

SIMPOSIO SIRGAS 2021

Del 29 de noviembre al 01 de diciembre de 2021



Análise do uso da tecnologia GNSS na identificação de assinaturas sísmicas relacionadas ao terremoto de Maule, Chile, em 27 de Fevereiro de 2010.

Lissa Cunha de Almeida – lissacunha@ufpr.br; Paulo Sérgio de Oliveira Jr – paulo.junior@ufpr.br; Tiago Lima Rodrigues – tiagorodrigues@ufpr.br.

CONTEXTO E OBJETIVOS

Terremotos são inevitáveis, porém, o seu estudo e monitoramento contribui para o desenvolvimento de estratégias para mitigar seus impactos. Regiões com propensão a terremotos de alta magnitude (Mw>7.0) são monitoradas através de redes de estações sismográficas e/ou estações geodésicas. Nesse sentido, o GNSS (Global Navigation Satellite System) é uma poderosa ferramenta, tendo em vista sua capacidade de monitorar os movimentos crustais em tempo real sem sofrer saturação da qual os sismógrafos são sensíveis e, também, monitorar as possíveis influências das ondas de pressão atmosférica no TEC (Total Electron Content). Analisou-se resultados de PPP (Precise Point Positioning) e estimativa de TEC para estações na região do terremoto chileno de Maule, durante a ocorrência do evento. Dessa forma, visa-se avaliar a ideia de que as ondas sísmicas, geradas por grandes terremotos, possam gerar perturbações na atmosfera que afetam o sinal GNSS.

ESTUDO DE CASO

- Terremoto de Maule, Chile (36.122°S 72.898°W)
- 27 de fevereiro de 2010 às 03:34 (hora local).
- Sexto maior da história (Mw 8.8)
- Foram utilizados os dados diárias das estações GNSS, ANTC e SANT, pertencentes ao IGS (International GNSS Service), que distam ~ 180 e ~ 386 km do epicentro, respectivamente (Fig. 1).

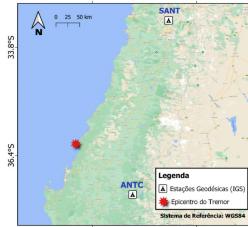


Figura 1 – Mapa de localização do epicentro do terremoto e estações GNSS.

METODOLOGIA

A Fig. 2 traz a sequência empregada para processamento e análise dos dados. O PPP foi realizado através do RTKLIB v. 2.4.2 e CSRS-PPP do NRCan (via IBGE-PPP). O cálculo do TEC foi realizado com software GPS-TEC.

[1] Gu, Guohua, e Wuxing Wang. "Advantages of GNSS in monitoring crustal deformation for detection of precursors to strong earthquakes". 2013.; [2] Hayes, Gavin P., Emma K. Meyers, James W. Dewey, Richard W. Briggs, Paul S. Earle, Harley M. Benz, Gregory M. Smoczyk, Hanna E. Flammie, William D. Barnhart, e Ryan D. Gold. "Tectonic slip histories of magnitude 7 and greater events from 2000 to 2015". US Geological Survey, 2017.; [3] IBGE-PPP. Software para Pós-Processamento de dados GNSS. 1 de maio de 2020, 65.; [4] Kouba, Jan. "Measuring seismic waves induced by large earthquakes with GPS". *Studia Geophysica et Geodistica* 47, nº 4 (2003): 741–80.; [5] Liu, J., Y. Chen, Y. Chen, S. J. Shan, Y. B. Tsai, Y. I. Chen, S. A. Julianeira, S. M. H. Alves, e J. L. V. G. P. "Precursory ionospheric anomalies and seismicity registered by GPS-TEC monitoring". 2004.; [6] Montecino, Henry D., Silvio RC de Freitas, Juan C. Baez, e Wagner G. Ferreira. "Effects on Chilean Vertical Reference Frame due to the Maule Earthquake co-seismic and post-seismic effects". *Journal of Geodynamics* 112 (2017): 22–30.; [7] Pernáčová, N. P., V. A. Sankov, E. I. Astafyeva, e A. S. Zhdanov. "Theoretical magnitude for ionospheric TEC response to earthquakes". *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 108 (2014): 77–90.; [8] Tiwari, R., S. Skone, S. Tiwari, e H. J. Strangeway. "WEMod assisted PLL GPS software receiver for mitigating scintillation effect in high latitude region". In 2011 XXXIX URSI General Assembly and Scientific Symposium, 1–4. IEEE, 2011.

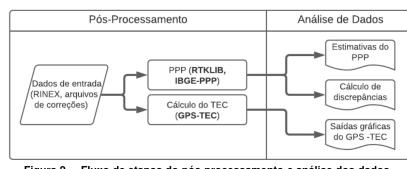


Figura 2 – Fluxo de etapas do pós-processamento e análise dos dados.

No RTKLIB foi adotada filtragem *forward*, máscara de elevação 10° , observável *iono-free*, e estimativa do atraso troposférico. Para detalhes sobre configurações do IBGE-PPP, consultar o manual do usuário (IBGE-PPP, 2020). Para a análise de dados utilizou discrepâncias entre a estimativa do dia anterior ao terremoto (26/02/2010), coordenada de referência, e as coordenadas estimadas no dia do evento (27/02/2010) (Eq. 1).

$$\Delta\phi_{rad} = |\phi_{calc} - \phi_{ref}| \quad \Delta\lambda_{rad} = |\lambda_{calc} - \lambda_{ref}| \quad (1)$$

Foram estimados os valores TEC absoluto (corrigidos da tendência instrumental), o índice de intensidade de cintilação ionosférica (S4) e a elevação para cada satélite visível. Levou-se também em consideração o índice diário de atividade geomagnética (Σkp).

RESULTADOS

Os gráficos presentes na Fig. 3 apresentam as discrepâncias planimétricas calculadas para as soluções de PPP (IBGE-PPP e RTKLIB). A linha tracejada representa o horário do tremor em UTC (Coordinated Universal Time), tendo ocorrido às 06:34 UTC.

A Fig. 4 apresenta apenas os resultados do TEC obtidos a partir dos sinais recebidos pelos satélites 20 e 23 para a estação SANT.

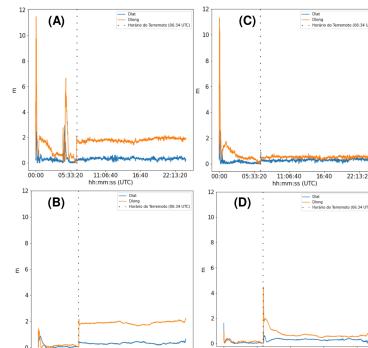


Figura 3 – Plot das discrepâncias planimétricas para estação ANTC (A) IBGE-PPP e (B) RTKLIB e estação ANTC (C) IBGE-PPP e (D) RTKLIB

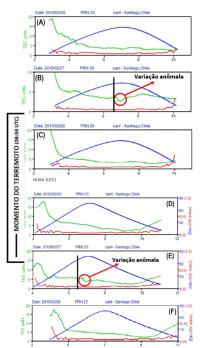


Figura 4 – TEC ionosférico para o satélite 20 e 23 da estação SANT.

ANÁLISES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O PPP e as estimativas de TEC são alternativas com potencial para identificação de assinaturas sísmicas. Estudos similares corroboram com essa ideia (KOUBA, 2003; LIU et al., 2004; GU & WANG, 2014). Nesse estudo, as discrepâncias do posicionamento apresentaram maior variação da componente longitudinal (E-W) (Fig. 3), como constatado também na pesquisa de Montecino et al. (2017). Essa movimentação está possivelmente associada à direção de subducção da placa de Nazca em relação a placa Sul-Americana (HAYES et al., 2017). O terremoto de Maule ocorreu em dia de baixa atividade geomagnética e baixo nível cintilação ionosférica. Dessa forma, ainda que seja necessário analisar mais detalhadamente, os comportamentos observados (Fig. 4) podem indicar uma resposta ionosférica ao terremoto.