

## EFEITO DO ECLIPSE SOLAR DE 14 DE DEZEMBRO DE 2020 SOBRE O POSICIONAMENTO POR PONTO SIMPLES COM GNSS

MATHEUS ALBUQUERQUE DE MELO<sup>1</sup>, WAGNER CARRUPT MACHADO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Uberlândia – matheus.albuquerque@ufu.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Uberlândia – wagnercarrupt@ufu.br

O atraso na propagação dos sinais GNSS (*Global Navigation Satellite Systems* – Sistema Global de Navegação por Satélite) provocado pela sua passagem através da ionosfera é diretamente proporcional ao TEC (*Total Electron Contents* - Conteúdo Total de Elétrons) e inversamente proporcional à frequência do sinal. Portanto, estimando-se o TEC, que permite sondar o nível de ionização da ionosfera, é possível corrigir as observações GNSS e obter posicionamentos mais acurados [1]. Uma estratégia para possibilitar a utilização de valores de TEC no posicionamento em tempo real é desenvolver modelos de previsão. A formação da ionosfera está associada à incidência das radiações solar e cósmica sobre os gases presentes na atmosfera da Terra, sendo que a primeira exerce influência preponderante neste processo [2]. Consequentemente, a ionização da atmosfera da Terra varia principalmente com relação ao nível de atividade solar, à localização (latitude e longitude), à estação do ano e à altitude. Recentemente, os sinais GNSS tem sido utilizados para estudar os efeitos de eclipses solares sobre a ionosfera [3] e [4]. Nesse contexto, é crucial compreender os efeitos dos eclipses solares sobre a ionosfera, bem como seu impacto no posicionamento GNSS. Isto possibilita avaliar se tais fenômenos devem ser considerados em modelos de previsão do TEC. O objetivo desta pesquisa é investigar o efeito do eclipse solar total de 14 de dezembro de 2020, o qual foi observado em boa parte da América do Sul, sobre a ionosfera e seu impacto no posicionamento por ponto simples. Para realizar esta pesquisa, foram utilizados dados GNSS dos dias 13, 14 e 15 de dezembro de 2020 de três estações pertencentes à RAMSAC (*Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo*) [5], as quais se encontram próximas à trajetória do eclipse solar, sendo elas: PATA, SICO e SMAN, localizadas em Carmen de Patagones, Rio Negro e Neuquém, respectivamente. Foram feitas duas análises: uma sobre a variação nos valores do VTEC (*Vertical Total Electron Contents* - Conteúdo Total de Elétrons na Vertical) e outra na variação do posicionamento por ponto simples tridimensional. O VTEC foi calculado a partir das observações GPS (*Global Positioning System* – Sistema de Posicionamento Global) com o software GPS-TEC [6], enquanto o posicionamento tridimensional foi calculado com o software PinPoint [7]. A análise da variação do posicionamento foi realizada a partir das diferenças das coordenadas tridimensionais calculadas pelo IGN (Instituto Geográfico Nacional) e das coordenadas calculadas com o software Pinpoint a cada 5 minutos ( $\Delta_{3d}$ ). Valores médios de VTEC e de  $\Delta_{3d}$  entre os dias 13 e 15 de dezembro foram comparados com os valores do dia 14 do mesmo mês. Rotinas em Python foram desenvolvidos para o processamento e análise dos dados, além da criação de gráficos. Linhas vermelhas foram adicionadas aos gráficos para facilitar a identificação do início, horário de máximo e fim do eclipse solar. Os horários do eclipse solar variaram de estação para estação devido à variação longitudinal entre elas. Para determiná-los foi utilizada a calculadora de horário do eclipse solar disponível em [8], resultando nos horários apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Horário do eclipse em cada estação

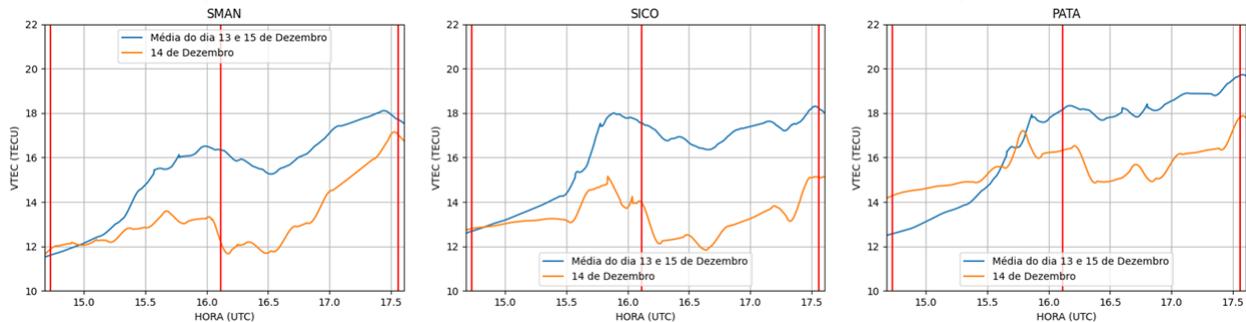
Estação	Horário do Eclipse (UTC)		
	Início	Máximo	Fim
PATA	14:58:43.4	16:24:05.6	17:49:42.7
SICO	14:50:04.2	16:14:05.6	17:40:27.0
SMAN	14:43:52.5	16:06:42.9	17:33:19.9

Fonte: Autor (2023)

A figura 1 apresenta uma comparação entre os valores de VTEC registrados no dia 14 de dezembro e a média dos valores de VTEC registrados nos dias 13 e 15 nas três estações. É possível notar uma queda nos valores de VTEC no dia e na hora do eclipse solar em todas as estações, representados pela linha laranja. As diferenças máximas entre o VTEC do dia 14 e do VTEC médio entre os dias 13 e 15 foram de aproximadamente 4.37, 4.87 e 3.20 TECU (unidades de TEC =  $10^{16}$  el/m<sup>2</sup>) nas estações SMAN, SICO e PATA, respectivamente. O impacto desta diminuição de ionização no posicionamento por ponto simples pode ser visto na figura 2, na qual se observa diminuição do  $\Delta_{3d}$ , com diferenças máximas de 2.92m, 2.65m e 3.8m nas estações SMAN, SICO e PATA, respectivamente. Os resultados mostram que houve diminuição nos valores do VTEC e das diferenças de posicionamento tridimensional durante o eclipse solar nas três estações, indicando

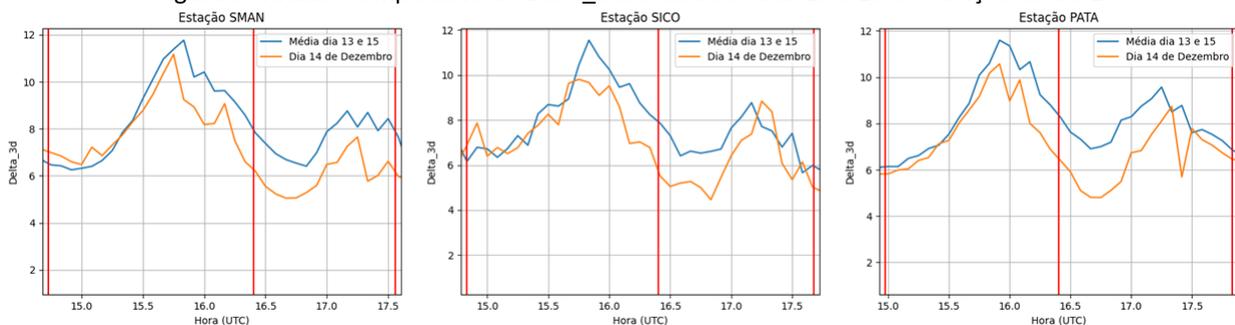
uma redução na densidade de elétrons e, por conseguinte, uma melhoria na qualidade do posicionamento por ponto simples. Além disso, a análise dos resultados revelou que a influência do eclipse solar variou de estação para estação, indicando a necessidade de se avaliar os efeitos do eclipse solar em diferentes regiões. Por fim, os resultados preliminares permitem inferir que o efeito de eclipses solares devem ser levados em consideração em modelos de previsão do TEC, devido às diferenças no posicionamento tridimensional que podem chegar na ordem métrica. Como trabalho futuro, pretende-se estudar os efeitos do eclipses solar investigado nesta pesquisa em estações GNSS localizadas a norte e sul da linha de trajetória do eclipse solar para verificar a área de influência deste fenômeno.

Figura 1 - Análise comparativa do VTEC: média dos dias 13 e 15 em relação ao dia 14



Fonte: Autor (2023)

Figura 3 - Análise comparativa do Delta\_3d: média dos dias 13 e 15 em relação ao dia 14



Fonte: Autor (2023)

**Palavras-chaves:** Eclipse Solar. Ionosfera. GNSS. VTEC. Posicionamento por ponto simples.

### Referências

- [1] MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: UNESP, 2008.
- [2] BRUM, C. G. M. et al. Modelo numérico da baixa ionosfera. **9TH International Congress of the Brazilian Geophysical Society**, 2005. v. 1. p. 445.
- [3] MAURYA, A.K., SHRIVASTAVA, M.N. & KUMAR, K.N. Ionospheric monitoring with the Chilean GPS eyeball during the South American total solar eclipse on 2nd July 2019. **Sci Rep** 10, 19380 (2020). doi: 10.1038/s41598-020-75986-7.
- [4] SHRIVASTAVA, M.N., MAURYA, A.K. & KUMAR, K.N. Ionospheric perturbation during the South American total solar eclipse on 14th December 2020 revealed with the Chilean GPS eyeball. **Sci Rep** 11, 20324 (2021). doi: 10.1038/s41598-021-98727-w.
- [5] IGN RAMSAC – **Red Argentina de Monitoreo Satelital Contínuo**. Disponível em: <<https://www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/Geodesia/Ramsac>>. Acesso em: mar. 2023.
- [6] SEEMALA, G. K. **GPS-TEC analysis application**. Tech. Rep. (2011). Disponível em: <<https://seemala.blogspot.com/2017/09/gps-tec-program-ver-295.html>>. Acesso em 12 mar. 2023.
- [7] ABREU JUNIOR, J. R. ; MACHADO, W. C. . **DESEMPENHO DE MAPAS DE IONOSFERA REGIONAIS PREDITOS COM REDES NEURAIAS NO POSICIONAMENTO POR PONTO SIMPLES**. In: XII COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA, 2022, Curitiba. INFORMAÇÕES GEOESPACIAIS PARA O MONITORAMENTO DO SISTEMA TERRA VISANDO O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2022.[7]
- [8] JUBIER, X. M. **Local Circumstances Calculator (v1.0.6)**. Disponível em: <[http://xjubier.free.fr/en/site\\_pages/SolarEclipseCalc\\_Diagram.html](http://xjubier.free.fr/en/site_pages/SolarEclipseCalc_Diagram.html)>. Acesso em: mar 2023.