

DETERMINAÇÃO DO PLANO DE FALHA DO SISMO DE AIQUILE DE 1998 COM RELOCALIZAÇÃO RELATIVA DAS RÉPLICAS

Jahiro Damian Miranda Calvet¹ Marcelo Assumpção¹

¹ Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo.

Copyright 2015, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 3-6, 2015.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The town of Aiquile is situated in the Eastern Cordillera of the Bolivian Andes, between a the Sub-Andean and the high plateau of the Altiplano. In this region, some of earthquakes occurred. On 22nd May 1998 at 04:48:50 (UT) an earthquake magnitude Mw=6.6, accused causing great panic to the villagers, 80 human fatalities, over 100 people missing under rubble, hundreds of homeless families and widespread damage across an area 150 km around epicenter. The study of relative epicentral determination was done to relocate one aftershock with respect to the main shock. In this study it was necessary to know the location of a large aftershock and find the relative position between the aftershock and the main event epicenter. The preliminary results show the main shock has an azimuth of 355 (°) in relation to the reference event occurred in 26nd May 1998, andis separated by a distance of 15 km.

Introdução

A área principal de estudo neste trabalho é o povoado de Aiquile, situado na Cordilheira Oriental dos Andes bolivianos, entre o cinturas da região Sub-Andina e o planalto do Altiplano (Lavenu A., Ballivian O. 1979). Nesta região, no dia 22 de maio de 1998, ao redor das 04:48:50 da manhã (UT), os moradores do povoado sentiram uma atividade sísmica forte, diferente de outras registradas até então. Esta teria uma magnitude de 6.6 Mw.

Dois meses depois, tinham ocorrido mais de 50 réplicas, atingindo magnitudes até 5 Mw. De todos eles, os principais eventos foram aqueles do dia 22 de maio as 04:48:50, outro acontecido as 06:17:05 da manhã (UT) no mesmo dia 22, e outro acontecido só quatro dias depois, no dia 26 de maio as 01:08:18 da manhã (UT). Neste estudo, foram analisadas estes dois últimos.

O método de relocalização relativa, consiste em determinar a posição do epicentro de um evento, chamado "alvo" (target), em relação de um evento fixado como referência (K. Michael Cleveland, Charles J.

Ammon., 2013). Para fazer as leituras dos sismogramas, trabalhou-se com dois programas sísmológicos, o SAC e o DOM_FT. Este último permite usar filtro gaussiano e separar o modo fundamental das ondas de superfície. (Ward et al.)

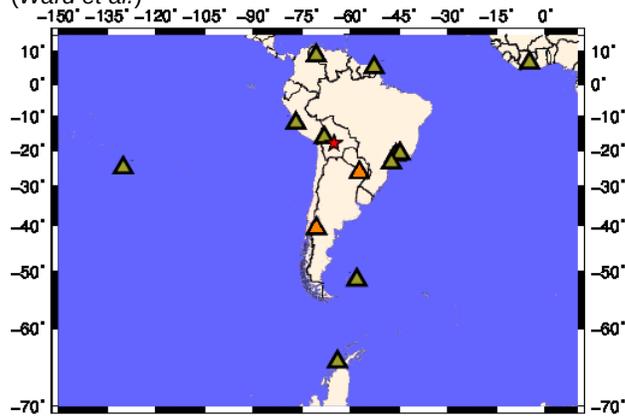


Figura 1. Estações usadas para o estudo. Triângulos verde são estações com bons registros, laranja são estações com registros ruins, e A estrela vermelha é o epicentro do evento principal (o target).

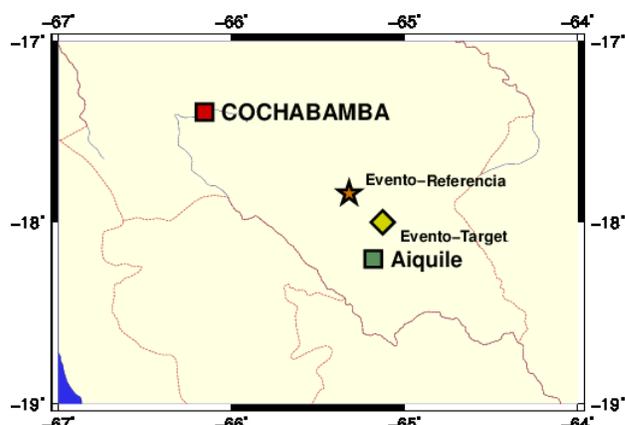


Figura 2. O quadrado vermelho é a cidade capital do Departamento de Cochabamba (principal cidade capital da região), o quadrado verde é o povoado de Aiquile, o losango é o epicentro do evento principal (target) e a estrela laranja é o epicentro do evento de referência do qual se conhece a localização.

Metodologia

O método de relocalização relativa precisa ter várias estações sísmográficas, com azimutes diferentes e bem

espalhadas ao redor dos eventos de estudo. Em todos os sismogramas foi analisado ondas superficiais Rayleigh com uma filtragem de períodos no intervalo de 10 e 30 [s] Agurto, H., Assumpção, M., Ciardelli, C., et al.

A filtragem dos sismogramas foi feita com o programa DOM_FT, onde foi preciso calcular o fator de parâmetro gaussiano α segundo a distância epicentral. Para obter a localização relativa do evento *target*, é preciso fixar e conhecer a posição do evento de *referência*.

Depois de filtrar os sismogramas no DOM_FT, foram lidos no programa SAC. Para obter as diferenças de tempos entre as ondas superficiais do evento principal (*target*) e o evento de referência. Os resultados mostram uma diferença de tempos muito curta (Figura 4). As diferenças de tempo são diferentes para cada estação, podendo chegar atrasadas ou adiantadas com respeito ao evento referência.

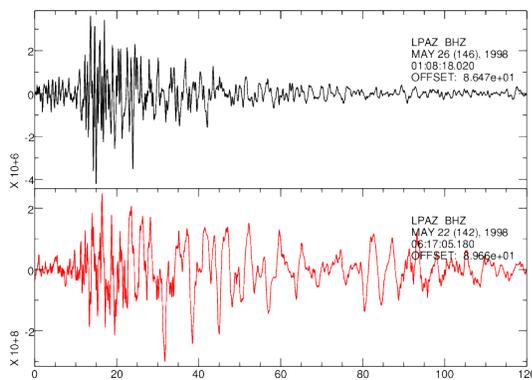


Figura 3. Os sismogramas que são apresentados acima, não têm filtragem nenhuma, estão cortadas em um intervalo de tempo para as ondas superficiais. O sismograma superior é o evento principal (*target*), o sismograma embaixo é o evento de referência, ambas para a estação LPAZ, da rede GT.

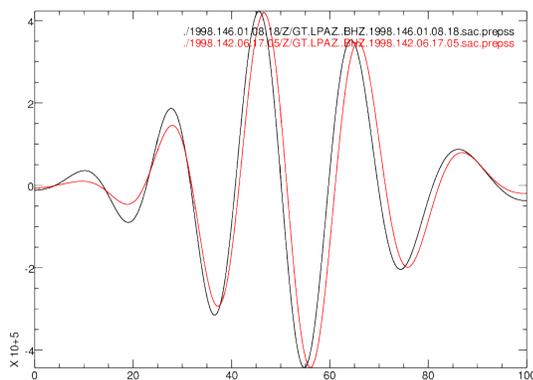


Figura 4. Os dois sismogramas, são resultado das filtragens feitas no DOM_FT e correlacionados. A diferença dos tempos entre as ondas superficiais dos dois eventos é de 0.75 [s].

Para obter a distância e a direção entre o epicentro do evento *target* e o evento de referência, os dados foram

calculados pela variação de tempo em função da variação azimutal, (equação 1):

$$1. \quad t_t - t_r = A_o - \frac{d \cos(A_s - A_e)}{V_{ap}}$$

Onde t_t é o tempo da onda R do evento *target*, t_r o tempo da onda R do evento de referência, A_o é a correção do tempo de origem do evento alvo, d é a distância os epicentros dos eventos *target* e de referência, V_{ap} é o modelo de velocidade fixada em 3 km/s, A_s o azimute da estação medido no epicentro do evento referência, e A_e é angulo (azimute) do evento alvo em relação ao evento referência.

Resultados

Com todas as correlações feitas para as estações escolhidas das diferentes redes (tabela 1), foi possível calcular a distancia e direção do evento *target* em relação ao evento que foi fixado como referência. Isto foi calculado ajustando os dados graficados entre as correlações dos tempos obtidos dos sismogramas, segundo os azimutes das estações do evento *target* e as correlações teoricas obtidas pela equação 1. As constantes A_o , d e A_e foram calculadas pelo metodo de tentativa e erro.

Tabela 1. Diferenças de tempos feitas por correlação relativa e azimute A_e para cada estação.

| Red | Estação | Azimute | Tempo de atraso = $t_t - t_r$ |
|-----|---------|---------|-------------------------------|
| II | NNA | 296 | -2.50 |
| IU | SDV | 348 | -2.00 |
| GT | CPUP* | 140 | -8.50 |
| GT | LPAZ | 300 | 0.75 |
| BL | AREB | 104 | -1.50 |
| BL | BSCB | 102 | 0.50 |
| GT | PLCA* | 190 | -46.80 |
| GT | DBIC | 73 | 0.60 |
| G | SPB | 111 | 2.50 |
| II | EFI | 172 | 7.00 |
| G | KOG | 291 | -0.75 |
| IU | PMSA | 179 | 5.00 |
| IU | PTCN | 250 | -2.50 |

* Estações não usadas no ajuste da curva.

Baseados na tabela 1 para os dados das estações e a equação 1 para obter o melhor ajuste de uma curva teorica aos dados, se apresenta na figura 5.

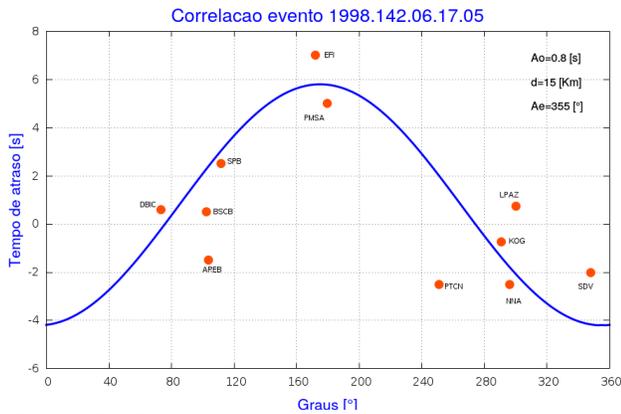


Figura 5. Curva teórica (equação 1 - linha azul) e as diferenças dos tempos observados (pontos vermelhos). O eixo horizontal são os azimutes das estações de registro. O eixo vertical são as diferenças de tempo observadas entre os eventos target e referência.

Os valores das constantes A_0 , d e A_e foram por tentativa e erro. Os valores com melhor ajuste foram: A_0 , 0.8, d 15 km e o azimuth A_e 355 ($^\circ$), com residuo RMS de 3.1 [s]. Conferindo os valores do azimuth A_e com da NEIC e ISC o mecanismo focal, é fácil perceber que os valores estão coerentes com o strike da NEIC 347 ($^\circ$), mas não muito com o da HRVD 186 ($^\circ$) nem com do InSAR 181 ($^\circ$) Funning et al.,2005. (Figura 6)

Comparando o mecanismo focal com o azimuth calculado por relocalização relativa de eventos sísmicos, é possível identificar os planos NS (Norte-Sul) como sendo a falha na região de Aiquile.

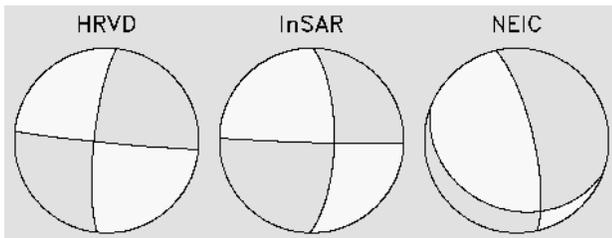


Figura 6. Os mecanismos focais, da NEIC (dir.) é 347 ($^\circ$), da InSAR (cen.) e da Harvard HRVD (esq.)

Conclusões

O método de relocalização relativa de réplicas fornece um potencial de trabalho adequado para estimar a orientação da falha. Tendo um número aceitável de estações, os sinais ruins dos sismogramas que podem ter diferentes erros, e podem ser corrigidos trabalhando com ajustes coletivos.

Os valores dos tempos de atraso ainda podem ser melhorados trabalhando com mais filtragens, feitos no DOM_FT em intervalos de períodos mais curtos. O estudo ainda tem mais etapas de análises, nas quais serão analisados réplicas para conferir o plano de falha. O estudo na atualidade é importante pela atividade sísmica de uma falha perto da região de Aiquile, a falha de Mandeyapecua, a qual poderia liberar uma quantidade

alta de energia que além de atingir na região de Aiquile, poderia atingir ainda regiões muito além do epicentro.

Referências

Agurto, H., Assumpção, M., Ciardelli, C., et al., 2014. The 2012-2013 Montes Claros earthquake series in the São Francisco craton, Brazil: new evidence of non-uniform interplate stresses in mid-plate South America. *Geophysical Journal International*.

Bondar et al., 2004. Epicentre accuracy seismic network criteria. *Geophysical Journal International*, v.156, p. 483-496.

Funning et al.,2005. The 1998 Aiquile, Bolivia earthquake: A seismically active fault revealed with InSAR. *Earth and Planetary Science Letters*, ELSEVIER, v. 232, p. 39 – 49

Ward et al., 2013. Ambient noise tomography across the Central Andes. *Geophysical Journal International*, v. 194, p. 1559-1573.

Lavenu A., Ballivian O.(1979). Estudios Neotectónicos de las Cuencas de las Regiones de Cbba, Sucre,Tarija Cordillera Oriental Boliviana. *Revista de la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia*. Pag. 107-111.

K. Michael Cleveland, Charles J. Ammon., 2013. Precise relative earthquake location using surfaces waves. *Journal of Geophysical Research*, 118: 2893-2904.