

**INVESTIGAÇÃO DA SEQUÊNCIA SÍSMICA INICIADA PELO SISMO DE
ARRAIOLOS (15/1/2018, ML=4.9)**

LUIS MATIAS
Investigador
Instituto Dom
Luiz, Faculdade
de Ciências,
Universidade de
Lisboa

DINA VALES
Técnica Superior
Instituto do Mar e
da Atmosfera

**FERNANDO
CARRILHO**
Técnico Superior
Instituto do Mar e
da Atmosfera

**JOÃO
FONTIELA**
Investigador
Universidade de
Évora, CLAV,
Instituto de
Ciências
da Terra

**CARLOS
CORELA**
Investigador
Instituto Dom
Luiz, Faculdade
de Ciências,
Universidade de
Lisboa

INÊS RIO
Técnica Superior
Instituto Dom
Luiz, Faculdade
de Ciências,
Universidade de
Lisboa

JOSÉ BORGES
Investigador
Universidade de
Évora, CLAV,
Instituto de
Ciências
da Terra

**BENTO
CALDEIRA**
Investigador
Universidade de
Évora, CLAV,
Instituto de
Ciências
da Terra

**MOURAD
BEZZEGHOUD**
Investigador
Universidade de
Évora, CLAV,
Instituto de
Ciências
da Terra

**PIE DADE
WASCHILALA**
Estudante
Doutoramento
Universidade de
Évora, CLAV,
Instituto de
Ciências
da Terra

NUNO DIAS
Professor
Adjunto
Instituto Superior
de Engenharia
de Lisboa,
Instituto
Politécnico de
Lisboa

**SUSANA
CUSTÓDIO**
Investigadora
Instituto Dom
Luiz, Faculdade
de Ciências,
Universidade de
Lisboa

**ALEXANDRE
ARAÚJO**
Investigador
Universidade de
Évora, CLAV,
Instituto de
Ciências
da Terra

SUMÁRIO

O sismo de Arraiolos ocorreu às 11:51 UTC do dia 15 de janeiro de 2018 tendo uma magnitude de 4.9 ML. O sismo principal foi seguido de várias réplicas, algumas delas sentidas pela população, como a de 1/2/2018 com magnitude ML=3.5 Poucas horas após o sismo principal o ICT (Instituto de Ciências da Terra, Évora) e o IDL (Instituto Dom Luiz) deram início à instalação duma rede temporária de estações sísmicas que na sua versão maior consistiu num total de 35 estações, umas de curto período e outras de banda larga. Neste trabalho apresentam-se os resultados preliminares dos registos efetuados por esta rede, complementada pelas estações permanentes do IPMA. Até 25/2 foram analisados 294 eventos com 6 leituras ou mais e tendo um GAP inferior a 180°. Apresentamos a distribuição epicentral e hipocentral, a distribuição temporal e por magnitudes, os mecanismos focais, sequências identificadas por semelhança da forma de onda e calculamos o efeito de transferência de tensão estática do sismo principal e a sua influência sobre a sequência sísmica.

ABSTRACT

The Arraiolos earthquake occurred the 15th January 2018 at 11:51 UTC with a magnitude ML=4.9 The main shock was followed by many aftershocks, some of them felt by the population, such as the ML=3.1 2018-02-01 event. A few hours after the main shock the ICT (Instituto de Ciências da Terra, Évora) and the IDL (Instituto Dom Luiz) began the deployment of a dense temporary seismic network that attained a total of 35 seismic station, some short period and others broadband. We present in this work the preliminary results obtained with the temporary seismic network complemented with the IPMA permanent stations. Until the 25th February we analysed 294 earthquakes with 6 or more phase readings and a GAP less than 180°. We present the epicentre and hypocentre maps, the time and magnitude distributions, the focal mechanisms and sequences identified by waveform similarity. We also computed the static stress transfer caused by the main shock and its influence on the seismic sequence.

PALAVRAS-CHAVE: Microsismos, sequências sísmicas, sismotectónica.

1. INTRODUÇÃO

O sismo de Arraiolos ocorreu às 11:51 UTC do dia 15 de janeiro de 2018 tendo uma magnitude de 4.9 ML. O sismo foi sentido com uma intensidade máxima de VI (IMM) na Aldeia da Serra tendo provocado alarme numa região onde têm sido raros os sismos sentidos. O sismo principal foi seguido de várias réplicas, algumas delas sentidas pela população, como a de 1/2/2018 com magnitude ML=3.5

Poucas horas após o sismo principal o ICT (Instituto de Ciências da Terra, Évora) e o IDL (Instituto Dom Luiz) deram início à instalação duma rede temporária de estações sísmicas que na sua versão maior consistiu em 14 estações de banda larga (CMG 6TD, 30 s) e 21 estações de curto período (CDJ, 2.0 Hz). Estas 35 estações dispuseram-se em redor da região epicentral e os seus registos, juntamente com os dados das estações permanentes do IPMA, permitiram um controlo da atividade microsísmica com um detalhe sem precedentes em Portugal. Neste trabalho apresentamos os resultados da análise de dados efetuada para um período de observação que termina a 25/2, altura em que foram retiradas do campo as estações de curto-período instaladas pelo IDL. A figura 1 apresenta a disposição da rede sísmica usada no trabalho e a sua relação com a localização do sismo principal da sequência.

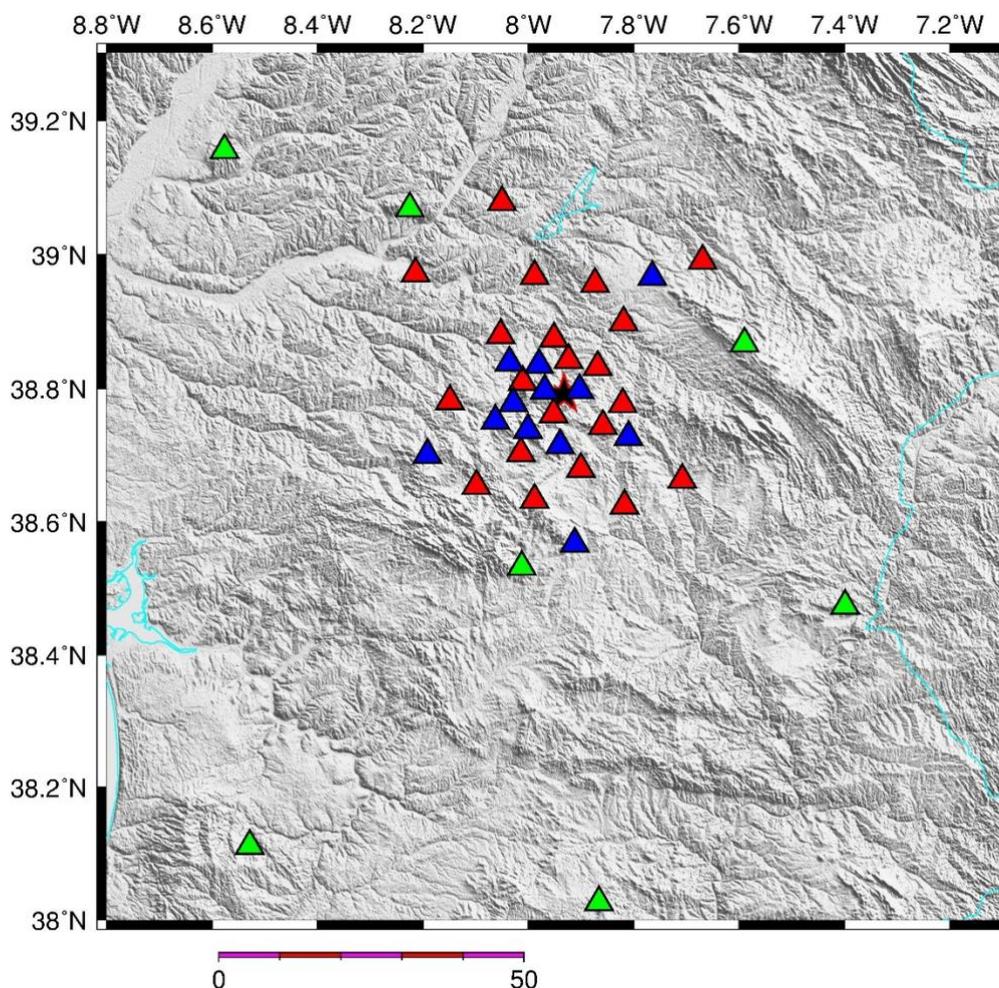


Fig. 1 – Estações sísmicas cujos registos foram usados neste trabalho. A vermelho a rede temporária do IDL, a azul a rede temporária do ICT e a verde as estações permanentes do IPMA. A estrela assinala a posição do sismo principal.

2. DETEÇÃO DE EVENTOS E MODELO DE VELOCIDADES INICIAL

A detecção dos eventos sísmicos foi feita manualmente através da inspeção de espectrogramas diários do conjunto de estações em operação (apresenta-se um exemplo na figura 2). Um total de 318 eventos foram identificados como tendo um nº de fases adequados à sua localização e posterior análise. Destes selecionaram-se 294 como tendo 6 leituras ou mais e tendo um GAP inferior a 180°.

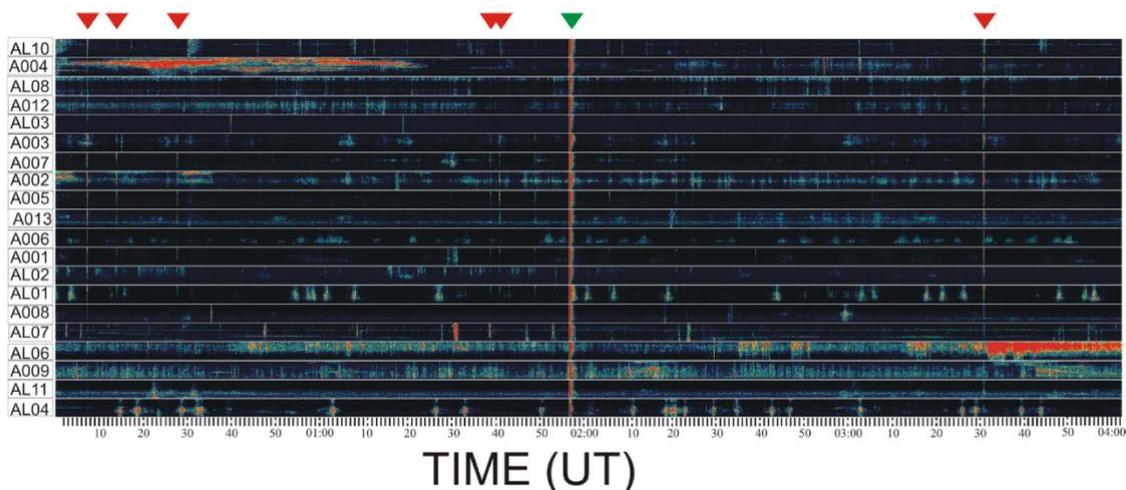


Fig. 2 – Exemplo de espectrograma usado na detecção manual de eventos. À esquerda encontra-se a lista de estações usadas. Os triângulos assinalam eventos sísmicos. A verde um evento detetado pela rede permanente do IPMA. A vermelho mostram-se eventos novos detetados apenas pela rede temporária.

A localização preliminar foi feita usando um modelo de velocidades 1D retirado do modelo tomográfico publicado por [1], após um ajuste da razão VP/VS determinada pelos dados, que passou de 1.74 para 1.70 (ver figura 3).

3. DISTRIBUIÇÃO DOS EVENTOS POR CLASSES DE MAGNITUDE

Descontando a réplica de maior magnitude, a sequência sísmica iniciada a 15 de janeiro segue uma lei de Gutenberg-Richter com um declive de 0.97. A magnitude de completude, determinada pela densidade da rede e razão sinal/ruído estima-se em $ML = -0.3$, como se mostra na figura 4.

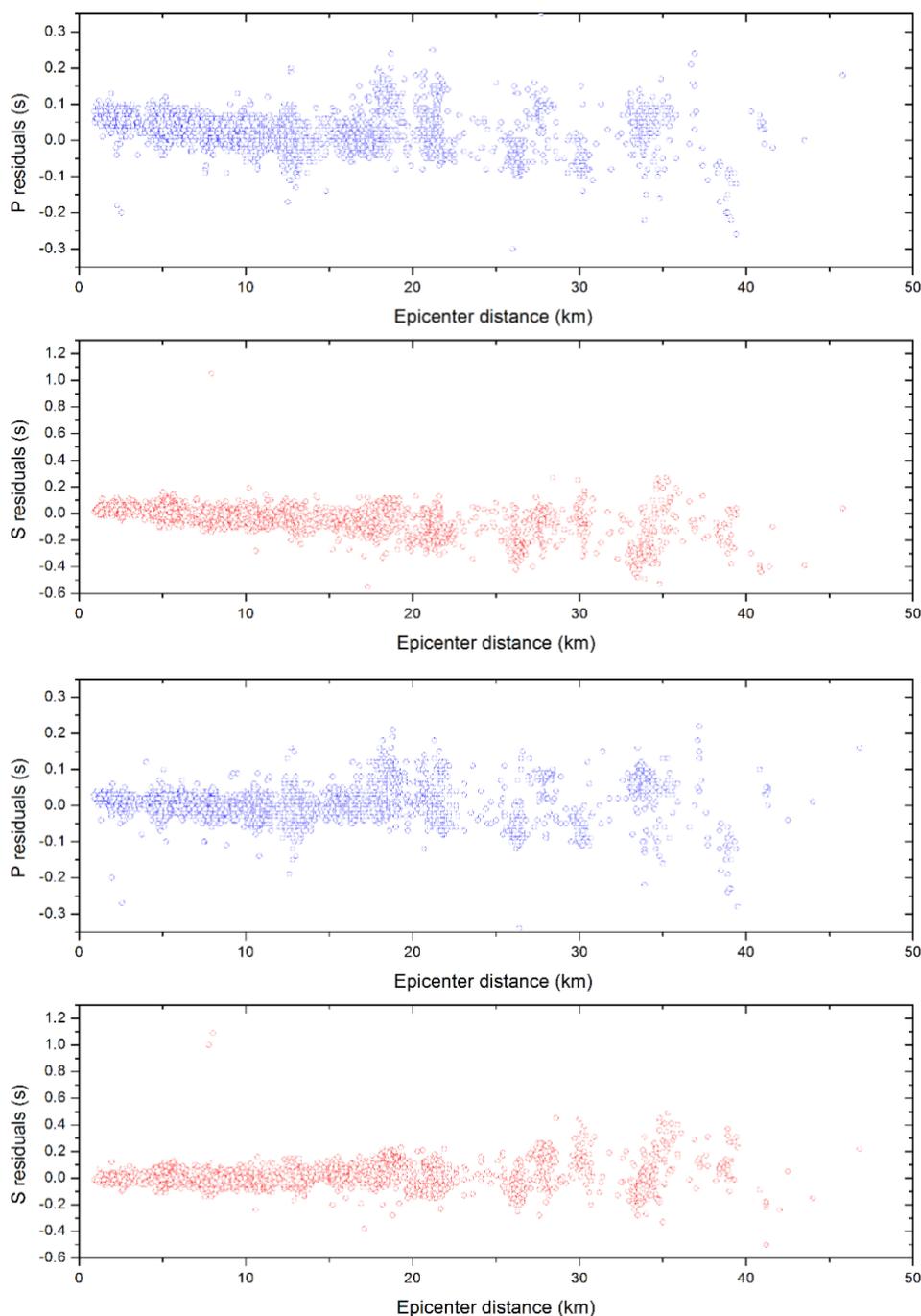


Fig. 3 – Resíduos das leituras P e S com o modelo de velocidades inicial ($VP/VS=1.74$) em cima. Em baixo mostram-se os mesmos resíduos após a correção da razão VP/VS para 1.70

4. DISTRIBUIÇÃO DE EPICENTROS E PROFUNDIDADES FOCAIS

A distribuição epicentral das réplicas (figuras 5 e 6) mostra a existências de dois aglomerados de eventos, um deles reunindo cerca de 2/3 dos microssismos. A profundidade focal nestes 2 aglomerados (figuras 5 e 6) e na restante sequência varia entre 11 e 15 km, com uma maior concentração ~12 km.

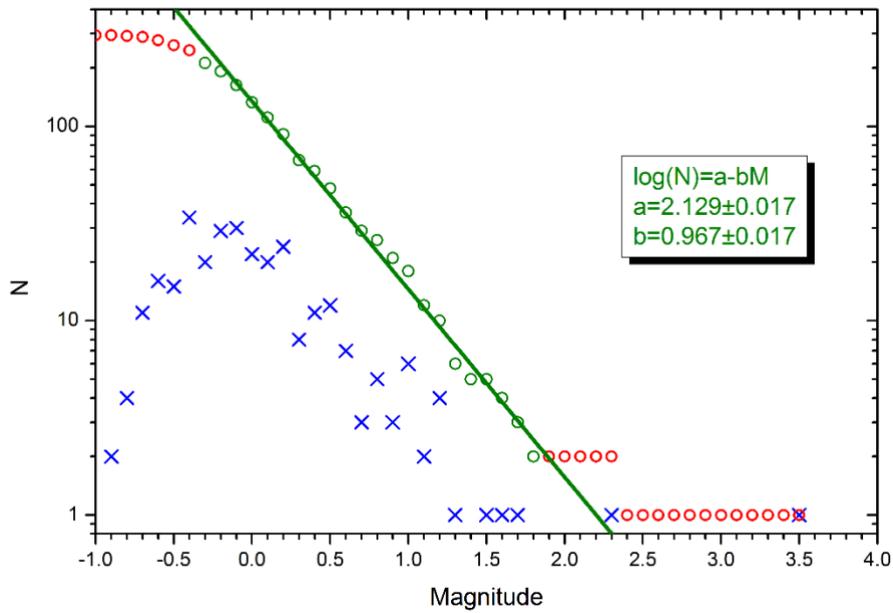


Fig. 4 – Lei de Gutenberg-Richter para a sequência sísmica de Arraiolos.

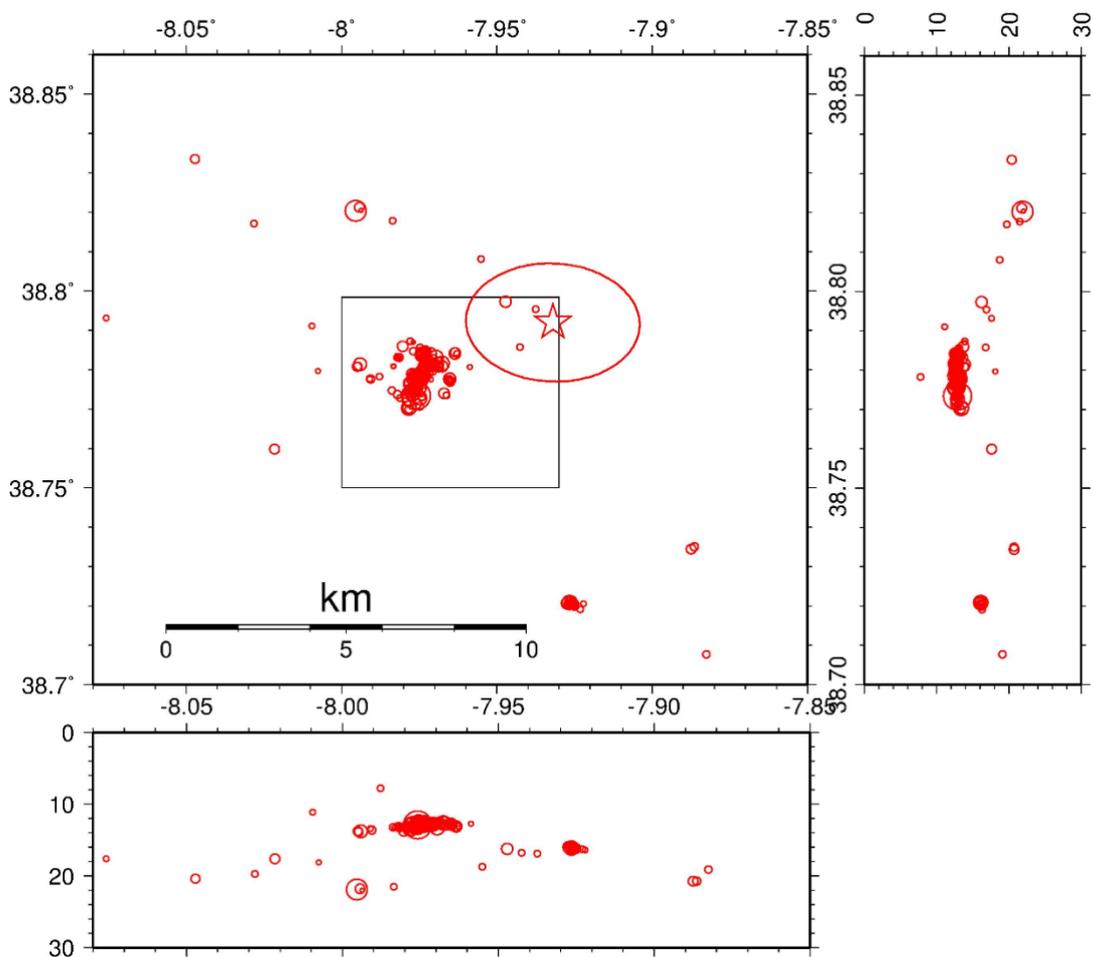


Fig. 5 – Distribuição dos epicentros e profundidades focais da sequência sísmica. A estrela marca a localização do sismo principal e a elipse a estimativa da incerteza nessa localização. O retângulo marca a zona de detalhe apresentada na figura 6.

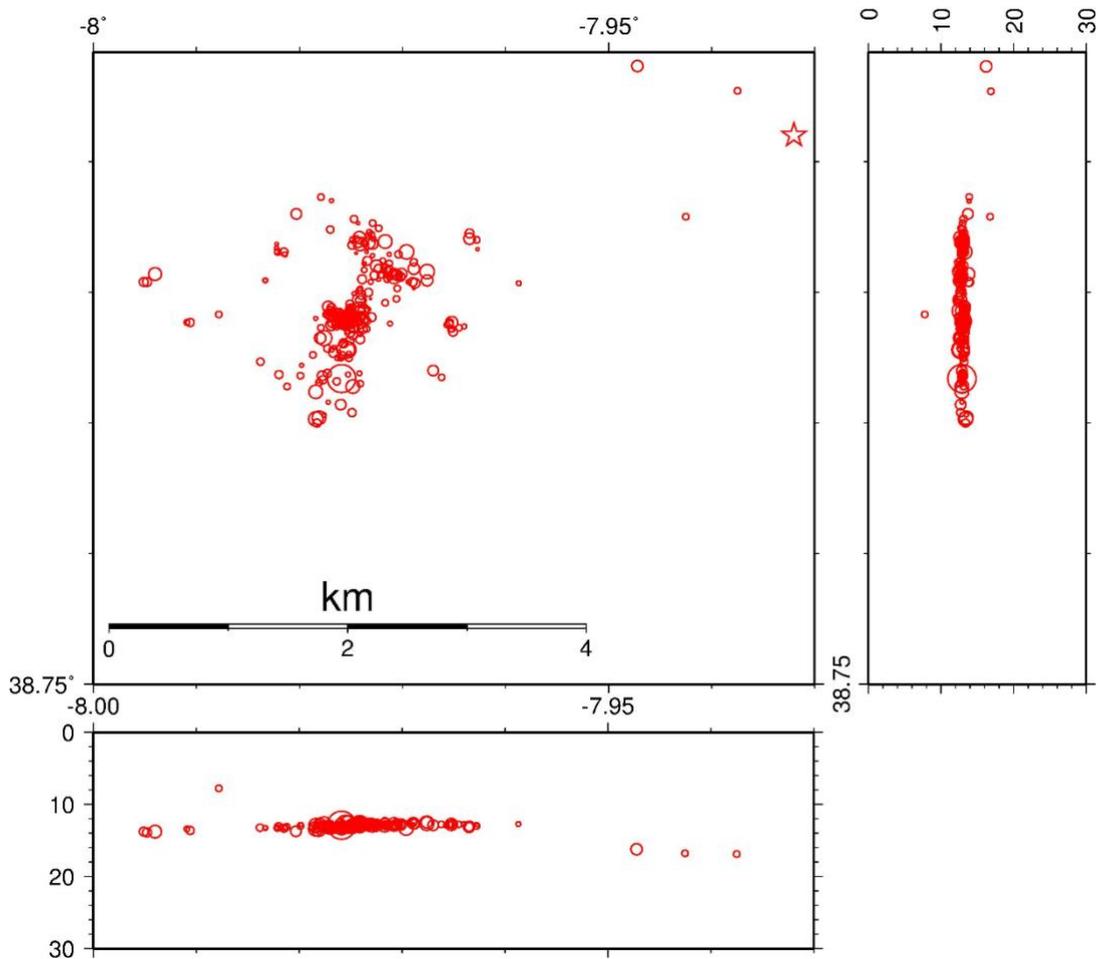


Fig. 6 – Distribuição dos epicentros e profundidades focais da sequência sísmica numa zona assinalada na figura 5. A estrela marca a localização do sismo principal.

5. FAMÍLIAS SÍSMICAS SEMELHANTES

Dada a proximidade geográfica da maior parte dos eventos da sequência sísmica, fizemos o cálculo das correlações cruzadas de todos os eventos para um conjunto de estações de referência de forma a encontrar famílias de sismos que pela semelhança na forma de onda sugiram uma origem comum. A matriz de semelhança sofre um processo de aglomeração de forma a identificar famílias cuja semelhança é superior a um valor elevado pré-definido. Podemos então ordenar a matriz de semelhança tendo em conta as famílias identificadas, como se mostra na figura 7. Podemos identificar facilmente a família maior (#03) e uma família (#11) em que os elementos diagonais da matriz mostra a sua dissemelhança com a maioria dos sismos da sequência sísmica.

A realocação da família #03 pelo método das duplas diferenças, usando como constrangimento as correções nas leituras das fases calculadas pela correlação cruzada, mostra de facto que os eventos são originados numa mesma zona geográfica, havendo a sugestão dum possível plano preferencial de alinhamento (figura 8).

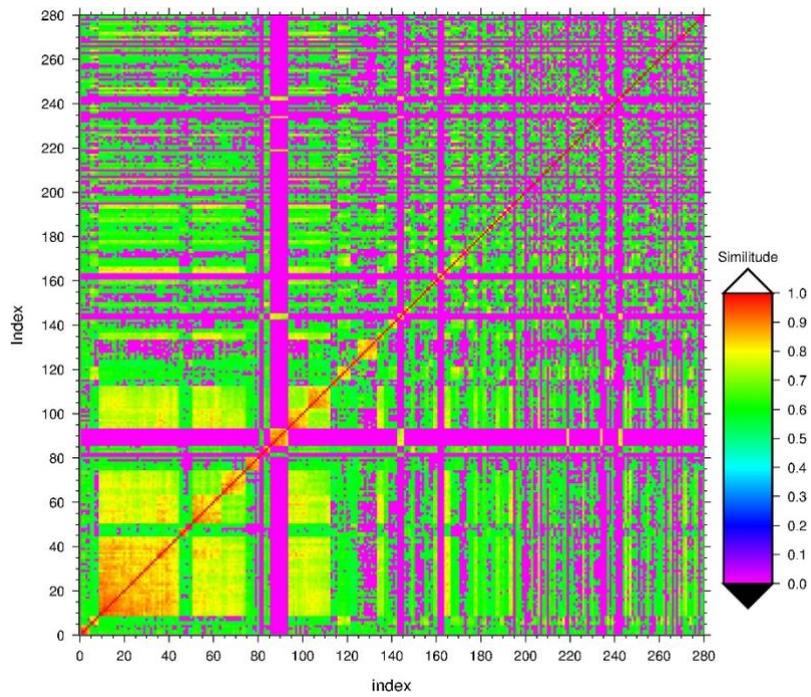


Fig. 7 – Representação da matriz de semelhança com a ordenação definida pela aglomeração realizada.

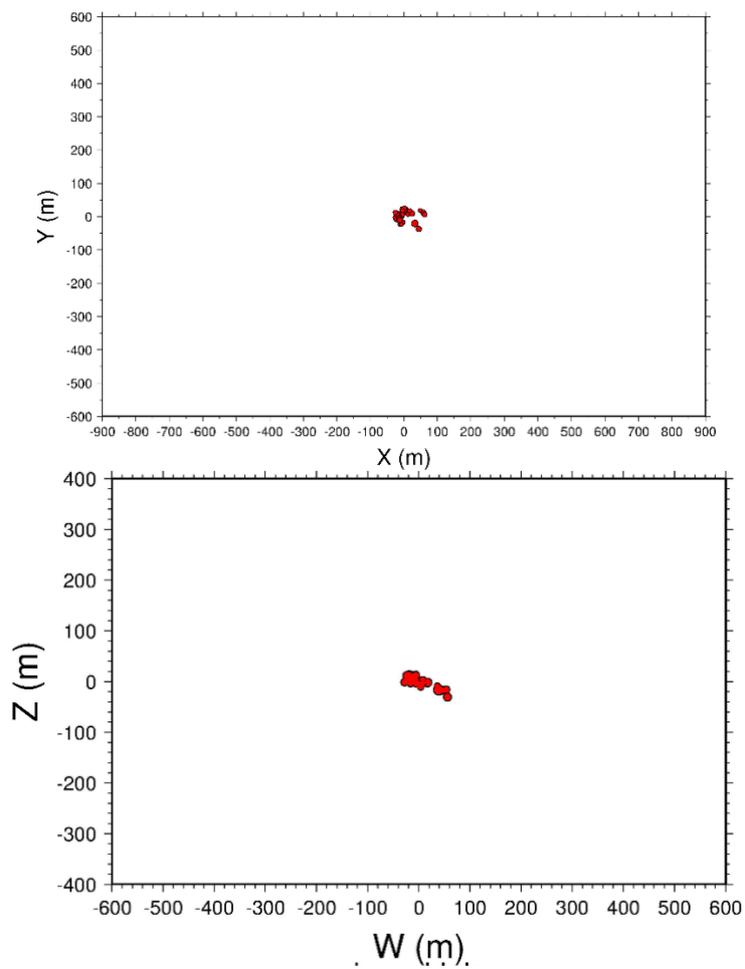


Fig. 8 – Relocalização no espaço XYZ da família sísmica #03.

6. MECANISMOS FOCAIS

Apesar do sismo principal apresentar um mecanismo focal em deslignamento, calculado por inversão da forma de onda ($M_w=4.3$) a maior parte dos eventos cujo mecanismo focal pôde ser calculado usando a polaridade das ondas P apresentam um mecanismo inverso, ou inverso-deslignamento (figuras 9 e 10).

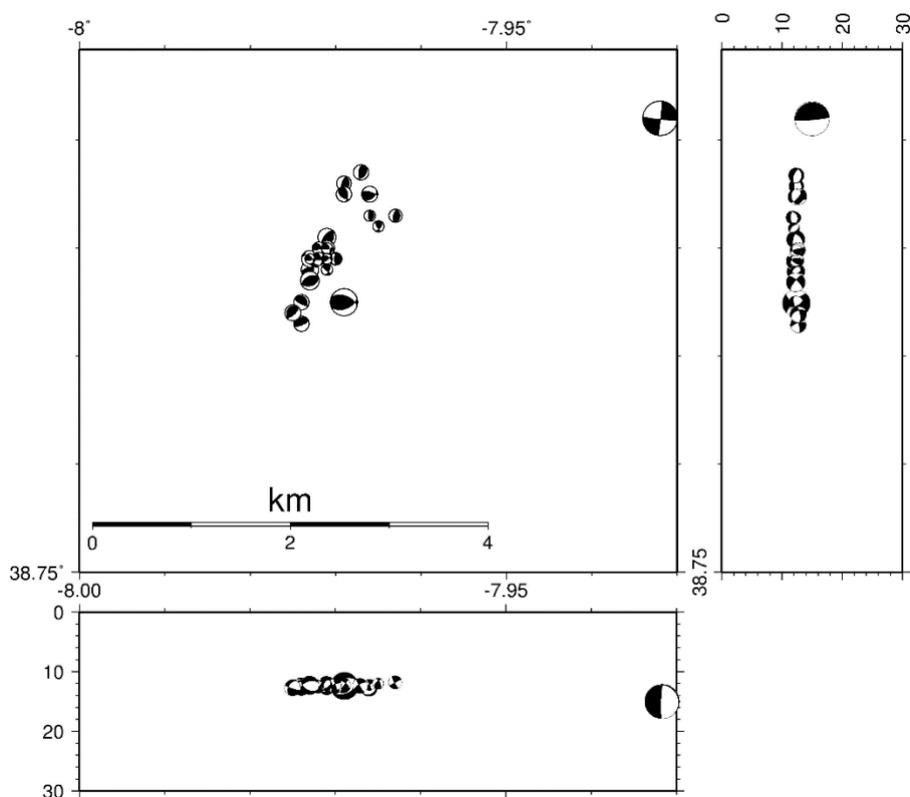


Fig. 9 – Representação dos mecanismos focais na sua localização geográfica e em corte. A dimensão da esfera focal é proporcional à magnitude e o maior dos mecanismos corresponde ao sismo principal. A área geográfica representada é idêntica à da figura 6.

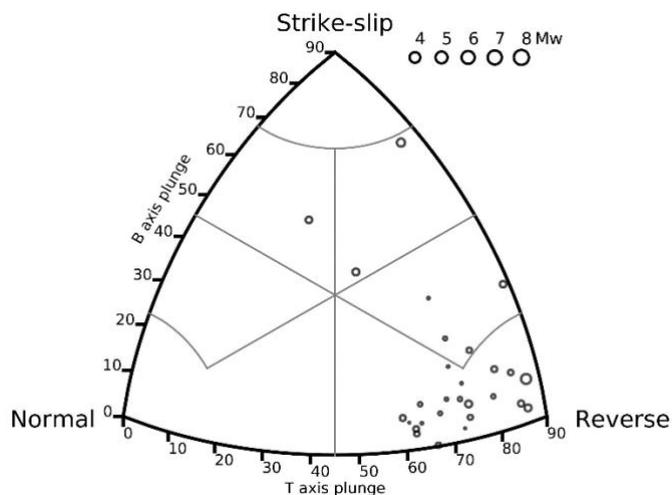


Fig. 10 – Classificação dos mecanismos focais (sem sismo principal) usando o diagrama ternário de [2].

7. TRANSFERÊNCIA DE TENSÃO ESTÁTICA

Foi igualmente investigado o efeito de transferência de tensão do sismo principal da sequência sobre as regiões vizinhas para tentar inferir se teria sido esse o princípio indutor da sequência sísmica [3], [4]. Os resultados apresentados na figura 11 não são conclusivos embora se sugira que o sismo principal poderá ter facilitado a rotura em desligamento no aglomerado mais numeroso (o que contraria o tipo de mecanismo focal dominante nessa região). No entanto ainda existe alguma incerteza na localização precisa do sismo principal ($\sim \pm 2\text{km}$) o que pode afetar este tipo de estudo.

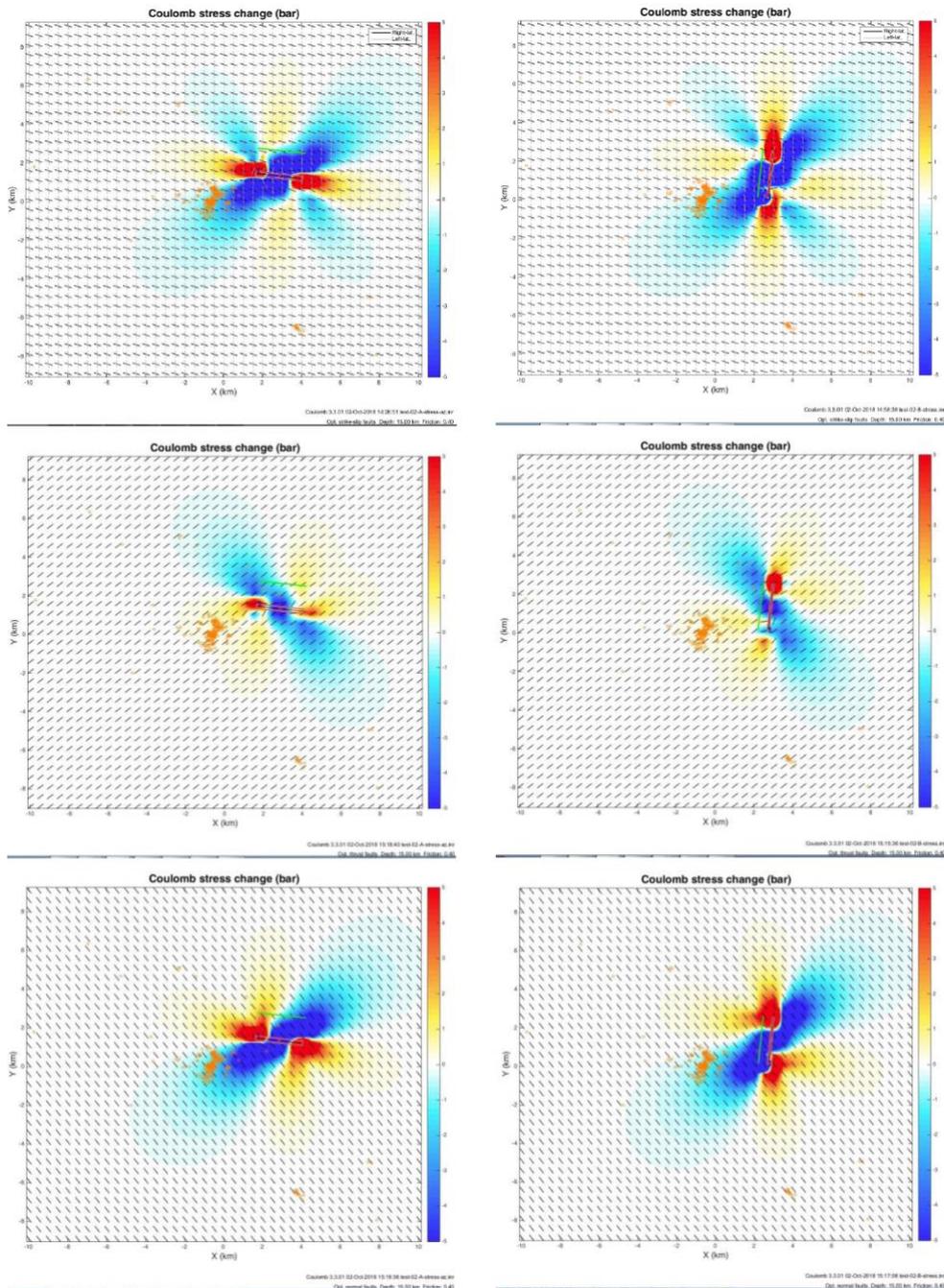


Fig. 11 –Variação na tensão de fratura de Coulomb, plano A à esquerda e plano B à direita, para os 3 tipos de falhas recetoras, de cima para baixo, em desligamento, inversas e normais.

8. DISCUSSÃO

O sismo de Arraiolos e a sequência sísmica a que ele deu origem ocorreram numa região de atividade microssísmica já identificada no trabalho de [5] à qual os autores deram o nome de “Arraiolos Seismic Zone” ou ASZ. A atividade já conhecida na ASZ é muito semelhante à que foi agora revelada pela sequência sísmica, um valor $b \sim 1.0$ na lei de Gutenberg-Richter, profundidades focais ~ 11 km, mecanismos focais em falha inversa dominantes. O sismo de Arraiolos parece ter rejuvenescido a atividade na ASZ com as mesmas características, embora o decréscimo do n^o de sismos com o tempo seja típico duma sequência de réplicas. Devemos ainda salientar que a sequência ocorre deslocada do sismo principal e com mecanismos focais diferentes do sismo principal. Os resultados preliminares não permitem assegurar que a sequência (que ocorre à mesma profundidade do foco do sismo principal) não tenha sido desencadeada pelo aumento da tensão estática de Coulomb, pois a incerteza na localização do evento principal é ainda significativa a esta escala. As réplicas observadas apenas ocorrem em zonas onde já havia atividade microssísmica de fundo.

9. AGRADECIMENTOS

O trabalho de campo foi parcialmente apoiado pelo programa COMPETE 2020 através do projeto do ICT UID/GEO/04683/2013, com a referência POCI-01-0145-FEDER-007690, pelo projeto PTDZ/0003/2015, e pelo programa Portugal2020, através do contrato 22151/01/SAICT/2016 (C4G – Collaboratory for Geosciences). O trabalho de campo contou ainda com o apoio do CERU (Centro Europeu de Riscos Urbanos). Comunicação apoiada pelo projeto FCT UID/GEO/50019/2019 - IDL.

10. REFERÊNCIAS

- [1] Veludo, I., Dias, N. A., Fonseca, P. E., Matias, L., Carrilho, F., Haberland, C., and Villaseñor, A. (2017) Crustal seismic structure beneath Portugal and southern Galicia (Western Iberia) and the role of Variscan inheritance. *Tectonophysics*, **717**, 645-664.
- [2] Kaverina, A. N., Lander, A. V., and Prozorov, A. G. (1996) Global creep distribution and its relation to earthquake-source geometry and tectonic origin. *Geophysical Journal International*, **125**(1), 249-265.
- [3] Lin, J., and Stein, R. S. (2004) Stress triggering in thrust and subduction earthquakes and stress interaction between the southern San Andreas and nearby thrust and strike-slip faults. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **109**(B2).
- [4] Toda, S., Stein, R. S., Richards-Dinger, K., and Bozkurt, S. B. (2005) Forecasting the evolution of seismicity in southern California: Animations built on earthquake stress transfer. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **110**(B5).
- [5] Matos, C., Custódio, S., Batló, J., Zahradník, J., Arroucau, P., Silveira, G., and Heimann, S. (2018) An Active Seismic Zone in Intraplate West Iberia Inferred From High-Resolution Geophysical Data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **123**(4), 2885-2907.