
 readings for station BFS : 122  
 readings for station CFS : 125  
 readings for station PFV : 120  
 readings for station PFF : 133

Total number of stations with readings: 27

Total number of readings: 1114  
 Total number of P readings: 0  
 Total number of S readings: 0

~~~ store parts of G ...

Total number of observations is: 1114

| | | | | | | | | | | |
|--------|-----|-----|--------|------|-------|---|-------|------|---|----|
| Event# | 79 | >>> | 000908 | 1022 | AVRES | = | -1.09 | NOBS | = | 5 |
| Event# | 136 | >>> | 060116 | 1221 | AVRES | = | -1.16 | NOBS | = | 2 |
| Event# | 137 | >>> | 060116 | 0614 | AVRES | = | -1.31 | NOBS | = | 13 |
| Event# | 144 | >>> | 060116 | 1241 | AVRES | = | -1.96 | NOBS | = | 3 |
| Event# | 159 | >>> | 060403 | 2039 | AVRES | = | -1.47 | NOBS | = | 2 |
| Event# | 166 | >>> | 060228 | 0828 | AVRES | = | -1.06 | NOBS | = | 4 |
| Event# | 168 | >>> | 060225 | 0308 | AVRES | = | -1.69 | NOBS | = | 6 |
| Event# | 202 | >>> | 060411 | 2208 | AVRES | = | -1.43 | NOBS | = | 3 |

```

~~~ save initial datvar ...

```

```
After 0 iterations we got:
Average absolute & unweighted [and mean] residual of
 907 straight and direct rays = 0.55771 [ -0.47877]
 207 refracted rays = 1.07526 [ -0.46590]
 0 reflected rays = 0.00000 [ 0.00000]
```

ITERATION no 5

```

Number of unknowns (for array-indexing):  nvar = 847
Number of effective unknowns              :  nvareff = 874
Number of elements on/below main diagonal of matrix G = At*A :  kvar =
359128

```

```

~~~ damp G ...
~~~ solve G * b = RHT ...
~~~ fix units ...
~~~ apply eventually step-length damping ...
~~~ adjust model (hypocenters, stacorr & veloc.) ...

```

99

```

WARNING: Tried to introduce a low-velocity-layer! (Layer 6)
Setting DVP from 0.00 to 0.0 and VP to vp(layer_above)+0.001
WARNING: Tried to introduce a low-velocity-layer! (Layer 7)
Setting DVP from 0.00 to 0.0 and VP to vp(layer_above)+0.001
~~~ compute effective step-length ...

(Applied) Step length = 40.131

~~~ set units for next iteration ...
~~~ determine number of unknowns for next iter. ...

Number of unknowns (for array-indexing): nvar = 847
Number of effective unknowns           : nvareff = 874
Number of elements on/below main diagonal of matrix G = At*A : kvar =
359128

~~~ reset G and RHT ...
~~~ raytracing, setup G ...
~~~ store parts of G ...
~~~ set units back for current iteration ...
~~~ determine number of unknowns for this iter. ...

Number of unknowns (for array-indexing): nvar = 847
Number of effective unknowns           : nvareff = 874
Number of elements on/below main diagonal of matrix G = At*A : kvar =
359128

~~~ compute RMS and DATVAR ...

$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
Events with | AVRES | > 1.0 SEC are suspicious !

ZERO events of this kind found! (lucky guy!!!)

A V E R A G E   of ADJUSTMENTS :                -0.217  0.118 -0.072
0.561
A V E R A G E   of ABSOLUTE ADJUSTMENTS :                0.224  0.540  0.374
0.760

NO step length damping applied

Velocity adjustments:
  vp   dvp   hp   reflector
Velocity model  1
  5.181  0.150  -1.000
  5.302 -0.084   0.000
  5.708 -0.177   5.000
  6.763 -0.192  15.000
  8.679  0.163  30.000
  8.680  0.000  45.000
  8.681  0.000  60.000

Calculation of average velocity starts at layer #          1
z = -1.00 ... 0.00   v = 5.18   AVEL = 5.18 downto z = 0.00
z = 0.00 ... 5.00   v = 5.30   AVEL = 5.28 downto z = 5.00

```

```

z = 5.00 ... 15.00    v = 5.71    AVEL = 5.55 downto z = 15.00
z = 15.00 ... 30.00    v = 6.76    AVEL = 6.14 downto z = 30.00
z = 30.00 ... 45.00    v = 8.68    AVEL = 6.97 downto z = 45.00
z = 45.00 ... 60.00    v = 8.68    AVEL = 7.39 downto z = 60.00

```

```

Calculation of average velocity starts at layer #      2
z = 0.00 ... 5.00    v = 5.30    AVEL = 5.30 downto z = 5.00
z = 5.00 ... 15.00    v = 5.71    AVEL = 5.57 downto z = 15.00
z = 15.00 ... 30.00    v = 6.76    AVEL = 6.17 downto z = 30.00
z = 30.00 ... 45.00    v = 8.68    AVEL = 7.00 downto z = 45.00
z = 45.00 ... 60.00    v = 8.68    AVEL = 7.42 downto z = 60.00

```

```

~~~ another iteration? ...
NITT = ITTMAX --> stop iterations.
~~~ final solution reached ...

```

```

~~~ damp G & Chol.-Decomp.: NOT made (switch iresolcalc is NOT set !)

```

```

Final rms values:  0.11 0.12 0.23 0.25 0.19 0.11 0.08 0.09 0.02 0.14
                   0.11 0.17 0.10 0.07 0.09 0.13 0.17 0.11 0.09 0.07
                   0.06 0.06 0.07 0.08 0.11 0.12 0.15 0.03 0.11 0.14
                   0.12 0.25 0.04 0.07 0.05 0.07 0.12 0.12 0.15 0.11
                   0.10 0.08 0.07 0.08 0.27 0.12 0.09 0.10 0.13 0.07
                   0.16 0.11 0.14 0.11 0.09 0.19 0.05 0.11 0.12 0.07
                   0.13 0.06 0.14 0.10 0.12 0.06 0.08 0.11 0.05 0.05
                   0.15 0.08 0.16 0.12 0.12 0.11 0.06 0.08 0.17 0.01
                   0.16 0.07 0.01 0.02 0.04 0.14 0.36 0.10 0.10 0.06
                   0.05 0.02 0.08 0.10 0.10 0.12 0.10 0.08 0.12 0.10
                   0.14 0.08 0.06 0.10 0.15 0.07 0.15 0.03 0.12 0.12
                   0.07 0.13 0.10 0.12 0.12 0.08 0.18 0.13 0.09 0.10
                   0.09 0.12 0.11 0.15 0.07 0.19 0.02 0.02 0.09 0.02
                   0.28 0.17 0.09 0.03 0.19 0.06 3.24 0.16 0.58 0.06
                   0.62 0.09 0.20 0.36 0.04 0.05 0.00 0.34 0.00 2.33
                   0.20 0.17 0.09 0.53 0.19 0.35 0.13 0.96 0.06 0.47
                   0.14 0.11 0.18 0.75 0.58 0.18 0.30 2.25 0.06 0.04
                   0.17 0.14 0.55 0.07 0.17 0.07 0.02 0.38 0.19 1.86
                   0.07 0.11 0.15 2.62 0.42 0.02 0.23 0.38 0.09 0.19
                   0.52 0.11 0.79 0.17 0.17 0.45 0.05 0.36 0.21 0.02
                   0.74 0.12 0.01 0.05 0.06 0.03 0.29 0.23 0.03 0.16

```

```

~~~ output final hypocenters ...

```

| | date | origin | latitude | longitude | depth | mag | no | rms | x |
|-------|--------|--------|----------|-----------|---------|-------|------|-----|---------------|
| Y | | | | | | | | | |
| | z | | | | | | | | |
| 1 | 000214 | 1902 | 7.33 | 37.3073N | 8.5081W | 13.65 | 0.00 | 5 | 0.106 1508.38 |
| 6.35 | 13.65 | | | | | | | | |
| 2 | 960627 | 2009 | 34.08 | 37.2618N | 8.3931W | 22.45 | 0.00 | 4 | 0.117 1498.63 |
| 1.31 | 22.45 | | | | | | | | |
| 3 | 960616 | 0940 | 15.20 | 37.3591N | 8.5821W | 13.59 | 0.00 | 5 | 0.227 1514.43 |
| 12.11 | 13.59 | | | | | | | | |
| 4 | 960623 | 0815 | 12.46 | 37.1886N | 8.6418W | 14.55 | 0.00 | 5 | 0.246 1521.43 |
| -6.81 | 14.55 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|------|-------|----------|---------|-------|------|---|-------|---------|---|
| 5 | 960625 | 1015 | 4.90 | 37.1524N | 8.6910W | 6.95 | 0.00 | 5 | 0.185 | 1526.15 | - |
| 10.83 | 6.95 | | | | | | | | | | |
| 6 | 960616 | 0658 | 50.43 | 37.3129N | 8.5494W | 13.25 | 0.00 | 4 | 0.112 | 1511.99 | |
| 6.98 | 13.25 | | | | | | | | | | |
| 7 | 980308 | 0546 | 4.26 | 37.3262N | 8.5616W | 12.02 | 0.00 | 5 | 0.075 | 1512.94 | |
| 8.45 | 12.02 | | | | | | | | | | |
| 8 | 000112 | 0359 | 36.23 | 37.0915N | 7.9705W | 17.80 | 0.00 | 7 | 0.090 | 1462.78 | - |
| 17.59 | 17.80 | | | | | | | | | | |
| 9 | 990222 | 1246 | 11.29 | 37.3375N | 8.5495W | 13.23 | 0.00 | 4 | 0.021 | 1511.75 | |
| 9.72 | 13.23 | | | | | | | | | | |
| 10 | 980322 | 0020 | 28.89 | 37.3387N | 8.4873W | 14.16 | 0.00 | 5 | 0.135 | 1506.22 | |
| 9.85 | 14.16 | | | | | | | | | | |
| 11 | 980326 | 2122 | 43.13 | 37.1710N | 8.5882W | 9.51 | 0.00 | 5 | 0.107 | 1516.85 | |
| -8.77 | 9.51 | | | | | | | | | | |
| 12 | 960114 | 1653 | 19.07 | 37.2609N | 8.5136W | 5.67 | 0.00 | 5 | 0.172 | 1509.33 | |
| 1.21 | 5.67 | | | | | | | | | | |
| 13 | 960905 | 0246 | 17.36 | 37.3373N | 8.4817W | 15.10 | 0.00 | 7 | 0.104 | 1505.74 | |
| 9.69 | 15.10 | | | | | | | | | | |
| 14 | 980223 | 1152 | 56.67 | 37.3052N | 8.5738W | 15.78 | 0.00 | 5 | 0.071 | 1514.23 | |
| 6.12 | 15.78 | | | | | | | | | | |
| 15 | 960803 | 1131 | 58.06 | 37.3553N | 8.8150W | 5.86 | 0.00 | 5 | 0.088 | 1535.11 | |
| 11.69 | 5.86 | | | | | | | | | | |
| 16 | 960803 | 0738 | 50.43 | 37.3349N | 8.5628W | 14.18 | 0.00 | 5 | 0.129 | 1512.96 | |
| 9.42 | 14.18 | | | | | | | | | | |
| 17 | 960829 | 0338 | 5.39 | 37.2905N | 8.5728W | 11.47 | 0.00 | 7 | 0.170 | 1514.29 | |
| 4.49 | 11.47 | | | | | | | | | | |
| 18 | 980101 | 0958 | 38.49 | 37.3055N | 8.5838W | 11.60 | 0.00 | 5 | 0.110 | 1515.11 | |
| 6.16 | 11.60 | | | | | | | | | | |
| 19 | 000223 | 1740 | 12.25 | 37.3072N | 8.5846W | 16.86 | 0.00 | 7 | 0.089 | 1515.17 | |
| 6.35 | 16.86 | | | | | | | | | | |
| 20 | 000213 | 2341 | 59.90 | 37.3186N | 8.3636W | 25.55 | 0.00 | 5 | 0.067 | 1495.45 | |
| 7.61 | 25.55 | | | | | | | | | | |
| 21 | 000202 | 1133 | 2.06 | 37.3034N | 8.5714W | 15.86 | 0.00 | 5 | 0.056 | 1514.03 | |
| 5.93 | 15.86 | | | | | | | | | | |
| 22 | 000128 | 0542 | 53.36 | 37.2617N | 8.5578W | 18.89 | 0.00 | 6 | 0.056 | 1513.24 | |
| 1.29 | 18.89 | | | | | | | | | | |
| 23 | 000126 | 0627 | 55.02 | 37.3213N | 8.5037W | 14.82 | 0.00 | 6 | 0.072 | 1507.85 | |
| 7.92 | 14.82 | | | | | | | | | | |
| 24 | 000125 | 2203 | 7.14 | 37.2916N | 8.5492W | 15.77 | 0.00 | 7 | 0.084 | 1512.19 | |
| 4.61 | 15.77 | | | | | | | | | | |
| 25 | 000121 | 2348 | 14.35 | 37.2101N | 8.2741W | 24.10 | 0.00 | 8 | 0.112 | 1488.58 | |
| -4.43 | 24.10 | | | | | | | | | | |
| 26 | 990109 | 0319 | 58.33 | 37.3273N | 8.5395W | 12.85 | 0.00 | 5 | 0.120 | 1510.96 | |
| 8.58 | 12.85 | | | | | | | | | | |
| 27 | 990121 | 0229 | 4.80 | 37.2963N | 8.8301W | 16.50 | 0.00 | 7 | 0.152 | 1537.05 | |
| 5.14 | 16.50 | | | | | | | | | | |
| 28 | 970323 | 1343 | 26.96 | 37.2902N | 8.5830W | 14.93 | 0.00 | 4 | 0.029 | 1515.19 | |
| 4.46 | 14.93 | | | | | | | | | | |
| 29 | 970322 | 0300 | 31.17 | 37.2982N | 8.5878W | 10.72 | 0.00 | 6 | 0.112 | 1515.55 | |
| 5.35 | 10.72 | | | | | | | | | | |
| 30 | 970308 | 2255 | 39.16 | 37.2989N | 8.5704W | 12.65 | 0.00 | 6 | 0.135 | 1513.99 | |
| 5.43 | 12.65 | | | | | | | | | | |
| 31 | 990910 | 1743 | 58.02 | 37.3256N | 8.5288W | 13.24 | 0.00 | 5 | 0.123 | 1510.04 | |
| 8.39 | 13.24 | | | | | | | | | | |
| 32 | 990906 | 1333 | 6.04 | 37.3186N | 8.5337W | 9.92 | 0.00 | 8 | 0.254 | 1510.54 | |
| 7.61 | 9.92 | | | | | | | | | | |
| 33 | 970408 | 2040 | 42.42 | 37.3555N | 8.8169W | 9.79 | 0.00 | 7 | 0.044 | 1535.28 | |

| | | | | | | | | | |
|-------|--------|------|-------|----------|---------|-------|------|---|-----------------|
| 11.71 | 9.79 | | | | | | | | |
| 34 | 970402 | 2237 | 39.04 | 37.3125N | 8.5835W | 11.17 | 0.00 | 5 | 0.072 1515.02 |
| 6.93 | 11.17 | | | | | | | | |
| 35 | 970529 | 0621 | 28.56 | 37.1695N | 8.5347W | 21.22 | 0.00 | 5 | 0.045 1512.11 |
| -8.93 | 21.22 | | | | | | | | |
| 36 | 990915 | 2213 | 3.25 | 37.2914N | 8.5133W | 13.90 | 0.00 | 6 | 0.067 1509.00 |
| 4.60 | 13.90 | | | | | | | | |
| 37 | 990913 | 0028 | 50.37 | 37.1312N | 8.5755W | 5.61 | 0.00 | 6 | 0.119 1516.12 - |
| 13.19 | 5.61 | | | | | | | | |
| 38 | 970421 | 2000 | 20.79 | 37.3392N | 8.4834W | 14.39 | 0.00 | 6 | 0.124 1505.87 |
| 9.90 | 14.39 | | | | | | | | |
| 39 | 990920 | 0321 | 12.74 | 37.2299N | 8.5918W | 19.97 | 0.00 | 6 | 0.150 1516.58 |
| -2.23 | 19.97 | | | | | | | | |
| 40 | 990928 | 2217 | 19.52 | 37.3267N | 8.5856W | 15.36 | 0.00 | 5 | 0.111 1515.06 |
| 8.52 | 15.36 | | | | | | | | |
| 41 | 990102 | 0547 | 24.18 | 37.2947N | 8.5293W | 14.03 | 0.00 | 6 | 0.102 1510.39 |
| 4.96 | 14.03 | | | | | | | | |
| 42 | 980922 | 1424 | 16.03 | 37.2937N | 8.5814W | 12.55 | 0.00 | 4 | 0.081 1515.02 |
| 4.85 | 12.55 | | | | | | | | |
| 43 | 980914 | 0450 | 18.68 | 37.0515N | 8.3747W | 19.71 | 0.00 | 6 | 0.070 1499.07 - |
| 22.03 | 19.71 | | | | | | | | |
| 44 | 000118 | 1432 | 32.78 | 37.1842N | 8.5825W | 12.65 | 0.00 | 6 | 0.079 1516.21 |
| -7.30 | 12.65 | | | | | | | | |
| 45 | 000117 | 0123 | 1.19 | 37.3161N | 8.5465W | 9.80 | 0.00 | 8 | 0.272 1511.70 |
| 7.34 | 9.80 | | | | | | | | |
| 46 | 000107 | 1558 | 1.40 | 37.1842N | 8.3036W | 17.64 | 0.00 | 7 | 0.115 1491.45 |
| -7.30 | 17.64 | | | | | | | | |
| 47 | 000102 | 2250 | 45.83 | 37.2085N | 8.5411W | 18.10 | 0.00 | 8 | 0.086 1512.29 |
| -4.60 | 18.10 | | | | | | | | |
| 48 | 000105 | 1804 | 49.69 | 37.3265N | 8.5381W | 12.94 | 0.00 | 5 | 0.099 1510.85 |
| 8.49 | 12.94 | | | | | | | | |
| 49 | 970414 | 0053 | 21.19 | 37.3454N | 8.4213W | 19.67 | 0.00 | 7 | 0.134 1500.31 |
| 10.59 | 19.67 | | | | | | | | |
| 50 | 990622 | 1142 | 3.50 | 37.3102N | 8.5422W | 12.93 | 0.00 | 5 | 0.073 1511.38 |
| 6.68 | 12.93 | | | | | | | | |
| 51 | 990729 | 0400 | 58.45 | 37.1784N | 7.8920W | 9.45 | 0.00 | 8 | 0.158 1454.98 |
| -7.95 | 9.45 | | | | | | | | |
| 52 | 970602 | 0738 | 44.74 | 37.3306N | 8.5061W | 13.42 | 0.00 | 6 | 0.110 1507.97 |
| 8.94 | 13.42 | | | | | | | | |
| 53 | 000114 | 0431 | 20.47 | 37.2121N | 8.5873W | 19.10 | 0.00 | 5 | 0.142 1516.36 |
| -4.21 | 19.10 | | | | | | | | |
| 54 | 990104 | 1725 | 50.30 | 37.3219N | 8.5265W | 14.33 | 0.00 | 7 | 0.113 1509.87 |
| 7.98 | 14.33 | | | | | | | | |
| 55 | 990110 | 0548 | 40.47 | 37.2050N | 8.6080W | 14.55 | 0.00 | 5 | 0.088 1518.27 |
| -4.99 | 14.55 | | | | | | | | |
| 56 | 990121 | 1445 | 6.37 | 37.3259N | 8.5749W | 14.05 | 0.00 | 8 | 0.185 1514.12 |
| 8.42 | 14.05 | | | | | | | | |
| 57 | 990131 | 2110 | 47.65 | 37.1320N | 8.5978W | 21.41 | 0.00 | 6 | 0.051 1518.09 - |
| 13.10 | 21.41 | | | | | | | | |
| 58 | 990121 | 0325 | 49.26 | 37.3258N | 8.5390W | 12.75 | 0.00 | 5 | 0.114 1510.93 |
| 8.41 | 12.75 | | | | | | | | |
| 59 | 980601 | 0835 | 27.16 | 37.1791N | 8.5791W | 12.61 | 0.00 | 7 | 0.118 1515.96 |
| -7.87 | 12.61 | | | | | | | | |
| 60 | 980604 | 1723 | 15.74 | 37.2990N | 8.5875W | 11.33 | 0.00 | 4 | 0.073 1515.51 |
| 5.44 | 11.33 | | | | | | | | |
| 61 | 980529 | 1202 | 50.06 | 37.3156N | 8.5743W | 14.54 | 0.00 | 6 | 0.128 1514.17 |
| 7.28 | 14.54 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|-------|--------|------|-------|----------|---------|-------|------|---|-------|-----------|
| 62 | 980530 | 1544 | 26.41 | 37.3372N | 8.4487W | 18.15 | 0.00 | 4 | 0.061 | 1502.82 |
| 9.67 | 18.15 | | | | | | | | | |
| 63 | 970611 | 2034 | 4.59 | 37.3189N | 8.6414W | 15.38 | 0.00 | 7 | 0.144 | 1520.09 |
| 7.65 | 15.38 | | | | | | | | | |
| 64 | 970628 | 0031 | 41.38 | 37.1223N | 8.3961W | 22.85 | 0.00 | 7 | 0.102 | 1500.27 - |
| 14.17 | 22.85 | | | | | | | | | |
| 65 | 970630 | 1955 | 29.89 | 37.3323N | 8.5169W | 14.06 | 0.00 | 5 | 0.115 | 1508.92 |
| 9.13 | 14.06 | | | | | | | | | |
| 66 | 970705 | 2050 | 17.15 | 37.3120N | 8.6620W | 17.07 | 0.00 | 4 | 0.064 | 1521.98 |
| 6.88 | 17.07 | | | | | | | | | |
| 67 | 990228 | 0859 | 31.02 | 37.3058N | 8.6261W | 14.31 | 0.00 | 6 | 0.081 | 1518.86 |
| 6.19 | 14.31 | | | | | | | | | |
| 68 | 980512 | 0114 | 10.54 | 37.3004N | 8.5961W | 15.44 | 0.00 | 5 | 0.106 | 1516.26 |
| 5.59 | 15.44 | | | | | | | | | |
| 69 | 980404 | 0951 | 18.09 | 37.2239N | 8.5406W | 20.80 | 0.00 | 4 | 0.055 | 1512.09 |
| -2.89 | 20.80 | | | | | | | | | |
| 70 | 980328 | 1131 | 8.10 | 37.3552N | 8.4316W | 11.86 | 0.00 | 4 | 0.045 | 1501.12 |
| 11.67 | 11.86 | | | | | | | | | |
| 71 | 980419 | 1957 | 14.23 | 37.3212N | 8.5391W | 12.51 | 0.00 | 6 | 0.151 | 1510.99 |
| 7.90 | 12.51 | | | | | | | | | |
| 72 | 980507 | 0448 | 42.32 | 37.2947N | 8.5642W | 11.30 | 0.00 | 5 | 0.083 | 1513.48 |
| 4.96 | 11.30 | | | | | | | | | |
| 73 | 000717 | 0334 | 44.31 | 37.3218N | 8.5754W | 13.84 | 0.00 | 6 | 0.157 | 1514.21 |
| 7.97 | 13.84 | | | | | | | | | |
| 74 | 000718 | 1022 | 0.53 | 37.3020N | 8.5769W | 14.81 | 0.00 | 7 | 0.121 | 1514.53 |
| 5.78 | 14.81 | | | | | | | | | |
| 75 | 000730 | 1801 | 37.26 | 37.3165N | 8.5539W | 11.93 | 0.00 | 6 | 0.116 | 1512.35 |
| 7.38 | 11.93 | | | | | | | | | |
| 76 | 000816 | 0427 | 48.76 | 37.3212N | 8.5832W | 16.52 | 0.00 | 7 | 0.108 | 1514.90 |
| 7.90 | 16.52 | | | | | | | | | |
| 77 | 000826 | 0320 | 31.98 | 37.3204N | 8.5453W | 14.82 | 0.00 | 5 | 0.055 | 1511.55 |
| 7.82 | 14.82 | | | | | | | | | |
| 78 | 000826 | 0527 | 50.02 | 37.3446N | 8.4546W | 14.63 | 0.00 | 6 | 0.080 | 1503.27 |
| 10.50 | 14.63 | | | | | | | | | |
| 79 | 000908 | 1022 | 56.04 | 37.1874N | 8.5772W | 1.01 | 0.00 | 5 | 0.174 | 1515.71 |
| -6.95 | 1.01 | | | | | | | | | |
| 80 | 000915 | 0240 | 44.96 | 37.3326N | 8.5334W | 14.77 | 0.00 | 4 | 0.011 | 1510.37 |
| 9.17 | 14.77 | | | | | | | | | |
| 81 | 000915 | 0915 | 4.92 | 37.3370N | 8.5764W | 14.54 | 0.00 | 6 | 0.162 | 1514.15 |
| 9.66 | 14.54 | | | | | | | | | |
| 82 | 970912 | 0204 | 32.34 | 37.3060N | 8.5362W | 13.23 | 0.00 | 6 | 0.069 | 1510.89 |
| 6.22 | 13.23 | | | | | | | | | |
| 83 | 000502 | 2111 | 19.84 | 37.3138N | 8.5266W | 12.23 | 0.00 | 4 | 0.014 | 1509.96 |
| 7.08 | 12.23 | | | | | | | | | |
| 84 | 970901 | 2141 | 25.85 | 37.3377N | 8.4840W | 9.82 | 0.00 | 4 | 0.015 | 1505.94 |
| 9.74 | 9.82 | | | | | | | | | |
| 85 | 970829 | 2024 | 57.62 | 37.3408N | 8.4807W | 13.78 | 0.00 | 4 | 0.044 | 1505.62 |
| 10.07 | 13.78 | | | | | | | | | |
| 86 | 970911 | 1954 | 1.88 | 37.2718N | 8.6664W | 21.85 | 0.00 | 8 | 0.144 | 1522.78 |
| 2.42 | 21.85 | | | | | | | | | |
| 87 | 970825 | 0626 | 3.44 | 37.1038N | 7.9618W | 14.88 | 0.00 | 5 | 0.360 | 1461.88 - |
| 16.23 | 14.88 | | | | | | | | | |
| 88 | 980217 | 0322 | 39.86 | 37.3341N | 8.5088W | 15.54 | 0.00 | 5 | 0.102 | 1508.18 |
| 9.33 | 15.54 | | | | | | | | | |
| 89 | 990110 | 2218 | 51.26 | 37.2350N | 8.5933W | 20.55 | 0.00 | 5 | 0.102 | 1516.66 |
| -1.67 | 20.55 | | | | | | | | | |
| 90 | 990614 | 0613 | 30.58 | 37.2900N | 8.5753W | 12.74 | 0.00 | 5 | 0.061 | 1514.51 |

| | | | | | | | | | |
|-------|--------|------|-------|----------|---------|-------|------|---|-----------------|
| 4.44 | 12.74 | | | | | | | | |
| 91 | 990602 | 1621 | 55.01 | 37.3109N | 8.6336W | 13.43 | 0.00 | 4 | 0.052 1519.48 |
| 6.76 | 13.43 | | | | | | | | |
| 92 | 990611 | 1909 | 16.54 | 37.3341N | 8.5395W | 7.82 | 0.00 | 4 | 0.020 1510.90 |
| 9.33 | 7.82 | | | | | | | | |
| 93 | 990611 | 2145 | 52.74 | 37.3199N | 8.5501W | 10.92 | 0.00 | 4 | 0.085 1511.98 |
| 7.76 | 10.92 | | | | | | | | |
| 94 | 990602 | 0355 | 28.90 | 37.3252N | 8.5800W | 11.51 | 0.00 | 6 | 0.104 1514.58 |
| 8.35 | 11.51 | | | | | | | | |
| 95 | 000923 | 0712 | 37.51 | 37.2532N | 8.5712W | 12.58 | 0.00 | 7 | 0.102 1514.52 |
| 0.35 | 12.58 | | | | | | | | |
| 96 | 000917 | 0529 | 56.00 | 37.3349N | 8.5016W | 15.42 | 0.00 | 5 | 0.123 1507.53 |
| 9.42 | 15.42 | | | | | | | | |
| 97 | 000101 | 1942 | 11.48 | 37.3257N | 8.5420W | 14.26 | 0.00 | 5 | 0.105 1511.21 |
| 8.40 | 14.26 | | | | | | | | |
| 98 | 000928 | 0412 | 51.29 | 37.3300N | 8.5296W | 15.30 | 0.00 | 4 | 0.080 1510.06 |
| 8.88 | 15.30 | | | | | | | | |
| 99 | 000928 | 0314 | 22.65 | 37.2971N | 8.5144W | 12.36 | 0.00 | 5 | 0.120 1509.04 |
| 5.22 | 12.36 | | | | | | | | |
| 100 | 000928 | 0304 | 50.18 | 37.3364N | 8.5073W | 14.15 | 0.00 | 5 | 0.099 1508.02 |
| 9.59 | 14.15 | | | | | | | | |
| 101 | 000114 | 0316 | 53.75 | 37.3270N | 8.5146W | 14.04 | 0.00 | 6 | 0.140 1508.77 |
| 8.54 | 14.04 | | | | | | | | |
| 102 | 980220 | 1520 | 23.71 | 37.3094N | 8.5555W | 13.15 | 0.00 | 5 | 0.076 1512.56 |
| 6.60 | 13.15 | | | | | | | | |
| 103 | 980202 | 0002 | 40.98 | 37.3077N | 8.6322W | 14.35 | 0.00 | 5 | 0.065 1519.38 |
| 6.40 | 14.35 | | | | | | | | |
| 104 | 980205 | 1054 | 34.44 | 37.3112N | 8.6274W | 10.78 | 0.00 | 6 | 0.101 1518.92 |
| 6.79 | 10.78 | | | | | | | | |
| 105 | 000115 | 1107 | 12.95 | 37.3232N | 8.5191W | 14.32 | 0.00 | 7 | 0.154 1509.20 |
| 8.13 | 14.32 | | | | | | | | |
| 106 | 970930 | 1655 | 31.22 | 37.2353N | 8.5951W | 18.82 | 0.00 | 4 | 0.070 1516.82 |
| -1.63 | 18.82 | | | | | | | | |
| 107 | 970109 | 1834 | 42.40 | 37.1984N | 8.4210W | 22.55 | 0.00 | 5 | 0.154 1501.74 |
| -5.73 | 22.55 | | | | | | | | |
| 108 | 970927 | 0714 | 56.00 | 37.0885N | 8.1358W | 20.10 | 0.00 | 5 | 0.026 1477.49 - |
| 17.92 | 20.10 | | | | | | | | |
| 109 | 970116 | 0907 | 28.00 | 37.3386N | 8.4825W | 15.25 | 0.00 | 5 | 0.116 1505.80 |
| 9.83 | 15.25 | | | | | | | | |
| 110 | 970414 | 0027 | 34.98 | 37.3466N | 8.4208W | 19.25 | 0.00 | 7 | 0.122 1500.25 |
| 10.73 | 19.25 | | | | | | | | |
| 111 | 990523 | 0610 | 53.30 | 37.2923N | 8.5659W | 11.41 | 0.00 | 5 | 0.067 1513.66 |
| 4.70 | 11.41 | | | | | | | | |
| 112 | 990519 | 0234 | 50.09 | 37.2979N | 8.5379W | 13.80 | 0.00 | 5 | 0.130 1511.12 |
| 5.32 | 13.80 | | | | | | | | |
| 113 | 990509 | 0623 | 28.99 | 37.3362N | 8.4642W | 15.26 | 0.00 | 5 | 0.104 1504.20 |
| 9.56 | 15.26 | | | | | | | | |
| 114 | 990429 | 0009 | 3.35 | 37.2224N | 8.5718W | 19.20 | 0.00 | 4 | 0.117 1514.88 |
| -3.07 | 19.20 | | | | | | | | |
| 115 | 990420 | 0533 | 5.90 | 37.3048N | 8.5944W | 14.80 | 0.00 | 5 | 0.117 1516.06 |
| 6.08 | 14.80 | | | | | | | | |
| 116 | 990414 | 0126 | 1.39 | 37.3016N | 8.6174W | 14.48 | 0.00 | 4 | 0.083 1518.13 |
| 5.73 | 14.48 | | | | | | | | |
| 117 | 000331 | 0055 | 16.39 | 37.3226N | 8.5227W | 12.37 | 0.00 | 8 | 0.175 1509.53 |
| 8.06 | 12.37 | | | | | | | | |
| 118 | 000324 | 0935 | 51.60 | 37.3083N | 8.6229W | 14.63 | 0.00 | 7 | 0.134 1518.56 |
| 6.47 | 14.63 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|------|-------|----------|----------|-------|------|----|-------|-----------|
| 119 | 000318 | 1225 | 29.69 | 37.3092N | 8.6317W | 14.85 | 0.00 | 6 | 0.087 | 1519.33 |
| 6.57 | 14.85 | | | | | | | | | |
| 120 | 000403 | 2344 | 5.45 | 37.4006N | 8.5520W | 15.97 | 0.00 | 6 | 0.102 | 1511.34 |
| 16.71 | 15.97 | | | | | | | | | |
| 121 | 000407 | 1029 | 52.42 | 37.3195N | 8.5606W | 10.53 | 0.00 | 5 | 0.087 | 1512.92 |
| 7.71 | 10.53 | | | | | | | | | |
| 122 | 970824 | 1936 | 48.85 | 37.3104N | 8.5564W | 14.37 | 0.00 | 6 | 0.115 | 1512.64 |
| 6.71 | 14.37 | | | | | | | | | |
| 123 | 000713 | 2134 | 14.90 | 37.3299N | 8.5008W | 15.02 | 0.00 | 7 | 0.110 | 1507.51 |
| 8.86 | 15.02 | | | | | | | | | |
| 124 | 990308 | 1322 | 58.16 | 37.3571N | 8.8095W | 5.01 | 0.00 | 6 | 0.153 | 1534.60 |
| 11.89 | 5.01 | | | | | | | | | |
| 125 | 000409 | 0037 | 50.55 | 37.3215N | 8.5629W | 10.84 | 0.00 | 5 | 0.074 | 1513.10 |
| 7.94 | 10.84 | | | | | | | | | |
| 126 | 000418 | 1942 | 2.28 | 37.1941N | 8.5901W | 9.95 | 0.00 | 8 | 0.193 | 1516.78 |
| -6.20 | 9.95 | | | | | | | | | |
| 127 | 000426 | 0720 | 11.18 | 37.3542N | 8.4953W | 6.71 | 0.00 | 4 | 0.016 | 1506.78 |
| 11.57 | 6.71 | | | | | | | | | |
| 128 | 000424 | 1459 | 44.04 | 37.3370N | 8.5294W | 9.51 | 0.00 | 4 | 0.020 | 1509.98 |
| 9.66 | 9.51 | | | | | | | | | |
| 129 | 000430 | 1158 | 52.32 | 37.3274N | 8.5786W | 15.00 | 0.00 | 6 | 0.089 | 1514.43 |
| 8.59 | 15.00 | | | | | | | | | |
| 130 | 000429 | 0943 | 17.07 | 37.3418N | 8.5014W | 14.36 | 0.00 | 5 | 0.018 | 1507.44 |
| 10.19 | 14.36 | | | | | | | | | |
| 131 | 960520 | 0120 | 16.02 | 37.3565N | 8.5481W | 16.85 | 0.00 | 6 | 0.279 | 1511.44 |
| 11.82 | 16.85 | | | | | | | | | |
| 132 | 960423 | 2300 | 29.61 | 37.2287N | 7.9329W | 15.85 | 0.00 | 7 | 0.171 | 1458.12 |
| -2.37 | 15.85 | | | | | | | | | |
| 133 | 990128 | 0329 | 1.93 | 37.3023N | 8.6044W | 15.68 | 0.00 | 5 | 0.086 | 1516.97 |
| 5.80 | 15.68 | | | | | | | | | |
| 134 | 990125 | 1616 | 51.05 | 37.3388N | 8.5310W | 13.22 | 0.00 | 4 | 0.030 | 1510.10 |
| 9.85 | 13.22 | | | | | | | | | |
| 135 | 060116 | 1143 | 6.20 | 37.1074N | 8.5516W | 2.64 | 0.00 | 6 | 0.193 | 1514.23 - |
| 15.82 | 2.64 | | | | | | | | | |
| 136 | 060116 | 1220 | 58.65 | 37.1906N | 8.5265W | 5.05 | 0.00 | 2 | 0.063 | 1511.17 |
| -6.59 | 5.05 | | | | | | | | | |
| 137 | 060116 | 0614 | 6.49 | 37.2585N | 9.2818W | 34.18 | 0.00 | 13 | 3.238 | 1577.50 |
| 0.94 | 34.18 | | | | | | | | | |
| 138 | 060114 | 2134 | 14.95 | 37.5757N | 7.9566W | 1.49 | 0.00 | 6 | 0.164 | 1456.89 |
| 36.15 | 1.49 | | | | | | | | | |
| 139 | 060208 | 1826 | 2.30 | 36.7550N | 8.6794W | 18.32 | 0.00 | 12 | 0.578 | 1529.10 - |
| 54.94 | 18.32 | | | | | | | | | |
| 140 | 060403 | 1320 | 10.36 | 37.5590N | 8.0192W | 2.45 | 0.00 | 3 | 0.055 | 1462.59 |
| 34.30 | 2.45 | | | | | | | | | |
| 141 | 060410 | 0144 | 12.70 | 37.4904N | 7.8317W | 4.23 | 0.00 | 3 | 0.617 | 1446.65 |
| 26.68 | 4.23 | | | | | | | | | |
| 142 | 060119 | 1520 | 58.49 | 37.0364N | 9.0918W | 28.34 | 0.00 | 10 | 0.086 | 1562.93 - |
| 23.71 | 28.34 | | | | | | | | | |
| 143 | 060119 | 0100 | 10.49 | 36.7623N | 7.6528W | 10.57 | 0.00 | 11 | 0.203 | 1437.65 - |
| 54.13 | 10.57 | | | | | | | | | |
| 144 | 060116 | 1241 | 24.64 | 35.8245N | 10.0410W | 6.15 | 0.00 | 3 | 0.358 | 1660.25 - |
| 158.20 | 6.15 | | | | | | | | | |
| 145 | 060116 | 1241 | 44.11 | 36.9804N | 9.1156W | 28.15 | 0.00 | 6 | 0.037 | 1565.62 - |
| 29.92 | 28.15 | | | | | | | | | |
| 146 | 060117 | 2153 | 24.26 | 37.5578N | 7.9704W | 6.31 | 0.00 | 6 | 0.045 | 1458.28 |
| 34.16 | 6.31 | | | | | | | | | |
| 147 | 060118 | 0038 | 52.79 | 37.2624N | 8.4932W | 5.08 | 0.00 | 1 | 0.000 | 1507.50 |

| | | | | | | | | | | | |
|--------|--------|------|-------|----------|----------|-------|------|----|-------|---------|---|
| 176 | 060408 | 0452 | 8.00 | 37.5658N | 7.9903W | 5.63 | 0.00 | 3 | 0.066 | 1459.96 | |
| 35.05 | 5.63 | | | | | | | | | | |
| 177 | 060219 | 1823 | 57.90 | 37.3163N | 8.5566W | 19.13 | 0.00 | 3 | 0.021 | 1512.59 | |
| 7.36 | 19.13 | | | | | | | | | | |
| 178 | 060219 | 0657 | 10.14 | 37.2006N | 7.8330W | 8.28 | 0.00 | 4 | 0.376 | 1449.53 | |
| -5.49 | 8.28 | | | | | | | | | | |
| 179 | 060217 | 0414 | 57.76 | 37.3992N | 8.4695W | 16.64 | 0.00 | 5 | 0.186 | 1504.05 | |
| 16.56 | 16.64 | | | | | | | | | | |
| 180 | 060125 | 0909 | 3.65 | 36.6099N | 7.8716W | 12.02 | 0.00 | 8 | 1.862 | 1458.58 | - |
| 71.04 | 12.02 | | | | | | | | | | |
| 181 | 060125 | 1331 | 24.78 | 37.6062N | 7.9402W | 1.78 | 0.00 | 4 | 0.068 | 1455.14 | |
| 39.54 | 1.78 | | | | | | | | | | |
| 182 | 060125 | 1615 | 10.26 | 37.0805N | 9.0675W | 27.84 | 0.00 | 9 | 0.109 | 1560.32 | - |
| 18.81 | 27.84 | | | | | | | | | | |
| 183 | 060126 | 0558 | 12.31 | 37.5786N | 7.9803W | 0.75 | 0.00 | 4 | 0.153 | 1458.96 | |
| 36.47 | 0.75 | | | | | | | | | | |
| 184 | 060126 | 2210 | 52.10 | 37.6038N | 7.9113W | 0.10 | 0.00 | 4 | 2.616 | 1452.60 | |
| 39.26 | 0.10 | | | | | | | | | | |
| 185 | 060403 | 0552 | 13.65 | 37.0817N | 8.6908W | 21.94 | 0.00 | 6 | 0.416 | 1526.84 | - |
| 18.68 | 21.94 | | | | | | | | | | |
| 186 | 060213 | 1340 | 21.76 | 37.5145N | 7.9349W | 7.47 | 0.00 | 2 | 0.021 | 1455.55 | |
| 29.36 | 7.47 | | | | | | | | | | |
| 187 | 060130 | 1817 | 52.39 | 37.0450N | 7.9176W | 12.37 | 0.00 | 5 | 0.233 | 1458.53 | - |
| 22.76 | 12.37 | | | | | | | | | | |
| 188 | 060128 | 2041 | 21.48 | 37.2780N | 8.8883W | 14.21 | 0.00 | 8 | 0.381 | 1542.40 | |
| 3.10 | 14.21 | | | | | | | | | | |
| 189 | 060131 | 2140 | 53.66 | 37.5947N | 7.9407W | 5.32 | 0.00 | 3 | 0.086 | 1455.29 | |
| 38.26 | 5.32 | | | | | | | | | | |
| 190 | 060131 | 1231 | 8.48 | 36.8572N | 9.1869W | 31.24 | 0.00 | 11 | 0.189 | 1573.22 | - |
| 43.59 | 31.24 | | | | | | | | | | |
| 191 | 060201 | 2316 | 31.69 | 37.3616N | 8.5711W | 4.16 | 0.00 | 4 | 0.521 | 1513.43 | |
| 12.39 | 4.16 | | | | | | | | | | |
| 192 | 060131 | 2355 | 39.03 | 37.0478N | 9.0921W | 30.32 | 0.00 | 6 | 0.113 | 1562.84 | - |
| 22.44 | 30.32 | | | | | | | | | | |
| 193 | 060131 | 2356 | 6.39 | 37.4735N | 8.4775W | 0.33 | 0.00 | 3 | 0.786 | 1504.02 | |
| 24.80 | 0.33 | | | | | | | | | | |
| 194 | 060420 | 2351 | 4.33 | 37.3124N | 8.3784W | 25.30 | 0.00 | 3 | 0.168 | 1496.83 | |
| 6.93 | 25.30 | | | | | | | | | | |
| 195 | 060420 | 2351 | 4.33 | 37.3124N | 8.3784W | 25.30 | 0.00 | 3 | 0.168 | 1496.83 | |
| 6.93 | 25.30 | | | | | | | | | | |
| 196 | 060206 | 0250 | 47.94 | 36.9698N | 8.9176W | 32.18 | 0.00 | 6 | 0.446 | 1548.13 | - |
| 31.10 | 32.18 | | | | | | | | | | |
| 197 | 060113 | 2329 | 51.40 | 37.3305N | 8.5621W | 5.64 | 0.00 | 4 | 0.050 | 1512.94 | |
| 8.93 | 5.64 | | | | | | | | | | |
| 198 | 060113 | 0837 | 11.63 | 37.0847N | 8.6566W | 29.93 | 0.00 | 6 | 0.355 | 1523.78 | - |
| 18.35 | 29.93 | | | | | | | | | | |
| 199 | 060113 | 1337 | 37.75 | 37.5022N | 8.0022W | 7.10 | 0.00 | 3 | 0.210 | 1461.63 | |
| 27.99 | 7.10 | | | | | | | | | | |
| 200 | 060413 | 1036 | 54.09 | 37.2657N | 8.7041W | 5.01 | 0.00 | 2 | 0.024 | 1526.18 | |
| 1.74 | 5.01 | | | | | | | | | | |
| 201 | 060414 | 0040 | 39.88 | 37.0027N | 8.8326W | 5.06 | 0.00 | 3 | 0.740 | 1540.24 | - |
| 27.45 | 5.06 | | | | | | | | | | |
| 202 | 060411 | 2208 | 9.72 | 36.1870N | 10.4856W | 9.20 | 0.00 | 3 | 0.125 | 1696.11 | - |
| 117.98 | 9.20 | | | | | | | | | | |
| 203 | 060508 | 1154 | 9.32 | 37.3502N | 8.6657W | 3.22 | 0.00 | 2 | 0.006 | 1521.93 | |
| 11.12 | 3.22 | | | | | | | | | | |
| 204 | 060511 | 1442 | 11.86 | 37.3196N | 8.5197W | 7.17 | 0.00 | 2 | 0.048 | 1509.29 | |

```

7.73    7.17
205 060525 1032 38.93 37.3757N  8.5716W  8.60 0.00  2 0.063 1513.33
13.95    8.60
206 060528 2155 10.07 37.3452N  8.6588W  6.88 0.00  2 0.031 1521.37
10.56    6.88
207 060326 0238 12.17 37.0373N  8.7145W  4.90 0.00  3 0.293 1529.40 -
23.61    4.90
208 060328 1605 17.39 37.3440N  8.8412W  0.87 0.00  3 0.228 1537.55
10.43    0.87
209 060316 0657 30.58 37.3008N  8.5444W  6.81 0.00  2 0.031 1511.67
5.64    6.81
210 060318 1440 52.25 37.2519N  8.7180W  5.85 0.00  3 0.160 1527.56
0.21    5.85

```

```

~~~ output final station residuals ...
TURBO-option is set; residuals are NOT printed for each event!

```

```

station statistics, remember nsp was set to: 1

```

| sta | phase | nobs | avres | avwres | std | wsum | delay |
|---|-------|------|---------|---------|--------|----------|--------|
| DRE | P | 7 | -0.7345 | -0.3758 | 0.9728 | 3.8142 | 0.0000 |
| PTE | P | 50 | 0.0442 | 0.0443 | 0.0647 | 50.3600 | 0.0000 |
| DRE | P | 7 | -0.7345 | -0.3758 | 0.9728 | 3.8142 | 0.0000 |
| MCT | P | 16 | -0.0498 | 0.0001 | 0.1390 | 18.8831 | 0.0000 |
| MDO | P | 47 | -0.1163 | -0.0667 | 0.2953 | 48.1319 | 0.0000 |
| MJD | P | 30 | 0.1305 | 0.0466 | 0.8735 | 43.2060 | 0.0000 |
| MTA | P | 15 | 0.1698 | 0.0742 | 0.4471 | 17.2252 | 0.0000 |
| MVE | P | 18 | 0.0705 | 0.0741 | 0.4726 | 30.9737 | 0.0000 |
| PVE | P | 15 | 0.3597 | 0.3563 | 1.1577 | 16.6786 | 0.0000 |
| SAL | P | 36 | -0.0642 | -0.0992 | 0.6433 | 22.0867 | 0.0000 |
| VAF | P | 14 | -0.5904 | -0.5066 | 1.9572 | 23.8647 | 0.0000 |
| VAP | P | 4 | -0.6705 | -0.7776 | 0.4845 | 3.1092 | 0.0000 |
| VCA | P | 37 | 0.5364 | 0.3724 | 1.1734 | 38.7036 | 0.0000 |
| ZBA | P | 23 | 0.2082 | 0.0888 | 0.4892 | 8.9917 | 0.0000 |
| IS1 | P | 6 | -0.0834 | -0.1495 | 0.3571 | 5.6667 | 0.0000 |
| IS2 | P | 9 | -0.0004 | -0.0258 | 0.1462 | 9.0000 | 0.0000 |
| WARNING: Station = IS3 !!! Variance bb(24) = -0.115 < 0 !! | | | | | | | |
| IS3 | P | 2 | 0.5959 | 0.4218 | 0.0000 | 1.3333 | 0.0000 |
| IS4 | P | 6 | 0.0789 | 0.0644 | 0.2510 | 7.0000 | 0.0000 |
| IS5 | P | 4 | -0.0194 | -0.0194 | 0.0178 | 4.0000 | 0.0000 |
| BIO | P | 33 | -0.3107 | 0.0370 | 1.3134 | 15.2676 | 0.0000 |
| MTX | P | 47 | -0.1614 | -0.1625 | 0.4997 | 51.0638 | 0.0000 |
| PFM | P | 23 | 0.1513 | 0.1506 | 0.1175 | 23.2400 | 0.0000 |
| PFB | P | 69 | -0.0580 | -0.0644 | 0.1419 | 67.2370 | 0.0000 |
| PFP | P | 103 | 0.0485 | 0.0483 | 0.1067 | 103.5029 | 0.0000 |
| BFS | P | 122 | -0.0396 | -0.0418 | 0.0698 | 121.1022 | 0.0000 |
| CFS | P | 125 | -0.0600 | -0.0601 | 0.0773 | 125.7993 | 0.0000 |
| PTE | P | 50 | 0.0442 | 0.0443 | 0.0647 | 50.3600 | 0.0000 |
| PFV | P | 120 | -0.0825 | -0.0826 | 0.0711 | 120.7993 | 0.0000 |
| PFF | P | 133 | 0.0980 | 0.0938 | 0.0794 | 132.9593 | 0.0000 |

```

~~~ output statistics ...

```

RAY-STATISTICS FOR L A S T ITERATION

NHYP : nr of hypocenters in this layer
NREF : nr of headwaves in this layer
%len : % of "refracted km" in this layer
with respect to all refracted kilometers
NHIT : nr of rays passed thru this layer
xy-km: average horizontal ray length [km] in layer
z-km : average vertical ray length [km] in layer
RFLX : number of reflections at bottom of this layer

| nlay | top | bottom | velocity | NHYP | NREF | %len | NHIT | xy-km | z-km |
|------|----------|----------|-----------|------|------|------|------|-------|------|
| RFLX | | | | | | | | | |
| 1 | -1.00... | 0.00 km | 5.18 km/s | 0 | 0 | 0.0 | 1114 | 0.2 | 0.1 |
| 2 | 0.00... | 5.00 km | 5.30 km/s | 23 | 0 | 0.0 | 1146 | 7.1 | 4.7 |
| 3 | 5.00... | 15.00 km | 5.71 km/s | 122 | 29 | 11.1 | 1177 | 12.9 | 7.6 |
| 4 | 15.00... | 30.00 km | 6.76 km/s | 58 | 110 | 42.9 | 591 | 18.2 | 5.6 |
| 5 | 30.00... | 45.00 km | 8.68 km/s | 6 | 55 | 46.0 | 117 | 60.8 | 1.9 |
| 6 | 45.00... | 60.00 km | 8.68 km/s | 1 | 0 | 0.0 | 7 | 28.6 | 7.2 |
| 7 | 60.00... | km | 8.68 km/s | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.0 |

Total nr of events was 210

Total nr of refracted rays = 194
Total nr of reflected rays = 0
Total nr of other rays = 920

Total nr of all rays = 1114

Average (absolute) error of the raytracers:

Straight and direct rays : 6.32 meters
Refracted rays : 0.04 meters
Reflected rays : 0.00 meters

ALL RAYS TOGETHER:

Average horizontal ray length = 37.3 km (Hypocenter --> Station)
Average vertical ray length = 15.5 km (Deepest ray-point --> Station)

... and some more STATISTICS

GAP of final epicenters:

| | Event# -> GAP | Event# -> GAP | Event# -> GAP | Event# -> GAP | Event# -> |
|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|
| GAP | 1 -> 106 | 2 -> 133 | 3 -> 185 | 4 -> 153 | 5 -> |
| 167 | 6 -> 118 | 7 -> 154 | 8 -> 189 | 9 -> 163 | 10 -> |
| 129 | 11 -> 160 | 12 -> 150 | 13 -> 86 | 14 -> 126 | 15 -> |
| 197 | 16 -> 172 | 17 -> 127 | 18 -> 126 | 19 -> 109 | 20 -> |
| 111 | 21 -> 102 | 22 -> 116 | 23 -> 120 | 24 -> 105 | 25 -> |
| 102 | 26 -> 141 | 27 -> 198 | 28 -> 133 | 29 -> 109 | 30 -> |
| 102 | 31 -> 133 | 32 -> 95 | 33 -> 197 | 34 -> 107 | 35 -> |
| 161 | 36 -> 103 | 37 -> 182 | 38 -> 128 | 39 -> 130 | 40 -> |
| 175 | 41 -> 103 | 42 -> 131 | 43 -> 200 | 44 -> 153 | 45 -> |
| 96 | 46 -> 162 | 47 -> 140 | 48 -> 138 | 49 -> 99 | 50 -> |
| 112 | 51 -> 184 | 52 -> 130 | 53 -> 139 | 54 -> 93 | 55 -> |
| 142 | 56 -> 107 | 57 -> 182 | 58 -> 137 | 59 -> 156 | 60 -> |
| 137 | 61 -> 98 | 62 -> 122 | 63 -> 188 | 64 -> 180 | 65 -> |
| 136 | 66 -> 191 | 67 -> 123 | 68 -> 127 | 69 -> 132 | 70 -> |
| 137 | 71 -> 94 | 72 -> 104 | 73 -> 98 | 74 -> 106 | 75 -> |
| 96 | 76 -> 109 | 77 -> 125 | 78 -> 121 | 79 -> 152 | 80 -> |
| 133 | 81 -> 177 | 82 -> 106 | 83 -> 134 | 84 -> 127 | 85 -> |
| 127 | 86 -> 130 | 87 -> 182 | 88 -> 134 | 89 -> 128 | 90 -> |
| 113 | 91 -> 183 | 92 -> 129 | 93 -> 136 | 94 -> 173 | 95 -> |
| 120 | 96 -> 132 | 97 -> 139 | 98 -> 139 | 99 -> 101 | 100 -> |
| 136 | 101 -> 91 | 102 -> 108 | 103 -> 182 | 104 -> 122 | 105 -> |
| 93 | 106 -> 128 | 107 -> 158 | 108 -> 202 | 109 -> 128 | 110 -> |
| 99 | 111 -> 105 | 112 -> 131 | 113 -> 118 | 114 -> 166 | 115 -> |
| 163 | 116 -> 176 | 117 -> 93 | 118 -> 120 | 119 -> 182 | 120 -> |
| 192 | 121 -> 136 | 122 -> 111 | 123 -> 89 | 124 -> 195 | 125 -> |
| 143 | 126 -> 148 | 127 -> 144 | 128 -> 147 | 129 -> 174 | 130 -> |
| 137 | 131 -> 133 | 132 -> 188 | 133 -> 126 | 134 -> 125 | 135 -> |
| 206 | | | | | |

| | | | | | |
|-----|------------|------------|------------|------------|--------|
| 324 | 136 -> 252 | 137 -> 320 | 138 -> 199 | 139 -> 289 | 140 -> |
| 338 | 141 -> 331 | 142 -> 333 | 143 -> 300 | 144 -> 352 | 145 -> |
| 265 | 146 -> 252 | 147 -> 0 | 148 -> 290 | 149 -> 183 | 150 -> |
| 326 | 151 -> 327 | 152 -> 327 | 153 -> 260 | 154 -> 338 | 155 -> |
| 249 | 156 -> 250 | 157 -> 249 | 158 -> 292 | 159 -> 306 | 160 -> |
| 335 | 161 -> 257 | 162 -> 288 | 163 -> 235 | 164 -> 288 | 165 -> |
| 263 | 166 -> 249 | 167 -> 261 | 168 -> 311 | 169 -> 262 | 170 -> |
| 193 | 171 -> 261 | 172 -> 322 | 173 -> 282 | 174 -> 267 | 175 -> |
| 322 | 176 -> 275 | 177 -> 145 | 178 -> 259 | 179 -> 136 | 180 -> |
| 276 | 181 -> 293 | 182 -> 326 | 183 -> 273 | 184 -> 300 | 185 -> |
| 321 | 186 -> 326 | 187 -> 291 | 188 -> 214 | 189 -> 291 | 190 -> |
| 181 | 191 -> 313 | 192 -> 321 | 193 -> 297 | 194 -> 181 | 195 -> |
| 329 | 196 -> 296 | 197 -> 182 | 198 -> 248 | 199 -> 215 | 200 -> |
| 190 | 201 -> 340 | 202 -> 357 | 203 -> 182 | 204 -> 211 | 205 -> |
| 227 | 206 -> 182 | 207 -> 313 | 208 -> 300 | 209 -> 232 | 210 -> |

GAPs were between 0 and 357
(average GAP was 184)

DEPTHS of INPUT-DATA and of LAST ITERATION:
=====

| Depth | # of events |
|----------------------------|-------------|
| DEPTH (input) = -4. km : | |
| DEPTH (last_IT) = -4. km : | |
| DEPTH (input) = -3. km : | |
| DEPTH (last_IT) = -3. km : | |
| DEPTH (input) = -2. km : | |
| DEPTH (last_IT) = -2. km : | |
| DEPTH (input) = -1. km : | |
| DEPTH (last_IT) = -1. km : | |
| DEPTH (input) = 0. km : | . |
| DEPTH (last_IT) = 0. km : | ***** |
| DEPTH (input) = 1. km : | |
| DEPTH (last_IT) = 1. km : | **** |
| DEPTH (input) = 2. km : | . |
| DEPTH (last_IT) = 2. km : | ***** |
| DEPTH (input) = 3. km : | |
| DEPTH (last_IT) = 3. km : | ** |


```

DEPTH ( input ) = 4. km : .....
DEPTH (last_IT) = 4. km : *****
DEPTH ( input ) = 5. km : .....1.....2....
DEPTH (last_IT) = 5. km : *****1
DEPTH ( input ) = 6. km : .....
DEPTH (last_IT) = 6. km : *****1*
DEPTH ( input ) = 7. km : .....1.
DEPTH (last_IT) = 7. km : *****
DEPTH ( input ) = 8. km : .....1..
DEPTH (last_IT) = 8. km : **
DEPTH ( input ) = 9. km : .....
DEPTH (last_IT) = 9. km : ****
DEPTH ( input ) = 10. km : .....1.....
DEPTH (last_IT) = 10. km : *****
DEPTH ( input ) = 11. km : .....1
DEPTH (last_IT) = 11. km : *****1***
DEPTH ( input ) = 12. km : .....1.....
DEPTH (last_IT) = 12. km : *****1
DEPTH ( input ) = 13. km : .....1.....2
DEPTH (last_IT) = 13. km : *****1*****2**
DEPTH ( input ) = 14. km : .....1..
DEPTH (last_IT) = 14. km : *****1*****2***
DEPTH ( input ) = 15. km : .....1
DEPTH (last_IT) = 15. km : *****1*****2****
DEPTH ( input ) = 16. km : ....
DEPTH (last_IT) = 16. km : *****
DEPTH ( input ) = 17. km : .....
DEPTH (last_IT) = 17. km : *****
DEPTH ( input ) = 18. km : .
DEPTH (last_IT) = 18. km : *****
DEPTH ( input ) = 19. km : .....
DEPTH (last_IT) = 19. km : *****
DEPTH ( input ) = 20. km : ...
DEPTH (last_IT) = 20. km : ****
DEPTH ( input ) = 21. km : .....
DEPTH (last_IT) = 21. km : ****
DEPTH ( input ) = 22. km : .
DEPTH (last_IT) = 22. km : ***
DEPTH ( input ) = 23. km : ..
DEPTH (last_IT) = 23. km : **
DEPTH ( input ) = 24. km : ...
DEPTH (last_IT) = 24. km : *
DEPTH ( input ) = 25. km : .
DEPTH (last_IT) = 25. km : **
DEPTH ( input ) = 26. km :
DEPTH (last_IT) = 26. km : *
DEPTH ( input ) = 27. km :
DEPTH (last_IT) = 27. km : **
DEPTH ( input ) = 28. km : .
DEPTH (last_IT) = 28. km : ***
DEPTH ( input ) = 29. km : ...
DEPTH (last_IT) = 29. km :
DEPTH ( input ) = 30. km : .
DEPTH (last_IT) = 30. km : **
DEPTH ( input ) = 31. km : .
DEPTH (last_IT) = 31. km : *
DEPTH ( input ) = 32. km : .

```

```

DEPTH (last_IT) = 32. km : ***
DEPTH ( input ) = 33. km : .
DEPTH (last_IT) = 33. km :
DEPTH ( input ) = 34. km :
DEPTH (last_IT) = 34. km : *
DEPTH ( input ) = 35. km :
DEPTH (last_IT) = 35. km :
DEPTH ( input ) = 36. km :
DEPTH (last_IT) = 36. km :
DEPTH ( input ) = 37. km :
DEPTH (last_IT) = 37. km :
DEPTH ( input ) = 38. km :
DEPTH (last_IT) = 38. km :
DEPTH ( input ) = 39. km :
DEPTH (last_IT) = 39. km :
DEPTH ( input ) = 40. km :

```

Residuals of the stations according to the azimuth:
 (RES = total average residual at station)
 (RES1 = average residual of rays from 1st quadrant)
 (RES2 = average residual of rays from 2nd quadrant)
 (RES3 = average residual of rays from 3rd quadrant)
 (RES4 = average residual of rays from 4th quadrant)

| Stn# | Stn | RES | RES1 | RES2 | RES3 | RES4 |
|------|-----|-------------|------------|-------------|------------|---------|
| 1 | CHI | -. - | | | | |
| 2 | DRE | -0.73 (7) | -0.24 (1) | -1.63 (4) | 1.29 (1) | 0.34 (|
| 3 | MBR | -. - | | | | |
| 4 | PTE | 0.04 (50) | 0.00 (0) | 0.00 (4) | 0.05 (46) | 0.00 (|
| 5 | CHI | -. - | | | | |
| 6 | DRE | -. - | | | | |
| 7 | FBV | -. - | | | | |
| 8 | FMF | -. - | | | | |
| 9 | FPE | -. - | | | | |
| 10 | MCT | -0.05 (16) | 0.03 (7) | -0.18 (7) | 0.23 (1) | 0.00 (|
| 11 | MDO | -0.12 (47) | -0.07 (7) | -0.15 (22) | -0.02 (3) | -0.11 (|
| 12 | MJD | 0.13 (30) | 1.41 (2) | 0.06 (10) | -0.04 (7) | 0.07 (|
| 13 | MTA | 0.17 (15) | 0.45 (2) | 0.17 (12) | -0.35 (1) | 0.00 (|
| 14 | MVE | 0.07 (18) | 0.86 (2) | 0.00 (10) | 0.20 (2) | -0.22 (|
| 15 | PVE | 0.36 (15) | 0.00 (0) | 0.34 (9) | 0.11 (4) | 0.94 (|
| 16 | SAL | -0.06 (36) | 0.00 (0) | 0.06 (16) | -0.08 (8) | -0.22 (|
| 17 | TEO | -. - | | | | |
| 18 | VAF | -0.59 (14) | -6.46 (1) | -0.05 (7) | -0.20 (4) | -0.32 (|
| 19 | VAP | -0.67 (4) | 0.00 (0) | -0.84 (2) | -0.01 (1) | -0.99 (|

| | | | | | | |
|----|-----|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 20 | VCA | 0.54(37) | 0.00(0) | 0.06(16) | 0.02(12) | 2.08(9) |
| 21 | ZBA | 0.21(23) | -0.54(2) | 0.41(11) | 0.57(3) | -0.05(7) |
| 22 | IS1 | -0.08(6) | 0.00(0) | -0.15(3) | 0.01(2) | -0.05(1) |
| 23 | IS2 | 0.00(9) | 0.04(1) | -0.01(8) | 0.00(0) | 0.00(0) |
| 24 | IS3 | 0.60(2) | 0.00(0) | 0.60(2) | 0.00(0) | 0.00(0) |
| 25 | IS4 | 0.08(6) | -0.04(1) | 0.34(2) | -0.07(2) | -0.02(1) |
| 26 | IS5 | -0.02(4) | -0.01(2) | -0.02(1) | 0.00(0) | -0.04(1) |
| 27 | IS6 | -. - | | | | |
| 28 | IS7 | -. - | | | | |
| 29 | BIO | -0.31(33) | -0.39(6) | 0.00(9) | -3.07(5) | 0.57(13) |
| 30 | MTX | -0.16(47) | 0.00(0) | -0.09(18) | -0.30(12) | -0.15(17) |
| 31 | PFM | 0.15(23) | 0.17(20) | 0.03(3) | 0.00(0) | 0.00(0) |
| 32 | PFB | -0.06(69) | -0.02(47) | -0.17(19) | 0.04(3) | 0.00(0) |
| 33 | PFP | 0.05(103) | 0.06(94) | 0.05(3) | -0.26(3) | -0.06(3) |
| 34 | BFS | -0.04(122) | -0.04(99) | -0.05(17) | 0.08(6) | 0.00(0) |
| 35 | CFS | -0.06(125) | 0.00(0) | -0.06(117) | 0.01(8) | 0.00(0) |
| 36 | PTE | -. - | | | | |
| 37 | PFV | -0.08(120) | 0.00(0) | 0.00(0) | 0.03(6) | -0.09(114) |
| 38 | PFF | 0.10(133) | 0.11(4) | 0.10(29) | 0.10(45) | 0.10(55) |

4