



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

**SISMOTECTÓNICA DA REGIÃO DE CIBORRO-
ARRAIOS E SUA RELAÇÃO COM A
GEOMORFOLOGIA LOCAL**

Piedade E. Martins Wachilala

Orientador: Professor Doutor José Fernando Borges

Co-orientadores: Professor Doutor Bento A. C. Caldeira

Professor Doutor António A. Araújo

Mestrado em Ciências e Tecnologia da Terra da Atmosfera e do Espaço

Área de especialização: *Geofísica Interna*

Dissertação

Évora, 2015



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

**SISMOTECTÓNICA DA REGIÃO DE CIBORRO-
ARRAIOS E SUA RELAÇÃO COM A
GEOMORFOLOGIA LOCAL**

Piedade E. Martins Wachilala

Orientador: Professor Doutor José Fernando Borges

Co-orientadores: Professor Doutor Bento A. C. Caldeira

Professor Doutor António A. Araújo

Mestrado em Ciências e Tecnologia da Terra da Atmosfera e do Espaço

Área de especialização: *Geofísica Interna*

Dissertação

Évora, 2015

Agradecimentos

Fica extremamente difícil referir todas as personalidades e instituições, que de alguma forma contribuíram para a conclusão desta dissertação de Mestrado. Sem, no entanto, menosprezar todas as outras contribuições, queria citar as que considero mais substanciais.

À Deus, o criador dos céus e da Terra, que desde a minha existência ajudou-me a vencer o bom combate, a quem eu consagro este trabalho.

Ao Professor Doutor José Fernando Borges a quem devo a orientação específica deste trabalho, pelos seus ensinamentos, por ter acompanhado com afinco este trabalho nas suas distintas etapas, pela sua paciência, amizade e sobretudo, pela atenção que sempre ofereceu-me.

Ao Professor Doutor Bento Caldeira, Co-orientador, pela sua disponibilidade, profissionalismo e inúmeras sugestões desde o Seminário de Mestrado, até a fase de conclusão deste trabalho.

Ao Professor Doutor Alexandre Araújo, Co-orientador, pelas suas imensas contribuições no domínio da Geologia.

Ao Professor Doutor Mourad Bezzeghoud, Director da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, por ter me ajudado a dar os primeiros passos na área de Geofísica.

À Professora Doutora Maria João Costa, Diretora do curso, pela boa recepção aquando da minha chegada à Universidade de Évora.

Ao Departamento de Física da Universidade de Évora, pelos meios disponibilizados.

Ao Professor Doutor António Correia do Departamento de Física, pela sua amizade e disponibilidade na abordagem de diversos assuntos ligados à Geofísica.

Ao Instituto Superior de Ciências da Educação da Huíla, pelo tempo concedido para esta formação.

Ao meu grande amigo Professor Doutor Manuel Sahando Neto, que desde muito cedo, acreditou em mim e no meu trabalho, e sobretudo, pelos seus ensinamentos, incentivos, disponibilidade e pela sólida amizade.

Ao Investigador Doutor Hugo Silva do Centro de Geofísica de Évora, pelas suas opiniões, simpatia, amizade, e sobretudo, pelos bons momentos de futebol.

Aos meus colegas do Centro de Geofísica da Universidade de Évora, Dr. Samuel Neves, e Dr. Rui Nogueira, pela amizade e apoio técnico na instalação de alguns softwares fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus colegas Dr. Rui Brito e Hugo Viriato, pela amizade e trocas de experiências que foram fundamental nesta formação.

À minha amada esposa Raquel Wachilala, que durante as minhas constantes ausências, soube cumprir com zelo e dedicação o seu papel para a edificação do nosso lar. Aos meus filhos Ermér e Emília “meus tesouros”. À minha querida mãe Ermelinda Martins “nossa heroína” pelo seu apoio incondicional e aos meus queridos irmãos Matias, Prazeres, Lútero, Rubem e a Lúcia, pelo apoio, encorajamento e orações ao meu favor. Ao meu pai Alberto Wachilala (*em memória*) e aos meus sobrinhos, e também às minhas cunhadas pelo carinho.

Aos meus padrinhos, Alfredo Tiago e Francisca Tiago, pelos laços de família e de amizade que nos uni.

Ao Pastor Dias fica um agradecimento especial, pois que incansavelmente esteve sempre ao nosso lado, nos bons e maus momentos.

Aos meus amigos mais próximos, em particular ao meu contemporâneo Siro Rafael pela amizade de longa data e momentos de descontração.

Ao Mestre Puna pelo encorajamento, e por fim, aos meus conterrâneos e colegas Eduardo e Osório, pelos bons momentos vividos na Universidade de Évora.

Resumo

A região Ciborro-Arraiolos apresenta uma atividade sísmica anómala, no contexto regional, caracterizada por sismos superficiais e de reduzida magnitude ($M < 4$) e alguns registos de magnitude superior ($M > 4$): eventos isolados; ou um sismo principal seguido por réplicas; ou ainda agrupados temporal e espacialmente em enxames denominados swarms. Esta sismicidade destaca-se do padrão típico intraplaca. Com o intuito de analisar a sismotectónica de Portugal Continental foram elaborados dois mapas, o primeiro representando as falhas tectónicas principais e a sismicidade para o período (1961-2014) e o segundo, a distribuição dos mecanismos focais para o período (1960-2009). A partir dessa informação foi possível distinguir e caracterizar 5 sub-regiões. Procedeu-se igualmente à elaboração de três mapas detalhados da distribuição dos epicentros e hipocentros dos eventos sísmicos da região de estudo ocorridos no período (1961-2014) e dos mecanismos focais de alguns eventos determinados por Borges (2003) e Moreira (1991). Os mecanismos focais desta região apresentam uma certa homogeneidade e são do tipo deslizamento-horizontal (strike-slip). A presença de atividade sísmica, ainda que de fraca magnitude ($M < 4$ na escala de Richter), levam a crer que existe perigosidade sísmica. Apesar de a região possuir duas importantes estruturas geológicas: (Lineamento de São Gregório e a Falha do Ciborro) não foi possível obter com razoável grau de confiança a correlação entre a sismicidade da região e qualquer uma dessas feições geológicas. Entretanto, ficou demonstrado que a sismicidade desta região ocorre no interior do Maciço de Évora.

Com objectivo de reforçar a monitorização da atividade sísmica local, a fim de melhorar a sensibilidade da rede nacional do IPMA para melhor caracterizar a capacidade de detecção da sismicidade de fraca magnitude, iniciou-se a instalação de uma rede de banda larga com características mistas ou seja, constituídas por estações autónomas CMG 6TD (30s) e estações de maior largura de banda, CMG 3ESP (60s), com transmissão de dados em tempo real (real-time). Este processo inclui o estabelecimento de uma base de dados UE de formas de onda, cujos dados permitiram analisar o nível de ruído destas estações, baseado no modelo de Peterson (1993) ((NHNM e NLNM), onde se constam níveis de ruído que correspondem aos valores médios do referido modelo. Procedeu-se também à realocação do sismo de 31 de Outubro de 2014 (MI 1.6) e ao cálculo dos parâmetros da fonte (momento sísmico escalar, magnitude momento, dimensões da fonte e queda de tensões na região focal), a partir da análise espectral dos registos das três estações da rede UE.

Palavras-Chave: Sismotectónica, Sismicidade, Geomorfologia e Rede sísmica local.

Seismotectonic the Region of Ciborro-Arraiolos and its Relation to Local Geomorphology

ABSTRACT

The Ciborro-Arraiolos region presents an anomalous seismic activity in the regional context, characterized by superficial earthquakes and reduced magnitude ($M < 4$) and some events of higher magnitude ($M > 4$): isolated events; or a main earthquake followed by aftershock; or still grouped in temporal and spatial in swarms. This seismicity stands out from the typical intraplate standard. In order to analyze the seismotectonic of Portugal mainland was drawn up two maps; the first representing the seismicity and the main tectonic faults for the period (1961-2014) and the second, the distribution of focal mechanisms for the period (1960-2009), which made it possible to distinguish and characterize five subregions. The procedure was also the development of three detailed maps of the distribution of epicenters and hypocenters of seismic events of the study area occurred during the period (1961-2014) and focal mechanisms of some events determined by Borges (2003) and Moreira (1991). The focal mechanism of this region shows an certain homogeneity and are the strike-slip type. The presence of seismic activity, albeit weak magnitude ($M < 4$ on the Richter scale), suggest that there is seismic hazard. Although the region has two important geological structures: (Lineament of St. Gregory and the Ciborro fault) could not be obtained with a reasonable degree of confidence the correlation between seismicity in the region to any of these geological features. However, it was shown that the seismicity of this region occurs within the Evora Massif.

With aim to strengthen monitoring of local seismic activity in order to improve the sensitivity of national IPMA network to better characterize the capacity to detect weak seismicity of magnitude, began the installation of a broadband network with features mistasou is consisting of autonomous stations CMG 6TD (30s) and stations transmitted in real-time CMG 3ESP (60s). This process includes the establishment of an UE database, which allowed us to analyze the noise level of these stations on the model (NHNM and NLNM) Peterson (1993) that roughly correspond with that model. The procedure is also the relocation of the 31 October 2014 earthquake (M 1.6) and the calculation from the spectral analysis of the records by the UE network three stations, the parameters of the source (scalar seismic moment, moment magnitude, dimensions the source and stress drop in the focal region).

KEYWORDS: Seismotectonic, Seismicity, Geomorphology and Local Seismic Network.

Índice

Lista de figuras.....	VII
Lista de tabelas.....	XII
Lista de quadros.....	XIII
Lista de siglas e abreviaturas.....	XIV
Capítulo I Introdução.....	1
Capítulo II Estado da arte.....	7
2.1 Sismotectónica da Região Caborro-Arraiolos.....	7
2.1.1 Sismicidade de Portugal Continental	7
2.1.2 Mecanismos focais	9
2.2 Actividade sísmica na Região Caborro-Arraiolos.....	13
2.3 Geomorfologia e Geologia.....	20
2.3.1 Geomorfologia.....	20
2.3.2 Geologia.....	24
2.4 Conclusões do capítulo.....	27
Capítulo III Rede sismográfica da Universidade de Évora	30
3.1 Introdução.....	30
3.2 Rede sismográfica UE.....	36
3.2.1 Parametrização e formas de comunicação do SeisComP (o caso das estações EVO e ASER).....	38
3.2.2 O sensor de banda larga (broadband).....	40
3.2.3- Instalação das estações sísmicas na região de estudo.....	42
3.3 Conclusões do capítulo.....	52

Capítulo IV Aplicações à área em estudo	55
4.1 Introdução.....	55
4.2 Recolha e tratamento de dados.....	58
4.2.1 Ruído sísmico.....	60
4.2.2 Localização hipocentral.....	65
4.2.3 Análise espectral.....	68
4.3 Discussão.....	75
Capítulo V Considerações finais	78
Referências	82
Anexos	86
Apêndices	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Enquadramento geográfico da região de Ciborro-Arraiolos. No lado esquerdo, imagem de satélite da região de estudo (Google Earth, 2015).....	2
Figura 1.2- Excerto da Carta Geológica de Portugal a 1:500000 (Araújo e Martins, 2011). Pormenor da região Ciborro-Arraiolos. Legenda: Cinzentos – Quaternário; Laranja e Amarelos – Cenozóico: Verdes – Cretácico; Restantes cores – Paleozóico.....	3
Figura 2.1- Sismicidade instrumental de Portugal Continental e margem atlântica (1961-2014, Fonte: IPMA). As falhas tectónicas principais estão, igualmente, representadas: CSEE= Cavalgamento Sul do Esporão da Estremadura; FA= Falha Arrábida; FPAT= Falha da Planície Abissal do Tejo; FPS= Falha Pereira de Sousa; PT= Planície do Tejo; FBG= Falha do Banco de Gorringe; BG= Banco de Gorringe; FP= Falha de Portimão; FV= Falha de São Vicente; CV= Cabo de São Vicente; FMP= Falha Marquês de Pombal; BP= Banco de Portimão; BGq= Banco de Guadalquivir; FF= Falha de Ferradura; BA= Banco de Ampere; PF= Planície de Ferradura; FDP A= Frente de Deformação do Prisma Acrescionário.....	8
Figura 2.2- Mecanismos focais dos sismos ocorridos em Portugal Continental e margem atlântica (período 1960-2009), cujos parâmetros estão listados na tabela 4 em anexo. A vermelho: os epicentros; Os mecanismos focais dos sismos da região de estudo estão representados a azul. As falhas tectónicas principais estão, igualmente, representadas: CSEE= Cavalgamento Sul do Esporão da Estremadura; FA= Falha Arrábida; FPAT= Falha da Planície Abissal do Tejo; FPS= Falha Pereira de Sousa; PT= Planície do Tejo; FBG= Falha do Banco de Gorringe; BG= Banco de Gorringe; FP= Falha de Portimão; FV= Falha de São Vicente; CV= Cabo de São Vicente; FMP= Falha Marquês de Pombal; BP= Banco de Portimão; BGq= Banco de Guadalquivir; FF= Falha de Ferradura; BA= Banco de Ampere; PF= Planície de Ferradura; FDP A= Frente de Deformação do Prisma Acrescionário.....	10
Figura 2.3- Mecanismos focais dos eventos de 19 de Janeiro de 1997; 31 de Julho de 1998; 20 de Março de 2002 determinados por Borges (2003) e 04 de Junho de 1987 determinados por Moreira (1991) (epicentros a vermelho).....	12
Figura 2.4- Sismicidade Instrumental (1961-2014, Fonte: IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera) e a localização dos principais sismos históricos da área de estudo. Legenda: estrelas a verde (epicentros dos sismos de 04-06-1987, 19-01-1997, 31-07-1998 e de 20-03-2002, respetivamente. A tracejado a preto (Bacia do VIT) e a tracejado a vermelho (área de estudo).....	14

Figura 2.5- Distribuição vertical de hipocentros para o período 1961-2014, em um perfil E-W, dos eventos da região estudada centrado em 38.45°N e pelas longitudes 7.7°W e 8.26°W. Estrela a azul (Aldeia da Serra).....	15
Figura 2.6- Frequência horária da réplicas do sismo de Azaruja de 31 de Julho de 1998. Em baixo, os parâmetros da lei de Omori calculados por Borges (2003).....	17
Figura 2.7- Crise sísmica (círculos a vermelho) ocorrida nos dias 16 e 17 de Junho de 2009.....	18
Figura 2.8- Frequência horária para os 41 eventos da crise sísmica nas proximidades da Aldeia da Serra, registados nos dias 16 e 17 de Junho de 2009.....	19
Figura 2.9- Distribuição dos sismos por Magnitude (Ml) para 41 eventos da crise sísmica de 2009.....	19
Figura 2.10- Distribuição dos sismos por profundidade (Km) para 41 eventos da crise sísmica de 2009.....	20
Figura 2.11- Imagem de satélite da região estudada identifica a tracejado os principais lineamentos, que correspondem a falhas (Araújo et al, 2010).....	21
Figura 2.12- Representação esquemática da atividade tectónica atual, responsável pela génese do relevo da região de estudo, sugerido por Araújo et al, (2010).....	22
Figura 2.13- Exemplo de um radargrama com identificação de reflectores possivelmente associados à falha do Ciborro (perfil de reflexão com antena de 200 MHz) (Araújo e Martins, 2011).....	23
Figura 2.14- Imagem de satélite da Falha do Ciborro identifica a partir da topografia obtida pela imagem de satélite. A tracejado encontra-se representado o lineamento da referida falha. (Google Map 2007, em Araújo e Martins, 2011).....	23
Figura 2.15- Granito brechificado: caixa de falha de Ciborro limitada por planos com atitude N80W, 80S (Araújo et al, 2010).....	25
Figura 2.16- Carta Geológica de Portugal 1/50.000, 35-B Mora, 36-A Pavia. Pormenor da Região de Ciborro-Arraiolos. Legenda: Amarelos- Miocénico superior e Pliocénico; Vermelhos- Precâmbrico provável e Paleogénico; Cinzentos- Plistocénico e Moderno; Laranjas- Pliocénico; Verdes- Pliocénico e Moderno; Traço preto- Falha de Ciborro (Fonte: DGG - Serviços Geológicos de Portugal).....	26
Figura 3.1- Estado da rede GEOSCOPE em Dezembro de 2013 (http://geoscope.ipgp.fr/index.php/en/ acedido em Janeiro de 2014).....	30
Figura 3.2- Rede WWSSN- World-Wide Standardized Seismographic Network (Rede Sismográfica Mundial Padronizada) (Matias e Teves-Costa, 2011).....	31
Figura 3.3- Localização das estações da rede sismográfica nacional Continental do IPMA, em 2014 (triângulos vermelhos) e estações da rede	

sismográfica UE em 2014 (triângulos amarelos).....	35
Figura 3.4- Localizações das estações (triângulos vermelho) da Rede Sísmica Euromediterrânica (Wester Mediterranean), em 2015.....	37
Figura 3.5- Localização das estações da rede sismográfica UE na região de estudo. Símbolos encarnados: estão representadas as estações já instaladas. Símbolos a Verde: os locais propostos para instalação das outras duas estações (Google Earth, 2014).....	38
Figura 3.6- Exemplo Sismómetro de banda larga GURALP CMG-6TD, das estações autónomas da rede UE.....	40
Figura 3.7- Curva de resposta do sismómetro de banda larga GURALP CMG 6TD (30s) (exemplo da estação CABID).....	41
Figura 3.8- Curva de resposta do sismómetro de banda larga CMG 3ESP (60s) (exemplo da estação ASER).....	42
Figura 3.9- Abrigo da Estação VERN localizada a 38°56.74'N e 07°91.20'W no CLAV.....	43
Figura 3.10- Sismómetro Guralp CMG-6TD assente em granito.....	43
Figura 3.11- Estação EVO localizada a 38°52.94'N e 08°01.66'W no PUM.....	43
Figura 3.12- Sismómetro Guralp CMG-6TD assente em um pilar de cimento consolidado.....	43
Figura 3.13- Estação ASER (Aldeia da Serra) localizada a 38°47.80'N e 07°58.15'W. Legenda: 1- GPS; 2- Painéis solares de 135 Ah (mais tarde substituídos por painéis solares de 130 W, ver a figura B.1 em apêndice); 3- Local de instalação do Sismómetro de Banda larga CMG 3 ESP (60s): assente sobre o afloramento rochoso granítico e protegido por uma manta térmica e por uma caixa isoladora, garantindo bom isolamento térmico e evitado desta forma a flutuações térmicas diárias. 4- Caixa protetora dos equipamentos: Computador de campo SeisComp Alpha 2000, Digitalizador CMG-D24-2000; Baterias de chumbo de 135 Ah e o aparelho de comunicação TELTONIKA HSPA + Router 7-30 VDC para comunicações GSM; 5- Vedação da estação.....	45
Figura 3.14- Interior da caixa protetora dos equipamentos mencionados na figura anterior. Legenda: 1- Computador de campo SeisComp Alpha 2000; 2- Digitalizador CMG-D24-2000; 3- Aparelho de comunicação TELTONIKA HSPA + Router 7-30 VDC para comunicações GSM; 4- Baterias de chumbo de 135 Ah.....	46
Figura 3.15- Diagrama de blocos que representa o circuito de alimentação da estação ASER CMG 3ESP (60s) de banda larga transmitida em tempo real. A fonte de alimentação é composta por um painel solar de 130 W, um regulador de corrente AC e duas baterias de chumbo de 135 Ah. No período noturno ou diurno com céu nublado, os painéis solares recebem pouca energia do Sol e deste modo as baterias irão manter uma tensão de saída AC normal. A autonomia depende do capacidade de carga da bateria.....	46

Figura 3.16- Estação sismográfica CARR (Carrascal) localizada a 38'47.8256N e 07'54.2158W. Legenda: 1- GPS; 2- Painel Solar de 20 W (SUOYANG SY-20M).....	47
Figura 3.17- Interior do abrigo da estação CARR. Legenda: 1- Local de instalação do Sismómetro de Banda larga GURALP CMG 6TD (30s) enterrado sobre afloramento rochoso granítico e protegido por uma manta térmica e por uma caixa isoladora, garantindo bom isolamento térmico e evitado desta forma a flutuações térmicas diárias; 2- Caixa protetora das baterias de 12 V (44 Ah/440 A-EN), dos cabos e do Breakout box CMG 6TD.....	48
Figura 3.18- Estação sismográfica CABID (Monte Cabide) localizada a 38'44.3151N e a 07'56.1091W. Legenda: 1- Local de instalação do Sismómetro de Banda larga GURALP CMG 6TD (30s) enterrado sobre afloramento rochoso granítico e protegido por uma manta térmica e por uma caixa isoladora, garantindo bom isolamento térmico e evitado desta forma a flutuações térmicas diárias; 2- Caixa protetora das baterias de 12 V (44 Ah/440 A(EN)), dos cabos e do Breakout box CMG-6TD; 3- Painel Solar de 20 W (SUOYANG SY-20M); 4- GPS.....	48
Figura 3.19- Diagrama de blocos que representa o circuito de alimentação das estações autónomas de banda larga CARR e CABID (GURALP CMG-6TD (30 s)). A fonte de alimentação é composta por um painel solar de 12 V, duas baterias de 12 V. Se a energia do painel solar falhar ou baixar, as baterias irão manter uma tensão de saída AC normal.....	49
Figura 3.20- Representação gráfica da variação da tensão (exemplo da estação ASER).....	50
Figura 3.21- Representação gráfica da variação da temperatura (exemplo da estação ASER).....	50
Figura 4.1- Modelo padrão de ruído sísmico, proposto por Peterson (1993) adaptado. O preto o nível mais baixo e o vermelho o nível de ruído mais elevado.....	56
Figura 4.2- Na imagem o autor, extraído os dados da estação sísmica autónoma CABID.....	58
Figura 4.3- Disco GURALP SYSTEMS 6TD.....	59
Figura 4.4- Padrões de ruído da estação transmitida em tempo real ASER, em diferentes horas do dia 28-09-2014. As cores vermelha, verde e azul correspondem as três componentes: Este, Norte e Vertical, respectivamente. Os tracejados a preto representam os níveis de ruído elevado (NHNM) e baixo (NLNM) do modelo de Peterson (1993).....	63
Figura 4.5- Padrões de ruído da estação autónoma CARR em diferentes horas do dia 21-10-2004. As cores vermelha, verde e azul correspondem as três componentes: Este, Norte e Vertical, respetivamente. Os tracejados a preto representam os níveis de ruído elevado (NHNM) e baixo (NLNM) do modelo de Peterson (1993). O tracejado a laranja na vertical indica a faixa	

de frequências em que o espectro de ruído desta estação excede o modelo proposto por Peterson (1993).....	64
Figura 4.6- Padrões de ruído da estação autónoma CABID em diferentes horas do dia 21-10-2004. As cores vermelha, verde e azul correspondem as três componentes: Este, Norte e Vertical, respectivamente. Os tracejados a preto representam os níveis de ruído elevado (NHNM) e baixo (NLNM) do modelo de Peterson (1993). O tracejado a laranja na vertical indica a faixa de frequências em que o espectro de ruído desta estação excede o modelo proposto por Peterson (1993).....	65
Figura 4.7- Exemplo de registo efetuado pela estação ASER da rede UE. O evento que o originou ocorreu no dia 31 de Outubro de 2014, tem epicentro nas proximidades de Arraiolos e apresenta uma magnitude igual a 1,6.....	66
Figura 4.8- Localização do epicentro do sismo de 31 de Outubro de 2014 (estrela vermelha) pelas estações sísmicas da rede UE instaladas na região de estudo (triângulos amarelos) e epicentro localizado pelas estações do IPMA (estrela laranja).....	68
Figura 4.9- Espectro em deslocamento de um sismograma gerado pelo modelo de Haskell para a rotura sísmica (Borges, 2003).....	69
Figura 4.10- Registos verticais do sismo de 31 de Outubro de 2014 (ondas P assinaladas por rectângulo) (em cima) e respectivo espectro das ondas P em deslocamento (em baixo) da estação ASER da rede UE.....	72
Figura 4.11- Registos verticais do sismo de 31 de Outubro de 2014 (ondas P assinaladas por rectângulo) (em cima) e respectivo espectro das ondas P em deslocamento (em baixo) da estação CABID da rede UE.....	73
Figura 4.12- Registos verticais do sismo de 31 de Outubro de 2014 (ondas P assinaladas por rectângulo) (em cima) e respectivo espectro das ondas P em deslocamento (em baixo) da estação CARR da rede UE.....	74
Figura B.1- Estrutura da base do SEISAN, com a base de dados UE.....	92
Figura B.2- Painel Solar de 130W. SUOYANG, Modelo SY-130M (utilizado na estação ASER).....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Soluções focais dos sismos de 1987, 1997, 1998 e 2002 (Évora). h = profundidade; strike, dip, rake (ϕ° , δ° , λ°). MOR: Moreira (1991); BORb e BORc: Borges et al. (2003).....	13
Tabela 3.1- Estações permanentes da rede sismográfica nacional continental (IPMA, 2014).....	34
Tabela 3.2- Estações da rede sismográfica UE, 2014.....	37
Tabela 4.1- Parâmetros de coeficientes para a obtenção da curva NLNM-New Low Noise Model (nível de ruído baixo) num dado período (P). Peterson (1993).....	57
Tabela 4.2- Parâmetros de coeficientes para a obtenção da curva NHNM-New High Noise Model (nível de ruído alto) num dado período (P). Peterson (1993).....	57
Tabela 4.3- Tabela que resume os resultados da localização hipocentral do evento de 31 de Outubro de 2014 (pelas estações da rede UE “na segunda alínea” e do IPMA “na terceira alínea”).....	66
Tabela 4.4- Tabela que resume os parâmetros da localização do evento de 31 de Outubro de 2014.....	67
Tabela 4.5- Tabela com os resultados dos parâmetros espectrais obtidos a partir da análise espectral dos registos obtidos nas três estações da rede UE (componente vertical).....	71
Tabela A.1- Boletim Sismológico Preliminar do Continente e Madeira, Junho de 2009. Instituto de Meteorologia, Departamento de Sismologia e Geofísica, atual IPMA.....	86
Tabela A.2- Soluções focais analisadas na secção 2.3.3 h = profundidade; ϕ, δ, λ representam, respetivamente, o azimute, a inclinação e o ângulo de deslizamento. STI: Stich et al., (2005); BUFa: Buforn et al., (1988a); BUFB: Buforn et al. (1988b); BORa: Borges (1991); BORb: Borges et al. (2001); BORc: Borges et al. (2002); MOR: Moreira (1991); RIB: Ribeiro et al. (1996); CARa: Carrilho et al. (2004); CARb: Carrilho (2005); GRD: Grandin et al., 2007; BEZ: Bezzeghoud et al. (2000). IGN: Instituto Geográfico Nacional (Madrid); CMT: Centroid Moment Tensor (Harvard).....	87

LISTA DE QUADROS

Quadro B.1- Script do estudo do ruído (exemplo da Estação CABID)...	88
Quadro B.2- Estabelecimento da base de dados no SEISAN.....	90
Quadro B.3- Estrutura da base de dados do SEISAN.....	92
Quadro B.4- Dados dos LOGs (tensão e temperatura, exemplo da estação ASER).....	93

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera

CGE- Centro de Geofísica de Évora

VIT – Vale Inferior do Tejo

PUM- Polo Universitário da Mitra

UE- Universidade de Évora

CLAV- Colégio Luís António Verney

SAC- Seismic Analysis Code (Códigos de Análise Sísmica)

GMT- Generic Mapping Tools Graphics (Ferramentas Genérica de Mapeamentos Gráfico)

GPS - Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)

Capítulo I

Introdução

De acordo com Sykes (1978) e Neto (2009), nos continentes, os sismos intraplaca tendem a se concentrar ao longo de zonas de fraqueza pré-existentes (incluindo zonas de falha, zonas de sutura, riftes abortados e outros limites tectónicos), particularmente aquelas próximas das margens continentais, foram reativadas durante os primeiros estágios da separação dos continentes. Os sismos intraplaca que ocorrem em áreas da crosta continental estável têm sido explicados basicamente pela reativação de zonas de fraqueza preexistente, concentração de stress, ou ambos. As zonas de fraqueza são geralmente identificadas como lugares de maior fracturação prévia. Em contraste, os sismos intraplacas raramente ocorrem dentro da litosfera oceânica antiga ou no interior de antigos blocos cratónicos continentais (Vauchez, 1995).

A conjugação da informação relativa à fonte sísmica, obtida neste trabalho e em trabalhos prévios, permitiu quantificar e clarificar alguns aspectos da sismotectónica da Região Caborro-Arraiolos (mecanismo tipo, orientação do campo da tensão e ao cálculo dos parâmetros da fonte).

O estudo da sismicidade da região de Caborro-Arraiolos, baseia-se fundamentalmente em dados instrumentais registados pela rede nacional. Todavia, relativamente a esta região, existem ainda poucos trabalhos publicados no domínio da fonte sísmica e dos mecanismos focais (Bezzeghourd et al., 2013). De acordo com os dados recentes divulgados pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), a atividade sísmica no distrito de Évora, concentra-se preferencialmente na região norte de Évora, abrangendo as povoações de Azaruja, Mora, Arraiolos e Caborro (Região de estudo da presente dissertação). Esta região localiza-se numa zona com alguns lineamentos que podem, em parte, corresponder a falhas ativas. A presença de atividade sísmica ainda que de fraca magnitude

(abaixo de 4 na escala de Richter), leva a crer que existe perigosidade sísmica (Araújo et al., 2010). De acordo com os mecanismos focais disponíveis para esta região, o campo de tensões, tal como no continente, tem uma orientação próxima de NW-SE, relacionado com a convergência entre as placas Euro-Asiática e Africana (Bezzeghoud e Borges, 2003).

Relativamente a localização geográfica da região: a freguesia de Ciborro situa-se no Concelho de Montemor-o-Novo, que administrativamente pertence ao Distrito de Évora e, ocupa uma área total de 55 Km². Localizado no distrito de Évora, o concelho de Arraiolos possui uma área total de 684,06Km² e trata-se de um concelho constituído por 7 freguesias, sendo estas as seguintes: Arraiolos, Igrejainha, Sabugueiro, Santa Justa, São Gregório, São Pedro da Gafanhoeira e Vimieiro.

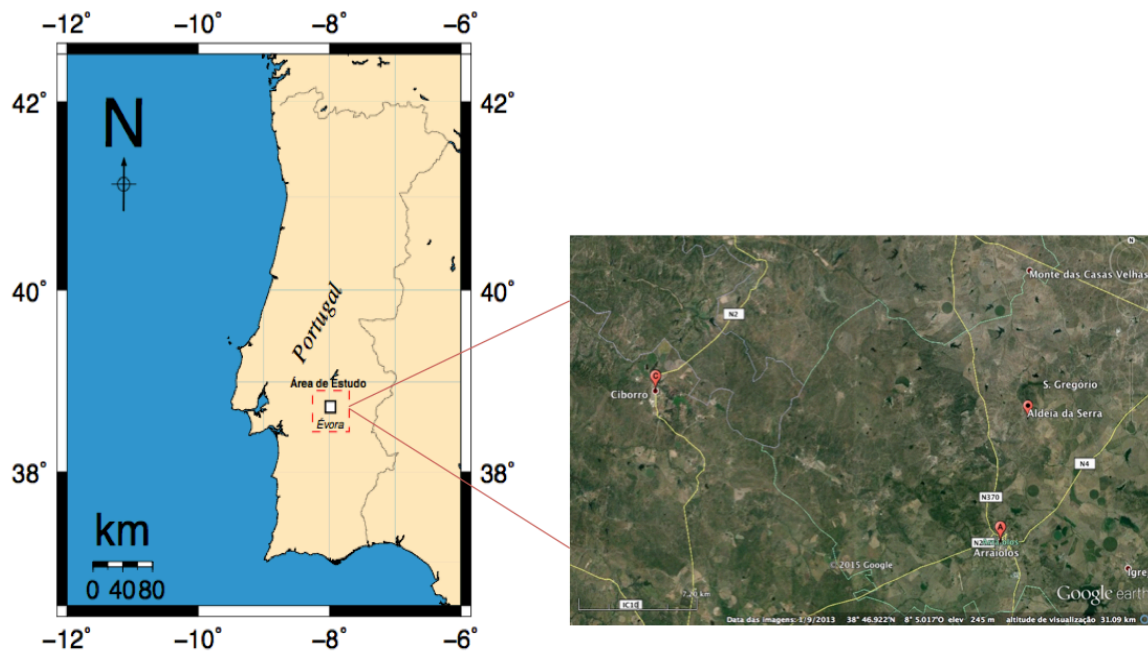


Figura 1.1- Enquadramento geográfico da região de Ciborro-Arraiolos. No lado esquerdo, imagem de satélite da região de estudo (Google Earth, 2015).

A geologia superficial da região Ciborro-Arraiolos pode ser observada na figura 1.2 (o tema será abordado mais adiante na secção 2.3.2).

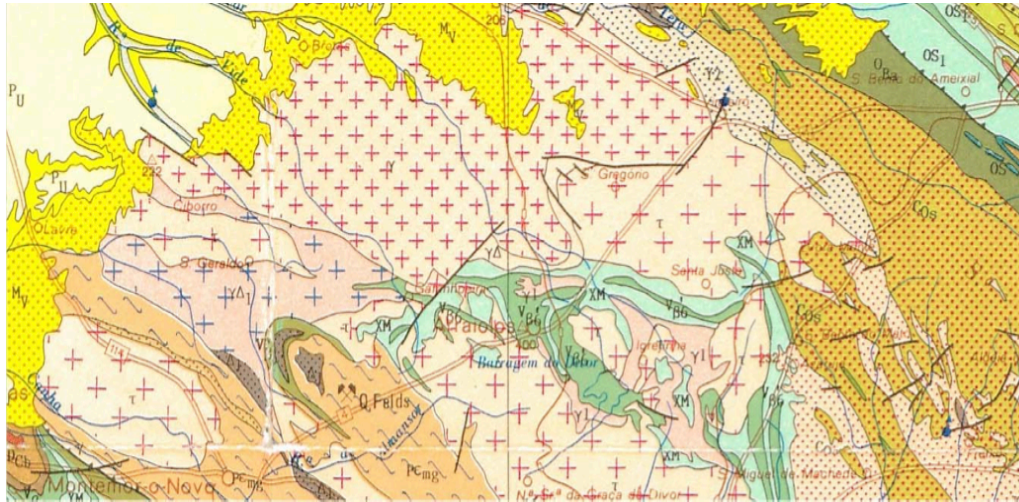


Figura 1.2- Excerto da Carta Geológica de Portugal a 1:500000 (Araújo e Martins, 2011). Pormenor da região Caborro-Arraiolos. Legenda: Cinzentos – Quartenário; Laranja e Amarelos – Cenozóico; Verdes – Cretácico; Restantes cores – Paleozóico.

Os principais objetivos deste trabalho são os seguintes:

- 1) Estudar a sismotectónica e sismicidade da região Caborro-Arraiolos, apresentando suas causas e características.
- 2) Melhorar a sensibilidade da rede nacional do IPMA no sentido de melhorar a capacidade de detecção da sismicidade de fraca magnitude através da instalação e manutenção de uma rede sismográfica para monitorização da atividade sísmica na região em estudo. Para tal, iniciou-se a instalação de uma rede de banda larga com características mistas, ou seja, constituídas por estações autónomas CMG 6TD (30s) e estações com transmissão de dados em tempo real (real-time) CMG 3ESP (60s).
- 3) Relocalização de eventos da base de dados UE (período de 21 de Outubro a 31 de Dezembro de 2014) e o cálculo dos respectivos parâmetros de fonte.

Para o cumprimento dos objectivos previamente definidos, em primeira instância fez-se uma investigação bibliográfica relevante para o desenvolvimento do presente trabalho, onde procuramos sistematizar as várias contribuições de autores nos domínios da fonte sísmica e dos mecanismos focais, Sismotectónica, Geomorfologia e Geologia.

Realizaram-se trabalhos de campo a fim de: primeiro- identificar os locais de instalação das estações sismográficas; segundo- proceder à sua instalação para a monitorização da atividade sísmica local; e por fim recolher os dados sismológicos destas estações, essenciais para o cumprimento das actividades de investigação que constam do programa de trabalho para o devido processamento.

Esta análise, envolve vários programas computacionais interativos que serviram de suporte para processar os dados obtidos neste estudo, entre os quais, o SAC (Seismic Analysis Code – Códigos de Análise Sísmica (<http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/software/downloads/sac/>)). É um programa usado para analisar séries temporais, especialmente formas de onda sísmicas, usa um formato próprio e é um dos programas mais usados pela comunidade sismológica. O GMT (Generic Mapping Tools Graphics – Ferramentas Genérica de Mapeamentos Gráfico) autoria: Wessel P. e Smith W (<http://gmt.soest.hawaii.edu/projects/gmt/wiki/Download>). O software MATLAB 7.9.0 (R2009b) (ferramenta informática, interativa e de alta performance orientada à execução de tarefas que envolvem cálculos numéricos) para análise do ruído sísmico e cálculo dos parâmetros de fonte; O SEISAN¹ (Earthquake Analysis Software – Software de Análise de Terramotos) autoria: Havskov J., Ottemoller L., e Voss P. (<http://seis.geus.net/software/seisan/seisan.html>). Permite utilizar dados de eventos locais, regionais e distantes ou telesísmos, e também incorporar manual e automaticamente leituras de fase, localizar e editar eventos, determinar magnitudes, determinar parâmetros espectrais, determinar mecanismos focais, momento sísmico, azimute de estações com três componentes, plotar epicentros, etc.

A presente dissertação está organizado da seguinte forma:

- ⇒ O capítulo I constitui a presente introdução;
- ⇒ No capítulo II faz-se um levantamento bibliográfico atual sobre a Sismotectónica da região de estudo enquadrada no sector oriental de Portugal Continental. Inicialmente caracteriza-se a Sismicidade e a

¹ Ver quadro B.2 em apêndice a descrição do estabelecimento da base de dados no SEISAN. Quadro B.3 Estrutura da base de dados do SEISAN.

distribuição dos mecanismos focais de Portugal Continental e mais adiante, é apresentado um estudo detalhado desenvolvido no âmbito deste trabalho sobre a actividade sísmica na Região Caborro-Arraiolos, com realce para dois mapas (o primeiro representando a distribuição temporal-espacial dos eventos sísmicos e o segundo mapa representando os hipocentros destes eventos) e também, é apresentado o mapa dos mecanismos focais existentes. No último sub-capítulo faz-se uma contextualização sobre a Geomorfologia e Geologia da região de Caborro-Arraiolos, dando ênfase às principais características morfológicas atuais e formações rochosas que afloram na região;

- ⇒ No capítulo III é feita uma caracterização da rede sismográfica da Universidade de Évora no âmbito da monitorização da actividade sísmica local, onde são descritos o sistema de comunicação sismológico (SeisComP - o caso das estações ASER e EVO) e os sensores de banda larga (BL) utilizados neste trabalho, e por fim, será feito uma descrição sobre os procedimentos que envolveu o processo de instalação das estações sismográficas desta rede na Região Caborro-Arraiolos.
- ⇒ No capítulo IV é feito o tratamento de dados e apresentados os resultados (ruído sísmico, relocalização de eventos da base de dados UE e cálculo dos parâmetros de fonte) e a respectiva discussão;
- ⇒ No capítulo V são apresentadas as considerações finais, e algumas sugestões para trabalhos futuros e por fim, as referências bibliográficas utilizadas, os anexos e apêndices com informação complementar à existente nos distintos capítulos deste trabalho.

Capítulo II

Estado da arte

2.1 Sismotectónica da Região Ciburro-Arraiolos

2.1.1 Sismicidade de Portugal Continental

O estudo da atividade sísmica de Portugal pode ser dividido em três setores diferentes (ocidental, central e oriental), de acordo com as características morfológicas da sismicidade e estruturas tectónicas e do comportamento geodinâmico (Bezzeghoud et al., 2013). O setor ocidental corresponde ao arquipélago dos Açores e estende-se até a dorsal meso-atlântica. O setor central está relacionada com a falha da Glória, incluindo o arquipélago da Madeira. O setor oriental² inclui o território de Portugal Continental e as suas margens atlânticas (Le Goff, 2013). A Região Ciburro-Arraiolos enquadra-se neste sector (ver a figura 2.1).

Neste trabalho foi possível elaborar um mapa (figura 2.1) da sismicidade instrumental de Portugal Continental e margem atlântica para o período entre 1961 à 2014, onde se projectaram também as falhas tectónicas principais. A análise deste mapa, revela uma distribuição de epicentros heterogénea, com uma maior concentração no sul e margem atlântica adjacente, zona de Évora e numa faixa a norte de Lisboa, entre o vale inferior do Tejo e a costa. É uma atividade sísmica caracterizado por eventos de magnitude moderada ($M < 5$) e alguns registos de magnitude superior ($5 \leq M \leq 7.8$), estes com especial incidência na costa sul e SW. Este mapa mostra um aumento da sismicidade nesta faixa (costa sul e SW), onde é possível verificar as principais falhas tectónicas nele representadas, o que sugere uma forte relação.

² Este setor de Portugal continental tem sido atingido por vários sismos de grande magnitude, muitos dos quais provocaram elevados danos e muitas vítimas, sendo o sismo de 1755, que é conhecido como o “terramoto de Lisboa”, o mais importante (Carrilho, 2005).

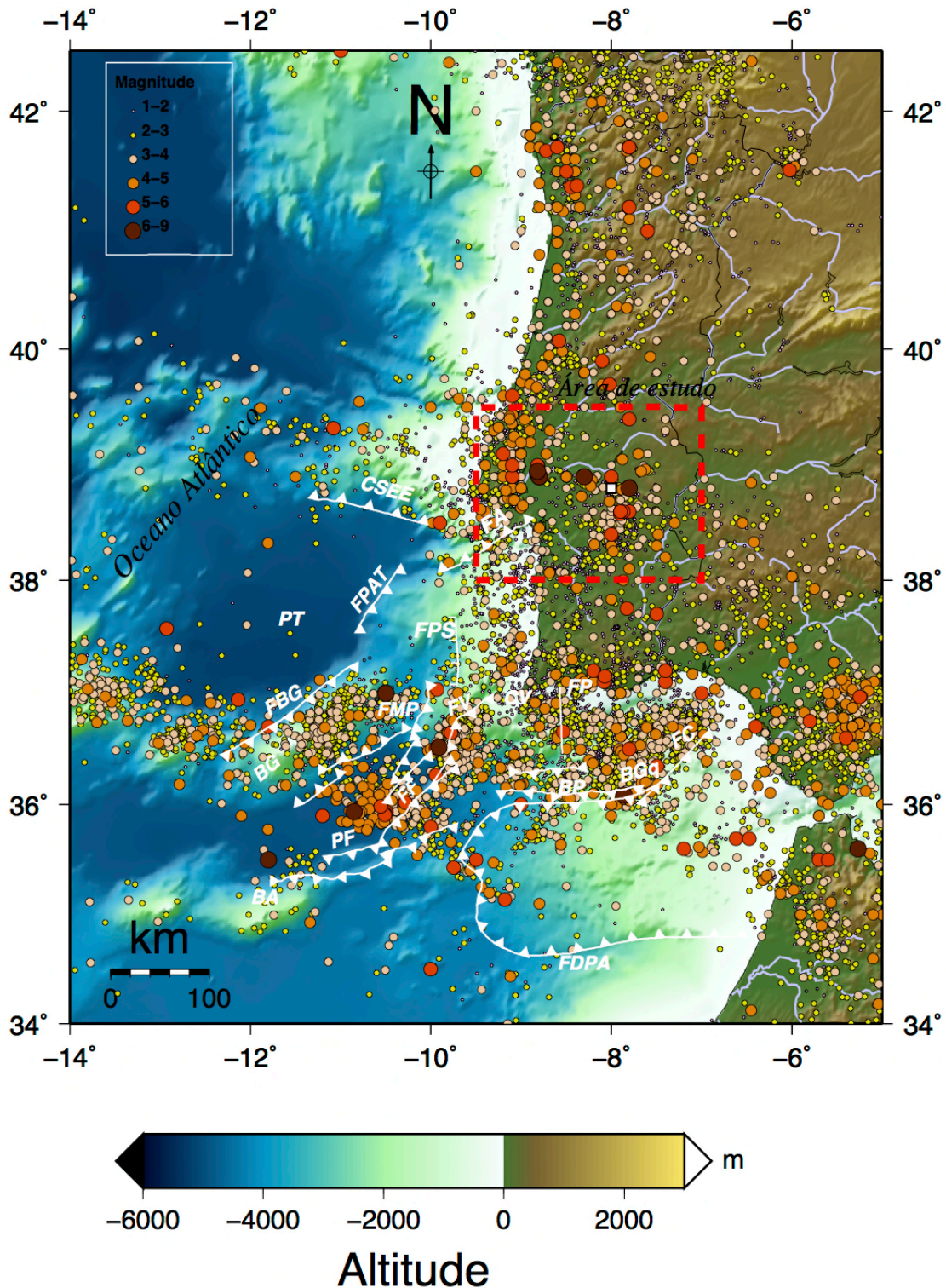


Figura 2.1- Sismicidade instrumental de Portugal Continental e margem atlântica (1961-2014, Fonte: IPMA). As falhas tectónicas principais estão, igualmente, representadas: CSEE= Cavalgamento Sul do Esporão da Estremadura; FA= Falha Arrábida; FPAT= Falha da Planície Abissal do Tejo; FPS= Falha Pereira de Sousa; PT= Planície do Tejo; FBG= Falha do Banco de Goringe; BG= Banco de Goringe; FP= Falha de Portimão; FV= Falha de São Vicente; CV= Cabo de São Vicente; FMP= Falha Marquês de Pombal; BP= Banco de Portimão; BGq= Banco de Guadalquivir; FF= Falha de Ferradura; BA= Banco de Ampere; PF= Planície de Ferradura; FDPA= Frente de Deformação do Prisma Acrescionário.

2.1.2 Mecanismos focais

Aceitando que o mecanismo de cada sismo é consequência da geodinâmica da região que envolve a fonte, é compreensível a importância que tem o estudo dos mecanismos focais dos sismos da região de estudo para a caracterização da sua complexa geodinâmica (Bezzeghoud et al., 2013).

Na figura 2.2 apresenta-se uma seleção dos mecanismos focais dos eventos sísmicos ocorrido em Portugal Continental e margem atlântica (período 1960-2009). As soluções dos eventos sísmicos representadas podem ser encontrados em: Stich et al., (2005); Buforn et al., (1988a); Buforn et al., (1988b); Borges (1991); Borges et al., (2001); Borges et al., (2002); MOR: Moreira (1991); Ribeiro et al. (1996); Carrilho et al. (2004); Carrilho (2005); Grandin et al., 2007 e em Bezzeghoud et al., (2000); Instituto Geográfico Nacional (Madrid); Centroid Moment Tensor (Harvard). Nesta figura é possível observar 45 mecanismos focais representados cujas soluções correspondem a sismos ($1.9 \leq M \leq 8.0$) ocorridos no período 1960-2009, inclusive o evento de Benavente de 23 de Abril de 1909 (ver tabela A.2 em anexo). Ainda, é possível distinguir e caracterizar 5 sub-regiões: A1- margem oeste Portuguesa; A2- Lisboa e Vale do Tejo; A3- Évora e limítrofe (abrange a região estudada); A4- faixa algarvia e A5- zona de fronteira inter-placas. Observa-se que os mecanismos predominantes na sub-região A1 correspondem a soluções de falhas (strike-slip) com planos orientados na direção N-S e E-W, NW-SE e SW; A2 (falhas normal, inversa ou oblíquo) com planos orientados na direção E-W; A3 (strike-slip ou oblíquo), A4 (strike-slip ou inversa) e A5 (falhas inversas com uma fraca componente de desligamento-horizontal) (Bezzeghoud et al., 2013).

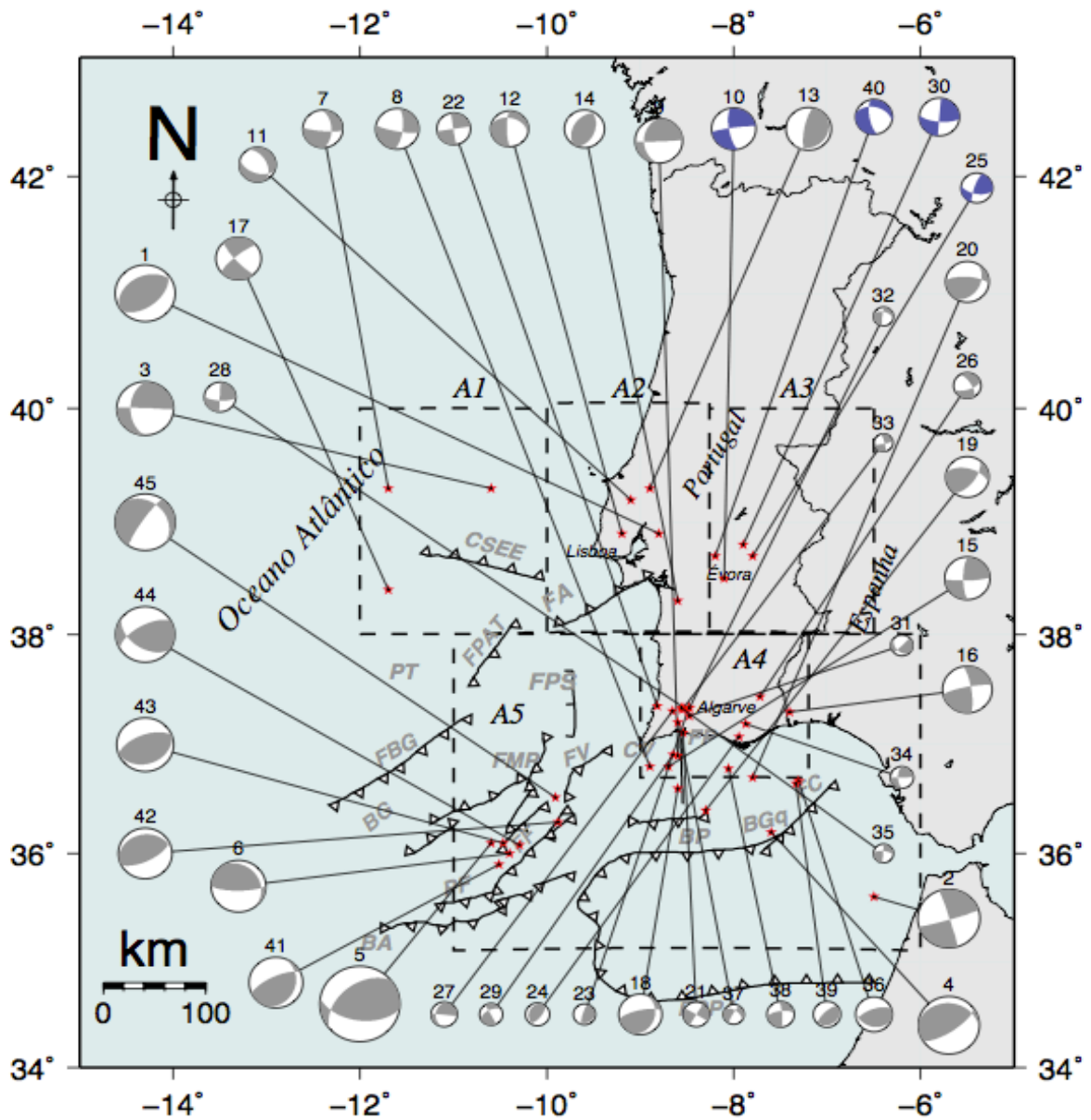


Figura 2.2- Mecanismos focais dos sismos ocorridos em Portugal Continental e margem atlântica (período 1960-2009)³ (Bezzeghoud et al., 2013), cujos parâmetros estão listados na tabela A2 em anexo. A vermelho: os epicentros; Os mecanismos focais dos sismos da região de estudo estão representados a azul. As falhas tectónicas principais estão, igualmente, representadas: CSEE= Cavalgamento Sul do Esporão da Estremadura; FA= Falha Arrábida; FPAT= Falha da Planície Abissal do Tejo; FPS= Falha Pereira de Sousa; PT= Planície do Tejo; FBG= Falha do Banco de Goringe; BG= Banco de Goringe; FP= Falha de Portimão; FV= Falha de São Vicente; CV= Cabo de São Vicente; FMP= Falha Marquês de Pombal; BP= Banco de Portimão; BGq= Banco de Guadalquivir; FF= Falha de Ferradura; BA= Banco de Ampere; PF= Planície de Ferradura; FDPA= Frente de Deformação do Prisma Acrescionário.

³ Com a disponibilidade das soluções focais, foi possível representar o mecanismo focal do sismo de Benavente de 23 de Abril de 1909 (Mw=6.0) localizado a NE de Lisboa.

Como se verá na secção 2.2 a grande maioria dos sismos que ocorreram na Região Ciborro-Arraiolos são geralmente de magnitude baixa ($M < 4$) e alguns registos ($M > 4$), não se conhecendo os respetivos mecanismos focais, com exceção para os sismos de 19 de Janeiro de 1997 ($M = 3.2$), com epicentro próximo de São Gregório e o de 31 de Julho de 1998 ($M = 4.1$), com epicentro em Azaruja; e os eventos de 04 de Junho de 1987 ($M = 4.4$) e 20 de Março de 2002 ($M = 3.8$).

Os mecanismos focais obtidos dos eventos de 19 de Janeiro de 1997 e o de 31 de Julho de 1998, são do tipo deslizamento-horizontal (strike-slip) (Bezzeghoud et al., 2013) e indicam uma direcção de compressão NW-SE e são compatíveis com planos de ruptura do tipo desligamento direito, de direcção N80W a N85W, inclinados 60 a 70° para Sul. Estas orientações coincidem com as determinadas em afloramento para a falha do Ciborro (N80°W; 80S) (Araújo e Martins, 2011).

Os mecanismos focais do evento de 04 de Junho de 1987 apresenta características similares dos eventos de 1997 e de 1998, com exceção para o mecanismo focal obtido do evento de 20 de Março de 2002, cujo resultado é de falha normal com uma pequena componente do tipo deslizamento-horizontal e indica as direcções NS e WNW-ESE (Borges, 2003). Este sismo foi gerado em falha normal oblíqua com orientação NO-SE, ou seja paralela à compressão horizontal máxima, contrariamente aos mecanismos da região que são do tipo desligamento-horizontal (strike-slip). Uma possível explicação para este facto poderá ser a proximidade deste evento à Bacia do Baixo Tejo-Sado (figura 2.3). Os reajustes da crosta, em profundidade, relacionados com os fenómenos de subsidência desta bacia poderão estar na origem deste sismo (Bezzeghoud et al., 2013).

De modo geral a geometria dos mecanismos focais determinados dos eventos sísmicos na região de estudo (figura 2.11), coincidem com a falha do Ciborro (figura 3.6) e outras estruturas paralelas (Araújo et al., 2010).

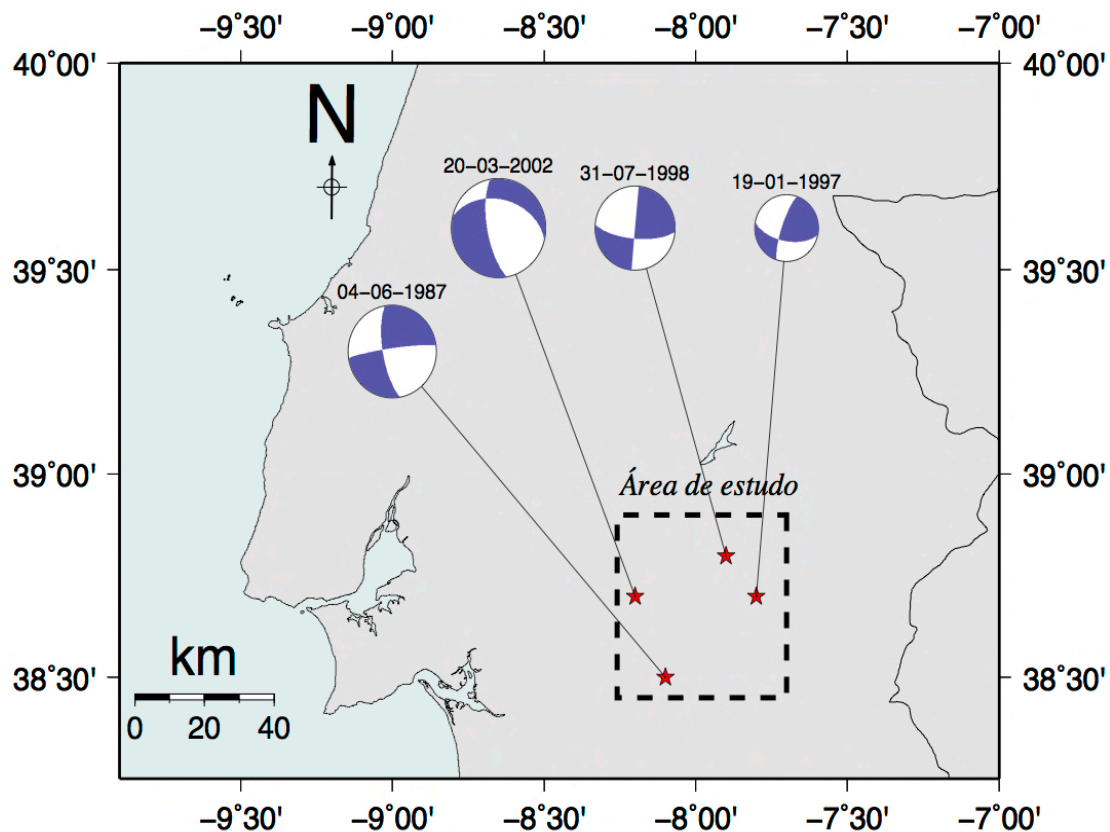


Figura 2.3- Mecanismos focais dos eventos de 19 de Janeiro de 1997; 31 de Julho de 1998; 20 de Março de 2002 determinados por Borges (2003) e 04 de Junho de 1987 determinados por Moreira (1991) (epicentros a vermelho).

Na tabela 2.2 apresenta-se as soluções dos eventos sísmicos representados na figura 2.3 e que podem ser encontrados em: Moreira (1991); Borges (2003); Bezzeghoud et al. (2013).

Tabela 2.1- Soluções focais dos sismos de 1987, 1997, 1998 e 2002 (Évora). h= profundidade; strike, dip, rake (ϕ° , δ° , λ°). MOR: Moreira (1991); BORb e BORc: Borges et al. (2003).

Local	Dia/mês/ano	Lat. (°N)	Long. (°E)	H (Km)	Mag.	ϕ°	δ°	λ°	Ref.
Região de Évora	04-06-1987	38,5	-8,1	99	4,4ML	262	84	-162	MOR
São Gregório	19-01-1997	38,7	-7,8	13	3,2ML	100,7	58,8	165,2	BORb
Azaruja	31-07-1998	38,8	-7,9	5	4,0ML	95	70	180	BORb
Região de Évora	20-03-2002	38,7	-8,2	12,5	3,7	284	41	-149	BORc

2.2 Actividade sísmica na Região Ciburro-Arraiolos

Neste trabalho, fez-se uma caracterização detalhada da actividade sísmica da região de estudo com base nos catálogos e boletins sísmicos do IPMA (período 1961-2014), cujo resultados são apresentados nas figuras 2.3 e 2.4, e mais adiante serão apresentados os resultados da análise da crise sísmica de 2009 (figuras 2.7, 2.8, 2.9 e 2.10, respectivamente).

Na figura 2.4 apresentam-se os epicentros registados no período 1961-2014, cuja análise permite esboçar uma caracterização da actividade sísmica nesta Região. A actividade sísmica geograficamente concentra-se, principalmente na zona de Arraiolos (próximo à Aldeia da Serra, São Gregório e Azaruja) e Montemor-o-Novo (Mora e Ciburro).

A região de estudo apresenta uma actividade sísmica caracterizada por eventos de profundidade superficial (figura 2.5), e globalmente de magnitude baixa ($M < 3$) e alguns registos de magnitude superior ($M > 3$) (figura 2.4) estes com especial incidência para os sismos de $M > 3$, ocorridos com uma certa regularidade nas últimas três décadas. São o sismo de 04 de Junho de 1987 ($M=4.4$) com epicentro a sul de Évora e o de 20 de Março de 2002 ($M=3.8$) com epicentro a norte de Montemor, próximo da localidade de Mora (Borges, 2003); os sismos de 31 de Julho de 1998 ($M=4.1$) com epicentro em Azaruja, e o de 19 de Janeiro de 1997 ($M=3.2$) com epicentro próximo de São Gregório (Araújo et al., 2010; Bezzeghoud et al., 2013), e uma análise mais detalhada da figura 2.4 (elaborada no âmbito deste trabalho), verifica-se existir um sismo com magnitude ($M>6$), 5 com magnitudes ($5 \leq M \leq 6$) e 4 sismos com magnitudes ($4 \leq M \leq 5$). Todavia, relativamente a estes sismos, pouco se sabe deles.

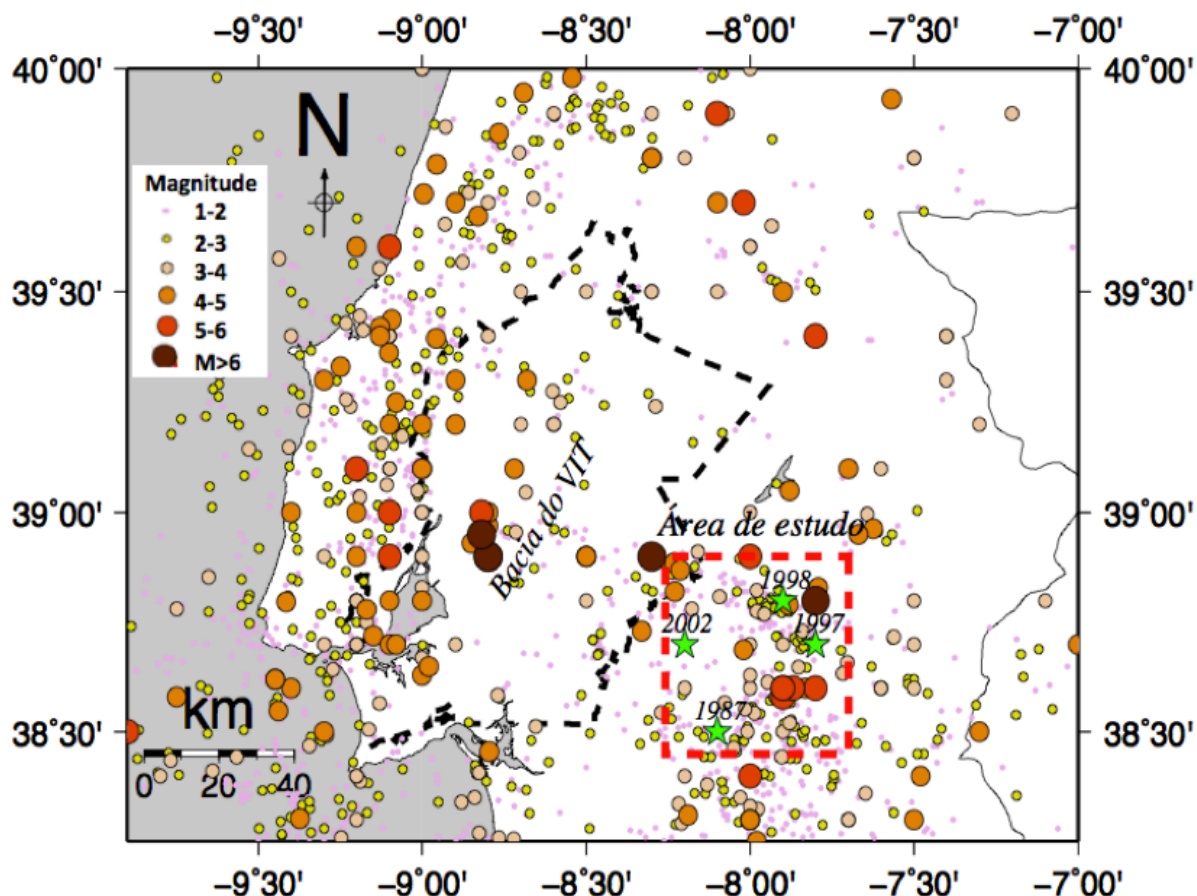


Figura 2.4- Sismicidade Instrumental (1961-2014, Fonte: IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera) e a localização dos principais sismos históricos da área de estudo. **Legenda:** estrelas a verde (epicentros dos sismos de 04-06-1987, 19-01-1997, 31-07-1998 e de 20-03-2002, respetivamente). A tracejado a preto (Bacia do VII) e a tracejado a vermelho (área de estudo).

A profundidade dos focos sísmicos é outra das características da sismicidade na zona estudada. Entre as longitudes 8.26°W e 8.01 diminui a ocorrência de terremotos, observando-se um “gap⁴” ou “vazio sísmico” a oeste da Aldeia da Serra. A maior concentração de terremotos ocorre entre as longitudes 8.0°W e 7.70°W na zona da Aldeia da Serra⁵, alcançando profundidades de proximadamente 23 Km (figura 2.5). Isto significa que a atividade sísmica desta zona, apesar de baixa magnitude é significativa no contexto regional.

⁴ GAP – corresponde à maior lacuna na cobertura azimutal dum evento.

⁵ Segundo relatos de alguns moradores desta zona, afirmam que sentem sismos quase todos os dias, o que pode ser observado na figura 2.5, ou seja, esta zona situa-se sobre os focos sísmicos.

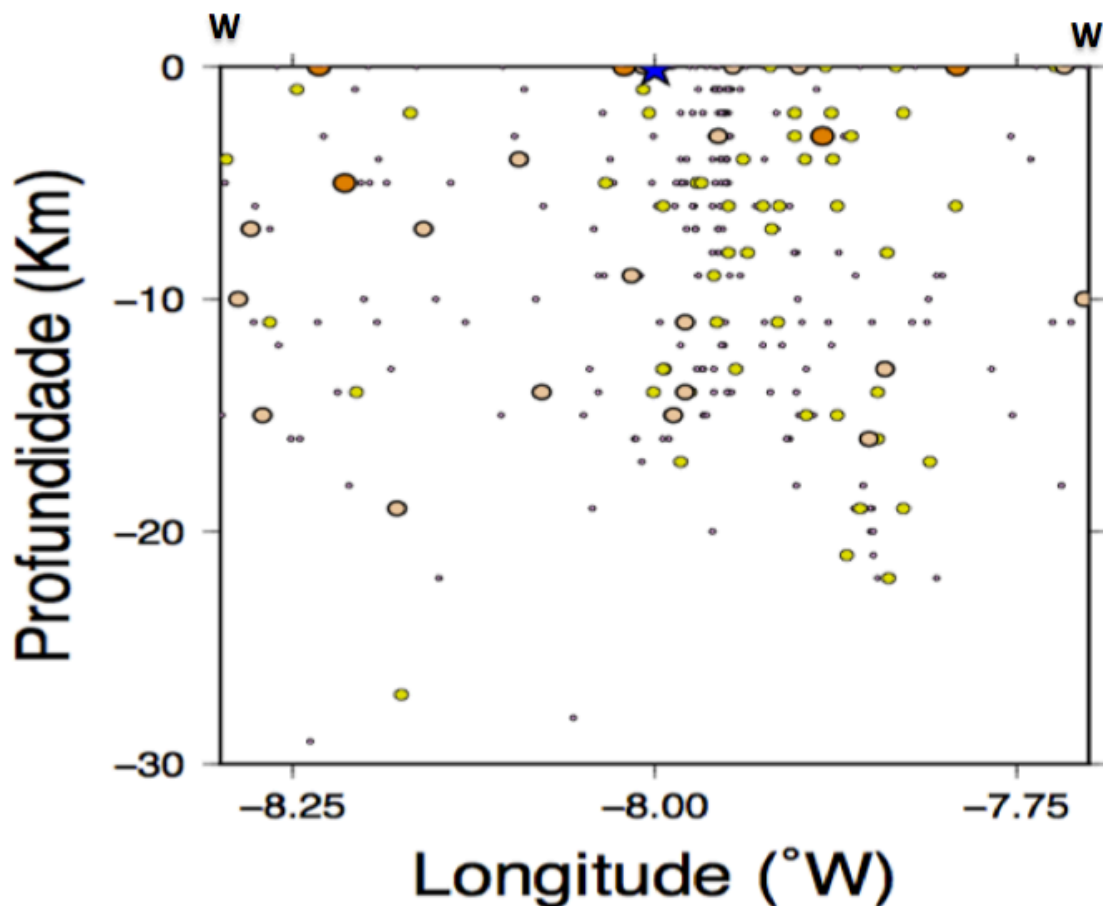


Figura 2.5- Distribuição vertical de hipocentros para o período 1961-2014, em um perfil E-W, dos eventos da região estudada centrado em 38.45°N e pelas longitudes 7.7°W e 8.26°W. Estrela a azul (Aldeia da Serra).

Um olhar geral sobre a figura 2.5 mostra que a maioria dos sismos que ocorrem nesta região têm foco superficial ($h < 30$ km), que é o limite da descontinuidade Mohorovičić⁶ (transição entre a crosta e o manto) segundo o modelo de velocidades crustais utilizado pelo IPMA.

⁶ Andrija Mohorovičić (1857-1936) realizou em 1909 os primeiros estudos sismológicos sobre a crosta terrestre e observou que os tempos de chegada das ondas geradas pelos sismos locais em Europa Central mostravam uma variação a partir dos 150 km de distância e assim foi evidenciada uma descontinuidade de velocidade a 30 km de profundidade, correspondendo a base da crosta (Bezzeghoud, 2012).

Sismo de Azaruja de 1998

O sismo de Azaruja de 31 de Julho de 1998 em particular em Arraiolos foi sentido com intensidade máxima V (segundo a informação do boletim sísmico do IPMA). Em virtude da reduzida distância epicentral às estações da rede de Évora, foi possível estudar as réplicas deste sismo - algumas delas de magnitude $M_l=1.5$ - cuja distribuição diária foi a seguinte: no primeiro dia registaram-se 22 réplicas, tendo este número descido para um valor médio diário de 3 nos dias seguintes (Borges, 2003) (figura 2.5).

Uma análise detalhada da evolução da distribuição das réplicas nas primeiras sete horas após o sismo indicam uma evolução temporal (figura 2.6) que está de acordo com o que é previsto pela lei de Omori (1895).

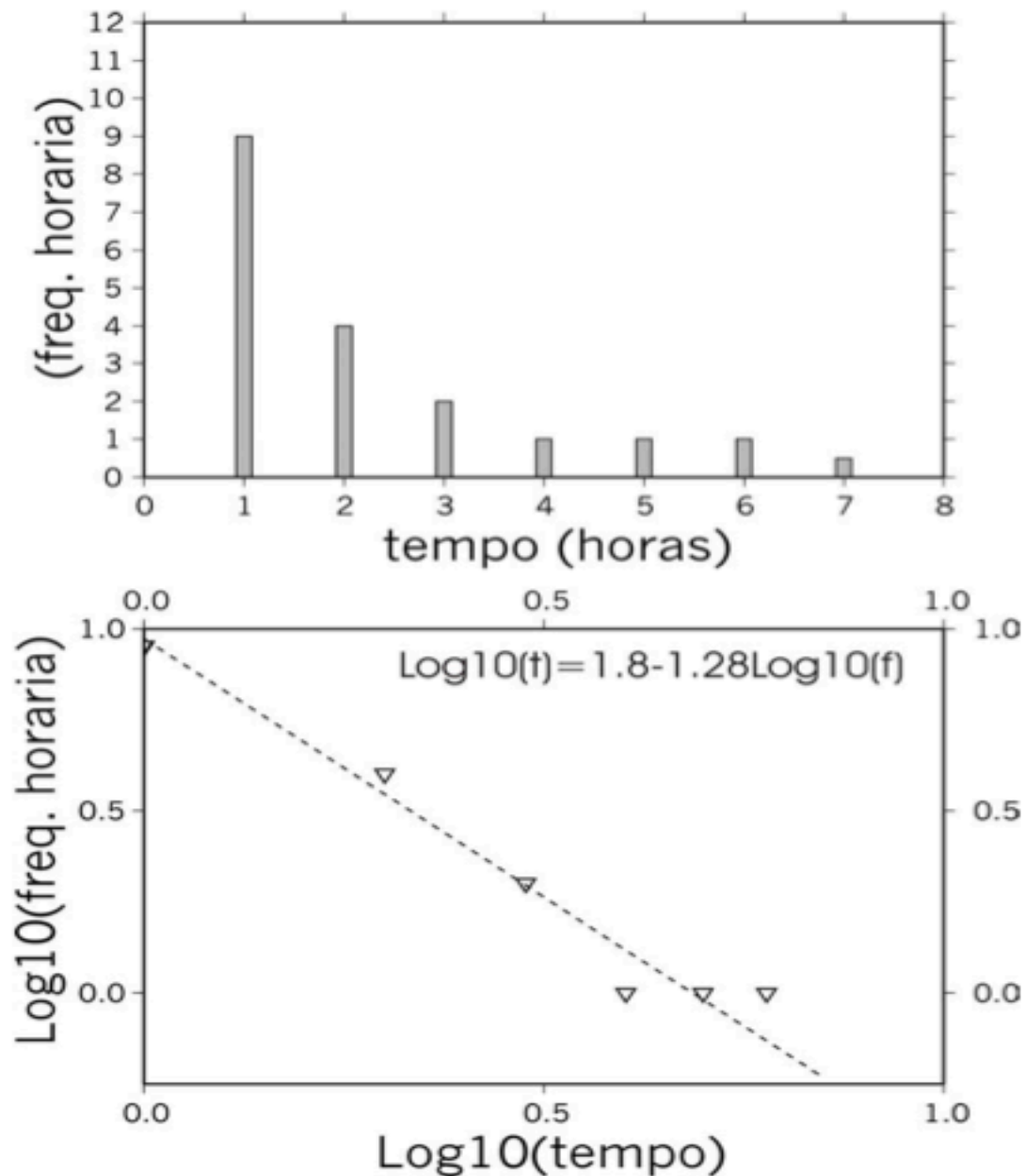


Figura 2.6- Frequência horária da réplicas do sismo de Azaruja de 31 de Julho de 1998. Em baixo, os parâmetros da lei de Omori calculados por Borges (2003).

Nos dias 16 e 17 de Junho de 2009 ocorreu uma crise sísmica tendo-se registado 41 sismos fracos (magnitude máxima de 2), todos com epicentros concentrados nas proximidades de Aldeia da Serra (figura 2.7), denotando um comportamento sísmico singular nesta região (Boletim Sismológico preliminar do Continente e Madeira, Junho de 2009 do Departamento de Sismologia e Geofísica do IPMA, ver tabela A.1 em anexo).

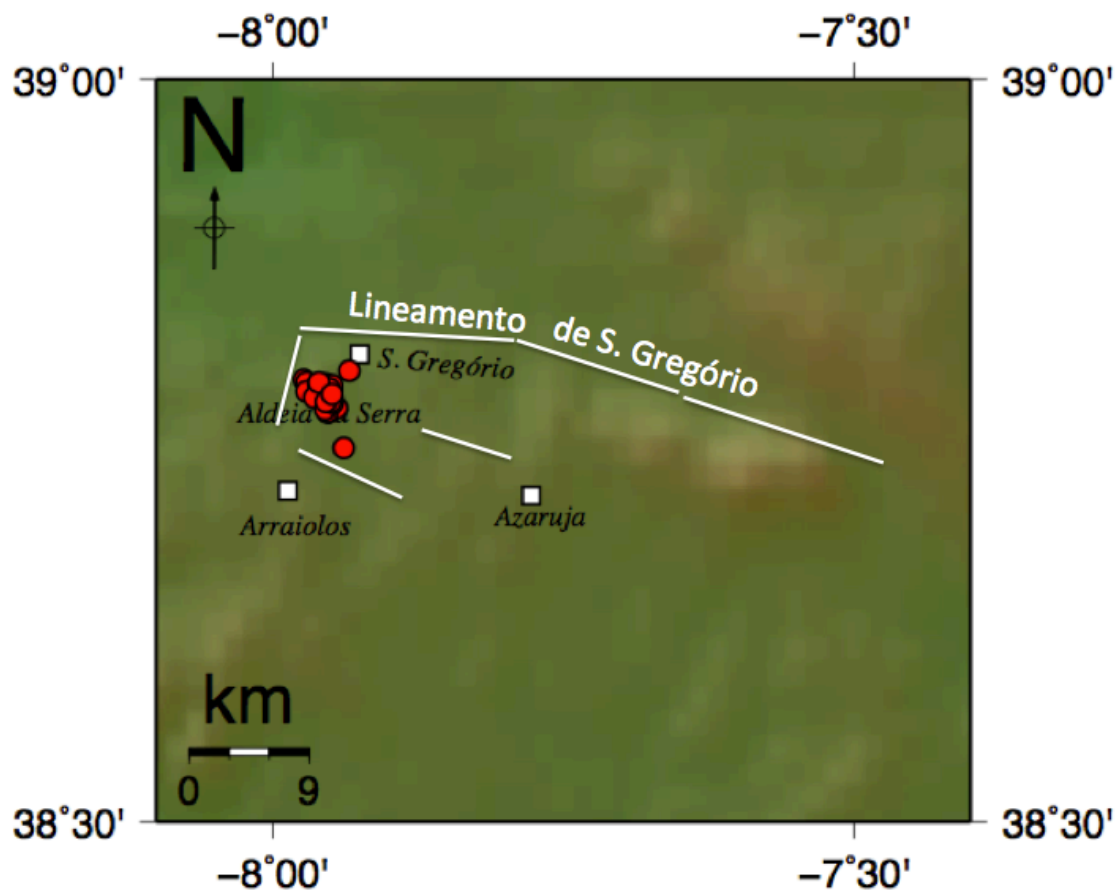


Figura 2.7- Crise sísmica (círculos a vermelho) ocorrida nos dias 16 e 17 de Junho de 2009.

Em virtude dos dados fornecidos pelo Boletim sísmico do IPMA, neste trabalho, foi possível estudar os 41 eventos do enxame sísmico, cuja distribuição diária foi a seguinte: no primeiro dia registaram-se 20 sismos, tendo este número aumentado para 41 no dia seguinte, um valor médio diário de 20,5 sismos, e 73,2% (30 sismos) ocorreram no período compreendido entre as 21 e as 10 horas dos dias 16 e 17 de Junho de 2009 (figura 2.8). A sequência destes eventos sísmicos não estão associados a qualquer evento principal e por isso, são denominados “*enxame*”. Na figura 2.9 é possível observar que o intervalo de magnitudes destes eventos varia entre 0.6 a 2.0, e a maioria dos eventos correspondem a magnitudes ($1.0 \leq M \leq 1.6$). Na figura 2.10 representam-se o número de eventos em relação a profundidade e, é notório que cerca de 92,7% (38 sismos) situam-se nos 8 km e apenas 7,3% (3 sismos) são localizados a uma profundidade inferior a 9 km.

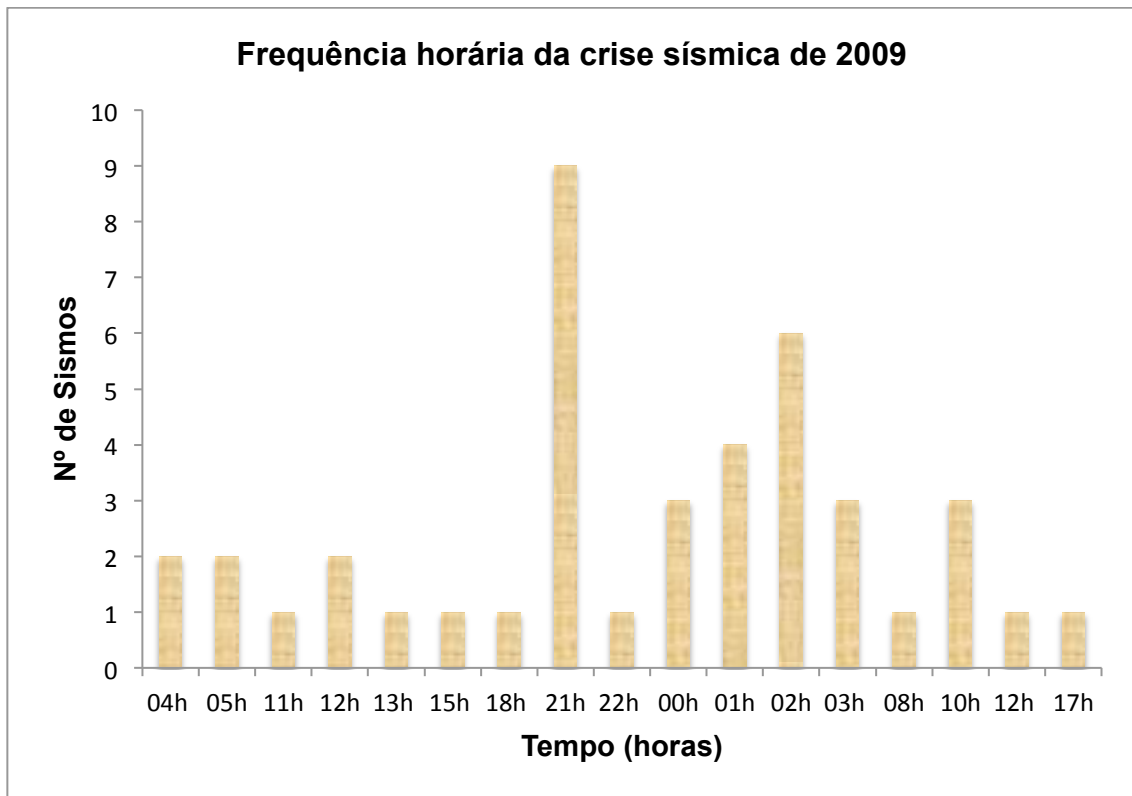


Figura 2.8- Frequência horária para os 41 eventos da crise sísmica nas proximidades da Aldeia da Serra, registados nos dias 16 e 17 de Junho de 2009.

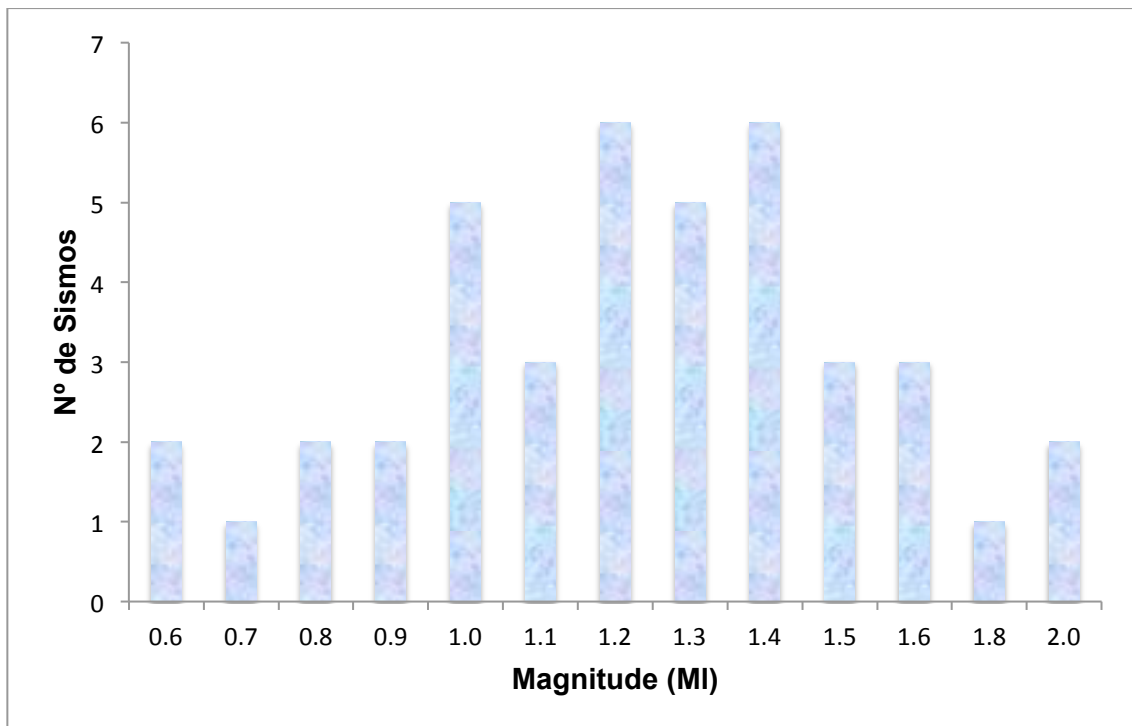


Figura 2.9- Distribuição dos sismos por Magnitude (MI) para 41 eventos da crise sísmica de 2009.

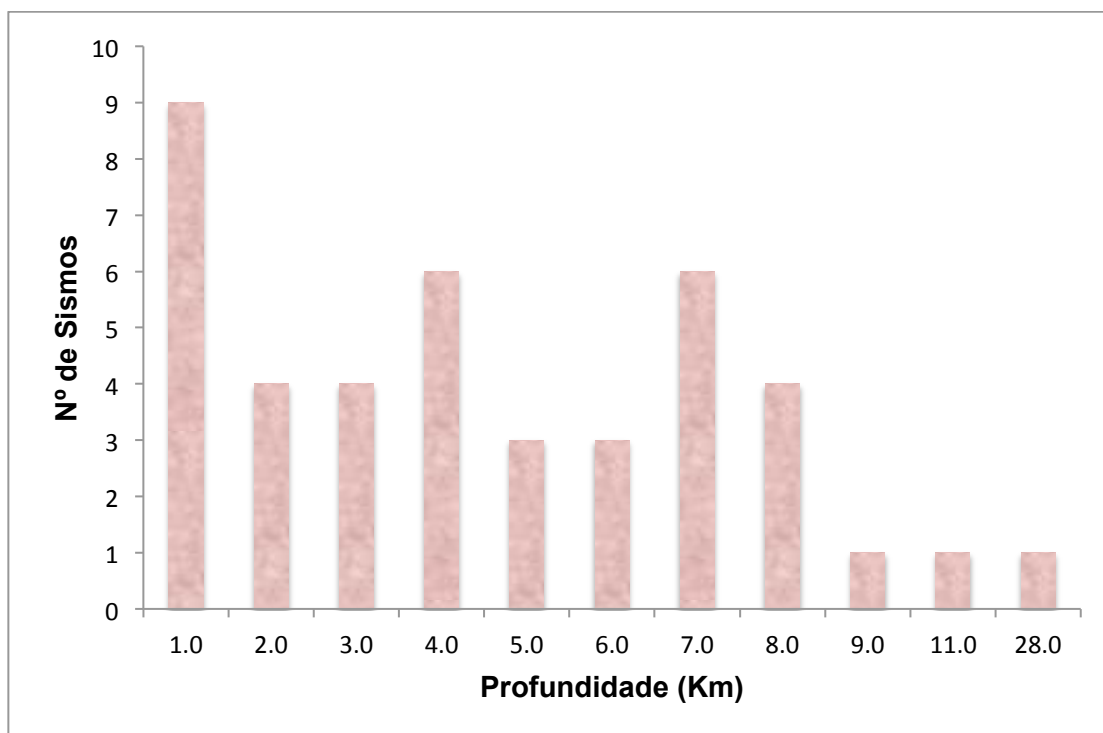


Figura 2.10- Distribuição dos sismos por profundidade (Km) para 41 eventos da crise sísmica de 2009.

2.3 Geomorfologia e Geologia

2.3.1 Geomorfologia

A região em estudo apresenta alguns lineamentos (figura 2.11) que correspondem a escarpas de falha separando compartimentos desnivelados da superfície fundamental da Meseta Sul, como é o caso da escarpa de São Gregório (virada a Norte), da escarpa de Aldeia da Serra (virada a Oeste) ou a do Ciborro⁷ que faz localmente o limite da bacia do Tejo com o soco paleozóico e que se traduz por uma escarpa de direção WNW-ESE, virada a NE, com desnível máximo na ordem de 50-60 metros (Araújo e Martins, 2011).

Na área do Ciborro, distingue-se uma zona mais elevada com orientação WNW-ESE que se estende desde Godeal até ao extremo SE, com cotas máximas que variam entre os 180 m e os 260 m. À Norte deste alinhamento, a estrutura encontra-se geralmente mais baixa, cerca de 120 m, atingindo

⁷ Esta estrutura tem expressão geomorfológica ao longo de cerca de 20 Km.

alturas máximas apenas na zona Este.

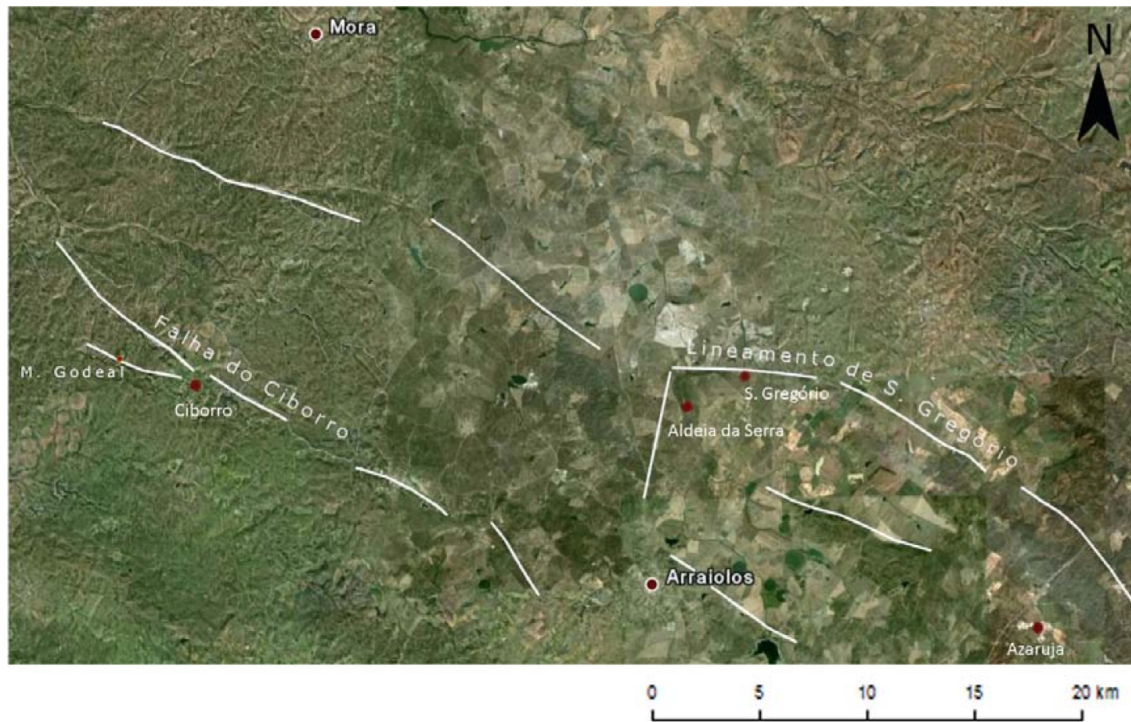


Figura 2.11- Imagem de satélite da região estudada identifica onde estão representados (a branco) os principais lineamentos, que correspondem a falhas (Araújo et al., 2010).

Os lineamentos identificados como prováveis falhas ativas têm fraca expressão geomorfológica o que pode resultar de uma atividade neotectónica moderada a fraca ou de uma movimentação recente preferencialmente do tipo desligamento, conforme os mecanismos focais. Os movimentos tectónicos atuais, maioritariamente do tipo desligamento ao longo das falhas de Ciborro e de São Gregório (figura 2.12), encontram-se parcialmente bloqueados na região de Aldeia da Serra, devido a uma inflexão local na geometria das falhas atualmente ativas (Araújo et al., 2010).

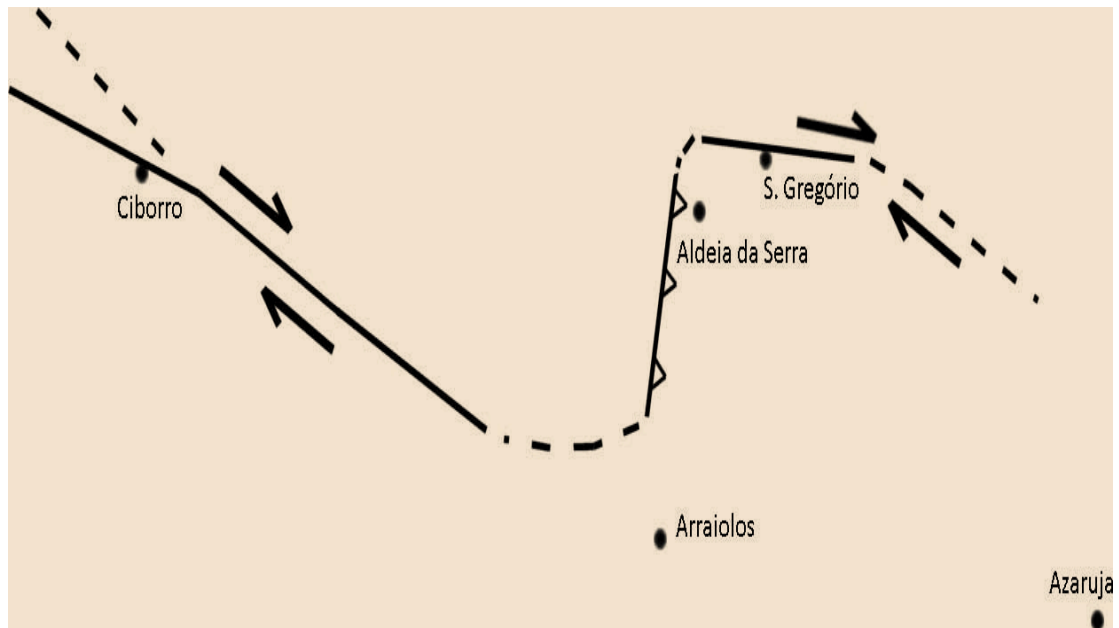


Figura 2.12- Representação esquemática da atividade tectónica atual, responsável pela génese do relevo da região de estudo, sugerido por Araújo et al., (2010).

O trabalho de campo preliminar, resultou na observação de locais, na área do Caborro, que se pensa apresentarem evidências de existência de eventos com ruptura superficial, conforme a sua geomorfologia. Araújo e Martins (2011) realizaram uma campanha de Geofísica, na área de Caborro, na qual foi possível identificar múltiplas estruturas associadas a Falha do Caborro e a sua movimentação, pelo menos vertical, bem como a idade relativa dos movimentos que eventualmente permitem classifica-la como uma falha potencialmente ativa. Contudo, o estudo é inconclusivo quanto ao período de movimentação, pelo que é arriscado afirmar tratar-se de uma região com tectónica ativa.

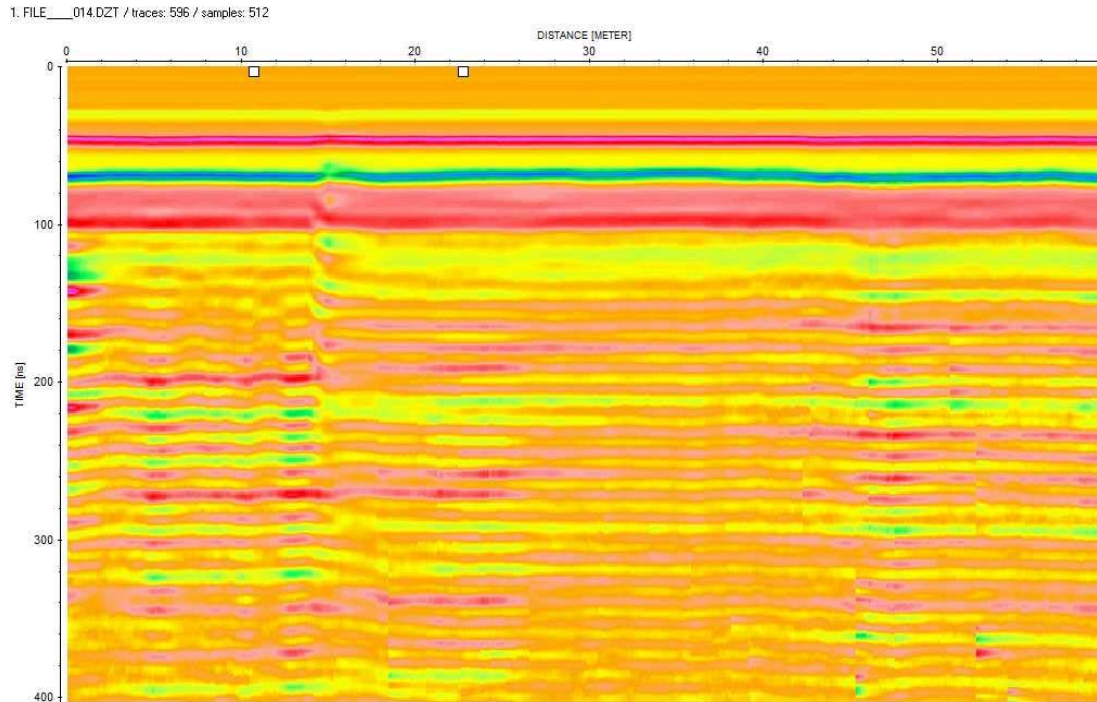


Figura 2.13- Exemplo de um radargrama com identificação de reflectores possivelmente associados à falha do Ciborro (perfil de reflexão com antena de 200 MHz) (Araújo e Martins, 2011).

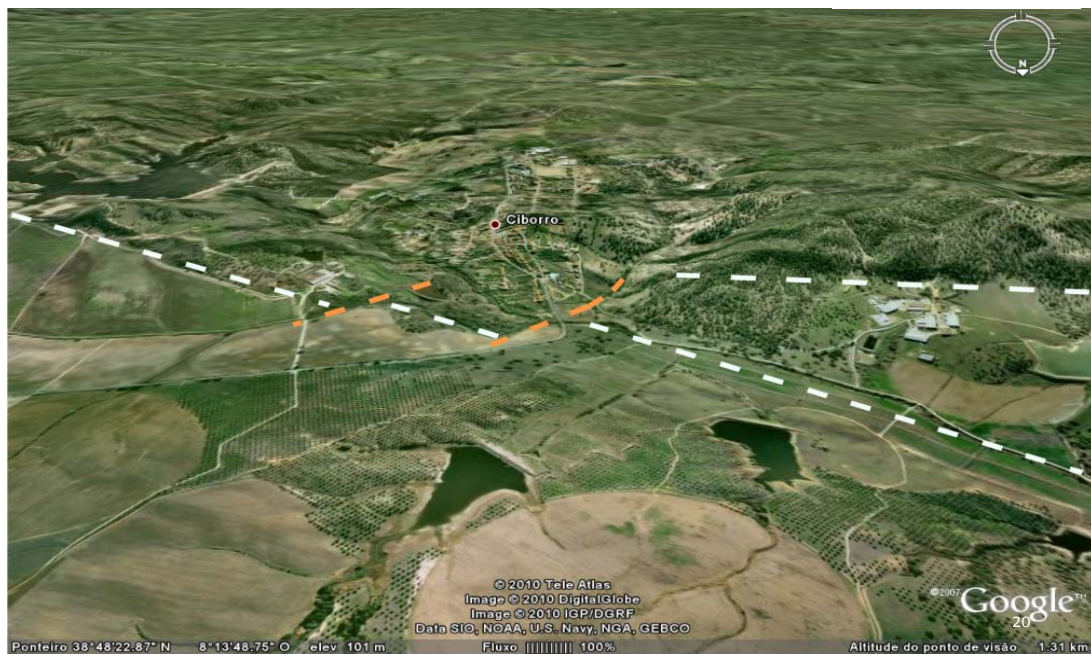


Figura 2.14- Imagem de satélite da Falha do Ciborro identifica a partir da topografia obtida pela imagem de satélite. A tracejado encontra-se representado o lineamento da referida falha. (Google Map 2007, em Araújo e Martins, 2011).

A Geomorfologia da região estudada indica claramente a existência de abatimentos escalonados em direção a Norte e as evidências de campo sugerem que essa componente vertical está associada a falhas inversas, inclinadas para Sul. Os mecanismos focais, como se viu na secção 2.1.2, apontam para que os acidentes WNW-ESSE se comportem como desligamentos direitos. Apesar da sua curta extensão (± 2 km), a escarpa de Aldeia da Serra virada a Oeste, tem importante expressão geomorfológica, sendo responsável por um degrau de mais de 100m (Araújo et al., 2010).

2.3.2 Geologia

Segundo Carvalhosa e Zbysweski (1994), na carta geológica 35 – D à escala de 1:50000, respeitante a região de Caborro-Arraiolos, o soco paleozóico aflorante corresponde maioritariamente a granitos hercínicos, que de um modo geral são do tipo porfiroide de grão médio a grosseiro. As restantes formações aflorantes são mais recentes, e com boa expressão cartográfica correspondendo ao Paleogénico, o Complexo Arcósico e Argiloso de Brotas com algumas zonas calcárias; o Complexo fluvio-marinho de Lavre do Miocénico (Vindobiano); o Complexo argilo-grosso de Coruche do Miocénio Superior e Pliocénico (figura 2.16). São ainda identificados distintos níveis de terraços fluviais e aluviões, mas com uma pequena expressão cartográfica.

A falha do Caborro situa-se no contacto entre a Zona de Ossa-Morena, a sul e a bacia do vale do Tejo a norte.

A zona da Ossa-Morena é uma unidade geológica do Maciço Ibérico com estrutura e estratigrafia muito complexas. A bacia do vale do Tejo é constituída por rochas sedimentares. O Maciço de Évora integra-se na Zona de Ossa-Morena e corresponde a um sub-sector desta grande unidade morfo-estrutural que aflora na região de Caborro. O Maciço de Évora é constituído por rochas metamórficas e ígneas, e é ainda, composto por uma grande variedade de maciços plutónicos implantados no Carbónico inferior. Predominam os tonalitos e granodioritos, os quais são frequentemente acompanhados por granitos, mas também se regista a presença de corpos gabro-dioríticos. Este último aspecto sugere uma participação mantélica na génese do plutonismo.

Os trabalhos de Geologia de campo (Araújo et al., 2010) ao longo da Falha de Ciborro mostraram granitos a cavalgarem sedimentos do Complexo Argiloso-Gresoso de Coruche, considerados de idade mio-pliocénica. A falha que separa estas duas unidades geológicas tem atitude N80°W; 80S e mostra evidências cinemáticas de ter componente de cavalgamento para o quadrante norte (figura 2.15), colocando os granitos paleozóicos sobre os sedimentos terciários. O afloramento situa-se exatamente na base do degrau geomorfológico associado à Falha de Ciborro.

A Geologia e a Geomorfologia da região mostram evidências de atividade tectónica ao longo deste acidente no Cenozóico, mas não existem critérios estratigráficos para datar com rigor essa atividade (Araújo e Martins, 2011).



Figura 2.15- Granito brechificado: caixa de falha de Ciborro limitada por planos com atitude N80W, 80S (Araújo et al, 2010).

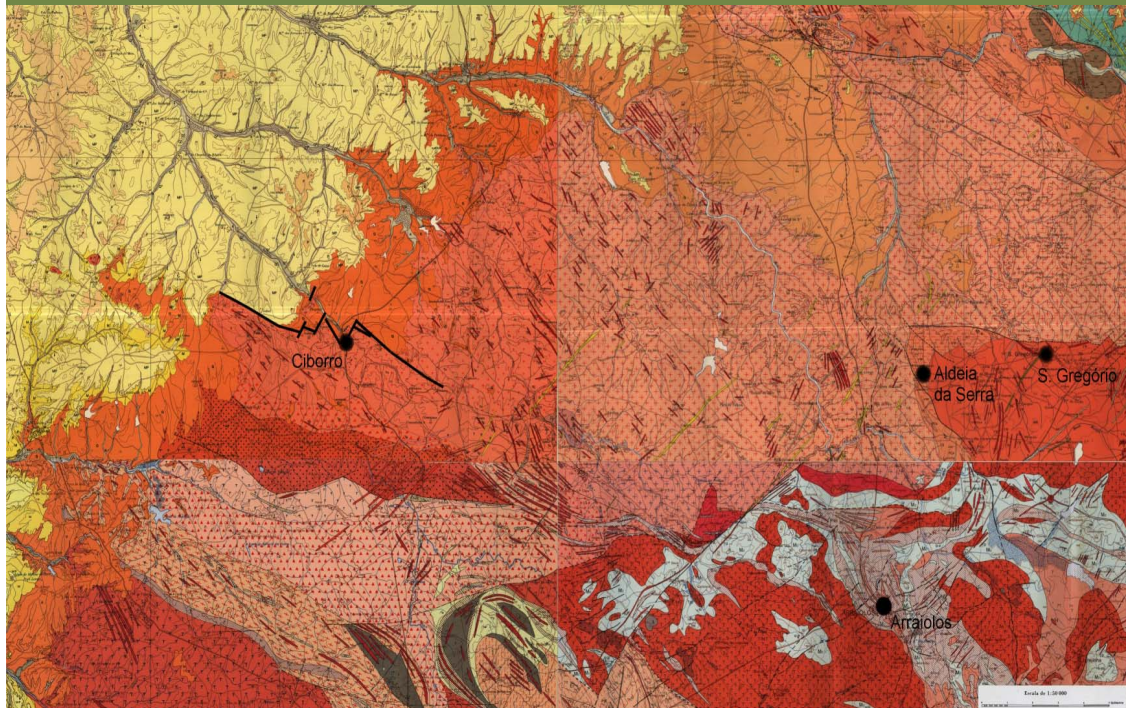


Figura 2.16- Carta Geológica de Portugal 1/50.000, 35-B Mora, 36-A Pavia. Pormenor da Região de Caborro-Arraiolos. Legenda: Amarelos- Miocénico superior e Pliocénico; Vermelhos- Precâmbrico provável e Paleogénico; Cinzentos- Pliocénico e Moderno; Laranjas- Pliocénico; Verdes- Pliocénico e Moderno; Traço preto- Falha de Caborro (Fonte: DGG⁸ - Serviços Geológicos de Portugal).

⁸ Direcção Geral de Geologia e Minas.

2.4 Conclusões do capítulo

Os resultados do estudo da actividade sísmica na Região Caborro-Arraiolos, revelam essencialmente as seguintes características importantes:

- I. Eventos isolados;
- II. Eventos de longa duração, do tipo enxame ou “*swarms*”, podendo durar vários dias, conforme a crise sísmica ocorrida nos dias 16 e 17 de Junho de 2009, na Aldeia da Serra;
- III. Eventos que seguem o padrão de actividade sísmica de um evento principal seguido de réplicas como a crise sísmica que sucedeu após o sismo principal de 31 de Julho de 1998 na região estudada;
- IV. Eventos sísmicos superficiais ($h < 30$ km) e de magnitudes baixas ($M < 4$) e alguns registos de magnitude superior ($M > 4$).

Essas características tornam a sismicidade da Região Caborro-Arraiolos uma questão de grande interesse científico e até mesmo social, não só pela busca de uma explicação sobre a sua origem e correlação com a sismicidade intraplaca de Portugal Continental como um todo, mas também como pré-requisito para avaliações de perigo e risco sísmico na região estudada.

As características geométrica e cinemática dos principais acidentes em afloramento na região estudada, sobretudo a falha do Caborro, tem uma relação direta com a sua expressão geomorfológica.

A inter-relação dos vários lineamentos ESE-WNW (figura 2.11) gera prováveis zonas de fraquezas, que podem ser uma das explicações para a sismicidade da Região Caborro-Arraiolos. Por exemplo a crise sísmica de 2009 (ver na secção 2.2) pode estar relacionada provavelmente com o Lineamento de São Gregório devido à proximidade geográfica dos epicentros a essa feição geológica e pelos dados de mecanismos focais dos sismos de 1997 e 1998, que são compactíveis com os movimentos tectónicos atuais maioritariamente do tipo de desligamento, representados na figura 2.12.

Os resultados do estudo da sismicidade (secção 2.2), permitem concluir que os sismos da Região Caborro-Arraiolos, geralmente ocorreram no interior do Maciço de Évora (figura 2.16).

Uma análise detalhada da sismicidade instrumental de Portugal Continental e margem atlântica para o período 1961-2014, apresentado neste trabalho (figura 2.1), permite concluir que a sismicidade é mais intensa nas zonas onde predominam as falhas tectónicas principais, o que mostra uma forte relação. Relativamente a distribuição dos mecanismos focais dos sismos ocorridos em Portugal Continental e margem atlântica, analisados neste trabalho, mostra uma grande heterogeneidade (figura 2.2). Os grandes eventos sísmicos localizam-se na sub-região A5 (SE do Cabo de São Vicente), cujo mecanismos focais apresentam uma certa homogeneidade e correspondem ao tipo de falha inversa.

A distribuição dos mecanismos focais na Região Caborro-Arraiolos, apresentado na figura 2.3, mostram uma certa homogeneidade e correspondem ao tipo de falha strike-slip, com exceção ao evento de 20 de Março de 2002, cujo mecanismo é do tipo normal com uma pequena componente strike-slip, gerado em uma falha normal oblíqua com orientação NO-SE. Em virtude do carácter tendencialmente baixo da atividade sísmica nesta região aliado à fraca cobertura azimutal dos eventos, a obtenção de mecanismos focais para esta região revela-se frequentemente uma tarefa difícil. Daí que o número de mecanismos focais atualmente existentes seja bastante reduzido.

Capítulo III

Rede sismográfica da Universidade de Évora

3.1 Introdução

Atualmente um sismo de grande magnitude é registado por centenas de estações sísmicas instaladas em todo o mundo. Existem diferentes tipos de redes sísmicas: redes locais, como a rede a instalada no âmbito deste projeto (ver mais adiante na secção 3.2.3); regionais, como por exemplo a rede sismológica nacional Continental do IPMA, apresentada na figura 3.3, constituída por 27 estações digitais de banda larga; e globais, por exemplo a rede sísmica francesa GEOSCOPE⁹ (figura 3.1).

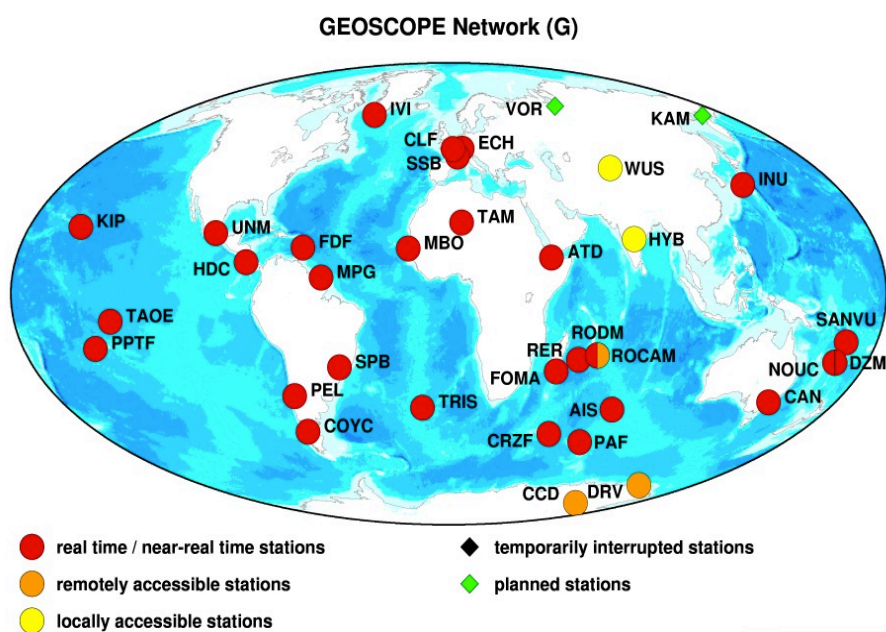


Figura 3.1- Estado da rede GEOSCOPE em Dezembro de 2013 (<http://geoscope.ipgp.fr/index.php/en/> acedido em Janeiro de 2014).

⁹ Entre 1996 a 2000, operou uma estação sismográfica pertencente a rede francesa GEOSCOPE, localizada numa localidade próximo de Évora, Portugal.

Os dados obtidos das redes sísmicas (formas da onda) permitem uma grande parte dos estudos, desde traçar o mapa sísmico para identificar as falhas ativas responsáveis pelos sismos, passando pela investigação da fonte sísmica até ao conhecimento da própria estrutura da Terra.

Os sismógrafos electromagnéticos concebidos no período anterior à 1960 constituíram a base da primeira rede sísmica mundial World-Wide Standardized Seismographic Network (WWSSN) representada na figura 3.2. Esta rede surge em meados dos anos 60 como resposta à necessidade de controlar as experiências nucleares, e era composta por 150 estações homogeneamente espalhada pelo globo. Cada estação era constituída por dois instrumentos, um de curto e outro de longo período; o registo era feito em formato analógico e em suporte de película fotográfica.

O elevado ganho para a época, aliado à excelente qualidade dos dados fornecidos e à padronização dos seus instrumentos, foram factores determinantes no extraordinário sucesso desta rede (Borges, 2003). Esta rede mundial (WWSSN) foi criada para monitorizar o cumprimento do tratado de proibição dos testes nucleares subterrâneos.

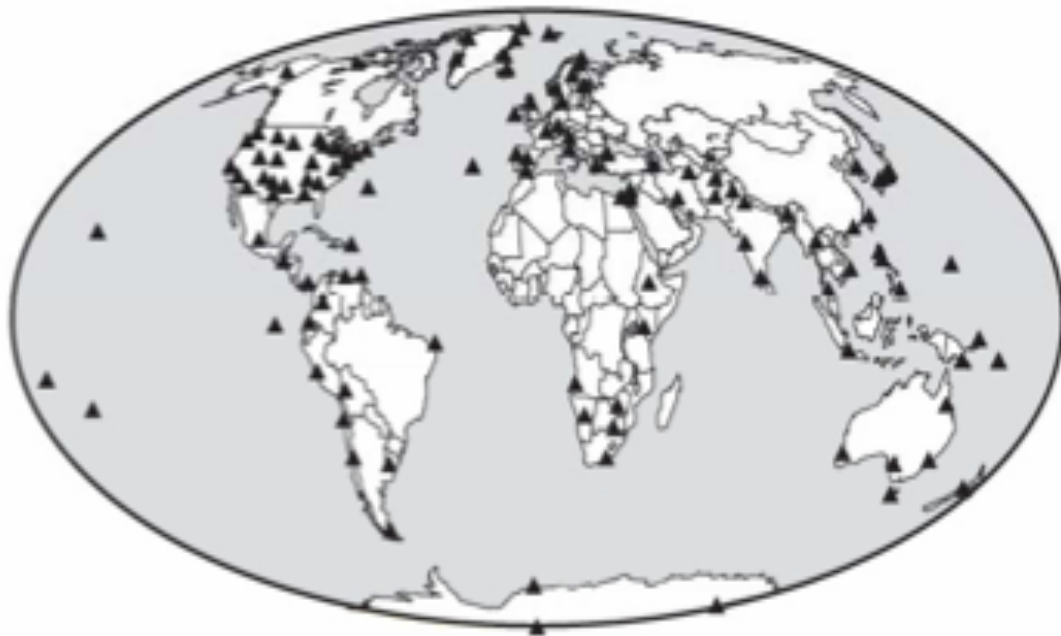


Figura 3.2- Rede **WWSSN**- World-Wide Standardized Seismographic Network (Rede Sismográfica Mundial Padronizada) (Matias e Teves-Costa, 2011).

O desenvolvimento dos sensores de banda larga e do registo digital ditaram o fim da rede WWSSN, e marcaram o início das novas redes mundiais de observação sísmica.

O primeiro passo dado no sentido do estabelecimento do registo em banda larga surgiu em consequência dos desenvolvimentos introduzidos por E. Wiellandt e pelo fabricante suíço Strickeisen na construção do sensor de banda larga STS-1. A combinação deste sensor com um sistema de aquisição digital de elevada dinâmica, permitiu construir uma estação que regista, simultaneamente, sinais de longo e curto período, produzidos por eventos locais, regionais e mundiais. Por outro lado, o registo em formato digital possibilitou a utilização directa destes dados no processamento do sinal, evitando os já mencionados inconvenientes da digitalização. Estas transformações tecnológicas estão na base da revolução sofrida, no início dos anos 80, pela sismologia.

A primeira rede a dispor das referidas facilidades tecnológicas foi instalada na Alemanha, em 1980. Era constituída por array do tipo banda-larga, denominado Grafenberg Array (GRF), totalmente digitalizada e equipada com sistemas de aquisição de 16 bits de resolução (132 dB de dinâmica) (Borges, 2003).

Portugal teve as suas primeiras estações sismográficas em 1902, nos Açores, com a instalação de duas estações: uma em Ponta Delgada e outra na Horta. Seguiu-se a estação de Coimbra, em 1903 (Instituto de Geofísica da Universidade de Coimbra), constituída por um pêndulo horizontal de Milne. Só depois da catástrofe provocada pelo sismo de Benavente de 1909, é que um ano mais tarde, em 1910, foi instalada a estação de Lisboa. Esta estação consistia num sismógrafo vertical Mainka, tendo mais tarde, em 1919, sido complementado com a instalação de dois sismógrafos Wiechert de três componentes. Mais tarde, entre 1915 e 1926, a estação de Coimbra foi actualizada com a instalação de um sismógrafo Wiechert. Esta rede foi completada com a estação do Porto, em 1929, tendo sido estas três estações que monitorizaram a região do continente até aos anos setenta (Senos et al., 1994). No início dos anos sessenta, a estação do Porto foi melhorada e integrada na rede global WWSSN (Senos e Carrilho, 2003).

Os sismos de 28 de Fevereiro de 1969, e mais tarde o sismo de 1 de Janeiro de 1980, constituíram dois acontecimentos impulsionadores do desenvolvimento da Rede Sismográfica Nacional (Borges, 2003), tendo então sido identificada a necessidade de instalação de uma rede sismográfica mais completa. Essa tarefa foi confiada ao então Serviço Meteorológico Nacional (que mais tarde, em 1977, deu lugar ao Instituto de Meteorologia [IM]), o qual procedeu à instalação de uma rede analógica constituída por nove estações, localizadas de Trás-os-Montes ao Algarve. Esta rede complementou a já existente de três estações, passando assim a monitorização a ser feita através do conjunto das doze estações algumas de registo local e outras telemétricas, via rádio (UHF), enviando dados para estações centrais (Senos e Reis, 1995; Carrilho, 2005).

Atualmente a rede sismográfica nacional continental, da responsabilidade do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), está constituído por 27 estações digitais de banda larga (ver tabela 3.1) localizadas de Norte a Sul de Portugal Continental (ver figura 3.3).

A tabela 3.1 resume o estado atual dos parâmetros das estações da rede sismográfica nacional em Portugal Continental de propriedade do IPMA.

Tabela 3.1- Estações permanentes da rede sismográfica nacional continental (IPMA, 2014).

Estação	Trans	Latitude	Longitude	Alt.	Sensores	Canais	Prop.
PGAV (Viana do Castelo)	S	41°57.92'N	08°16.19'W	1084	3ESPC-120s/5T	HH*,BH*,LH*,HN*	IM
PBRG (Bragança)	T	41°48.29'N	06°44.48'W	691	3ESPC-120s/5T	HH*,BH*,LH*,HN*	IM
PCAB Vila Real	S	41°42.61'N	08°01.62'W	557	LE3D-5s/5T	EH*,SH*,HN*	IM
POLO Vila Real	S	41°22.43'N	07°47.65'W	747	3ESPC-120s/5T	HH*,BH*,LH*,HN*	IM
PVRL Vila Real	T	41°16.53'N	07°42.97'W	660	LE3D-5s	SH*	IM
MVO Bragança	S	41°09.87'N	07°01.73'W	550	3T-120s/5T	HH*,BH*,LH*,HN*	IM
PTO Porto	T	41°08.30'N	08°36.19'W	88	LE3D-1s	SH*	IM
PVIS Viseu	T	40°42.94'N	07°53.68'W	720	LE3D-5s/5T	EH*,SH*,HN*	IM
MTE Guarda	T	40°24.20'N	07°31.20'W	815	STS2-120s	HH*,BH*,LH*	GFZ / IM
PCAS Coimbra	S	40°03.17'N	08°29.90'W	343	3T-120s/5T	HH*,BH*,LH*,HN*	IM
PCBR Castelo Branco	T	39°50.42'N	07°28.65'W	380	LE3D-5s/5T	EH*,SH*,HN*	IM
PSBE Leiria	T	39°30.85'N	08°47.73'W	510	3ESPC-120s/5T	HH*,BH*,LH*,HN*	IM
PTOM Santarém	T	39°37.08'N	08°24.64'W	105	LE3D-5s/5T	EH*,SH*,HN*	IM
PMRV Portalegre	S	39°25.70'N	07°23.50'W	430	3ESPC-120s/5T	HH*,BH*,LH*,HN*	IM
PMTG Portalegre	S	39°04.14'N	08°13.52'W	190	3ESPC-120s/5T	HH*,BH*,LH*,HN*	IM
PMAFR Lisboa	S	38°57.32'N	09°16.96'W	329	STS2-120s/EpiSensor	HH*,BH*,LH*,HN*	IM
PESTR Évora	S	38°52.03'N	07°35.41'W	410	3T-120s/5T	HH*,BH*,LH*,HN*	IM
INMG Lisboa	L	38°46.46'N	09°07.54'W	93	S13-1s/5T	EHZ/EN*	IM
MOE	R	38°32.11'N	08°21.20'W	96	S13-1s	EH*	IM
PBAR	S	38°10.47'N	07°02.34'W	205	3ESPC-120s/5T	HH*,BH*,LH*,HN*	IM
PNCL	S	38°06.71'N	08°31.74'W	120	3ESPC-120s/5T	HH*,BH*,LH*,HN*	IM
PBEJ	T	38°01.58'N	07°51.98'W	270	LE3D-5s/5T	EH*,SH*,HN*	IM
PCVE	S	37°37.97'N	08°02.34'W	225	3ESPC-120s/5T	HH*,BH*,LH*,HN*	IM
PTEO	T	37°32.73'N	08°43.45'W	119	LE3D-5s/5T	EH*,SH*,HN*	IM
PVAQ	S	37°24.22'N	07°43.04'W	200	3T-120s/5T	HH*,BH*,LH*,HN*	IM
PBDV	S	37°14.58'N	07°55.87'W	471	3ESPC-120s/5T	HH*,BH*,LH*,HN*	IM
PFVI	S	37°07.97'N	08°49.61'W	189	3ESPC-120s/5T	HH*,BH*,LH*,HN*	IM

Legenda: Trans: transporte; Alt: altitude; Prop: propriedade; *- Canais vertical, norte-sul e este-oeste; S – satélite; T – telefone; R – rádio; L – local.

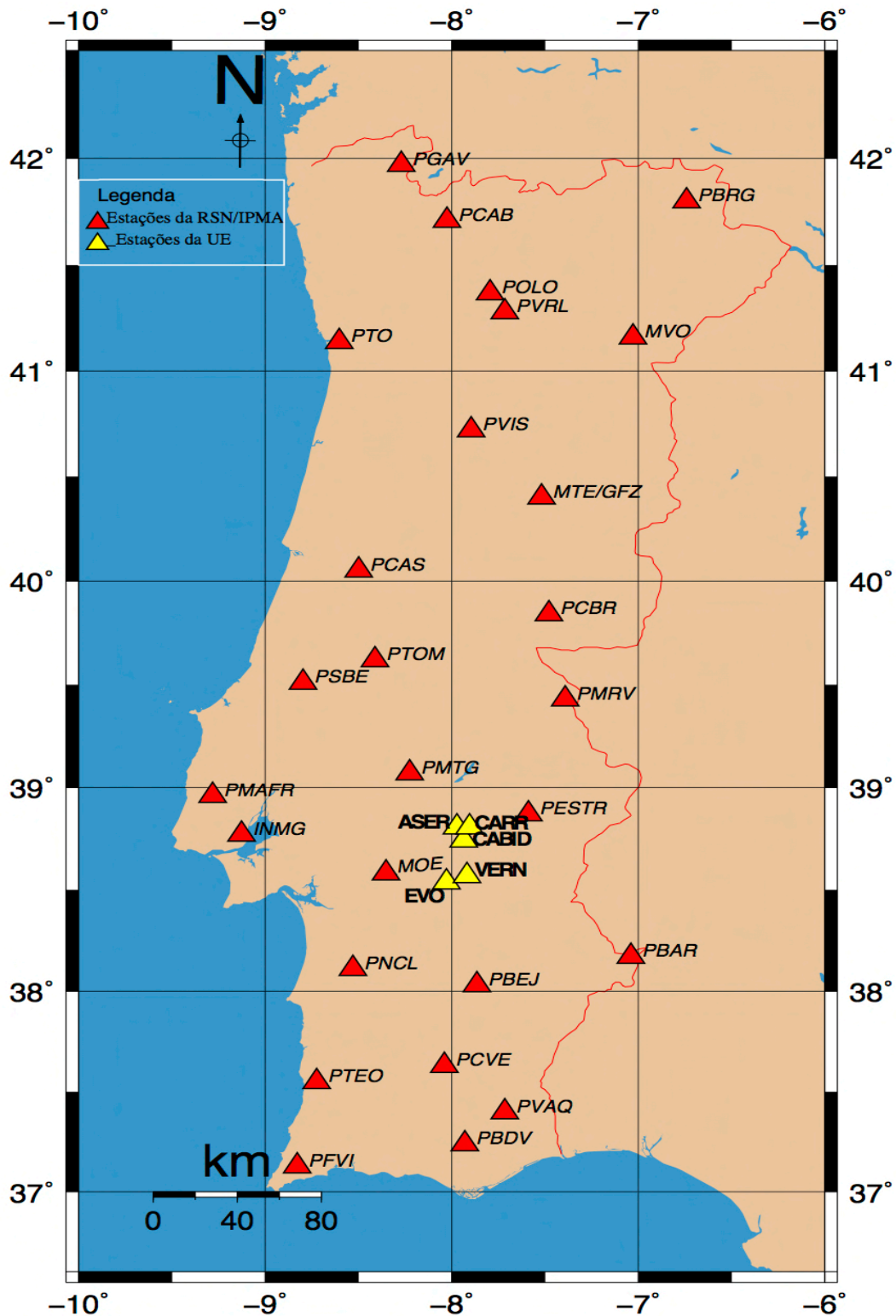


Figura 3.3- Localização das estações da rede sismográfica nacional Continental do IPMA, em 2014 (triângulos vermelhos) e estações da rede sismográfica UE em 2014 (triângulos amarelos).

Na primeira parte deste capítulo, faremos um ponto de situação da rede sismográfica da Universidade de Évora, realçando também o protocolo de partilha de dados com outras instituições, e mais adiante, faremos uma descrição do processo de instalação das estações da rede sísmica UE na região de estudo.

3.2 Rede sismográfica UE

Atualmente a rede UE está constituída por cinco estações (figura 3.3), três das quais localizadas no Conselho de Arraiolos e as outras duas localizada no CLAV e no PUM. Trata-se de uma rede de banda larga (BL) com características mistas, ou seja constituídas por estações autónomas digitais Guralp CMG 6TD (30 s) e estações transmitidas em tempo real CMG 3ESP (60 s) e STS2 (120s) cuja finalidade é de garantir a monitorização da atividade sísmica local. Os dados provenientes destas estações são processados, no Centro de recepção da UE. A transmissão de dados da estação ASER e do sensor STS2 (120s) da estação EVO, é feita em tempo real através do SeisComP (ver mais adiante na secção 3.2.1), via GSM (no caso ASER) e internet (no caso da EVO), para os servidores do Centro de Geofísica da UE, que por sua vez os distribuem, também em tempo real via Internet, para as instituições com as quais se estabeleceram protocolos de partilha de dados (como é o caso do IPMA¹⁰ e a Rede Euromediterrânica).

A estação EVO da rede UE contribui para a Rede Sísmica Euromediterrânica (Wester Mediterranean Seismic Network) e esta rede conta hoje em dia com 12 estações, localizadas em Portugal (estação EVO), Espanha e Marrocos (ver a figura 3.4).

¹⁰ As estações ASER e EVO da rede UE fornece dados em tempo real para o IPMA.

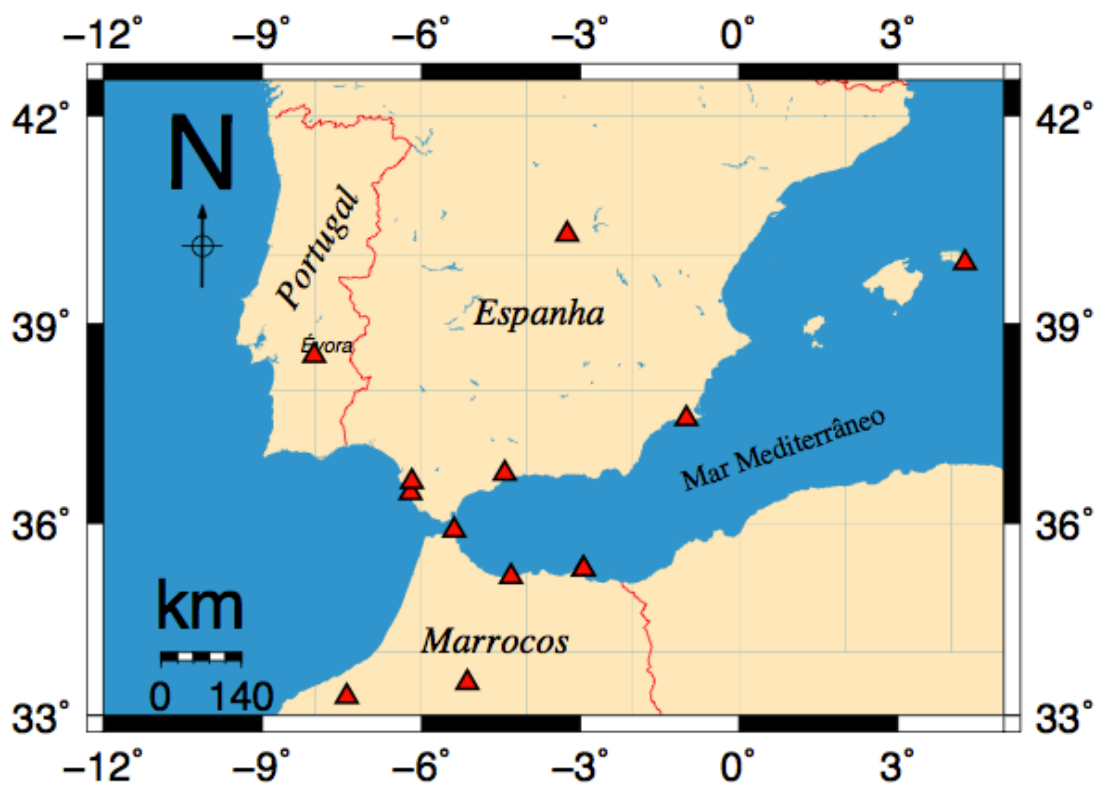


Figura 3.4- Localizações das estações (triângulos vermelho) da Rede Sísmica Euromediterrânea (Wester Mediterranean), em 2015.

A tabela 3.2 resume o estado atual das estações da rede sismográfica UE.

Tabela 3.2- Estações da rede sismográfica UE, 2014.

Código	Localização	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Tipo de sensor
ASER	Aldeia da Serra	38°47.80'N	07°58.15'W	321	CMG 3ESP 60s
CABID	Cabido	38°44.31'N	07°56.10'W	250	CMG 67TD 30s
CARR	Carrascal	38°47.82'N	07°54.21'W	250	CMG 67TD 30s
EVO	Mitra (PUM/UE)	38°31.76'N	08°0.99'W	225	CMG 6TD 30s STS2 120s
VERN	Évora (CLAV/UE)	38°34.04'N	07°54.72'W	271	CMG 67TD 30s

Na secção 3.2.3 será abordado o processo de instalação das estações sísmicas na região de estudo.

A figura 3.5 mostra a distribuição atual das três estações sísmicas instaladas na região e os locais propostos para instalar as outras duas estações. Com esta distribuição espera-se alcançar uma maior cobertura dos eventos sísmicos e eficácia em termos de deteção para efeitos de monitorização na região de estudo.

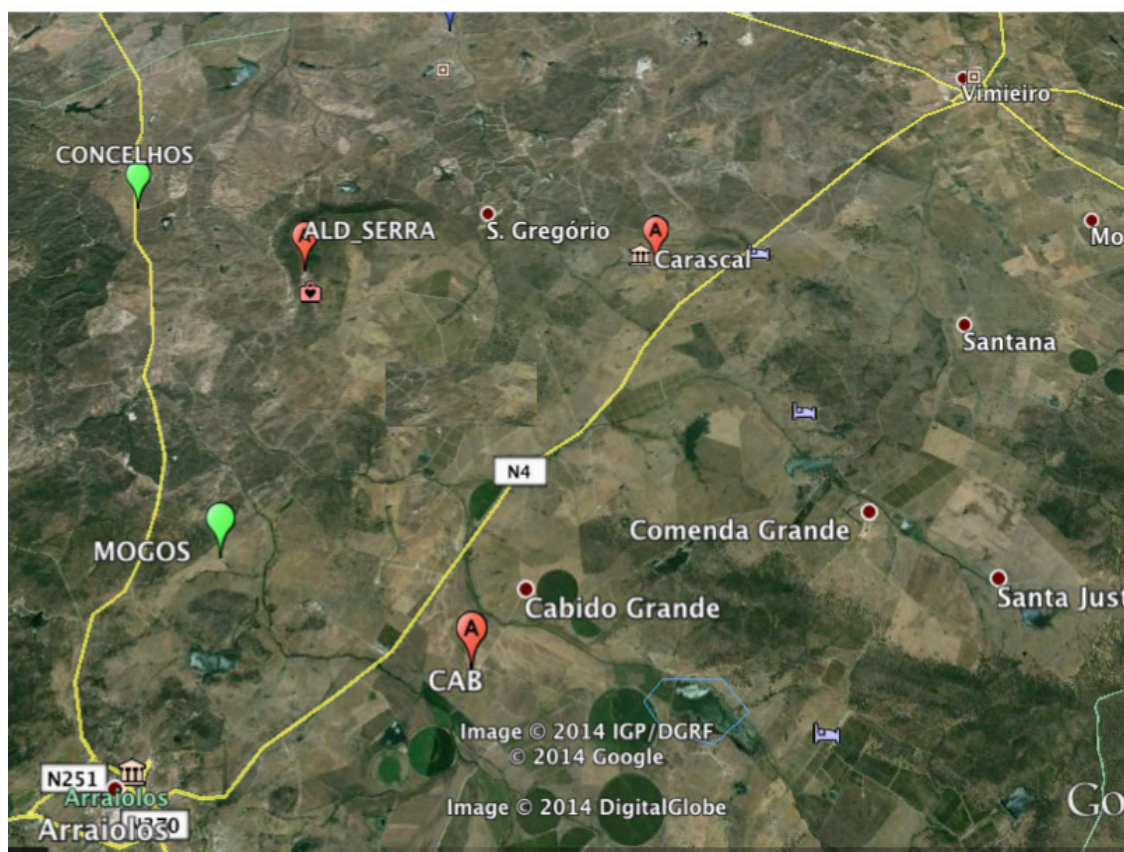


Figura 3.5- Localização das estações da rede sismográfica UE na região de estudo. Símbolos encarnados: estão representadas as estações já instaladas. Símbolos a Verde: os locais propostos para instalação das outras duas estações (Google Earth, 2014).

3.2.1 Parametrização e formas de comunicação do SeisComp- o caso das estações EVO e ASER

No período posterior a 1960, as redes sísmicas transmitidas em tempo real (por telefone ou via rádio) começaram a operar fundamentalmente para o registo da sismicidade local e regional, simos cuja distância às estações estão de poucos quilómetros a algumas centenas de quilómetros (Havskov e Alguacil, 2002).

O Sistema de Comunicação Sismológico (SeisComP) utilizado pela estação ASER (no âmbito deste projeto) e pelo sensor STS2 (120s) da estação EVO, é um software para transmissão e gestão de formas de onda em redes sismográficas, desenvolvido em Potsdam pela rede alemã GEOFON, no âmbito do Projeto MEREDIAN sob a liderança do consórcio GEOFON/GFZ Potsdam e ORFEUS (Observatories and Research Facilities for European Seismology - Observatórios e Centros de Pesquisa para a Sismologia Europeia) (Heinloo e Trabant, 2004).

O sistema de parametrização do SeisComP consiste nas seguintes aplicações principais:

- seedlink.ini: é o arquivo principal de configuração do SeedLink;
- streams.xml: é um arquivo de configuração do SeedLink integrado no processador interno Seedlink.in, ou seja, é um mecanismo tecnológico que permite transmitir informação de forma instantânea sem interrupção e de forma contínua (fluxo de dados do sistema operacional).
- chain.xml: é arquivo de configuração em cadeia, ou seja, permite conectar dois servidores SeedLink simultaneamente.

O núcleo do pacote SeisComP é o sistema de aquisição de dados SEEDLINK, que permite entre várias aplicações, ler os dados de qualquer estação sismográfica (Guralp, Geotech, etc.) e converte-los para o formato SEED, permitindo aos utilizadores obterem dados num único formato (Heinloo e Trabant, 2004). No fundo o SEEDLINK é um protocolo de comunicação de dados sismográficos entre qualquer tipo de estações, ou seja, é um componente central do SeisComP.

Os dados são comunicados em tempo real através da internet, desde que o computador tenha um sistema de comunicação qualquer. Daí ser necessário a conexão permanente com a internet. Para além da internet, a transmissão dos dados pode ser feito através de telefone, wireless, GSM (é o caso da estação ASER), etc. Há ainda a referir que o SesComP para além de permitir a comunicação de dados entre estações e computadores, organiza os dados mediante uma estrutura de base de dados de fácil acesso.

3.2.2 O sensor de banda larga (broadband)

Atualmente os sismómetros de banda larga, são os mais comuns e bastante utilizados para os diversos tipos de observações sismológicas (Havskov e Ottemoller, 2010) ou seja, quer em redes sísmicas permanentes quer temporárias. Neste contexto, refira-se a rede sismográfica UE, constituída por sismómetros de banda larga (como já fora referido na secção 3.2) com uma grande dinâmica e uma resposta em frequência que inclui a maioria dos sinais sísmicos, tanto de sismos próximos como afastados.

Refira-se por exemplo as estações autónomas desta rede, constituídas por sismómetros de banda larga Guralp CMG 6TD (figura 3.6), que consiste num sistema integrado com 3 sensores de banda larga de 30 s com uma resposta plana entre os 0.033 Hz e os 50 Hz (Guralp Systems Limited, 2014), registo digital de elevada dinâmica (24bit) e com sincronização horária por GPS - Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global).

Os três eixos, constituídos por três sensores, contidos no interior de uma caixa selada, permitem medir simultaneamente as componentes norte/sul, este/oeste e vertical do movimento do solo.



Figura 3.6- Exemplo Sismómetro de banda larga GURALP CMG-6TD, das estações autónomas da rede UE.

Com a obtenção da resposta plana em aceleração do solo, uma integração simples no circuito transforma-a para uma resposta plana de saída em

velocidade do solo, obtendo-se assim um sismómetro de banda larga (BB - Broad Band) (Havskov e Alguacil, 2002).

Nas figuras 3.7 e 3.8 estão representados as respostas obtidas dos sismómetros de banda larga GURALP CMG-6TD (30 s) e CMG 3ESP (60 s) (exemplo das estações CABID e ASER da rede UE). Esta resposta pode ser dada pelos pólos e zeros dos instrumentos, conforme a seguinte expressão:

$$T(\omega) = c \frac{(i\omega - z_1)(i\omega - z_2)(i\omega - z_3)\dots}{(i\omega - p_1)(i\omega - p_2)(i\omega - p_3)\dots} \quad (3.1)$$

Em que $i\omega$ é a frequência angular, c o factor de normalização, z_i as raízes do polinómio do denominador (zeros), p_i as raízes do polinómio do denominador (polos) (Havskov e Ottemoller, 2010). Em geral os pólos e zeros podem obter-se de forma precisa a partir de um sinal de calibração introduzido no sismómetro.

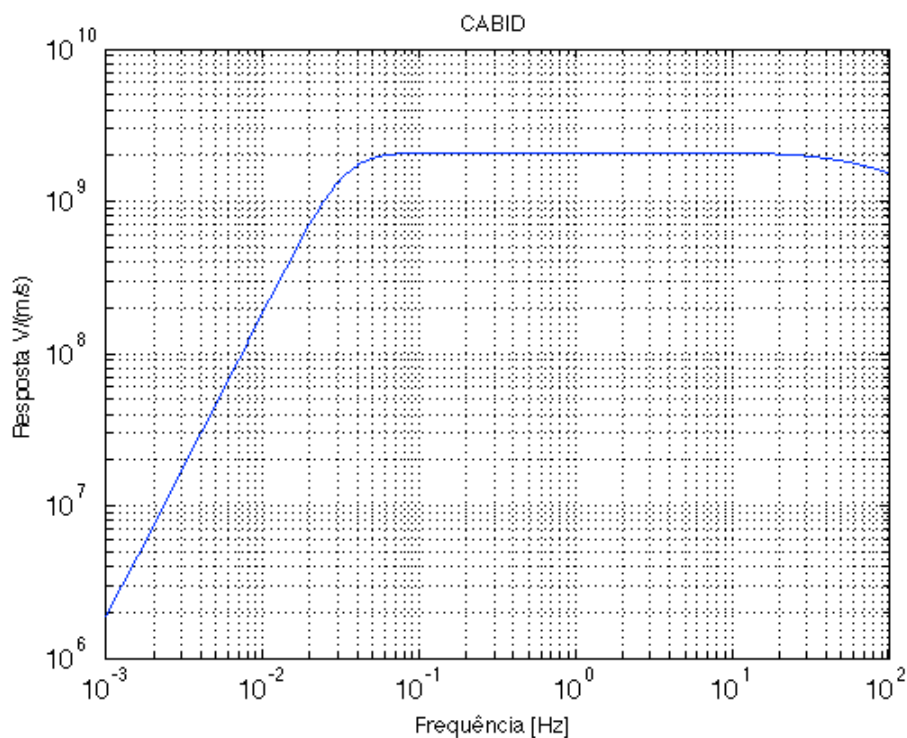


Figura 3.7- Curva de resposta do sismómetro de banda larga GURALP CMG 6TD (30s) (exemplo da estação CABID).

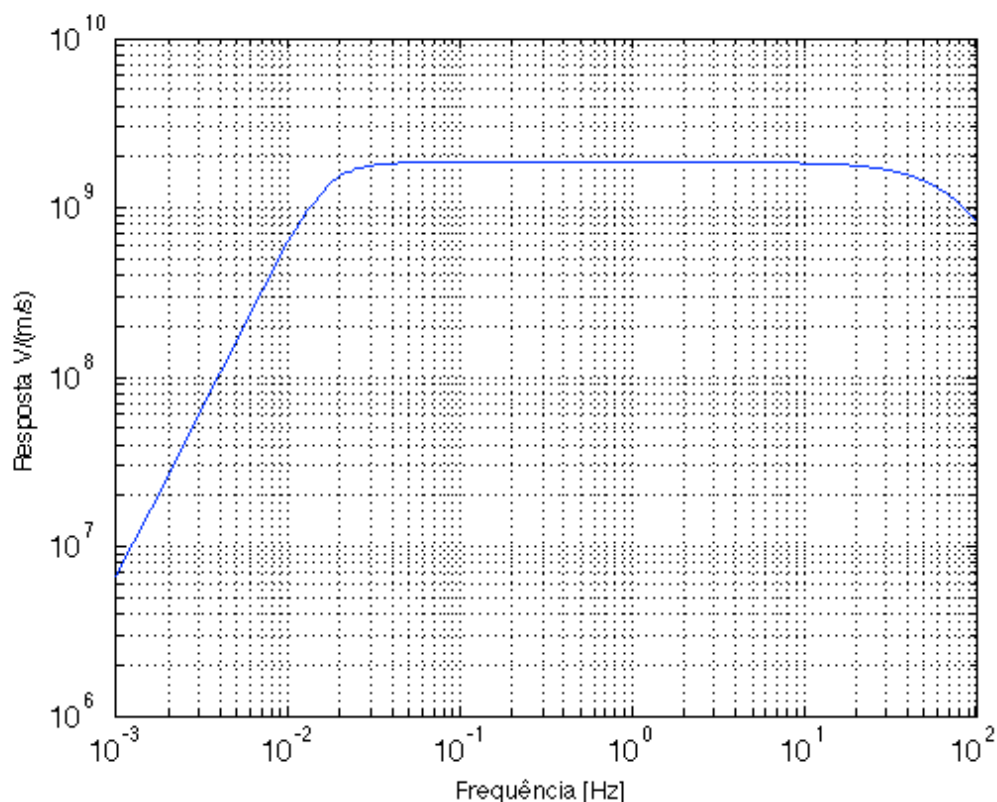


Figura 3.8- Curva de resposta do sismómetro de banda larga CMG 3ESP (60s) (exemplo da estação ASER).

3.2.3 Instalação das estações sismográficas na região de estudo

A região de Caborro-Arraiolos apresenta uma sismicidade significativa no contexto regional (como referido na secção 2.3.1), contudo a localização e o cálculo dos seus mecanismos focais é fortemente condicionado pela deficiente cobertura azimutal das estações da Rede Nacional e pelo reduzido número de estações com informação de primeiros movimentos.

Pretendendo ultrapassar estas dificuldades, a Universidade de Évora decidiu instalar algumas estações sismográficas de banda larga com características mistas (estações autónomas e estações com comunicação para transmissão de dados em tempo real) para monitorização da atividade sísmica na região de Caborro-Arraiolos.

A estação sismográfica VERN está localizada em um abrigo (figura 3.9), cujo sismómetro está assente em granito (figura 3.10) no Colégio Luís António Verney (CLAV). A estação EVO está localizada no Polo Universitário da Mitra

(PUM) (figura 3.11). O sismómetro está assente sobre um pilar de cimento consolidado (figura 3.12). A estação EVO está constituída por dois sensores sísmicos com características distintas (Guralp CMG 6TD 30s e STS2 120s), este último com transmissão de dados em tempo real, instalado há já alguns anos. Estas estações são alimentadas pela rede elétrica pública.



Figura 3.9- Abrigo da Estação VERN localizada a $38^{\circ}56.74'N$ e $07^{\circ}91.20'W$ no CLAV.



Figura 3.10- Sismómetro Guralp CMG-6TD assente em granito.



Figura 3.11- Estação EVO localizada a $38^{\circ}52.94'N$ e $08^{\circ}01.66'W$ no PUM.



Figura 3.12- Sismómetro Guralp CMG-6TD assente em um pilar de cimento consolidado.

Na etapa de execução do projecto da UE, foi instalada a primeira estação sismográfica de banda larga na Aldeia da Serra (Arraiolos) no dia 26 de

Setembro de 2014 para monitorizar a atividade sísmica local. A estação ASER, foi instalada sobre um afloramento rochoso gránitico, protegido por uma vedação (ver figura 3.13). Trata-se de uma estação constituída por um sensor CMG 3ESP (60 s), com conexão à rede através de um modem GSM para transmissão em tempo real e sincronização horária por GPS.

A referida estação (ASER) é composta pelos seguintes componentes:

- ◆ Dois painéis solares BP250/2 e BP540 de 17 Volts e um controlador de bateria, respetivamente; duas baterias 44Ah/440 EN de 12 Volts. Mais tarde substituídos por painéis de 130 W e baterias de chumbo de 135 Ah.
- ◆ Sismómetro CMG 3ESP (60 s) Banda larga;
- ◆ Computador de campo “SeisComP Alpha 2000”;
- ◆ Digitalizador CMG-D24-2000 (Nº de série A417);
- ◆ Aparelho de comunicação TELTONIKA HSPA + Router 7-30 VDC e uma Antena GSM;
- ◆ GPS.

No dia 06 de Outubro de 2014, a instalação da Aldeia da Serra foi finalizada. A caixa que abriga os instrumentos da estação foi substituído por uma caixa maior, assim como, os cabos dos bornos das baterias e as próprias baterias e os painéis solares (referidos anteriormente) que apresentavam alguns problemas, também foram substituídas.

Os devidos testes consistiu no seguinte:

- Com o auxílio do voltímetro mediu-se as tensões das baterias, dos painéis solares e do digitalizador, respetivamente.
- Ligação do SeisComP a fim de averiguar o seu estado de funcionamento.
- Verificação do sinal sísmico das três componentes Este, Norte e vertical (E, N e Z) e do sinal do GPS.



Figura 3.13- Estação ASER (Aldeia da Serra) localizada a $38^{\circ}47.80'N$ e $07^{\circ}58.15'W$.
Legenda: 1- GPS; 2- Painéis solares de 135 Ah (mais tarde substituídos por painéis solares de 130 W, ver a figura B.2 em apêndice); 3- Local de instalação do Sismómetro de Banda larga CMG 3 ESP (60s): assente sobre o afloramento rochoso granítico e protegido por uma manta térmica e por uma caixa isoladora, garantindo bom isolamento térmico e evitado desta forma a flutuações térmicas diárias. 4- Caixa protetora dos equipamentos: Computador de campo SeisComp Alpha 2000, Digitalizador CMG-D24-2000; Baterias de chumbo de 135 Ah e o aparelho de comunicação TELTONIKA HSPA + Router 7-30 VDC para comunicações GSM; 5- Vedação da estação.

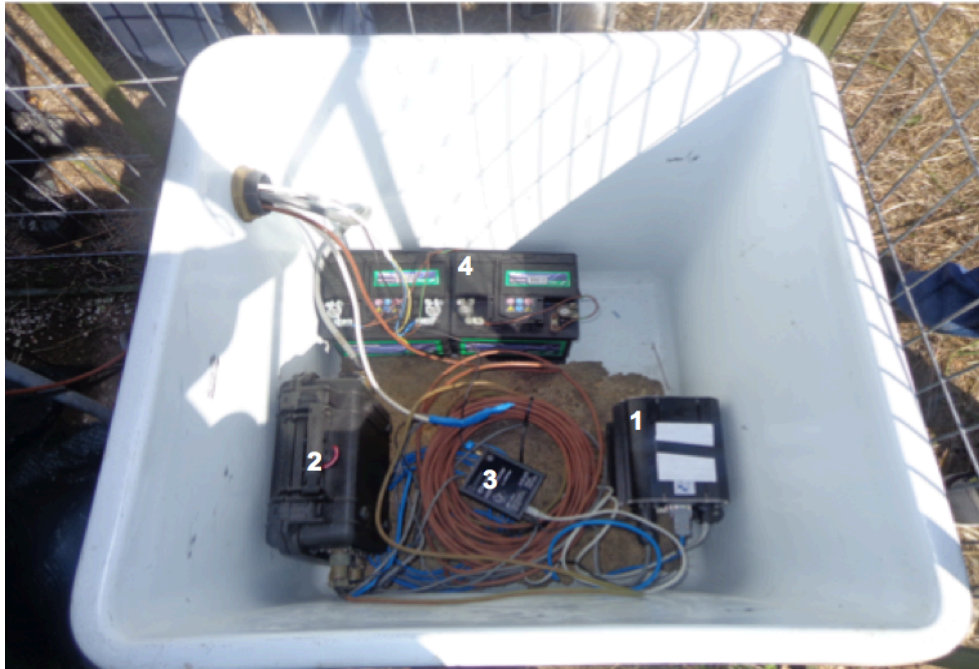


Figura 3.14- Interior da caixa protetora dos equipamentos mencionados na figura anterior. **Legenda:** 1- Computador de campo SeisComp Alpha 2000; 2- Digitalizador CMG-D24-2000; 3- Aparelho de comunicação TELTONIKA HSPA + Router 7-30 VDC para comunicações GSM; 4- Baterias de chumbo de 135 Ah.

Na figura 3.15 apresenta-se o diagrama de blocos do circuito de alimentação da estação transmitida em tempo real ASER.

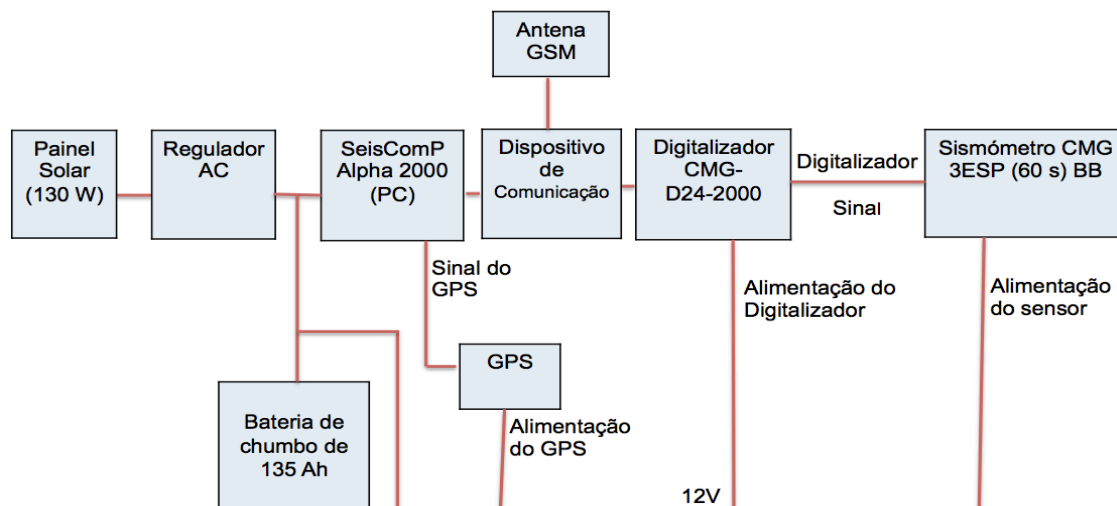


Figura 3.15- Diagrama de blocos que representa o circuito de alimentação da estação ASER CMG 3ESP (60s) de banda larga transmitida em tempo real. A fonte de alimentação é composta por um painel solar de 130 W, um regulador de corrente AC e duas baterias de chumbo de 135 Ah. No período noturno ou diurno com céu nublado, os painéis solares recebem pouca energia do Sol e deste modo as baterias irão manter uma tensão de saída AC normal. A autonomia depende da capacidade de carga da bateria.

Após a conclusão da instalação da estação ASER, no mesmo dia, visitou-se outros dois locais, para a instalação das outras duas estações sismográficas, respetivamente, em São Gregório (Carrascal) e no Monte Cabido (no local que abriga uma Estação Meteorológica Automática).

No âmbito do cumprimento das etapas de trabalhos, nos dias 14 e 20 de Outubro de 2014 foram instaladas as estações sísmicas autónomas CARR em São Gregório (Carrascal) (figura 3.16) e CABID no Monte Cabido (figura 3.18). Estas estações estão instaladas sobre afloramento rochoso granítico (estação CARR) e sobre aluviões (estação CABID). A alimentação é assegurada por painéis solares de 12 V (SUOYANG SY-20M), ligados a baterias 12 V (Marca: LUCAS 44 Ah/440 A-EN) e a recolha de dados, efetuada com periodicidade de aproximadamente três semanas, e é feita através da transferência de dados para um disco auxiliar (o tema será abordado na secção 4.2).



Figura 3.16- Estação sismográfica CARR (Carrascal) localizada nas coordenadas 38°47.8256'N e 07°54.2158'W. **Legenda:** 1- GPS; 2- Painel Solar de 20 W (SUOYANG SY-20M).



Figura 3.17- Interior do abrigo da estação CARR. Legenda: **1-** Local de instalação do Sismómetro de Banda larga GURALP CMG 6TD (30s) enterrado sobre afloramento rochoso granítico e protegido por uma manta térmica e por uma caixa isoladora, garantindo um bom isolamento térmico que protege desta forma, o sismómetro das flutuações térmicas diárias; **2-** Caixa protetora das baterias de 12 V (44 Ah/440 A-EN), dos cabos e do Breakout box CMG 6TD.



Figura 3.18- Estação sismográfica CABID (Monte do Cabido) localizada nas coordenadas 38'44.3151N e a 07'56.1091W. **Legenda:** **1-** Local de instalação do Sismómetro de Banda larga GURALP CMG 6TD (30s) enterrado sobre afloramento rochoso granítico e protegido por uma manta térmica e por uma caixa isoladora, garantindo bom isolamento térmico e evitado desta forma a flutuações térmicas diárias; **2-** Caixa protetora das baterias de 12 V (44 Ah/440 A(EN)), dos cabos e do Breakout box CMG-6TD; **3-** Painel Solar de 20 W (SUOYANG SY-20M); **4-** GPS.

Na figura 3.19 apresenta-se o diagrama de blocos de circuito de alimentação das estações autónomas CARR e CABID, respectivamente.

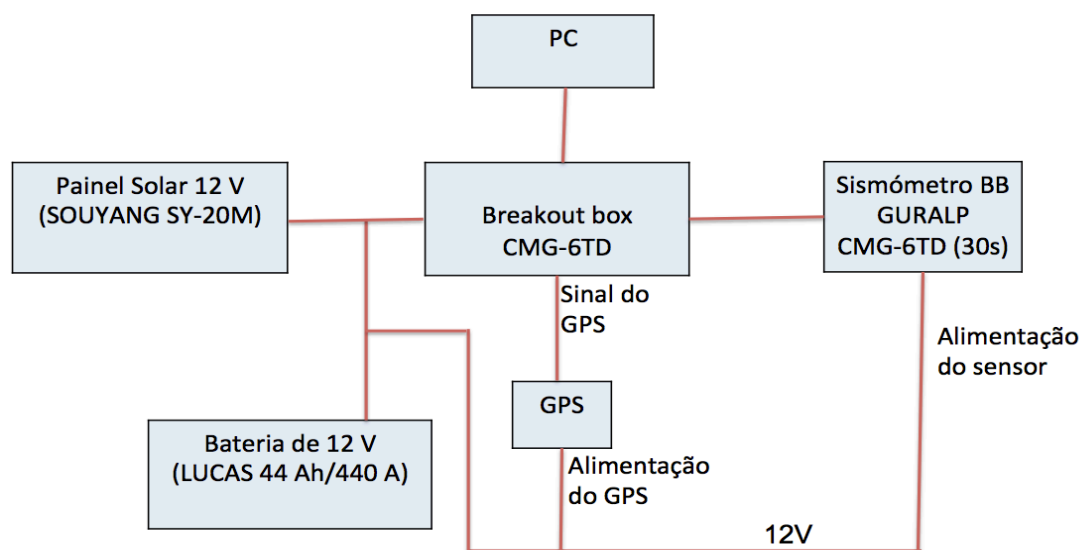


Figura 3.19- Diagrama de blocos que representa o circuito de alimentação das estações autónomas de banda larga CARR e CABID (GURALP CMG-6TD (30 s)). A fonte de alimentação é composta por um painel solar de 12 V, duas baterias de 12 V. Se a energia do painel solar falhar ou baixar, as baterias irão manter uma tensão de saída AC normal.

Nesta fase de monitorização, analisou-se também, o comportamento da variação da tensão e da temperatura das estações da rede sísmica UE (ver o quadro B.4 em apêndice), com objetivo de assegurar o seu bom funcionamento. Esta análise permitiu identificar algumas anomalias e variações diárias da tensão e a temperatura medida no contentor de fibra, sobretudo a estação ASER, em alguns dias (ver as figuras 3.20 e 3.21), notava-se, ainda, que em algumas horas esta estação não recebia sinal do GPS.

Pela quantidade de dados, representou-se apenas os gráficos correspondentes aos primeiros quinze dias de funcionamento desta estação. No caso das estações autónomas, não se registaram variações significativas de tensão e temperatura.

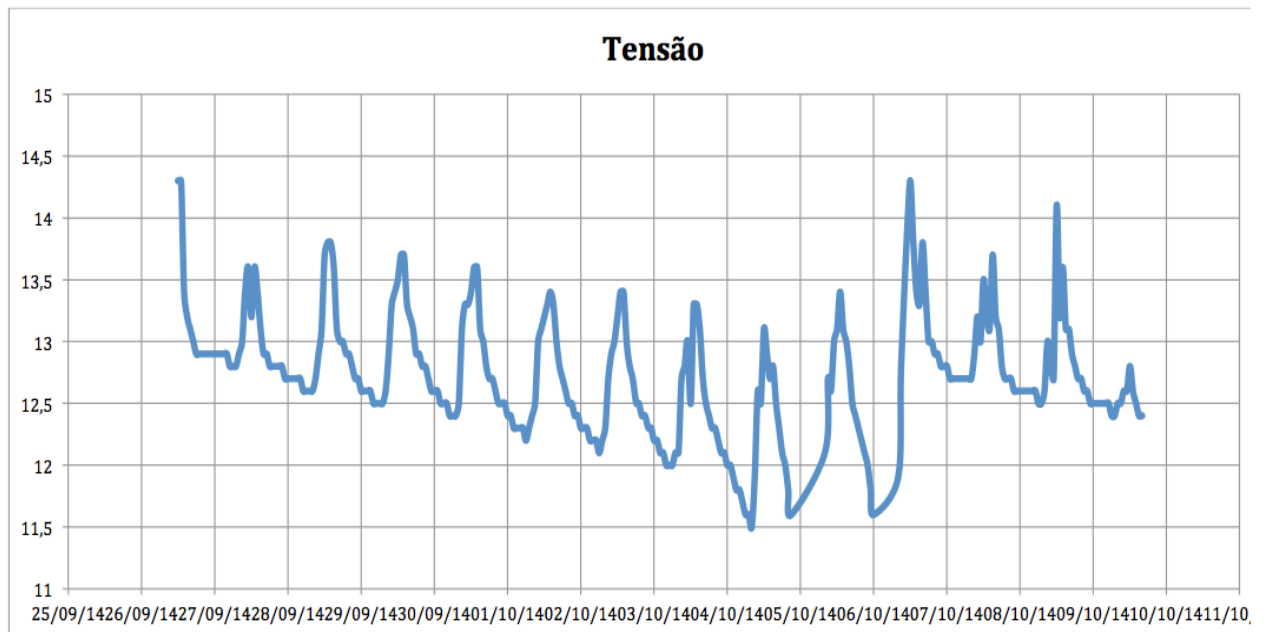


Figura 3.20- Representação gráfica da variação da tensão da estação ASER.

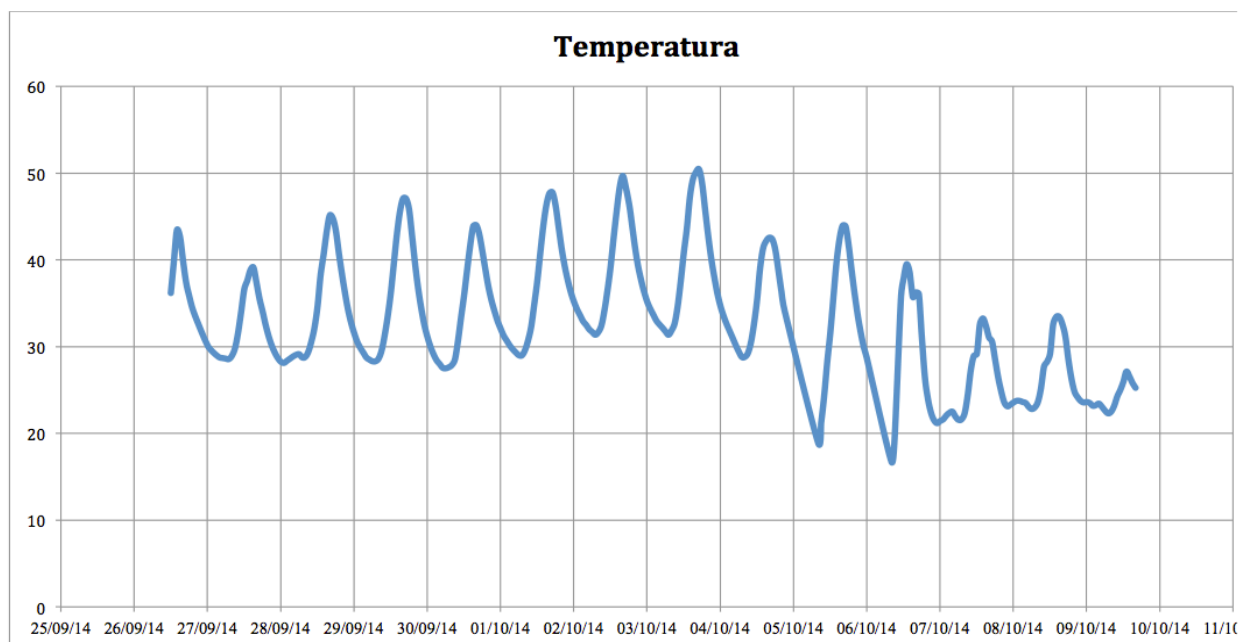


Figura 3.21- Representação gráfica da variação da temperatura no contêiner da estação ASER.

Os LOGs mostram que a tensão da bateria sofre uma redução progressiva, o que aponta para suceder duas das seguinte hipóteses:

- 1) Painel solar não tem potência suficiente para assegurar uma plena carga da bateria;

2) A bateria não possui capacidade suficiente para aproveitar toda a energia fornecida pelo painel.

Esta análise é de extrema importância, na medida em que permitiu adoptar algumas medidas de remediação, tais como:

- Reduzir o consumo do sistema através da alteração do estado do GPS para modo cíclico;
- Aumentar a potência da instalação solar;
- Substituir as baterias.

3.3 Conclusões do capítulo

Na região de Évora, o CGE instalou em 1998 uma rede de curto período (Borges, 2003), constituída por 4 estações equipadas com sensores Mark (1Hz) e sistemas de aquisição de elevada dinâmica (um de 96 dB e três de 144 dB), cujo objetivo essencial foi de monitorar a atividade sísmica local.

O reforço da monitorização da actividade sísmica local é essencial. Neste contexto, é notório que a rede sismográfica UE tem evoluído ao longo do tempo, não só em termos de instrumentos (estações constituídas por sismómetros de banda larga com características mistas), mas também na distribuição geográfica e nos níveis de detectabilidade, não obstante, há necessidade de instalação de mais estações sismográficas nos locais indicados na figura 3.5, por formas a melhorar a sensibilidade da rede nacional.

As formas de comunicação do SeisComP utilizadas pelas estações ASER e EVO da rede UE (comunicação por GSM e internet) permiti o monitoramento da atividade sísmica em tempo real (controlo de qualidade dos dados, localização de eventos sísmicos, visualização do sinal em tempo real, etc.), reunir e compartilhar os dados com outros observatórios sismológicos (por exemplo: com o IPMA e a rede Euromediterrânica na qual a rede UE participa). Este sistema de monitoramento ajuda-nos a detetar rapidamente qualquer problema que ocorra com a estação.

Relativamente à instalação de uma rede sísmica constituída por sismómetros de banda larga (a rede a instalada no âmbito do projeto da UE), deve ser considerado alguns cuidados como por exemplo: proteger-se das condições meteorológicas adversas que podem causar corrosão, humidade excessiva ou inundação. Por outro lado, a ótima distribuição geográfica nos pontos de observação sísmica que assegurem a minimização dos erros de localização em determinada região sísmica, devem ser igualmente, considerados.

A análise efetuada aos LOGs, permitiu avaliar o funcionamento das estações instaladas na região de estudo, sucedendo a substituição de alguns equipamentos, tais como: painéis solares, baterias, etc., melhorando assim, o seu funcionamento.

A existência dos meios mínimos de monitorização sísmica na região de estudo é uma realidade que reconhecemos, salientando a necessidade de instalação de mais estações sismográficas capazes de suprir as lacunas de cobertura azimutal dos eventos que ocorrem nesta região. Neste contexto, o projeto da UE, revela-se como capaz de ultrapassar estas dificuldades a curto e a médio prazo.

Capítulo IV

Aplicações à área em estudo

4.1 Introdução

No sentido de organizar os dados adquiridos das estações da rede UE, houve necessidade de se criar uma base de dados sísmológica – UE, com os sísmos mais recentes da região. Além disso, o estudo da atividade sísmica desta região envolve o manuseamento de dois tipos de dados: formas de ondas (registos sísmicos em formato digital) e dados paramétricos (tempos de chega das fases, amplitudes, localização, magnitude, etc.).

A fim de se obter os resultados preliminares da monitorização da atividade sísmica local, foi realizado um estudo conducente para análise do ruído sísmico baseado no método de Peterson (1993) das estações sísmicas da rede UE.

Peterson (1993), realizou um estudo sobre observação e modelação de ruído sísmico, utilizando 75 estações, localizadas em toda parte do mundo, tendo estabelecido vários parâmetros (Tabelas 4.1 e 4.2), o que permitiu obter um modelo padrão para o ruído mais baixo (conhecido como NLNM – New Low Noise Model) e um modelo para o ruído mais elevado (designado NHNM- New High Noise Model) (ver a figura 4.1). Uma estação sísmica será tanto melhor quanto os seus registos mais se aproximarem da curva NLNM. Ambas as curvas, expressas em aceleração nas unidades de decibéis (dB) referidas a $1(m/s^2)/Hz$, isto é, $dB=10\log(P/P_0)$.

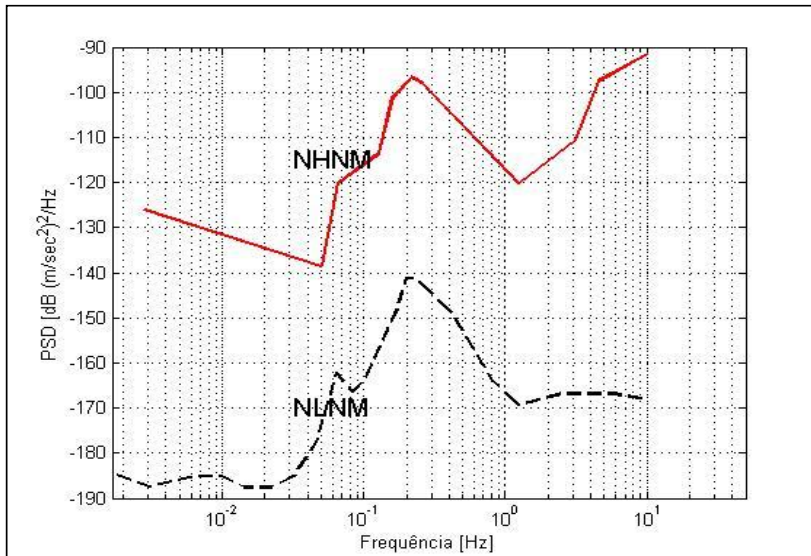


Figura 4.1- Modelo padrão de ruído sísmico, proposto por Peterson (1993) adaptado. O preto o nível mais baixo e o vermelho o nível de ruído mais elevado.
 * PSD (Power Spectral Density – Densidade Espectral de Potência).

A função Densidade Espectral de Potência ($S_x(\omega)$ ou $S_x(f)$) de um sinal $x(t)$ define a densidade de potência por unidade de banda em função da frequência (potência média por unidade de banda) deste sinal. A sua unidade é Watt por radiano por segundo (W/rad/s) ou Watt por hertz (W/Hz).

As curvas de ruído baixo e alto para aceleração são obtidas usando a expressão:

$$\mathbf{NHNM/NHNM} = \mathbf{A + B \times \log(P/P_0) \text{ com } P_0 = 1 (m/s^2)^2 / Hz} \quad (4.1)$$

Tabela 4.1- Parâmetros de coeficientes para a obtenção da curva NLNM-New Low Noise Model (nível de ruído baixo) num dado período (P), Peterson (1993).

NLNM= $A + B \times \log(P)$ dB, potência de referência 1 (m/sec²)² /Hz		
P (períodos)	A (coeficientes)	B (coeficientes)
0.10-	-162.36	5.64
0.17-	-166.7	00.00
0.40-	-170.00	-8.30
0.80-	-166.40	28.90
1.24-	-168.60	52.48
2.40-	-159.98	29.81
4.30-	-141.10	0.00
5.00-	-71.36	-99.77
6.00-	-97.26	-66.49
10.00-	-132.18	-31.57
12.00-	-205.27	36.16
15.60-	-37.65	-104.33
21.90-	-114.37	-47.10
31.60-	-160.58	-16.28
45.00-	-187.50	0.00
70.00-	-216.47	15.70
101.00-	-185.00	0.00
154.00-	-168.34	-7.61
328.00-	-217.43	11.90
600.00-	-258.28	26.60
10000.00- 100000.00	-346.88	48.75

Tabela 4.2- Parâmetros de coeficientes para a obtenção da curva NHNM-New High Noise Model (nível de ruído alto) num dado período (P), Peterson (1993).

NHNM_{ACC}= $A + B \times \log(P)$ dB, potência de referência 1 (m/sec²)² /Hz		
P (períodos)	A (coeficientes)	B (coeficientes)
0.10-	-108.73	-17.23
0.22-	-150.34	-80.50
0.32-	-122.31	-23.87
0.80-	-116.85	32.51
3.80-	-108.48	18.08
4.60-	-74.66	-32.95
6.30-	0.66	-127.18
7.90-	-93.37	-22.42
15.40-	73.54	-162.98
20.00-	-151.52	10.01
354.80- 100000.00	-206.66	31.63

Por outro, em uma rede sismográfica local, o objetivo é conhecer a hora de origem t_0 e a localização hipocentral (x_0, y_0, z_0) de um sismo, a partir de um conjunto de tempos de chegada obtido dos dados registados. Para uma rede sismográfica local com boa cobertura azimutal (“cercando” o epicentro) (ver mais adiante, na figura 4.8), a localização da estação com menores tempos de chegada fornece-nos uma estimativa inicial da localização epicentral. Como será mostrado mais adiante na secção 4.2.2, as estações ASER, CABID e CARR servirão como referência para isto.

Na secção 4.2.3 serão apresentados os resultados do cálculo de parâmetros espectrais da fonte de sismos com epicentro na região de Arraiolos (caso do sismo de 31 de Outubro de 2014). E por fim, na secção 4.3 são discutidos os resultados.

4.2 Recolha e processamento de dados

Os dados brutos das estações autónomas foram transferidos para um computador PC e após isto, com os dados brutos das estações transmitidas em tempo real, foram convertidos em formato MiniSeed, o que permitiu ao estabelecimento de uma base de dados “UE”.



Figura 4.2- Na imagem o autor, extraindo os dados da estação sísmica autónoma CABID.

A extração dos dados das estações autónomas, processa-se do seguinte modo:

1. Observar o estado de funcionamento do Sismómetro com auxílio do software SCREAM 4.4. Para tal, seleccionar os sismogramas das três componente (Este, Norte e Vertical) para testar o estado de funcionamento da estação;
2. Conectar o disco apropriado (figura 4.3) a uma fonte de alimentação através do adaptador fornecido e conectar para a porta do sismómetro Guralp CMG-6TD.
3. Na janela do ambiente SCREAM 4.4, clicar com o botão direito sobre o ícone do digitalizador e seleccionar “Terminal” e por fim, para descarregar todos os dados automaticamente, basta escrever a palavra “FLUSH”.



Figura 4.3- Disco GURALP SYSTEMS 6TD.

Procedeu-se a transferência destes dados brutos do disco para um computador PC usando o software Gcfxtract v1.3.1, seguindo os seguintes passos:

1. Conectar o disco (GURALP SYSTEMS 6TD) a uma fonte de alimentação através do adaptador fornecido e também, conectar para o computador;
2. Executar o software Gcfxtract v1.3.1 e seleccionar o disco desejado, e seguidamente, clicar em Gcfxtract;

3. Na opção “output Data format – formato de dados de saída”, seleccionar o formato MiniSeed.
4. Na opção “Data File Duration – Duração do arquivo de dados”, Definir o ciclo horário (exemplo 1 dia). Na opção Status File Duration – Estado de duração do arquivo”, definir o ciclo diário (exemplo 1 ou 2 dias ou mais) que se pretende estudar.
5. Por fim, seleccionar o ficheiro dos dados da memória correspondente ao disco (GURALP SYSTEMS 6TD);
6. Na opção “Browse” criar uma pasta para armazenar os dados extraídos do disco (6TD GURALP SYSTEMS);
7. Após efectuar todas as configurações, na opção “Extract”, extrair todos os dados para o disco rígido do computador para o devido processamento.

4.2.1 Ruído sísmico

O estudo do ruído das estações da rede sísmica UE instalada na região, consistiu no registo contínuo dos dados das três componentes (Este, Norte e Vertical), nos três períodos de um dia:

- ⇒ Estação ASER (dia 28 de Setembro de 2014);
- ⇒ Estação CABID e CARR (dia 21 de Outubro de 2014).

Os sinais sísmicos foram removidos, de modo a não interferir nos resultados.

A seguir apresenta-se a descrição dos procedimentos que permitiram obter os respectivos resultados.

Quando são conhecidas, de forma analítica, as funções de transferência de cada um dos componentes do sistema, então a resposta do instrumento sísmico completo é simplesmente o produto das respostas parcelares.

A resposta do instrumento sísmico foi dado pelos seus pólos e zeros, e definiu-se uma frequência de amostragem de 100 Hz. Os pólos e zeros não estão dados em coordenadas de Laplace, pelo que foi necessário multiplicá-lo por 2π .

Para normalizar a função de transferência é necessário recalcular a constante de normalização, e multiplicá-la pela função de transferência e

posteriormente representa-la. A função de transferência está normalizada quando para a frequência de 1Hz, tem-se magnitude igual a 1.

As curvas da resposta instrumental das estações autónomas e transmitidas em tempo real da rede UE, estão representadas nas figuras 3.7 e 3.8, respectivamente.

Tendo a resposta completa do instrumento, pode-se fazer a análise do ruído. Segundo Peterson, para se fazer a análise do ruído é necessário obter a Densidade de Potência Espectral do sinal em aceleração $(m/s^2)^2/Hz$.

O Matlab dispõe da função “pwelch” que dá o valor desta grandeza. Outra forma seria achar a transformada de Fourier do sinal e o respectivo conjugado. Uma vez que a densidade espectral é a função autocorrelacionada, multiplica-se a transformada pelo seu conjugado e dividir por 2π , isto é:

$$P = \frac{F(\omega) \times F(\omega)^*}{2\pi} \quad (4.2)$$

A função pwelch devolve a potência espectral (PSD) e as frequências (F) a ela associada. Os dados gravados são números binários dados em counts. Logo, a potência espectral será dada em $(counts)^2/Hz$. Na função de transferência (T) do sismómetro obtida no ponto anterior, deve-se substituir a frequência usada para normaliza-la, pela frequência (F) obtida com a função pwelch do Matlab. Desta forma já se pode achar a resposta do instrumento (designou-se TD), dada pela multiplicação da função de transferência pela constante de digitalização:

$$TD = T/D \quad (4.3)$$

A resposta do instrumento está em velocidade $(counts/m/s)$, mas é preciso ter a potência espectral desta função, em unidades de aceleração. Para tal faz-se o quadrado do valor absoluto desta função dividida pelo quadrado da frequência angular, uma vez que ela possui números complexos. A potência espectral resultante da desconvolução será dada:

$$Pa = PSD / (abs(TD)/w)^2 \quad [(m/s^2)^2 / Hz]. \quad (4.4)$$

No quadro B.1 em apêndice, encontra-se representado o script feito no software MATLAB 7.9.0 (R2009b) (exemplo da estação CABID), onde constam todos os detalhes e comandos usados, o que permitiu obter os padrões de ruído das estações sísmicas da rede UE, cujos resultados estão representados a seguir:

Na figura 4.4 é possível observar ligeiras variações horárias nas três componentes do espectro de ruído da estação ASER. No entanto, durante a noite o espectro de ruído situa-se mais próximo da curva NLNM, ao contrário do período diurno, sobretudo, entre as 11 horas e as 15 horas, no domínio das baixas frequências, os espectros das componentes Este e Norte, tendem a aproximar-se para a curva NHNM. Neste contexto, considera-se que os padrões de ruído da estação ASER encaixam-se perfeitamente no modelo proposto por Peterson (1993).

Estação ASER:

Dia 28 de Setembro de 2014

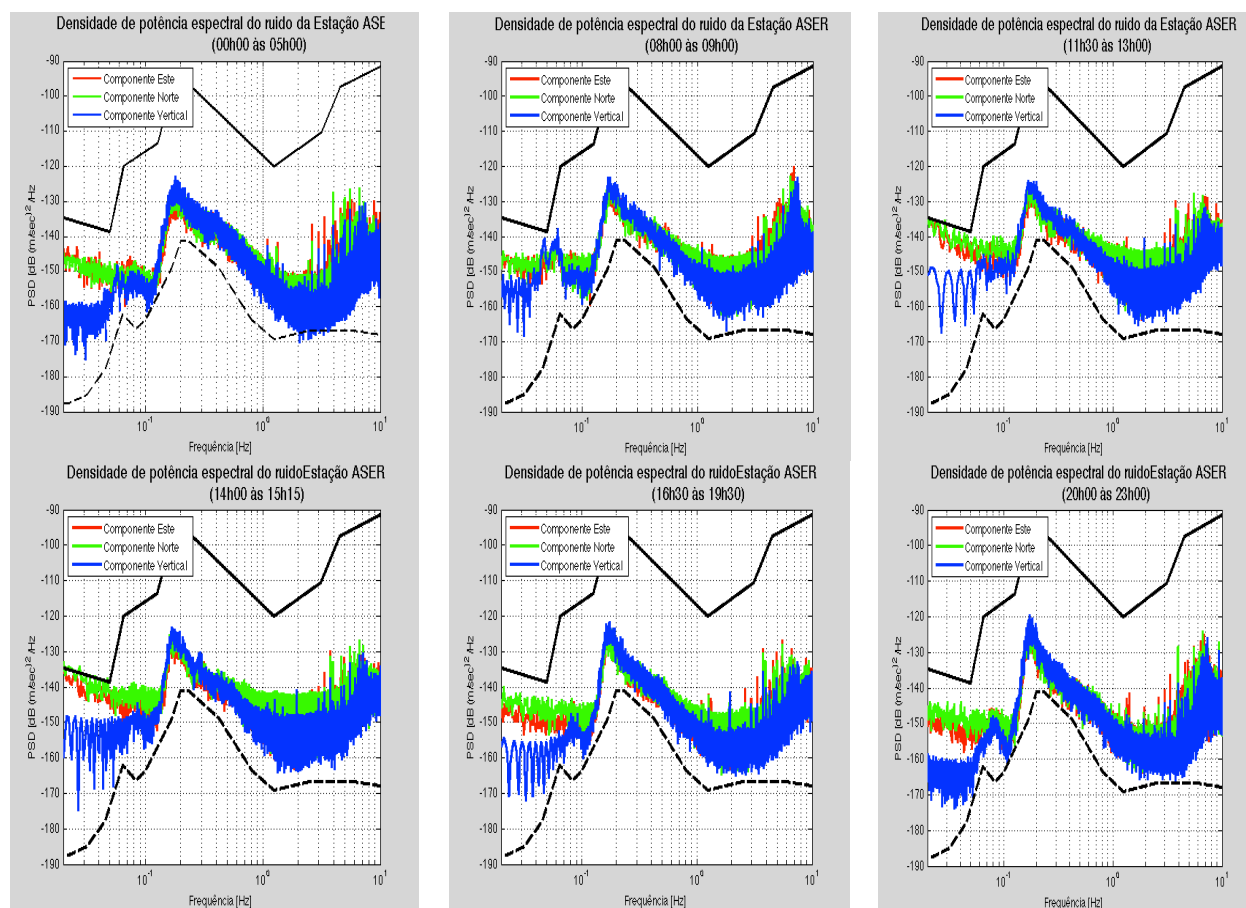


Figura 4.4- Padrões de ruído da estação transmitida em tempo real ASER, em diferentes horas do dia 28-09-2014. As cores vermelha, verde e azul correspondem as três componentes: Este, Norte e Vertical, respectivamente. Os tracejados a preto representam os níveis de ruído elevado (NHNM) e baixo (NLNM) do modelo de Peterson (1993).

Nas figuras 4.5 e 4.6 observa-se que no domínio das baixas frequências o espectro de ruído das estações CABID e CARR, nos três períodos do dia, excedem a curva NHNM. Esta situação deve-se às características instrumentais destas estações. No domínio das altas frequências a densidade espectral de ruído encaixam-se nos limites padronizados de Peterson, apesar de haver ligeiros picos. Entretanto, o período da noite a densidade espectral tendem para o NLNM. Presumi-se que estas variações horárias, devem-se a vários factores, como por exemplo: a pressão atmosférica, o vento, a actividade humana do meio circundante, etc.

Estação CARR:

Dia 21 de Outubro de 2014

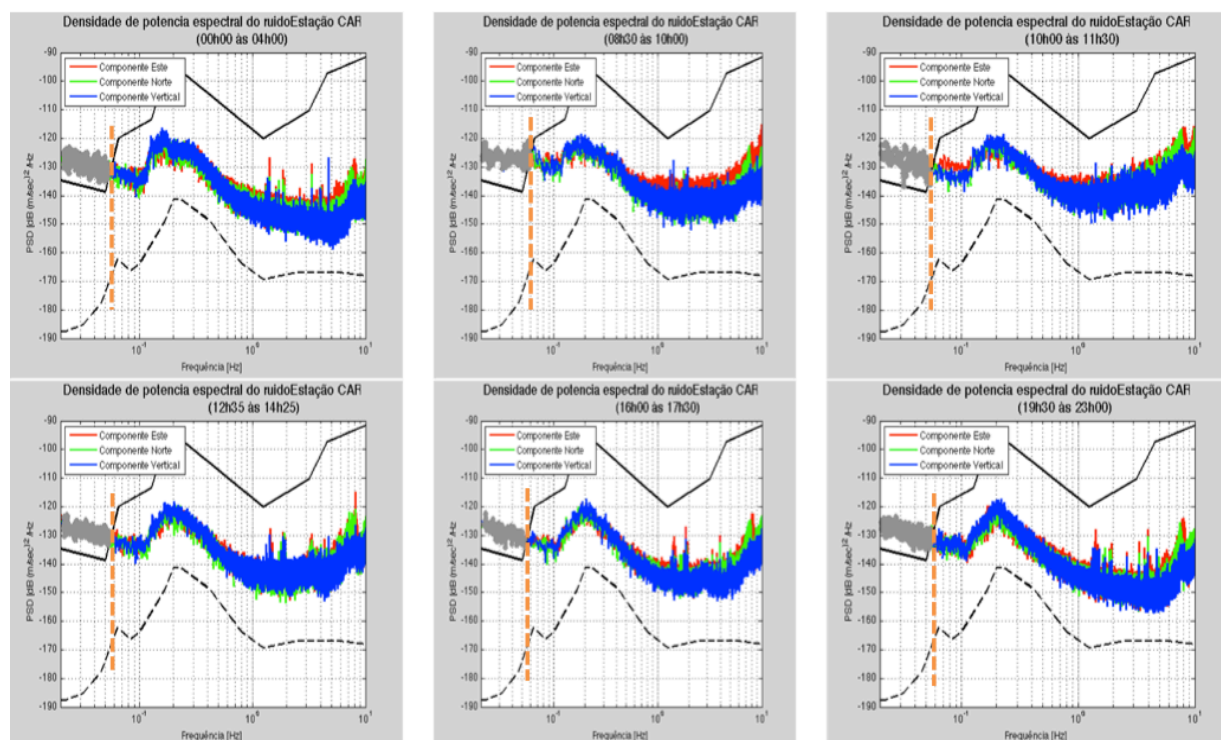


Figura 4.5- Padrões de ruído da estação autónoma CARR em diferentes horas do dia 21-10-2004. As cores vermelha, verde e azul correspondem as três componentes: Este, Norte e Vertical, respetivamente. Os tracejados a preto representam os níveis de ruído elevado (NHNM) e baixo (NLNM) do modelo de Peterson (1993). O tracejado a laranjada na vertical indica a faixa de frequências em que o espectro de ruído desta estação excede o modelo proposto por Peterson (1993).

Estação CABID:

Dia 21 de Outubro de 2014

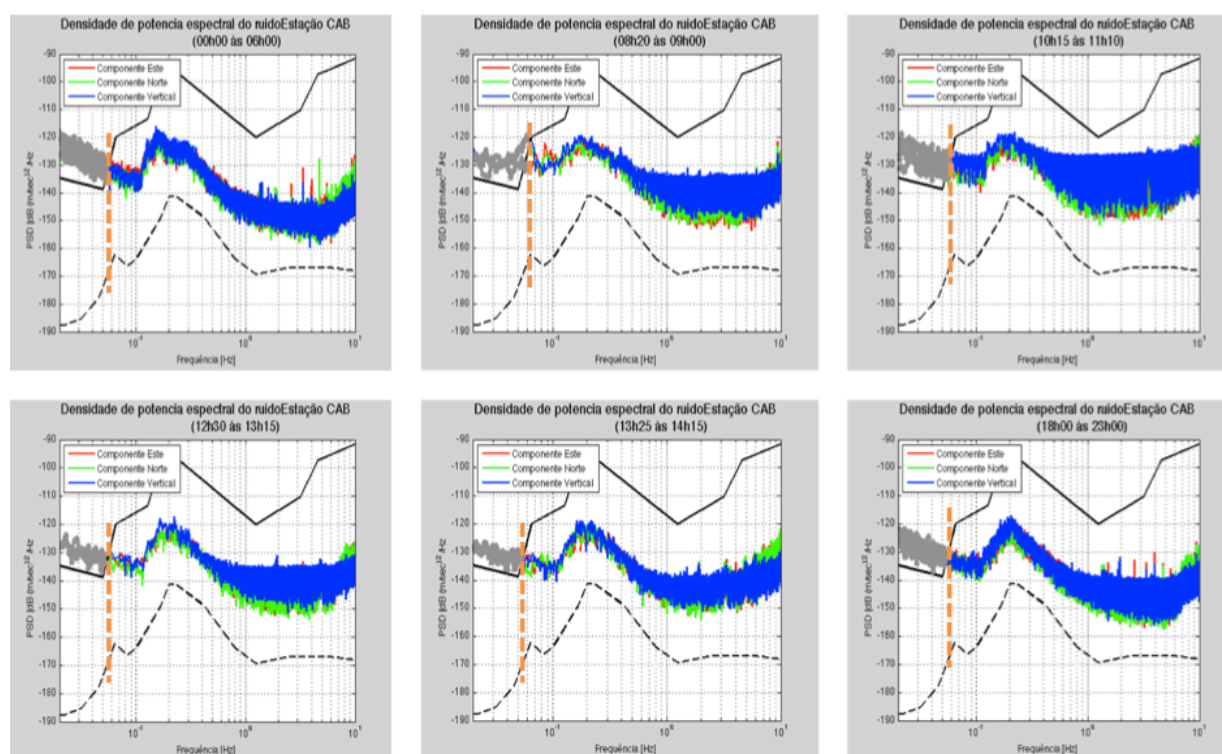


Figura 4.6- Padrões de ruído da estação autónoma CABID em diferentes horas do dia 21-10-2004. As cores vermelha, verde e azul correspondem as três componentes: Este, Norte e Vertical, respectivamente. Os tracejados a preto representam os níveis de ruído elevado (NHNM) e baixo (NLNM) do modelo de Peterson (1993). O tracejado a laranjada na vertical indica a faixa de frequências em que o espectro de ruído desta estação excede o modelo proposto por Peterson (1993).

4.2.2 Localização hipocentral

Em 31 de Outubro de 2014 ocorreu um sismo de magnitude 1.6 (MI) com epicentro localizado à NE de Arraiolos. Este sismo foi registado por três estações da rede UE (figura 4.8) e foi também, registado por 23 estações da rede nacional do IPMA.

Na figura 4.7 apresentam-se a série temporal das três componentes (Este, Norte e Vertical) do registo do evento de 31 de Outubro de 2014 na estação ASER.

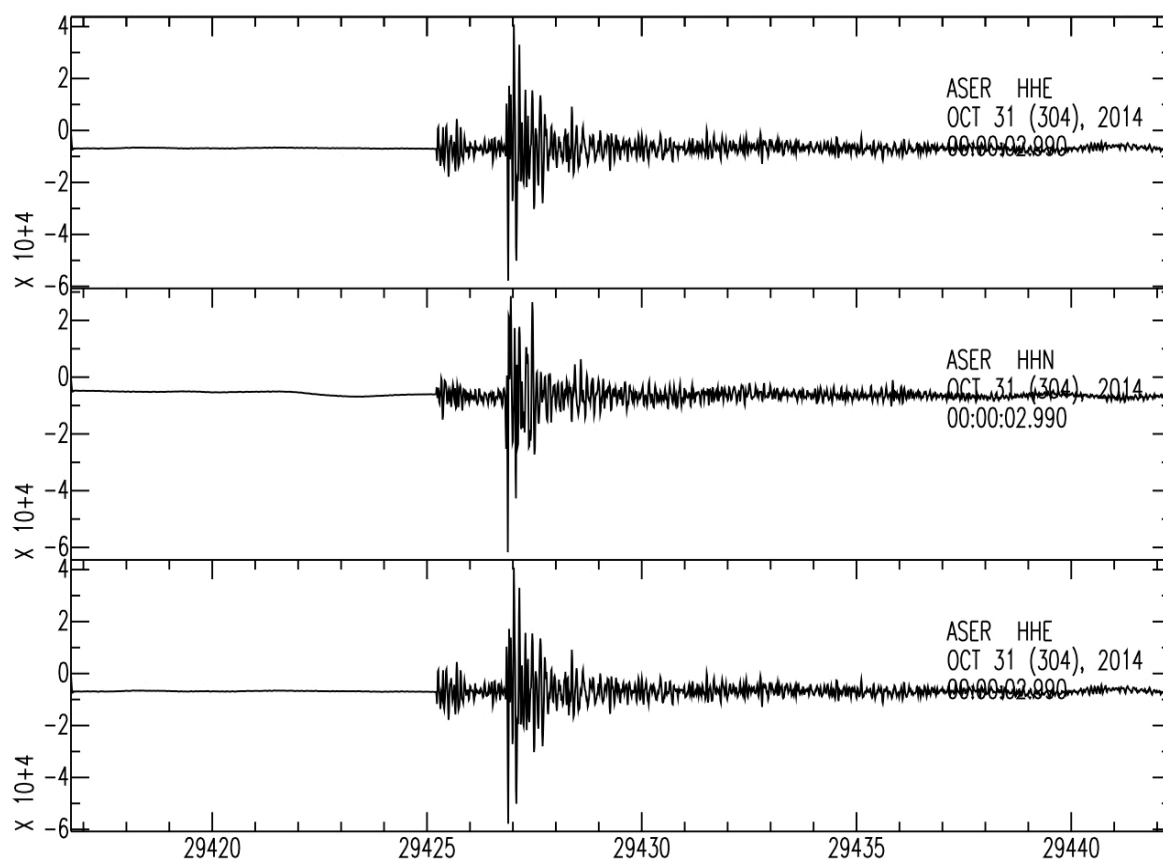


Figura 4.7- Exemplo de registo efetuado pela estação ASER da rede UE. O evento que o originou ocorreu no dia 31 de Outubro de 2014, tem epicentro nas proximidades de Arraiolos e apresenta uma magnitude igual a 1,6.

A título de resumo, nas tabelas 4.3 e 4.4 são apresentados os dados de localização obtidos neste trabalho através do programa Hypocenter acoplado no SEISAN. Na figura 4.24 é apresentado o mapa com a localização das estações sísmicas da rede UE instaladas na região de estudo e o epicentro do sismo de 31 de Outubro de 2014.

Tabela 4.3- Tabela que resume os resultados da localização hipocentral do evento de 31 de Outubro de 2014 (pelas estações da rede UE “na segunda alínea” e do IPMA “na terceira alínea”).

Data	Hora	Lat.	Long.	H(Km)	Mag.(MI)	Rms
31-10-2014	08:10:26.63	38° 46.59'N	7° 55.6'W	9.0	1.6	0.24
31-10-2014	08:10:26	38° 78'N	7° 94'W	-	1.7	0.44

* **Legenda:**

Lat- Latitude; **Long-** Longitude; **H(Km)**- profundidade hipocentral; **Mag-** Magnitude; **Rms-** média quadrática dos resíduos.

Tabela 4.4- Tabela que resume os parâmetros da localização do evento de 31 de Outubro de 2014

Estação	$\Delta(Km)$	Azm	Ain	F	f-cal	Hora	T-sec	T-obs	T-cal	Res
CARR	3	41.11	62.0	P	PG	08:10	28.3	1.67	1.60	0.08
CARR	3	41.11	62.0	S	SG	08:10	29.8	3.16	2.80	0.37
ASER	4	301.01	55.1	P	PG	08:10	28.2	1.57	1.69	-0.12
ASER	4	301.01	55.1	S	SG	08:10	29.6	2.97	2.96	0.02
CABID	4	190.11	55.2	P	PG	08:10	29.0	2.34	1.68	0.67
CABID	4	190.11	55.2	S	SG	08:10	30.0	3.33	2.93	0.40

*** Legenda:**

$\Delta(Km)$ - distância epicentral; **Azm:** Azimute; **Ain:** Ângulo de incidência; **F:** Fase; **F-Cal:** Fase calculada; **Tsec:** tempo em segundos; **T-obs:** tempo observado; **T-cal:** tempo calculado; **Res:** resíduo.

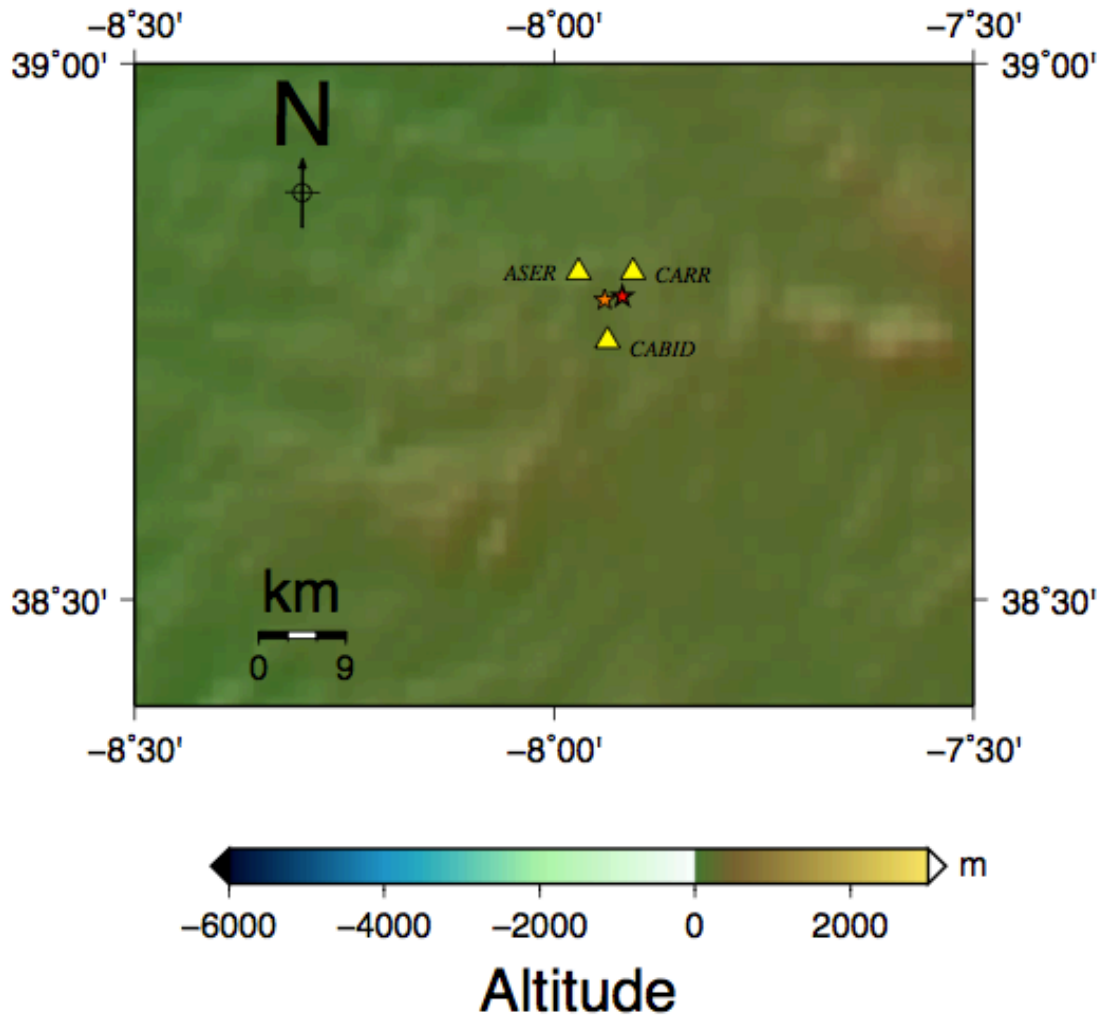


Figura 4.8- Localização do epicentro do sismo de 31 de Outubro de 2014 (estrela vermelha) pelas estações sísmicas da rede UE instaladas na região de estudo (triângulos amarelos) e epicentro localizado pelas estações do IPMA (estrela laranja).

4.2.3 Análise espectral

Existem diversos modelos teóricos de ruptura sísmica, que são correntemente usados como representativos dos processos que ocorrem durante um sismo. Como exemplo, temos o modelo de Haskell (1964) e o modelo de Brune (1970). Assim, de acordo com esses modelos a amplitude espectral obedece à seguinte expressão:

$$\Omega(\omega) = \Omega_0 \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_e}\right)^2} \right) \quad (4.5)$$

em que Ω_0 é a amplitudes das baixas frequências, ω_e é a frequência de

esquina.

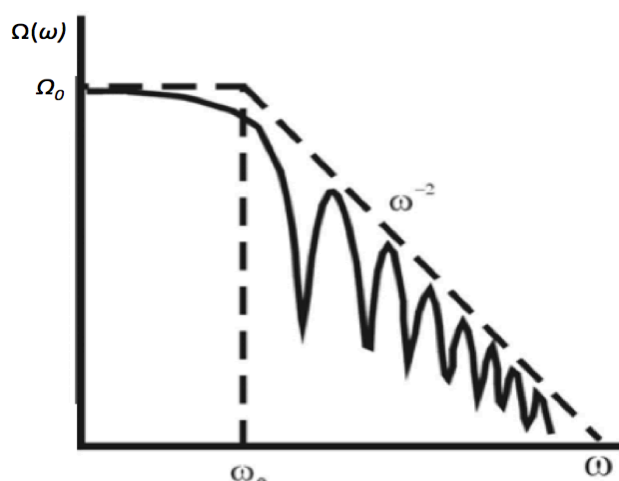


Figura 4.9- Espectro em deslocamento de um sismograma gerado pelo modelo de Haskell para a rotura sísmica (Borges, 2003).

A análise do espectro de radiação das ondas produzidas num sismo de origem tectónica permite-nos concluir que existe um conjunto de características comuns que podem ser identificadas no exemplo da figura 4.9: uma parte plana que corresponde à amplitude espectral para as baixas frequências ($\Omega(\omega) \rightarrow \Omega_0$ quando $\omega \rightarrow 0$) e uma parte que corresponde à queda das altas frequências, cujo decaimento se dá seguindo o inverso do quadrado de ω . Esta tendência de comportamento do espectro pode ser delineada a partir de duas assíntotas: uma plana que define a amplitude para as baixas frequências e uma associada à queda da amplitude para as altas frequências; a intersecção das duas assíntotas define a frequência ω_e designada por frequência de esquina.

Por outro o momento sísmico escalar M_0 relaciona-se com Ω_0 através de

$$M_0 = \frac{4\pi c^3}{A_g A C_i F(\phi, \delta, \lambda, i_h)} \Omega_0 \quad (4.6)$$

em que c é a velocidade de propagação das ondas na região focal (α , ou β , para as ondas P e S, respectivamente), A_g é a atenuação devida à dispersão geométrica, que, para pequenas distâncias ($R \leq 100 \text{ km}$), - onde se pode aplicar a aproximação dada por $1/R$, para $R > 100 \text{ km}$, é $1/\sqrt{100 \times R}$ (Herrman, 1985), e para distâncias telesísmicas é dada por $g(\Delta)/a$ (Bezzeghoud et al., 1989) em que a é o raio da Terra, $g(\Delta)$ é o factor de

expansão geométrica, Δ é a distância epicentral -, A é a atenuação inelástica, C_i é o coeficiente de correção do efeito da superfície livre, $F(\varphi, \delta, \lambda, i_h)$ é o padrão de radiação da fonte sísmica (no caso do mecanismo focal do sismo ser desconhecido, pode atribuir-se um valor médio de 0,52 para as ondas P e 0,62 para as ondas S). A atenuação inelástica assume diferentes valores consoante se tratem de distâncias próximas ou distâncias telesísmicas. Para a primeira gama de distâncias a lei de atenuação habitualmente empregue é do tipo $Q(f) = Q_0 f^n$ (Aki and Richards, 1980) em que Q_0 é uma constante e n assume valores típicos no intervalo [0,4, 1,1], dependendo da região, para uma gama de frequências compreendida entre 1 e 30 Hz. Para distâncias telesísmicas $Q(f) = \exp(-wt^*/2)$, onde t^* é o parâmetro de Futterman da atenuação, cujo valor é constante e aproximadamente igual a 1s e 4s, para as ondas P e S, respectivamente (Bezeghoud et al., 1989; Borges, 2003).

De acordo com Gibowicz e Kijko (1994) através do modelo de Brune de falha circular podemos estimar as dimensões da fonte (raio da falha circular r_0) da seguinte forma:

$$r_0 = \frac{2.34\beta_0}{2\pi f_{e(\alpha,\beta)}} \quad 4.7$$

onde $f_{e(\alpha,\beta)}$ são as frequências de esquina medidas para as ondas P e S, respectivamente e β_0 a velocidade da onda S na área da falha.

Brune (1970, 1971) estabeleceu que, no caso da tensão ser completamente libertada no decurso de um sismo, a queda de tensões (stress drop) vem dada por:

$$\Delta_\sigma = \frac{7}{16} \frac{M_0}{r_0^3} \quad 4.8$$

*As expressões 5.7 e 5.8 podem ser encontradas em Gibowicz e Kijko (1994).

Uma vez conhecido o momento sísmico M_0 (expresso em unidades SI, N.m) a magnitude do momento M_w , estabelecida por Hanks e Kanamori (1979), é calculada pela expressão:

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 6.0 \quad 4.9$$

Com o objectivo de calcular os parâmetros da fonte do sismo de 31 de Outubro de 2014, foi realizada a análise espectral dos registos nas suas componentes verticais (P vertical).

Após a desconvolução do registo sísmico através da aplicação da função de transferência da estação, foi calculado o espectro do deslocamento recorrendo à transformada rápida de Fourier (FFT). Para tal foi seleccionada uma janela temporal de aproximadamente 1.8 segundos contados a partir do instante de chegada da onda P (figuras 4.10, 4.11 e 4.12 em cima).

A partir deste espectro construiu-se um gráfico bi-logarítmico de amplitude, para as componente verticais, numa gama de frequências entre 1 a 50 Hz (limites espectrais).

A partir das amplitudes das baixas frequências Ω_0 e da frequência esquina f_e obtida, como se ilustra nas figuras 4.10, 4.11 e 4.12 (em baixo) pela medida directa da intersecção das assíptotas de baixa e alta frequência, foram calculados o momento sísmico M_0 utilizando a expressão (4.6), a queda de tensões estáticas $\Delta\sigma$ e a dimensão da ruptura r , recorrendo, respectivamente, às expressões (4.8) e (4.7)- baseadas no modelo de falha circular de Brune. A magnitude momento M_w foi determinada a partir do momento sísmico escalar M_0 utilizando a expressão (4.9).

Na tabela (4.5) apresentam-se os valores individuais obtidos a partir dos espectros dos registos das estações ASER, CARR e CABID e os valores médios.

Tabela 4.5- Tabela com os resultados dos parâmetros espectrais obtidos a partir da análise espectral dos registos obtidos nas três estações da rede UE (componente vertical).

Estações-Comp.	D(km)	$\Omega_0(ms)$	$f_e(Hz)$	$M_0(Nm)$	M_w	$r_0(m)$	$\Delta\sigma(Pa)$
ASER-HZ	4	1.7×10^{-9}	20	2.5×10^{11}	1.6	113.6	7.4×10^4
CABID-HZ	4	1.7×10^{-9}	21	2.5×10^{11}	1.6	108.2	8.6×10^4
CARR-HZ	3	1.7×10^{-9}	19	2.4×10^{11}	1.6	119.6	6.1×10^4
MÉDIA	-	-	-	2.3×10^{11}	1.6	113.8	7.4×10^4

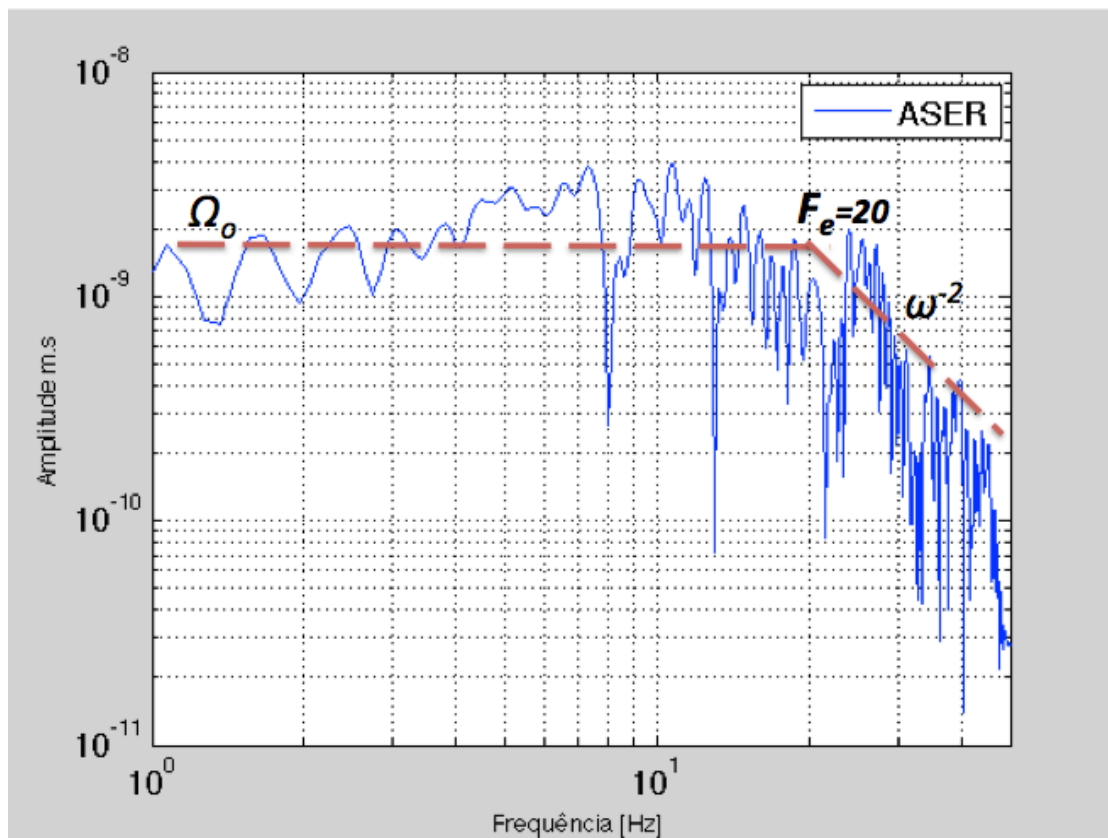
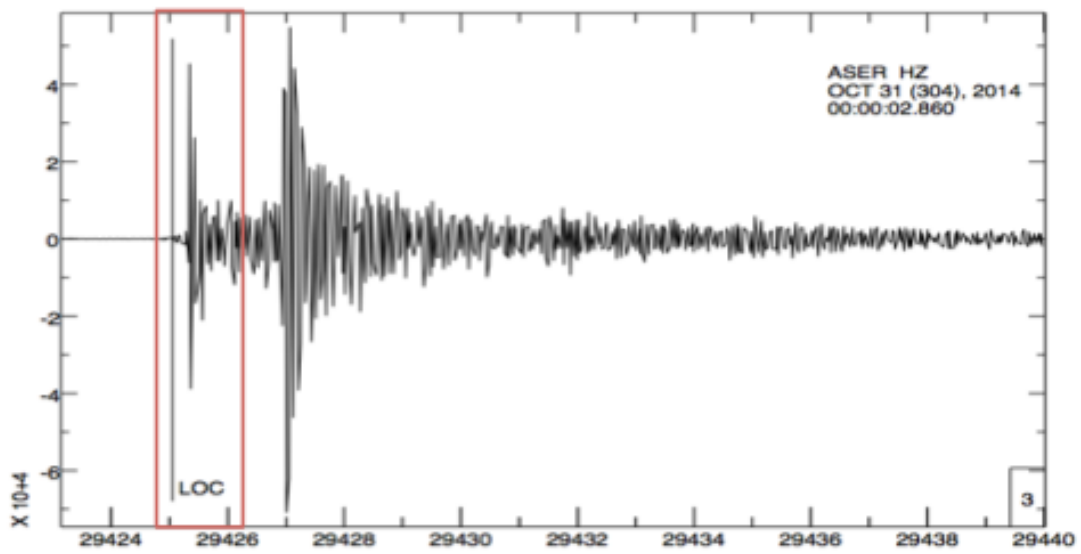


Figura 4.10- Registos verticais do sismo de 31 de Outubro de 2014 (ondas P assinaladas por rectângulo) (em cima) e respectivo espectro das ondas P em deslocamento (em baixo) da estação ASER da rede UE.

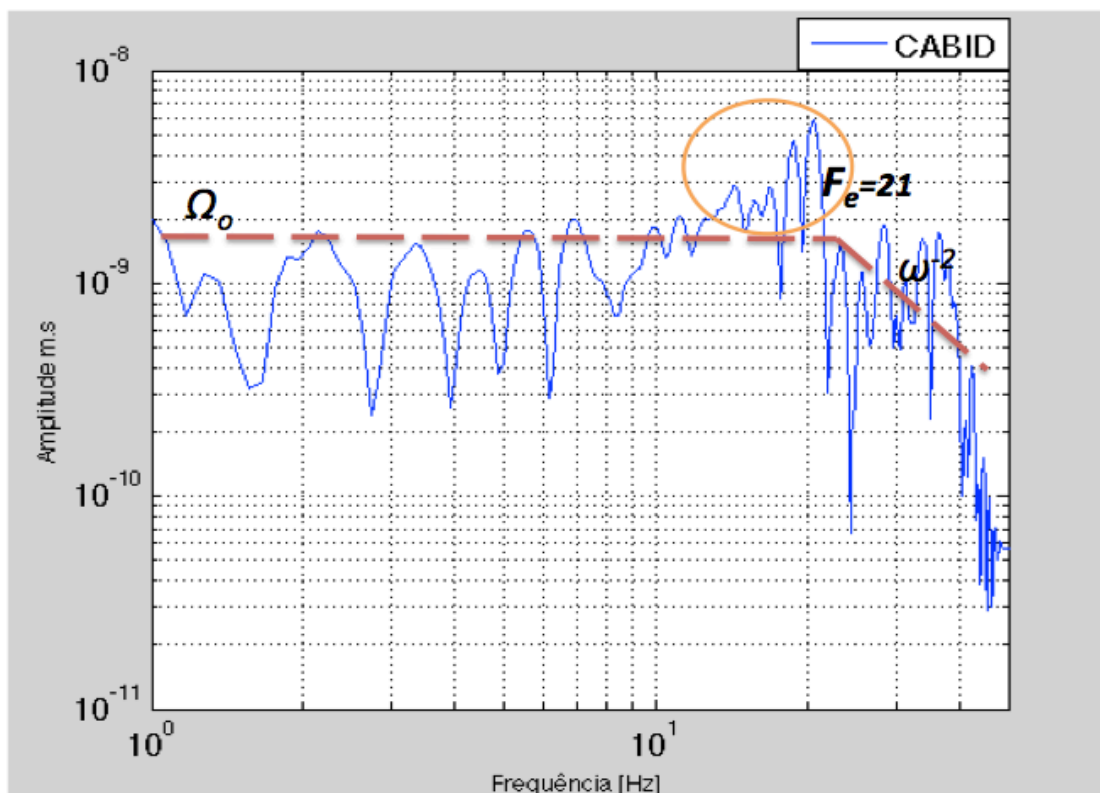
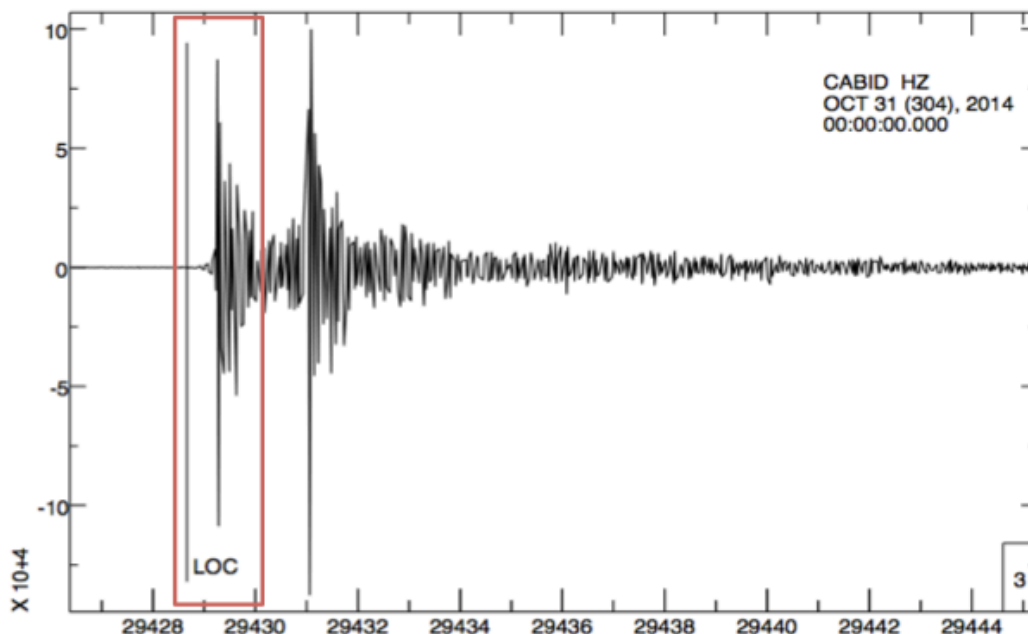


Figura 4.11- Registos verticais do sismo de 31 de Outubro de 2014 (ondas P assinaladas por rectângulo (em cima) e respectivo espectro das ondas P em deslocamento (em baixo)¹¹ da estação CABID da rede UE.

¹¹ O espectro da estação CABID, apresenta uma anomalia (círculo a laranja), provavelmente devido ao efeito de sítio. Esta estação está instalada sobre sedimentos, cuja espessura não se conhece e admitindo que as velocidades médias de propagação das ondas sísmicas típicas destes meios aluvionares serem baixa, provavelmente pode haver amplificação nas altas frequências.

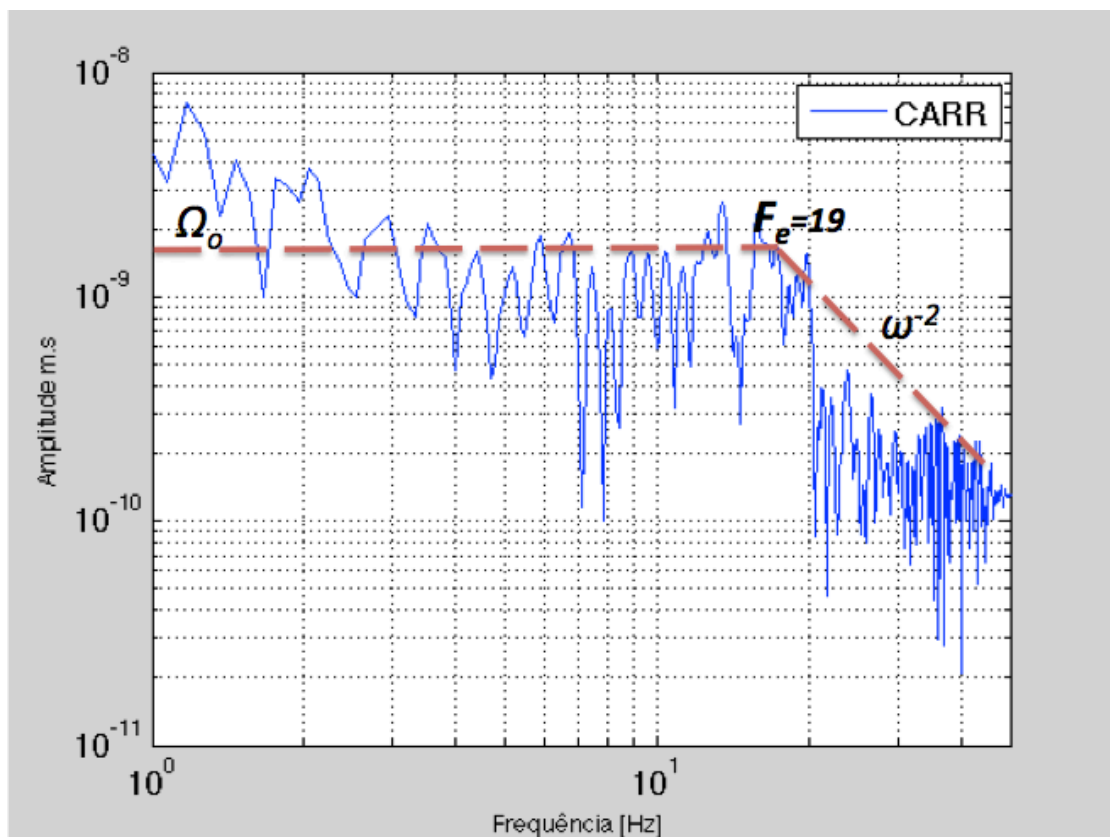
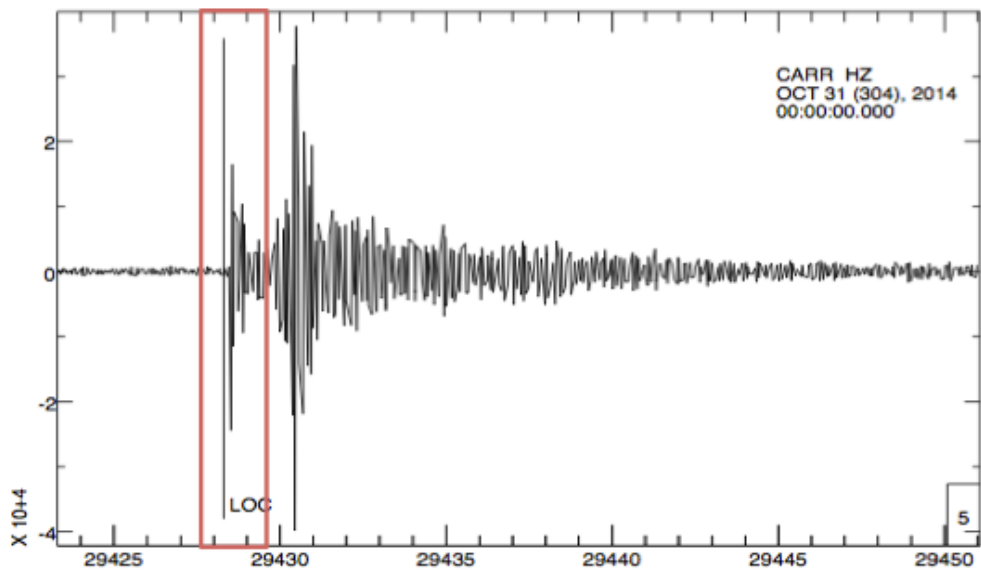


Figura 4.12- Registos verticais do sismo de 31 de Outubro de 2014 (ondas P assinaladas por rectângulo) (em cima) e respectivo espectro das ondas P em deslocamento (em baixo) da estação CARR da rede UE.

4.3- Discussão

Relativamente à caracterização do ruído sísmico dos sítios de registo, foi desenvolvido de um processo de análise da densidade espectral que permite testar o nível de ruído baseado no modelo (NHNM e NLNM) proposto por Peterson (1993). Comparou-se os resultados da densidade espectral de ruído das três estações instaladas na região de Ciborro-Arraiolos (figuras 4.4, 4.5 e 4.6, respectivamente). Verifica-se que há variações nos espectros de ruído durante as 24 horas, e é notório que a estação ASER é menos ruidosa, em relação as outras duas estações (CABID e CARR), que possuem as mesmas características instrumentais. No domínio das altas frequências a densidade espectral excede a curva padronizada (NHNM) de Peterson, conforme já foi referido, devido as suas características instrumentais.

A realocização do evento de 31 de Outubro de 2014, pelas estações da rede UE, permitiu obter mais detalhes sobre este sismo. Neste contexto, fez-se uma incursão ao programa SEISAN (Havskov e Ottemöller, 2000), por ser robusto: facilidade de inclusão de dados na base de dados, rapidez no processamento de todos os tipos de dados de observatórios sísmicos, etc., no qual está acoplado o programa Hypocenter (Lienert et al., 1986; Lienert, 1991; Lienert e Havskov, 1995) específico para localizar eventos sísmicos.

Os resultados da realocização deste evento obtida pelas estações da rede UE tem um Rms menor (0.24) que do IPMA (0.44). Foi feita a determinação hipocentral, que na anterior localização pela rede nacional estava fixada a 0 km. A magnitude local calculada para as duas redes têm resultados diferentes, porque nas estações da rede UÉ, utilizou-se no sismograma a onda P. Neste contexto, fica demonstrado a contribuição da rede sismográfica UE na monitorização da atividade sísmica no contexto regional.

Relativamente aos cálculos dos parâmetros da fonte deste evento, importa referir que:

- a) Em todos os casos foi possível calcular, a partir da análise espectral dos registos efectuados pelas três estações, os parâmetros da fonte (momento sísmico escalar (M_0), magnitude momento (M_w), dimensão da fonte (r_0) e a queda de tensão ($\Delta\sigma$) na região focal). Os valores

médios obtidos: $M_0 = 2.3 \times 10^{11}$ Nm; $r_0 = 113.8$ m, são correlacionáveis com o modelo estabelecido por Gibowicz e Kijko (1994), em que relacionam o momento sísmico escalar em função do raio da fonte para eventos sísmicos de baixa magnitude.

- a) Em todos os espectros (figuras 4.10, 4.11 e 4.12) verifica-se a existência de uma parte plana para as baixas frequências e um decaimento da amplitude espectral para as altas frequências segundo ω^{-2} , em conformidade com o modelo de Brune (1970);
- b) Como se pode observar na figura 4.11 (caso do espectro da estação CABID) no domínio das altas frequências, ou seja, na intersecção das assíntotas de baixa e alta frequência, o espectro toma uma forma anormal, diferente de outros dois espectros representados nas figuras 4.10 e 4.12, das estações ASER e CARR, respectivamente, instalada sobre rocha dura). Como já foi referido na nota da figura (4.11), isto deve-se, provavelmente, devido a um efeito de ressonância do sinal sísmico, em consequência do efeito de sítio das condições do local de instalação (local onde existem aluviões).

Capítulo V

Considerações finais

O estudo detalhado da actividade sísmica da Região Ciborro-Arraiolos (analisado na secção 2.2) permitiu conhecer a distribuição dos epicentros e respectiva magnitude, contribuindo deste modo para uma identificação e mapeamento das estruturas e zonas sísmicamente ativas (figura 2.4). Verifica-se que entre a Bacia do VIT (região ocidental) e a Região Ciborro-Arraiolos (região oriental), apresenta uma sísmica escassa considerada como uma lacuna sísmica. Na área de estudo é possível identificar dois alinhamentos de sismos; o primeiro, na direcção NW-SE, o segundo, orientado NE-SW. Em termos de magnitude, os resultados revelam que a sísmica é caracterizada por eventos de magnitude reduzida ($M < 4$) e alguns registos de magnitude superior ($M > 4$).

Para discussão da região específica (Ciborro-Arraiolos) e complementar com os resultados da distribuição dos epicentros (figura 2.4) foi também elaborado um mapa que corresponde à projecção dos hipocentros de toda a sísmica daquela região entre 1961 e 2014 numa secção vertical ao longo do perfil W-E (figura 2.5). Verifica-se que a distribuição das profundidades focais faz-se em duas aglomerações com a primeira situada na crosta superior (profundidade inferior a 20 km) e uma segunda na crosta inferior (entre os 20 e os 30km). Esta análise, permitiu concluir a predominância de eventos superficiais ($h < 30$ Km) na região. Outro aspecto abordado foi a caracterização da crise sísmica ocorrida nos dias 16 e 17 de Junho de 2009, em virtude dos dados disponibilizados pelo boletim sísmico do IPMA, verifica-se que os 41 sismos registados ($0.6 \leq M \leq 2$), concentram-se na Aldeia da Serra, próximo do Lineamento de São Gregório (figura 2.7). Através da representação de três histograma (figuras 2.8, 2.9 e 2.10) foi possível analisar com pormenor a frequência horária da crise sísmica, distribuição dos sismos por magnitude e distância hipocentral. Verifica-se a predominância de

sismos as 21 horas, magnitude ($M \leq 2$) e 92,7% dos eventos tem profundidade hipocentral ($h \leq 8$ Km). Na sua globalidade, ficou demonstrado o comportamento sísmico da região de Ciburro-Arraiolos.

As prováveis zonas de fraqueza geradas através da inter-relação dos vários lineamentos ESE-WNW (figura 2.11) pode ser uma das explicações para a sismicidade da Região Ciburro-Arraiolos. Este estudo permitiu concluir que geralmente estes eventos ocorreram no interior do Maciço de Évora.

Da análise do mapa da sismicidade instrumental de Portugal Continental e margem atlântica (figura 2.2), elaborado no âmbito deste trabalho, verifica-se que:

- 1) As principais zonas sísmicamente activas são sul e margem atlântica adjacente, zona de Évora e numa faixa a norte de Lisboa, entre o vale inferior do Tejo e a costa;
- 2) A atividade sísmica é caracterizado por eventos de magnitude moderada ($M < 5$) e alguns registos de magnitude superior ($5 \leq M \leq 7.8$).
- 3) A sismicidade é maior na costa sul e SW, possivelmente relacionados com as principais falhas tectónicas nele representadas.

Foi efectuado um levantamento dos parâmetros focais dos sismos ($1.9 \leq M \leq 8.0$) ocorridos em Portugal Continental e margem atlântica (1960-2009), incluindo o sismo de Benavente de 23 de Abril de 1909, para a compreensão do funcionamento da tectónica e geodinâmica de Portugal Continental, e em particular da região de estudo. Toda a informação sísmológica correspondente aos mecanismos focais, foi extraído a partir de diversos artigos referidos na secção (2.1.2). Com base nestes dados, foi elaborado um mapa dos mecanismos focais do território de Portugal Continental. Em termos gerais, nota-se uma predominância dos mecanismos de desligamento-horizontal, inverso, ou oblíquo. Alguns destes mecanismos são correlacionáveis com estruturas existentes (figura 2.2). Procedeu-se igualmente, a representação dos mecanismos focais existente na região de estudo, determinados por Bezzeghoud e Borges (2003), trata-se dos sismos de 19- de 19 de Janeiro de 1997 ($M = 3.2$), com epicentro próximo de São

Gregório e o de 31 de Julho de 1998 ($M = 4.1$), com epicentro em Azaruja, e para complementar, foram também representados os mecanismos focais dos eventos de 04 de Junho de 1987 ($M = 4.4$) e 20 de Março de 2002 ($M = 3.8$) ocorrido na região limítrofe de Évora (figura 2.3). Apesar do número de mecanismos focais ser bastante reduzido, nota-se uma predominância dos mecanismos do tipo deslizamento-horizontal com planos orientados na direcção N-S e E-W e do tipo inverso com ligeira componente de desligamento. No entanto, torna-se difícil correlacionar estes eventos com as falhas conhecidas.

A aquisição e instalação de novas estações sismográficas temporárias com características mistas (transmissão em tempo real e estações autónomas) na região de estudo, tem vindo a contribuir, para melhorar a sensibilidade da rede nacional do IPMA para melhor caracterizar a capacidade de detecção da sismicidade de fraca magnitude, melhorando a cobertura azimutal destes eventos. O emprego dos dados da rede UE para além de contribuir para o relocalização de eventos, cálculo dos parâmetros espectrais da fonte, pode constituir um importante contributo na caracterização do mecanismo focal da região (actualmente bastante reduzido) e do respectivo campo de tensão.

Os resultados do capítulo IV, permitem concluir que:

- 1) Os padrões de ruído das estações da rede UE são aceitáveis;
- 2) A relocalização do evento de 31 de outubro de 2014 pelas estações da rede UE, revelam novos resultados (Rms 0.24 e profundidade hipocentral 9 km).
- 3) A análise espectral deste evento, permitiu obter os seguintes valores médios: momento sísmico escalar ($M_o = 2.3 \times 10^{11}$ Nm); momento magnitude ($M_w = 1.6$); dimensão da fonte ($r_0 = 113.8$ m) e queda de tensão ($\Delta\sigma = 7.4 \times 10^4$ Pa). O momento magnitude obtido por este método (SAC e MATLAB) é igual com a magnitude local obtida com o SEISAN (MI 1.6).

Com a instalação de novas estações na região, este trabalho prosseguirá com a contínua actualização da base de dados sismológicos. Neste âmbito, estão previstas algumas aplicações desta base de dados, já iniciadas no

âmbito desta dissertação: Caracterização das fontes sísmicas da Região Ciborro-Arraiolos e em particular do mecanismo focal e o respectivo campo de tensão, momento sísmico escalar, dimensão da fonte, regime de queda de tensões. Confrontar os resultados da sismicidade com as estruturas geológicas conhecidas. Considera-se essencial, caracterizar o efeito de sítio da estação CABID, utilizando várias técnicas, como por exemplo a técnica de Nakamura (1989). Através desta metodologia esperamos contribuir para a avaliação do risco sísmico na região de Ciborro-Arraiolos.

Referências

- Aki, K. and Richards, P. G., (1980), Quantitative Seismology. Theory and methods. Vol. 1. W.H. Freeman and Company, San Francisco, ISBN 0-7167-1058-7, 557 pp.
- Araújo, A. e Martins A., (2010), A elevação de Aldeia da Serra (Arraiolos): um “push up” activo associado à Falha de Ciborro e ao lineamento de S. Gregório? Revista Electrónica de Ciências da Terra. VIII Congresso Nacional de Geologia 2010.
- Araújo, A. e Martins A., (2011), Geologia, Geomorfologia e Sismicidade na região de Ciborro-Arraiolos: Actividade tectónica local ou associada a uma estrutura com importância regional? Workshop: Tectónica recente e perigosidade sísmica em Portugal. Centro de Geofísica de Évora, ECT- Universidade de Évora.
- Bezzeghoud, M., (2012), Viagem ao Interior da Terra. Departamento de Física e Centro de Geofísica de Évora, Universidade de Évora, Portugal.
- Bezzeghoud, M. e Borges J., (2003), Mecanismos focais dos sismos em Portugal Continental. Física de la Tierra, nº 15, 229-245.
- Bezzeghoud, M., Borges, J. F., Caldeira, B., (2013), Fontes sísmicas ao longo da fronteira de placas tectónicas entre os Açores e a Argélia: Um modelo sismotectónico. Geologia de Portugal, Volume II- Geologia Meso-cenozóica de Portugal. Editores: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha e J. C. Kullberg, Escolar Editora.
- Bezzeghoud, M., Dechamps A. and Madariaga, R., (1989), Broad band P-Wave signals and spectra on digital stations, In R. Cassinis, G. Nolet, and G. F. Panza, eds. Digital Seismology and Finite Modelling of the Lithosphere, Plenum Publishing Corporation, New York, U. S. A. pp. 351-374.
- Bezzeghoud, M., Fitas, A., Borges, J. F., Carrilho, F. e Senos, M. L., (2000), Seismicity, focal mechanisms and source parameters in south Portugal. 2ª Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica, Lagos, Portugal, 129-130.
- Borges, J. F., (1991), Métodos automáticos na determinação de mecanismos focais. Relatório de Licenciatura, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. pp. 93.
- Borges, J. F., (2003), Fonte Sísmica em Portugal- Algumas Implicações na Geodinâmica da Região Açores-Gibraltar, tese de doutoramento, Univ. Évora.

- Borges, J. F., Fitas, A. J. S., Bezzeghoud, M. e Teves-Costa, P., (2001), Seismotectonics of Portugal and its adjacent Atlantic area. *Tectonophysics*, 337, 373-387.
- Brune, J. N., (1970), Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 75, 4997-5009.
- Brune, J. N., (1971), Correction *Geophys. Res.*, 75, pp 5002.
- Bufo, E., Udías, A. e Colombás, M. A., (1988a), Seismicity, source mechanisms and seismotectonics of the Azores-Gibraltar plate boundary. *Tectonophysics*, 152, 89-118.
- Bufo, E., Udías, A. e Mézcua, J., (1988b), Seismicity and focal mechanisms in south Spain. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 78, 2008-2224.
- Carrilho, F., (2005), Estudo da sismicidade da zona sudoeste de Portugal continental, Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 160 p.
- Carrilho, F., Teves-Costa, P., Morais, I., Pagarete, J. e Dias, R., (2004), Geolgar Project – first results on seismicity and fault-plane solutions. *Pure and Applied Geophys.*, 161, 3, 589-606.
- GEOSCOPE Network, (<http://geoscope.ipgp.fr/index.php/en/> acedido em Janeiro de 2014).
- Gibowicz, J. S., e Kijko, A., (1994), *An Introduction to Mining Seismology*. Academic Press, INC. III Series. Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences Warsaw, Poland.
- Grandin, R., Borges, J. F., Bezzeghoud, M., Caldeira, B. e Carrilho, F., (2007a), Simulations of strong ground motion in SW Iberia for the 1969 February 28 ($M_s = 8.0$) and the 1755 November 1 ($M \sim 8.5$) earthquakes– I. Velocity model.
- Grandin, R., Borges, J. F., Bezzeghoud, M., Caldeira, B. e Carrilho, F., (2007b), Simulations of strong ground motion in SW Iberia for the 1969 February 28 ($M_S = 8.0$) and the 1755 November 1 ($M \sim 8.5$) earthquakes – II. Strong ground motion simulations, *Geophys. J. Int.*, 171, 2,807-822.
- Guralp Systems Limited, 2014, CMG-6TD. Operators's guide. Document No. MAN-T60-0002. 3 Midas House, Calleva Park. Aldermaston RG7 8EA, England.
- Hanks, T. C., e Kanamori H., (1979), A moment magnitude scale, *J. Geophys. Res.*, 84, 2348-2350.
- Harvskov J. & Ottemoller L., (2012), SEISAN: Earthquake Analysis Software. For Windows, Solaris, Linux and MACOSX. Version 9.1. Department of

Earth Science - University of Bergen, Norway & Geological Survey of Denmark and Greenland - Copenhagen, Dinamarca.

- Haskell, N. A., (1964), Total energy and energy spectral density of elastic wave radiation from propagating faults, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 54, 1811-1841.
- Havskov J. e Ottemoller L., (2010), *Routine Data Processing in Earth-quake Seismology. With Sample Data, Exercises and Software*. Departament os Earth Science. University of Bergen, Norway. Springer.
- Havskov, J. et al., (2011), Chapter 8: Seismic Networks. University of Bergen, Department of Earth Science, Allégaten 41, N-5007 Bergen, Norway. Formerly Kinematics; Bovec, Slovenia. Formerly GFZ German Research Center for Geosciences, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Germany.
- Havskov, J. e Alguacil G., (2002), *Instrumentation in Earthquake Seismology*. Institute of Solid Earth Physics. University of Bergen. Norway. And Instituto Andaluz de Geofísica. University of Granada. Spain.
- Heinloo, A., e Trabant, (2004), *SeisComP 2.1 Manual*. GFZ Potsdam Chad Trabant, KNMI, June 28.
- Herrmann, R., B. (1985). An extension of random vibration theory estimates of strong ground motion to large distances, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 75, 1447-1453.
- IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera). <https://www.ipma.pt/pt/geofisica/sismologia/> (acedido em Setembro de 2014).
- Kennett, B. L. N., and Engdahl E. R., (1991), Traveltimes for global earthquake location and phase identification. *Geophysical Journal International* 122, 429–465.
- Le Goff, B., (2013), *Seismic Sources and Attenuation Law for PSHA in Low Deformation Area*. Universidade de Évora. Instituto de Investigação e Formação Avançada. Tese de Doutoramento em Ciências da Terra e do Espaço.
- Lienert, B. R. E., Berg, E., and Frazer, L. N., (1986), Hypocenter: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 76:771–783.
- Lienert, B. R. E. and Havskov, J., (1995), A computer program for locating earthquakes both locally and globally. *Seis. Res. Lett.*, 66:26-36.
- Moreira, V. S., (1991), Historical Seismicity and seismotectonics of the area situated between the Iberian Peninsula, Marrocco, Selvagens and Azores Islands. In: *Seismicity, Seismotectonic and Seismic Risk of the Ibero-Magrebien Region*, Pub. I.G.N., Madrid, 8, 213-225.

- Neto, H. C. L., (2009), Estudo da Actividade Sísmica em São Caetano-PE. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exactas da Terra. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Dissertação de Mestrado.
- Peterson, J., (1993), Open-File Report 93-322. Observations and Modeling of Seismic Background Noise. Albuquerque, New Mexico.
- Ribeiro, A. R., Cabral, J., Baptista, R. e Matias, L., (1996), Tectonic stress pattern in Portugal Mainland and the adjacent Atlantic Region, *Tectonics*, 15, 641-659.
- Seno, M. e Carrilho F., (2003), Sismicidade de Portugal Continental. Física de la Tierra. ISSN: 0214-4557. Divisão de Sismologia/ Instituto de Meteorologia.
- Stich, D., Batllo J., Macia R., Teves-Costa, P., Morales J., (2005), Moment tensor inversion with single-component historical seismograms: The 1909 Benavente (Portugal) and Lambesc (France) earthquakes. *Geophys J Int* 162:850–858.
- Sykes, L. and Sbar, M. L., (1973), Intraplate earthquakes, lithospheric stress and the driving mechanism of Plate Tectonics. *Nature*, 245: 298-302.
- Vauchez, A., (1995), The Borborema shear zone system, NE Brazil, *J. South Am. Earth Sci.*, 8: 247-266.

Anexos

Tabela A.1- Boletim Sismológico Preliminar do Continente e Madeira, Junho de 2009. Instituto de Meteorologia, Departamento de Sismologia e Geofísica, atual IPMA.

Data	Hora	Lat.	Lon.	Prof. (Km)	Mag. (ml)	Região	Rms
16-06-2009	04:00:14.2	38.782°N	07.951°W	1	1.4	NE Arraiolos	0.4
16-06-2009	04:03:15.8	38.776°N	07.952°W	7	0.8	NE Arraiolos	0.3
16-06-2009	05:00:36.3	38.776°N	07.952°W	3	0.9	NE Arraiolos	0.5
16-06-2009	05:02:10.6	38.798°N	07.973°W	6	1.1	NE Arraiolos	0.3
16-06-2009	11:47:18.9	38.789°N	07.955°W	4	1.2	NE Arraiolos	0.3
16-06-2009	12:35:03.5	38.780°N	07.947°W	1	1.5	NE Arraiolos	0.4
16-06-2009	12:35:18.1	38.790°N	07.949°W	5	1.4	NE Arraiolos	0.3
16-06-2009	13:11:40.8	38.795°N	07.954°W	5	1.3	NE Arraiolos	0.2
16-06-2009	15:29:15.2	38.787°N	07.952°W	4	1.8	NE Arraiolos	0.3
16-06-2009	18:51:26.8	38.788°N	07.956°W	7	1.2	NE Arraiolos	0.3
16-06-2009	21:05:49.3	38.794°N	07.949°W	8	2.0	NE Arraiolos	0.3
16-06-2009	21:07:52.6	38.785°N	07.948°W	1	1.4	NE Arraiolos	0.4
16-06-2009	21:08:45.1	38.787°N	07.949°W	1	1.6	NE Arraiolos	0.3
16-06-2009	21:09:41.0	38.786°N	07.953°W	7	1.5	NE Arraiolos	0.3
16-06-2009	21:13:33.2	38.779°N	07.945°W	1	0.6	NE Arraiolos	0.4
16-06-2009	21:17:50.9	38.784°N	07.956°W	2	1.6	NE Arraiolos	0.3
16-06-2009	21:25:36.8	38.788°N	07.955°W	6	1.3	NE Arraiolos	0.3
16-06-2009	21:26:00.4	38.796°N	07.971°W	7	0.9	NE Arraiolos	0.2
16-06-2009	21:32:52.4	38.783°N	07.955°W	1	1.2	NE Arraiolos	0.3
16-06-2009	22:00:05.6	38.786°N	07.956°W	1	1.1	NE Arraiolos	0.4
17-06-2009	00:03:06.5	38.786°N	07.957°W	11	2.0	NE Arraiolos	0.3
17-06-2009	00:13:47.1	38.790°N	07.971°W	8	0.7	NE Arraiolos	0.3
17-06-2009	00:19:49.1	38.791°N	07.956°W	7	1.2	NE Arraiolos	0.3
17-06-2009	01:27:13.7	38.804°N	07.934°W	28	1.0	NE Arraiolos	0.3
17-06-2009	01:45:58.9	38.784°N	07.952°W	2	1.3	NE Arraiolos	0.3
17-06-2009	01:49:55.3	38.795°N	07.961°W	3	1.5	NE Arraiolos	0.3
17-06-2009	01:52:19.9	38.790°N	07.958°W	1	1.0	NE Arraiolos	0.3
17-06-2009	02:05:25.3	38.780°N	07.953°W	3	1.5	NE Arraiolos	0.3
17-06-2009	02:12:44.9	38.787°N	07.950°W	4	1.0	NE Arraiolos	0.3
17-06-2009	02:13:48.3	38.789°N	07.959°W	8	0.8	NE Arraiolos	0.3
17-06-2009	02:22:55.6	38.787°N	07.960°W	4	1.3	NE Arraiolos	0.3
17-06-2009	02:24:12.9	38.776°N	07.953°W	2	1.0	NE Arraiolos	0.4
17-06-2009	02:37:27.3	38.786°N	07.964°W	7	0.6	NE Arraiolos	0.3
17-06-2009	03:20:44.1	38.792°N	07.951°W	5	1.3	NE Arraiolos	0.3
17-06-2009	03:27:25.5	38.781°N	07.954°W	2	1.1	NE Arraiolos	0.3
17-06-2009	03:42:07.5	38.778°N	07.955°W	1	1.0	NE Arraiolos	0.4
17-06-2009	08:01:24.5	38.782°N	07.948°W	9	1.2	NE Arraiolos	0.4
17-06-2009	10:22:58.9	38.783°N	07.950°W	6	1.2	NE Arraiolos	0.4
17-06-2009	10:23:11.7	38.796°N	07.960°W	8	1.4	NE Arraiolos	0.3
17-06-2009	10:33:44.4	38.783°N	07.954°W	4	1.4	NE Arraiolos	0.4
17-06-2009	12:16:37.9	38.752°N	07.939°W	4	1.4	NE Arraiolos	0.3
17-06-2009	17:43:05.0	38.788°N	07:949°W	3	1.6	NE Arraiolos	0.4

Tabela A.2- Soluções focais analisadas na secção 2.3.3 h = profundidade; φ, δ, λ representam, respetivamente, o azimute, a inclinação e o ângulo de deslizamento. STI: Stich *et al.*, (2005); BUFA: Buforn *et al.*, (1988a); BUFB: Buforn *et al.* (1988b); BORa: Borges (1991); BORb: Borges *et al.* (2001); BORc: Borges *et al.* (2002); MOR: Moreira (1991); RIB: Ribeiro *et al.* (1996); CARa: Carrilho *et al.* (2004); CARb: Carrilho (2005); GRD: Grandin *et al.*, 2007; BEZ: Bezzeghoud *et al.* (2000). IGN: Instituto Geográfico Nacional (Madrid); CMT: Centroid Moment Tensor (Harvard).

Nº	(dia/mês/ano)	Lat. (°N)	Long. (°E)	H (km)	Mag.	φ°	δ°	λ°	Ref.
1	23-04-1909	38,9	8,8	10	6.0 Mw	051	52	83	STI
2	05-12-1960	35,6	-6,5	15	6,2 Ms	73	86	-178	BUFA
3	26-12-1962	39,3	-10,6	5	5,7 Ms	180	47	-3	BUFA
4	15-03-1964	36,2	-7,6	12	6,1 Ms	56	71	75	BUFA
5	28-02-1969	36,1	-10,6	22	8.0 Ms	231	47	54	BUFA
6	05-05-1969	36	-10,4	29	5,5 Ms	324	24	142	BUFA
7	13-11-1980	39,3	-11,7	15	4.0 Ms	358	54	-11	BORb
8	25-09-1986	36,8	-8,9	-	4,3 ML	7	70	-10	MOR
9	20-10-1986	36,9	-8,6	37	4,8 ML	180	37	3	BUFB
10	04-06-1987	38,5	-8,1	99	4,4 ML	262	84	-162	MOR
11	05-08-1987	39,2	-9,1	10	3,7 ML	110	49	-119	BORa
12	22-05-1988	38,9	-9,2	20	3,8 ML	285	38	-160	RIB
13	08-04-1989	39,3	-8,9	12	4,6 ML	191	75	79	BORb
14	23-09-1989	38,3	-8,6	25	4.0 ML	21	46	82	BORb
15	02-11-1989	36,8	-8,7	40	4,5 ML	180	75	8	BORb
16	20-12-1989	37,3	-7,4	23	5.0 ML	351	77	10	IGN
17	26-05-1990	38,4	-11,7	68	4,6 ML	138	79	-12	BORa
18	16-02-1993	36,6	-8,6	26	4,3 ML	17	33	34	BORb
19	22-06-1993	36,4	-8,3	15	4,3 ML	36,7	61,5	40,4	BORb
20	24-09-1994	36,7	-7,8	52	4,3 ML	274	70	126	BORb
21	19-01-1997	38,7	-7,8	13	3,2 ML	100,7	58,8	165,2	BORb
22	31-07-1998	38,8	-7,9	5	4.0 ML	95	70	180	BORb
23	20-03-2002	38,7	-8,2	12,5	3,8 ML	284	41	-149	BORc
24	11-12-2002	36,02	-7,8	12	5,4 Mw	41	105	5	CMT
25	13-02-1999	37,261	-8,475	22	2,2 ML	46	88	-52	CARa
26	12-04-1999	37,334	-8,475	12	2.0 ML	186	81	-44	CARa
27	11-06-1999	37,322	-8,551	8	1,9 ML	347	79	-9	CARa
28	29-07-1999	37,191	-7,869	5	2,3 ML	178	61	-1	CARa
29	21-10-1999	37,332	-8,562	15	2.0 ML	184	87	-23	CARa
30	27-03-2000	36,67	-7,305	19	3,7 ML	250	64	72	CARa
31	18-04-2000	37,201	-8,597	11	2,1 ML	210	81	-36	CARa
32	26-04-2000	36,782	-8,056	27	2,7 ML	356	80	23	CARa
33	30-07-2000	36,646	-7,334	21	2,7 ML	226	70	84	CARa
34	23-04-1996	37,107	-8,544	12	2,6 ML	301	90	-179	BEZ
35	08-07-1996	37,354	-8,818	5	3,4 ML	81	90	179	BEZ
36	17-07-1996	37,339	-8,479	9	2,2 ML	196	78	74s	BEZ
37	30-08-1996	37,074	-7,942	22	2,4 ML	39	65	102	BEZ
38	11-06-1997	37,437	-7,717	27	2,7 ML	71	65	-153	BEZ
39	05-07-1997	37,305	-8,656	18	2,6 ML	276	90	-125	BEZ
40	04-03-1998	37,334	-8,531	12	3,2 ML	93	72	179	BEZ
41	24-04-1998	36,911	-8,648	23	2,3 ML	332	90	36	BEZ
42	29-07-2003	35,9	-10,51	30	5,4	245	70	110	CARb
43	13-12-2004	36,29	-9,88	29	5,4	260	25	105	CARb
44	21-06-2006	36,1	-10,47	30	4,6	249	60	90	GRD
45	12-02-2007	36,08	-10,29	44	5,9	125	49	144	CMT
46	17-12-2009	36,52	-9,91	31	6,0	319	30	-163	HRV

Apêndices

Quadro B.1- Script do estudo do ruído (exemplo da Estação CABID)

```
clear
%Análise espectral do ruído
E=rsac('CAB_294_18h_23h_E.sac');
N=rsac('CAB_294_18h_23h_N.sac');
Z=rsac('CAB_294_18h_23h_Z.sac');
te=E(:,1); %série temporal em E
tn=N(:,1); %série temporal em N
tz=Z(:,1); %série temporal em Z
se=E(:,2); %sinal em E
sn=N(:,2); %sinal em N
sz=Z(:,2); %sinal em Z
%polos e zeros da função de transferência do instrumento
p1=(-23.56e-3-23.56e-3i)*2*pi;
p2=(-23.56e-3+23.56e-3i)*2*pi;
p3=(-62.3816-135.392i)*2*pi;
p4=(-62.3816+135.392i)*2*pi;
p5=-350*2*pi;
p6=-75*2*pi;
z1=0*2*pi;
z2=0*2*pi;
c=9.1300e+11;
fe=(0:0.01:100); %frequência de amostragem para normalizar a função de
transferência do instrumento.
%Constante de digitalização do instrumento dada em counts/m/s.
De=482.734e-12;
Dn=480.792e-12;
Dz=481.399e-12;
%Períodos utilizados na Lei de Peterson: New Low Noise Model "NLNM".
p_low=[0.10 0.17 0.4 0.8 1.24 2.4 4.3 5.0 6.0 10.0 12.0 15.6 21.9 31.6 45.0 70.0 101
154 328 600];
%coeficientes A da Lei NLNM
a_low=[-162.36 -166.7 -170.0 -166.40 -168.6 -159.98 -141.10 -71.36 -97.26 -132.18 -
205.27 -37.65 -114.37 -160.58 -187.50 -216.47 -185 -168.34 -217.25 -258.2];
%coeficientes B da Lei NLNM
b_low=[5.64 0.0 -8.30 28.9 52.48 29.81 0.0 -99.77 -66.49 -31.57 36.16 -104.33 -47.1
-16.28 0.0 15.7 00.0 -7.61 11.90 26.60];
%Períodos utilizados na Lei de Peterson: New High Noise Model "NHNM".
p_high=[0.10 0.22 0.32 0.8 3.8 4.6 6.3 7.9 15.4 20.0 354.8];
%coeficientes A da Lei NHNM
a_high=[-108.73 -150.34 -122.31 -116.85 -108.48 -74.66 0.66 -93.37 73.54 -151.52 -
206.66];
%coeficientes B da Lei NHNM
b_high=[-17.23 -80.50 -23.87 32.51 18.08 -32.95 -127.18 -22.42 -162.98 10.01
31.63];
%Frequências correspondentes aos períodos NLNM
freq_low=p_low.^(-1);
%Frequências correspondentes aos períodos NHNM
freq_high=p_high.^(-1);

%Vector NLNM em aceleração transformadas em bB
```

```

NLNM=a_low+b_low.*log10(p_low);
%Vector NHHM em aceleração transformadas em bB
NHHM=a_high+b_high.*log10(p_high);
%Densidade de potência espectral PSD
%transformada de Fourier do sinal
[PSDe, F]=pwelch(se, [], [], [], 100);
[PSDn, F]=pwelch(sn, [], [], [], 100);
[PSDz, F]=pwelch(sz, [], [], [], 100);

%Resposta do instrumento
s=F*2*pi*i;
NT=-(s-z1).*(s-z2);
DT=(s-p1).*(s-p2).*(s-p3).*(s-p4).*(s-p5).*(s-p6);
Te=c.*NT./DT; %Função de transferência normalizada
w=2*pi*F;

%Resposta para cada componente
TDe=(Te/De);
TDn=(Te/Dn);
TDz=(Te/Dz);
%Densidade de potência espectral em aceleração para cada componente
Pae=PSDe./((abs(TDe)./w).^2);
Pan=PSDn./((abs(TDn)./w).^2);
Paz=PSDz./((abs(TDz)./w).^2);
%Função que suaviza o gráfico do ruído sísmico ambiental para cada
%componente
%ruídoE=smooth (Pae,50);
%ruídoN=smooth (Pan,50);
%ruídoZ=smooth (Paz,50);

%Gráfico da densidade de potência espectral em função da frequência do sinal
subplot(1,1,1);
semilogx(F,10*log10(Pae),'-', 'LineWidth',2,'color','red');
hold on
semilogx(F,10*log10(Pan),'-', 'LineWidth',2,'color','green');
semilogx(F,10*log10(Paz),'-', 'LineWidth',2,'color','blue');
leg=legend('Componente Este','Componente Norte','Componente Vertical');
set(leg,'Location','Northwest');
text(10^1.5,-115,'NHHM','FontSize',14);
text(10^1.5,-170,'NLNM','FontSize',14);
%gráfico dos níveis padres de ruído Petterson
semilogx(freq_low,NLNM,'--','LineWidth',2,'color','black');
semilogx(freq_high,NHHM,'-', 'LineWidth',2,'color','black');
grid on
xlim([0.02 10]);
ylim([-190 -90]);
title(['Densidade de potencia espectral do ruído','Estação CABID'],'FontSize',14);
xlabel('Frequência [Hz]');
ylabel('Frequência [Hz]');
ylabel('PSD [dB (m/sec^2)/Hz]');

```

Quadro B.2- Estabelecimento da base de dados no SEISAN

Para criar a estrutura da base de dados no SEISAN (figura B.1), deve-se executar os comandos abaixo e responder às opções que serão postas:

1. Abrir o ambiente SEISAN (na diretoria C:\seismo\WOR\)

MAKERE

- Digitar o nome da base de dados "UE";
- Tempo de início: yyyyymm (201401);
- Tempo de fim: yyyyymm (201512);
- Borth (REA e WAV).

2. Editar os novos eventos usando o comando **NEWEVE** (na diretoria C:\seismo\WOR\)

--> DIR *.out;

--> EDIT NEWEVE.OUT (editar os novos arquivos em formato nódico);

3. Organizar os eventos

--> SPLIT (dividi os arquivos e organiza-os individualmente com os nomes correctos na actual diretoria ou na base de dados específica);

--> Editar o nome da base de dados (UE);

--> Editar o nome do operador (máximo 4 caracteres).

4. Registrar os eventos na base de dados UE (na diretoria C:\seismo\WOR\)

---> cd DATA_UE

--->DIRF 2014* (o comando DIRF é usado para fazer uma lista de arquivos para a diretoria);

--->Correr o programa **AUTOREG** (registo automático de eventos na base de dados);

- Seleccionar o tipo de evento (Local, Regional ou distante);
- Opção copiar (c);
- Editar o nome da base de dados (UE);
- Editar o nome do operador (máximo 4 caracteres);
- Criar novos eventos (opção N);
- Associar eventos na base de dados (opção aa).

5. Registrar as formas de onda na base de dados UE, executar os comandos abaixo (na diretoria C:\SEISMO\WOR\WO):
 - > DIRF DATA_UE
 - > WAVETOOL (opção filenr.lis: converte os arquivos de eventos para o formato Miniseed).

6. Criar o arquivo dos polos e zeros na diretoria WOR
 - > edit (nome do arquivo).
 - Inserir o número de polos e zeros, e a constante total de normalização (na primeira alínea). Em seguida, inserir os polos e por fim os zeros.

7. Criar o arquivo de resposta do instrumento
 - > comando RESP
 - > Escolher o formato de saída (opção 2);
 - > Seleccionar o tipo de sensor (para este caso, opção 0)
 - > Período natural do sismómetro

Quadro B.3- Estrutura da base de dados

O sistema completo do SEISAN está localizado em subdiretorias acoplados à diretoria principal “SEISMO”.

Os arquivos de parâmetros da base de dados a ele associado, consistem no seguinte:

- I. REA - Contém os dados paramétricos distribuídos por ano e mês. Esta diretoria pode ter uma ou mais subdiretorias, na qual foi criada a base de dados UE.
- II. DAT - Contém os parâmetros e dados dos arquivos fixos, exemplo: coordenadas da estação.
- III. CAL - Contém os arquivos de calibração das estações. Os arquivos de calibração de todos os sistemas sismográficos utilizados na Rede Sismográfica UE foram copiados nesta diretória.
- IV. WAV - Contém os arquivos digitais e formas de onda.

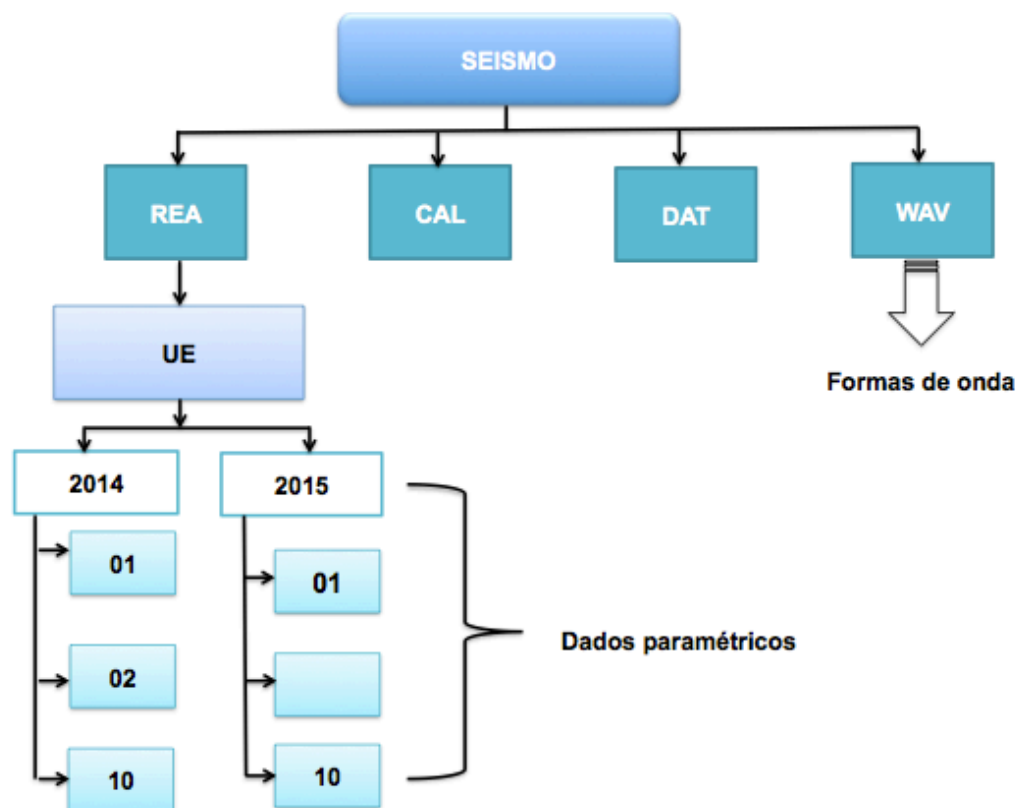


Figura B.1- Estrutura da base do SEISAN, com a base de dados UE.

Quadro B.4- Dados dos LOGs (tensão e temperatura, exemplo da estação ASER).

2014	9	26	12:00:57	External supply : 14.3V	Temperature 36.18'C
2014	9	26	13:00:57	External supply : 14.3V	Temperature 39.81'C
2014	9	26	14:00:58	External supply : 13.4V	Temperature 43.43'C
2014	9	26	15:00:58	External supply : 13.2V	Temperature 42.68'C
2014	9	26	16:00:59	External supply : 13.1V	Temperature 39.93'C
2014	9	26	17:00:59	External supply : 13.0V	Temperature 37.43'C
2014	9	26	18:01:00	External supply : 12.9V	Temperature 35.87'C
2014	9	26	19:01:01	External supply : 12.9V	Temperature 34.50'C
2014	9	26	20:01:01	External supply : 12.9V	Temperature 33.50'C
2014	9	26	21:05:00	External supply : 12.9V	Temperature 32.56'C
2014	9	26	22:01:03	External supply : 12.9V	Temperature 31.75'C
2014	9	26	23:00:21	External supply : 12.9V	Temperature 30.93'C
2014	9	27	00:10:45	External supply : 12.9V	Temperature 30.06'C
2014	9	27	01:00:08	External supply : 12.9V	Temperature 29.68'C
2014	9	27	02:00:09	External supply : 12.9V	Temperature 29.31'C
2014	9	27	03:00:09	External supply : 12.9V	Temperature 29.00'C
2014	9	27	04:00:10	External supply : 12.9V	Temperature 28.75'C
2014	9	27	05:00:11	External supply : 12.8V	Temperature 28.68'C
2014	9	27	06:00:11	External supply : 12.8V	Temperature 28.62'C
2014	9	27	07:00:12	External supply : 12.8V	Temperature 28.56'C
2014	9	27	08:00:12	External supply : 12.9V	Temperature 28.93'C
2014	9	27	09:02:16	External supply : 13.0V	Temperature 29.81'C
2014	9	27	10:00:13	External supply : 13.4V	Temperature 31.50'C
2014	9	27	11:00:13	External supply : 13.6V	Temperature 33.87'C
2014	9	27	12:05:00	External supply : 13.2V	Temperature 36.62'C
2014	9	27	13:05:00	External supply : 13.6V	Temperature 37.62'C
2014	9	27	14:05:00	External supply : 13.4V	Temperature 38.81'C
2014	9	27	15:05:00	External supply : 13.1V	Temperature 39.12'C
2014	9	27	16:05:00	External supply : 12.9V	Temperature 37.37'C
2014	9	27	17:05:00	External supply : 12.9V	Temperature 35.50'C
2014	9	27	18:05:00	External supply : 12.8V	Temperature 34.06'C
2014	9	27	19:05:00	External supply : 12.8V	Temperature 32.50'C
2014	9	27	20:05:00	External supply : 12.8V	Temperature 31.18'C
2014	9	27	21:05:00	External supply : 12.8V	Temperature 30.12'C
2014	9	27	22:05:00	External supply : 12.8V	Temperature 29.31'C
2014	9	27	23:05:00	External supply : 12.7V	Temperature 28.68'C
2014	9	28	00:05:00	External supply : 12.7V	Temperature 28.25'C
2014	9	28	01:05:00	External supply : 12.7V	Temperature 28.12'C
2014	9	28	02:05:00	External supply : 12.7V	Temperature 28.37'C
2014	9	28	03:05:00	External supply : 12.7V	Temperature 28.62'C
2014	9	28	04:05:00	External supply : 12.7V	Temperature 28.87'C
2014	9	28	05:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 29.06'C
2014	9	28	06:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 29.12'C
2014	9	28	07:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 28.75'C
2014	9	28	08:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 28.81'C
2014	9	28	09:05:00	External supply : 12.7V	Temperature 29.43'C
2014	9	28	10:05:00	External supply : 12.9V	Temperature 30.62'C
2014	9	28	11:05:00	External supply : 13.1V	Temperature 32.18'C
2014	9	28	12:05:00	External supply : 13.7V	Temperature 34.62'C
2014	9	28	13:05:00	External supply : 13.8V	Temperature 38.25'C
2014	9	28	14:05:00	External supply : 13.8V	Temperature 40.62'C
2014	9	28	15:05:00	External supply : 13.6V	Temperature 43.25'C
2014	9	28	16:05:00	External supply : 13.1V	Temperature 45.12'C
2014	9	28	17:05:00	External supply : 13.0V	Temperature 44.81'C
2014	9	28	18:05:00	External supply : 13.0V	Temperature 43.37'C
2014	9	28	19:05:00	External supply : 12.9V	Temperature 40.75'C
2014	9	28	20:05:00	External supply : 12.9V	Temperature 38.37'C
2014	9	28	21:05:00	External supply : 12.8V	Temperature 36.18'C
2014	9	28	22:05:00	External supply : 12.7V	Temperature 34.25'C
2014	9	28	23:05:00	External supply : 12.7V	Temperature 32.75'C
2014	9	29	00:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 31.56'C
2014	9	29	01:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 30.56'C
2014	9	29	02:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 29.87'C
2014	9	29	03:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 29.31'C

2014	9	29	04:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 28.75'C
2014	9	29	05:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 28.50'C
2014	9	29	06:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 28.31'C
2014	9	29	07:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 28.31'C
2014	9	29	08:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 28.62'C
2014	9	29	09:05:00	External supply : 12.9V	Temperature 29.56'C
2014	9	29	10:05:00	External supply : 13.3V	Temperature 31.31'C
2014	9	29	11:05:00	External supply : 13.4V	Temperature 33.50'C
2014	9	29	12:05:00	External supply : 13.5V	Temperature 36.18'C
2014	9	29	13:05:00	External supply : 13.7V	Temperature 39.56'C
2014	9	29	14:05:00	External supply : 13.7V	Temperature 42.93'C
2014	9	29	15:05:00	External supply : 13.3V	Temperature 45.56'C
2014	9	29	16:05:00	External supply : 13.2V	Temperature 47.06'C
2014	9	29	17:05:00	External supply : 13.1V	Temperature 47.06'C
2014	9	29	18:05:00	External supply : 12.9V	Temperature 45.81'C
2014	9	29	19:05:00	External supply : 12.9V	Temperature 42.68'C
2014	9	29	20:05:00	External supply : 12.8V	Temperature 39.43'C
2014	9	29	21:05:00	External supply : 12.8V	Temperature 36.62'C
2014	9	29	22:05:00	External supply : 12.7V	Temperature 34.37'C
2014	9	29	23:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 32.50'C
2014	9	30	00:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 31.12'C
2014	9	30	01:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 30.00'C
2014	9	30	02:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 29.12'C
2014	9	30	03:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 28.43'C
2014	9	30	04:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 28.00'C
2014	9	30	05:05:00	External supply : 12.4V	Temperature 27.56'C
2014	9	30	06:05:00	External supply : 12.4V	Temperature 27.50'C
2014	9	30	07:05:00	External supply : 12.4V	Temperature 27.62'C
2014	9	30	08:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 27.87'C
2014	9	30	09:05:00	External supply : 13.1V	Temperature 28.50'C
2014	9	30	10:05:00	External supply : 13.3V	Temperature 30.62'C
2014	9	30	11:05:00	External supply : 13.3V	Temperature 33.31'C
2014	9	30	12:05:00	External supply : 13.4V	Temperature 35.87'C
2014	9	30	13:05:00	External supply : 13.6V	Temperature 38.81'C
2014	9	30	14:05:00	External supply : 13.6V	Temperature 41.62'C
2014	9	30	15:05:00	External supply : 13.1V	Temperature 43.87'C
2014	9	30	16:05:00	External supply : 13.0V	Temperature 44.00'C
2014	9	30	17:05:00	External supply : 12.8V	Temperature 42.93'C
2014	9	30	18:05:00	External supply : 12.7V	Temperature 41.00'C
2014	9	30	19:05:00	External supply : 12.7V	Temperature 38.87'C
2014	9	30	20:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 36.87'C
2014	9	30	21:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 35.31'C
2014	9	30	22:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 34.06'C
2014	9	30	23:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 32.93'C
2014	10	1	00:05:00	External supply : 12.4V	Temperature 32.06'C
2014	10	1	01:05:00	External supply : 12.4V	Temperature 31.25'C
2014	10	1	02:05:00	External supply : 12.3V	Temperature 30.68'C
2014	10	1	03:05:00	External supply : 12.3V	Temperature 30.12'C
2014	10	1	04:05:00	External supply : 12.3V	Temperature 29.68'C
2014	10	1	05:05:00	External supply : 12.3V	Temperature 29.31'C
2014	10	1	06:05:00	External supply : 12.2V	Temperature 29.00'C
2014	10	1	07:05:00	External supply : 12.3V	Temperature 29.00'C
2014	10	1	08:05:00	External supply : 12.4V	Temperature 29.62'C
2014	10	1	09:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 30.75'C
2014	10	1	10:05:00	External supply : 13.0V	Temperature 32.31'C
2014	10	1	11:05:00	External supply : 13.1V	Temperature 34.87'C
2014	10	1	12:05:00	External supply : 13.2V	Temperature 37.56'C
2014	10	1	13:05:00	External supply : 13.3V	Temperature 40.87'C
2014	10	1	14:05:00	External supply : 13.4V	Temperature 44.00'C
2014	10	1	15:05:00	External supply : 13.3V	Temperature 46.37'C
2014	10	1	16:05:00	External supply : 13.0V	Temperature 47.68'C
2014	10	1	17:05:00	External supply : 12.8V	Temperature 47.75'C
2014	10	1	18:05:00	External supply : 12.7V	Temperature 46.25'C
2014	10	1	19:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 43.75'C
2014	10	1	20:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 41.25'C
2014	10	1	21:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 39.25'C
2014	10	1	22:05:00	External supply : 12.4V	Temperature 37.62'C

2014	10	1	23:05:00	External supply : 12.4V	Temperature	36.25'C
2014	10	2	00:05:00	External supply : 12.3V	Temperature	35.18'C
2014	10	2	01:05:00	External supply : 12.3V	Temperature	34.31'C
2014	10	2	02:05:00	External supply : 12.3V	Temperature	33.62'C
2014	10	2	03:05:00	External supply : 12.2V	Temperature	32.93'C
2014	10	2	04:05:00	External supply : 12.2V	Temperature	32.50'C
2014	10	2	05:05:00	External supply : 12.2V	Temperature	32.00'C
2014	10	2	06:05:00	External supply : 12.1V	Temperature	31.68'C
2014	10	2	07:05:00	External supply : 12.2V	Temperature	31.37'C
2014	10	2	08:05:00	External supply : 12.3V	Temperature	31.68'C
2014	10	2	09:05:00	External supply : 12.7V	Temperature	32.43'C
2014	10	2	10:05:00	External supply : 12.9V	Temperature	34.18'C
2014	10	2	11:05:00	External supply : 13.0V	Temperature	36.50'C
2014	10	2	12:05:00	External supply : 13.2V	Temperature	39.18'C
2014	10	2	13:05:00	External supply : 13.4V	Temperature	42.50'C
2014	10	2	14:05:00	External supply : 13.4V	Temperature	45.62'C
2014	10	2	15:05:00	External supply : 13.0V	Temperature	48.37'C
2014	10	2	16:05:00	External supply : 12.8V	Temperature	49.68'C
2014	10	2	17:05:00	External supply : 12.7V	Temperature	48.37'C
2014	10	2	18:15:00	External supply : 12.5V	Temperature	46.25'C
2014	10	2	19:05:00	External supply : 12.5V	Temperature	44.12'C
2014	10	2	20:05:00	External supply : 12.4V	Temperature	41.50'C
2014	10	2	21:05:00	External supply : 12.4V	Temperature	39.31'C
2014	10	2	22:15:00	External supply : 12.3V	Temperature	37.43'C
2014	10	2	23:05:00	External supply : 12.3V	Temperature	36.31'C
2014	10	3	00:05:00	External supply : 12.2V	Temperature	35.18'C
2014	10	3	01:05:00	External supply : 12.2V	Temperature	34.37'C
2014	10	3	02:05:00	External supply : 12.1V	Temperature	33.68'C
2014	10	3	03:05:00	External supply : 12.1V	Temperature	33.00'C
2014	10	3	04:05:00	External supply : 12.0V	Temperature	32.56'C
2014	10	3	05:05:00	External supply : 12.0V	Temperature	32.18'C
2014	10	3	06:05:00	External supply : 12.0V	Temperature	31.75'C
2014	10	3	07:05:00	External supply : 12.1V	Temperature	31.37'C
2014	10	3	08:05:00	External supply : 12.1V	Temperature	31.87'C
2014	10	3	09:05:00	External supply : 12.7V	Temperature	32.68'C
2014	10	3	10:05:00	External supply : 12.8V	Temperature	34.68'C
2014	10	3	11:05:00	External supply : 13.0V	Temperature	37.56'C
2014	10	3	12:05:00	External supply : 12.5V	Temperature	40.81'C
2014	10	3	13:05:00	External supply : 13.3V	Temperature	43.62'C
2014	10	3	14:05:00	External supply : 13.3V	Temperature	47.25'C
2014	10	3	15:05:00	External supply : 13.1V	Temperature	49.31'C
2014	10	3	16:05:00	External supply : 12.7V	Temperature	50.12'C
2014	10	3	17:05:00	External supply : 12.5V	Temperature	50.43'C
2014	10	3	18:05:00	External supply : 12.4V	Temperature	48.81'C
2014	10	3	19:05:00	External supply : 12.3V	Temperature	45.75'C
2014	10	3	20:05:00	External supply : 12.3V	Temperature	42.75'C
2014	10	3	21:05:00	External supply : 12.2V	Temperature	40.12'C
2014	10	3	22:05:00	External supply : 12.1V	Temperature	38.00'C
2014	10	3	23:05:00	External supply : 12.1V	Temperature	36.12'C
2014	10	4	00:05:00	External supply : 12.0V	Temperature	34.68'C
2014	10	4	01:05:00	External supply : 12.0V	Temperature	33.56'C
2014	10	4	02:05:00	External supply : 11.9V	Temperature	32.62'C
2014	10	4	03:05:00	External supply : 11.8V	Temperature	31.81'C
2014	10	4	04:05:00	External supply : 11.8V	Temperature	31.00'C
2014	10	4	05:05:00	External supply : 11.7V	Temperature	30.18'C
2014	10	4	06:05:00	External supply : 11.6V	Temperature	29.43'C
2014	10	4	07:05:00	External supply : 11.6V	Temperature	28.81'C
2014	10	4	08:05:00	External supply : 11.5V	Temperature	28.81'C
2014	10	4	09:05:00	External supply : 11.9V	Temperature	29.25'C
2014	10	4	10:05:00	External supply : 12.6V	Temperature	30.50'C
2014	10	4	11:05:00	External supply : 12.5V	Temperature	32.62'C
2014	10	4	12:05:00	External supply : 13.1V	Temperature	35.37'C
2014	10	4	13:05:00	External supply : 12.9V	Temperature	39.06'C
2014	10	4	14:05:00	External supply : 12.7V	Temperature	41.37'C
2014	10	4	15:05:00	External supply : 12.8V	Temperature	42.18'C
2014	10	4	16:05:00	External supply : 12.5V	Temperature	42.56'C
2014	10	4	17:05:00	External supply : 12.3V	Temperature	42.37'C

2014	10	4	18:05:00	External supply : 12.1V	Temperature	41.12'C
2014	10	4	19:05:00	External supply : 12.0V	Temperature	38.75'C
2014	10	4	20:05:00	External supply : 11.8V	Temperature	36.31'C
2014	10	4	21:05:00	External supply : 11.6V	Temperature	34.18'C
2014	10	5	08:05:00	External supply : 12.1V	Temperature	18.93'C
2014	10	5	09:05:00	External supply : 12.7V	Temperature	21.25'C
2014	10	5	10:05:00	External supply : 12.6V	Temperature	24.37'C
2014	10	5	11:05:00	External supply : 13.0V	Temperature	28.25'C
2014	10	5	12:05:00	External supply : 13.1V	Temperature	31.62'C
2014	10	5	13:05:00	External supply : 13.4V	Temperature	35.62'C
2014	10	5	14:05:00	External supply : 13.1V	Temperature	39.62'C
2014	10	5	15:05:00	External supply : 13.0V	Temperature	42.37'C
2014	10	5	16:05:00	External supply : 12.8V	Temperature	43.93'C
2014	10	5	17:05:00	External supply : 12.5V	Temperature	43.87'C
2014	10	5	18:05:00	External supply : 12.4V	Temperature	41.68'C
2014	10	5	19:05:00	External supply : 12.3V	Temperature	38.75'C
2014	10	5	20:05:00	External supply : 12.2V	Temperature	36.00'C
2014	10	5	21:05:00	External supply : 12.1V	Temperature	33.56'C
2014	10	5	22:05:00	External supply : 12.0V	Temperature	31.56'C
2014	10	5	23:05:00	External supply : 11.8V	Temperature	29.87'C
2014	10	6	00:05:00	External supply : 11.6V	Temperature	28.62'C
2014	10	6	08:05:00	External supply : 11.9V	Temperature	16.75'C
2014	10	6	09:05:00	External supply : 12.8V	Temperature	19.00'C
2014	10	6	11:15:00	External supply : 14.0V	Temperature	35.81'C
2014	10	6	12:05:00	External supply : 14.3V	Temperature	37.81'C
2014	10	6	13:05:00	External supply : 13.8V	Temperature	39.50'C
2014	10	6	14:05:00	External supply : 13.4V	Temperature	38.56'C
2014	10	6	15:05:00	External supply : 13.3V	Temperature	35.75'C
2014	10	6	16:05:00	External supply : 13.8V	Temperature	36.25'C
2014	10	6	17:05:00	External supply : 13.4V	Temperature	36.06'C
2014	10	6	18:05:00	External supply : 13.0V	Temperature	31.00'C
2014	10	6	19:05:00	External supply : 13.0V	Temperature	26.43'C
2014	10	6	20:05:00	External supply : 12.9V	Temperature	23.93'C
2014	10	6	21:05:00	External supply : 12.9V	Temperature	22.37'C
2014	10	6	22:05:00	External supply : 12.8V	Temperature	21.50'C
2014	10	6	23:05:00	External supply : 12.8V	Temperature	21.18'C
2014	10	7	00:05:00	External supply : 12.8V	Temperature	21.43'C
2014	10	7	01:05:00	External supply : 12.7V	Temperature	21.62'C
2014	10	7	02:05:00	External supply : 12.7V	Temperature	22.06'C
2014	10	7	03:05:00	External supply : 12.7V	Temperature	22.37'C
2014	10	7	04:05:00	External supply : 12.7V	Temperature	22.50'C
2014	10	7	05:05:00	External supply : 12.7V	Temperature	21.93'C
2014	10	7	06:05:00	External supply : 12.7V	Temperature	21.56'C
2014	10	7	07:05:00	External supply : 12.7V	Temperature	21.62'C
2014	10	7	08:05:00	External supply : 12.7V	Temperature	22.31'C
2014	10	7	09:05:00	External supply : 12.9V	Temperature	24.37'C
2014	10	7	10:05:00	External supply : 13.2V	Temperature	27.25'C
2014	10	7	11:05:00	External supply : 13.0V	Temperature	28.93'C
2014	10	7	12:05:00	External supply : 13.5V	Temperature	29.18'C
2014	10	7	13:05:00	External supply : 13.2V	Temperature	32.56'C
2014	10	7	14:05:00	External supply : 13.1V	Temperature	33.25'C
2014	10	7	15:05:00	External supply : 13.7V	Temperature	32.37'C
2014	10	7	16:05:00	External supply : 13.2V	Temperature	31.06'C
2014	10	7	17:05:00	External supply : 13.1V	Temperature	30.56'C
2014	10	7	18:05:00	External supply : 12.8V	Temperature	28.50'C
2014	10	7	19:05:00	External supply : 12.7V	Temperature	26.43'C
2014	10	7	20:05:00	External supply : 12.7V	Temperature	24.81'C
2014	10	7	21:05:00	External supply : 12.7V	Temperature	23.56'C
2014	10	7	22:05:00	External supply : 12.6V	Temperature	23.12'C
2014	10	7	23:05:00	External supply : 12.6V	Temperature	23.31'C
2014	10	8	00:05:00	External supply : 12.6V	Temperature	23.56'C
2014	10	8	01:05:00	External supply : 12.6V	Temperature	23.75'C
2014	10	8	02:05:00	External supply : 12.6V	Temperature	23.75'C
2014	10	8	03:05:00	External supply : 12.6V	Temperature	23.62'C
2014	10	8	04:05:00	External supply : 12.6V	Temperature	23.50'C
2014	10	8	05:05:00	External supply : 12.6V	Temperature	23.06'C
2014	10	8	06:05:00	External supply : 12.5V	Temperature	22.81'C

2014	10	8	07:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 23.00'C
2014	10	8	08:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 23.62'C
2014	10	8	09:05:00	External supply : 13.0V	Temperature 25.18'C
2014	10	8	10:05:00	External supply : 12.8V	Temperature 27.68'C
2014	10	8	11:05:00	External supply : 12.7V	Temperature 28.25'C
2014	10	8	12:05:00	External supply : 14.1V	Temperature 29.18'C
2014	10	8	13:05:00	External supply : 13.2V	Temperature 32.56'C
2014	10	8	14:05:00	External supply : 13.6V	Temperature 33.43'C
2014	10	8	15:05:00	External supply : 13.1V	Temperature 33.43'C
2014	10	8	16:05:00	External supply : 13.1V	Temperature 32.62'C
2014	10	8	17:05:00	External supply : 12.9V	Temperature 31.18'C
2014	10	8	18:05:00	External supply : 12.8V	Temperature 28.50'C
2014	10	8	19:05:00	External supply : 12.7V	Temperature 26.31'C
2014	10	8	20:05:00	External supply : 12.7V	Temperature 24.81'C
2014	10	8	21:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 24.18'C
2014	10	8	22:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 23.75'C
2014	10	8	23:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 23.56'C
2014	10	9	00:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 23.62'C
2014	10	9	01:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 23.50'C
2014	10	9	02:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 23.18'C
2014	10	9	03:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 23.25'C
2014	10	9	04:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 23.43'C
2014	10	9	05:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 23.06'C
2014	10	9	06:05:00	External supply : 12.4V	Temperature 22.62'C
2014	10	9	07:05:00	External supply : 12.4V	Temperature 22.31'C
2014	10	9	08:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 22.50'C
2014	10	9	09:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 23.18'C
2014	10	9	10:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 24.25'C
2014	10	9	11:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 25.00'C
2014	10	9	12:05:00	External supply : 12.8V	Temperature 25.93'C
2014	10	9	13:05:00	External supply : 12.6V	Temperature 27.12'C
2014	10	9	14:05:00	External supply : 12.5V	Temperature 26.56'C
2014	10	9	15:05:00	External supply : 12.4V	Temperature 25.81'C
2014	10	9	16:05:00	External supply : 12.4V	Temperature 25.25'C



Figura B.2- Painel Solar de 130W. SUOYANG, Modelo SY-130M (utilizado na estação ASER).