

## INÍCIO DA OPERAÇÃO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA STSH DA REDE INCT GNSS-NavAer NO MUNICÍPIO DE SANTA HELENA/PR E ANÁLISE LOCAL DAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS

VINÍCIUS A. S. PEREIRA<sup>1</sup>, PABLO H. FINKEN<sup>2</sup>,  
GILVAN M. BERTOLLO<sup>3</sup>, FABRÍCIO C. DE OLIVEIRA<sup>3</sup>,  
THARSOS H. GIOVANELLA<sup>2</sup>, ALISON DE MEIRA RAMOS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Cartógrafo, Prof. Dr., Curso de Agronomia, UTFPR, Santa Helena - PR, Fone: (0XX45) 3268.8818, ypereira@utfpr.edu.br

<sup>2</sup> Graduando em Agronomia, UTFPR, Santa Helena - PR

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Dr., Curso de Agronomia, UTFPR, Santa Helena - PR

Apresentado no  
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2020  
23 a 25 de novembro de 2020 – Congresso On-line

**RESUMO:** Atualmente composta por 16 estações GNSS (*Global Navigation Satellite System*) implantadas no território brasileiro (agosto/2020), a rede INCT GNSS-NavAer é equipada com receptores Septentrio do tipo PolaRxS-PRO e PolaRx5S. A mais recente destas estações é a STSH (24° 50' 49,18379"S; 54° 20' 39,70810"W; altitude geométrica 251,572 m), localizada na UTFPR/Santa Helena, que teve início de operação em 6 de dezembro de 2019. O oeste paranaense é caracterizado por estar na transição entre as regiões de baixas e médias latitudes, local este propício para a ocorrência de irregularidades ionosféricas. Com o objetivo de analisar localmente tais irregularidades foram estimados os valores do índice ROTI, que apresentaram intensidade moderada durante o período 22-4h TU (Tempo Universal) dos dias 13 a 16 de janeiro de 2020. A identificação das irregularidades permite a exclusão dos sinais dos satélites durante tais períodos (*screening*). Experimento verificou uma melhora de até 6,9% na precisão planimétrica e de até 42,5% na altimétrica quando se compara os resultados com e sem *screening*. Assim, além de servir de estação de referência, a STSH se comporta também como uma base de monitoramento dos efeitos ionosféricos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geodésia, GPS, ionosfera

### START OF THE STSH GEODETIC STATION OF THE INCT GNSS-NavAer NETWORK IN SANTA HELENA/PR AND LOCAL ANALYSES OF THE IONOSPHERIC IRREGULARITIES

**ABSTRACT:** Currently composed of 16 GNSS (*Global Navigation Satellite System*) stations deployed in the Brazilian territory (August/2020), the INCT GNSS-NavAer network is equipped with Septentrio PolaRxS-PRO and PolaRx5S receivers. The most recent of these stations is the STSH (24° 50' 49.18379"S; 54° 20' 39.70810"W; geometric altitude 251.572 m), located at UTFPR Santa Helena campus, which started operating on December 6, 2019. The west of Parana state is characterized by being in transition between the regions of low and medium latitudes, a suitable place for the occurrence of ionospheric irregularities. In

order to locally analyze such irregularities, the values of the ROTI index were estimated, which presented moderate intensity during the period 22-4h UT (Universal Time) of January 13-16, 2020. The identification of irregularities allows the exclusion of signals from satellites during such periods (screening). Experiment verified an improvement of up to 6,9% in planimetric precision and up to 42,5% in altimetric when comparing data processing with and without screening. Thus, in addition to serving as a reference station, the STSH also behaves as a monitoring base of ionospheric effects.

**KEYWORDS:** Geodesy, GPS, ionosphere

**INTRODUÇÃO:** O Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia “Tecnologia GNSS no Suporte à Navegação Aérea” (INCT GNSS-NavAer – <http://inct-gnss-नाव्वाेर.فct.unesp.br/pt/>) consiste no mais importante projeto brasileiro para a compreensão dos efeitos da camada ionosférica sobre os sinais GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e na navegação aérea da atualidade. Fomentado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), o projeto de cooperação multi-institucional teve início em janeiro de 2017, sendo composto pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), câmpus Presidente Prudente, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), câmpus Presidente Epitácio, bem como outras instituições que colaboram, tais como a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Santa Helena (INCT GNSS-NavAer, 2020a). Entre as mais variadas atividades do INCT está a instalação de receptores GNSS pelo território brasileiro, de modo a estabelecer uma rede de monitoramento das atividades ionosféricas. Composta por 16 estações (agosto/2020) (Figura 1), a rede é equipada com receptores da empresa belga Septentrio, modelos PolaRxS-PRO e PolaRx5S, que proporcionam vários parâmetros específicos da ionosfera (INCT GNSS-NavAer, 2020b).

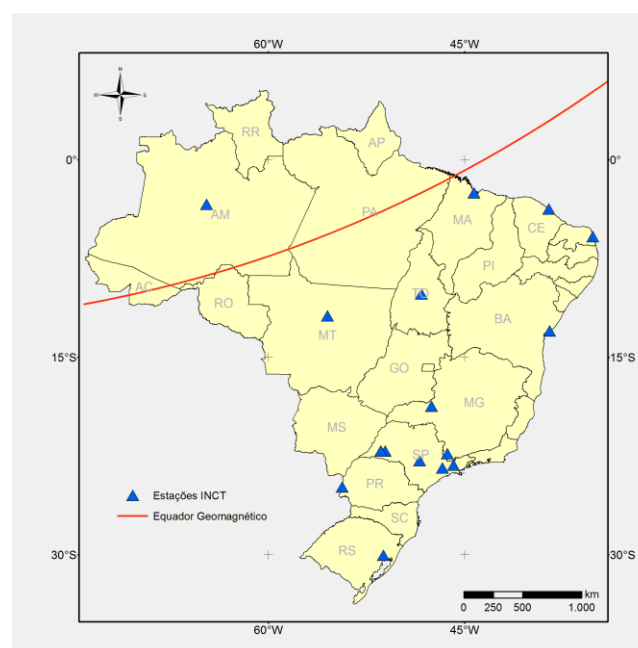


FIGURA 1. Rede INCT GNSS-NavAer (agosto/2020).

Os dados de todas as estações, bem como análises quantitativas e qualitativas, podem ser obtidos através do *software web* ISMR Query Tool (<http://ismrquerytool.fct.unesp.br/is/>) (VANI et al., 2017). A mais recente destas estações é a STSH (-24° 50' 49,18379"; -54° 20' 39,70810"; altitude geométrica 251,572 m), localizada no teto do edifício do curso de Agronomia da UTFPR câmpus Santa Helena, que teve início de operação em 6 de dezembro de 2019 (Figura 2).



FIGURA 2. Antena Septentrio PolaNt\* MC, receptor Septentrio PolRx5S e localização aproximada da estação STSH.

Com relação à escolha do município de Santa Helena tem-se que o oeste do estado do Paraná é caracterizado por estar na transição entre as regiões de baixas e médias latitudes, local este propício para a ocorrência de irregularidades ionosféricas (perturbações na densidade do plasma ionosférico) (PEREIRA; CAMARGO; 2017). Quando o sinal GNSS se propaga através dessas regiões de irregularidades ocorre a cintilação ionosférica, que são flutuações da amplitude e/ou fase de uma onda eletromagnética, ocasionando o enfraquecimento e, em alguns casos, a perda de sintonia do sinal (WEBSTER, 1993). Assim, tecnologias que fazem o uso de posicionamento por satélites (como na Agricultura de Precisão) são seriamente afetadas, principalmente após o pôr do Sol até 1 hora local. Nesse sentido, foi realizada uma análise local das ocorrências das irregularidades ionosféricas em Santa Helena/PR durante 50 dias do verão (2019/2020), com o objetivo de obter coordenadas mais precisas.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi dividido em duas etapas: 1) monitoramento local das irregularidades ionosféricas e 2) determinação das coordenadas e respectivas precisões da estação STSH, considerando os horários de ocorrências de moderadas irregularidades. Na primeira etapa, para os primeiros 50 dias de dados da STSH, foram estimados os valores do índice ROTI (PI et al., 1997), considerando uma máscara de elevação de 35° (visando minimizar os efeitos de multicaminho). Para isso fez o uso do programa científico Ion\_Index (<https://www.fct.unesp.br/#!/pesquisa/grupos-de-estudo-e-pesquisa/gege/software/>), no modo pós-processado (PEREIRA; CAMARGO, 2016). O ROTI (equação 1) é determinado a partir do ROT (*Rate of Change of TEC*):

$$\text{ROTI} = \sqrt{\langle \text{ROT}^2 \rangle - \langle \text{ROT} \rangle^2} \quad (1)$$

em que  $\langle \rangle$  representa a média e o ROT, por sua vez, estimado utilizando as medidas de fase das portadoras L1 e L2 do GPS (*Global Positioning System*), por exemplo, conforme apresenta a equação 2:

$$\text{ROT} = \frac{9,52 \cdot 10^{16} \left[ \lambda_{L2} (\Phi_{rL2t_2}^s - \Phi_{rL2t_1}^s) - \lambda_{L1} (\Phi_{rL1t_2}^s - \Phi_{rL1t_1}^s) \right]}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

onde:

- $\lambda_{L1}$  e  $\lambda_{L2}$  - comprimento da onda portadora L1 (0,19029 m) e L2 (0,24421 m);
- $\Phi_{rL1}^s$  e  $\Phi_{rL2}^s$  - medida da fase da portadora em ciclos da L1 e L2; e
- $t_1$  e  $t_2$  - épocas consecutivas 1 e 2.

Salienta-se que o índice ROTI possui resolução temporal de cinco minutos. Uma vez determinada a intensidade das irregularidades para as 50 datas verificou-se quais foram os períodos em que as mesmas foram classificadas como moderadas ( $0,05 < \text{ROTI} < 0,20$ ) (PEREIRA; CAMARGO, 2014). Assim, para os períodos identificados e utilizando o *software* de processamento Topcon Tools foram estimadas as coordenadas planimétricas (E, N) e altimétrica (altitude geométrica - h), bem como as respectivas precisões, da estação STSH para dois cenários: a) considerando todos os sinais dos satélites disponíveis (sem *screening*) e b) excluindo os sinais dos satélites durante as ocorrências das irregularidades (com *screening*). Salienta-se foi realizado o posicionamento relativo estático considerando as estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS) PRCV (Cascavel/PR), ITAI (Foz do Iguaçu/PR) e MSMN (Mundo Novo/MS) como referência (injunção relativa) no processamento.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Devido ser um período de declínio do ciclo solar 24, conforme se verifica pelo baixo número de manchas solares (Figura 3), as intensidades das irregularidades foram classificadas como fracas para quase a totalidade das datas analisadas.

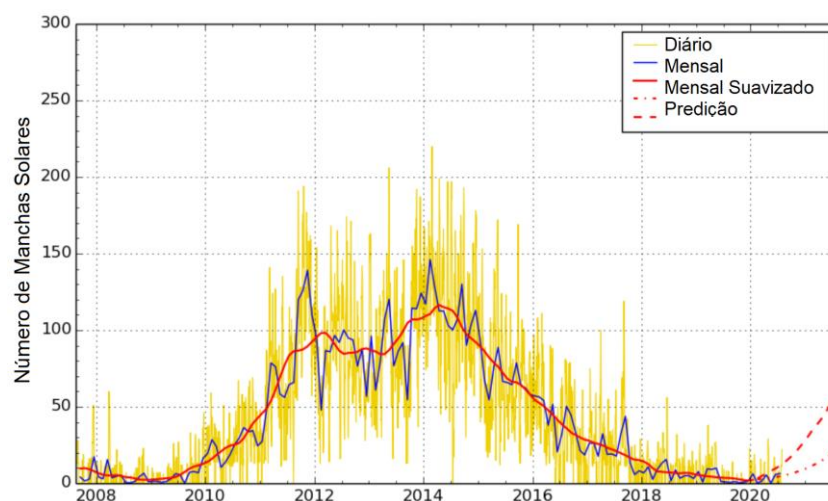


FIGURA 3. Número de manchas solares do ciclo solar 24. Fonte: Adaptado de <http://sidc.oma.be/html/wolfjmmms.html>. Acesso em: 12 ago. 2020.

A exceção ocorreu para os dias 13, 14, 15 e 16 de janeiro de 2020, que apresentaram irregularidades moderadas durante o período 22-4h TU (Tempo Universal), que corresponde a 19-1h hora local, conforme mostra a Figura 4.

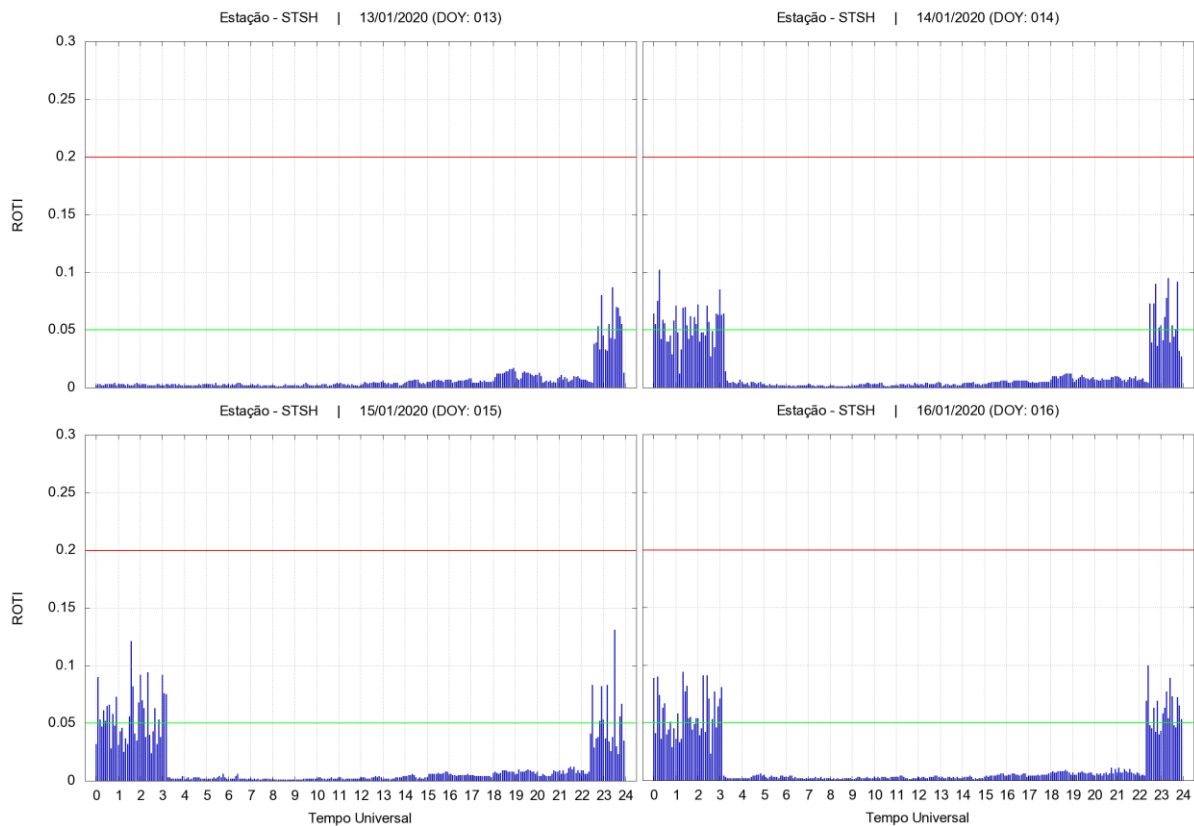


FIGURA 4. Valores do índice de irregularidades ROTI da estação STSH referentes aos dias 13, 14, 15 e 16 de janeiro de 2020. A linha verde representa o limiar entre baixa e moderada irregularidades e a linha vermelha entre moderada e forte irregularidades ionosféricas.

Dessa forma, para os quatro dias supracitados foram estimados as coordenadas planimétricas (E, N) e altimétrica (h), bem como as respectivas precisões, da estação STSH com e sem *screening*, levando em consideração o período 22-4h TU. Os resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

TABELA 1. Coordenadas planimétricas e altimétricas com e sem *screening* obtidas com o *software* Topcon Tools, referentes ao processamento dos dados da estação STSH para os dias 13, 14, 15 e 16 de janeiro de 2020.

Data	sem <i>screening</i>			com <i>screening</i>		
	E [m]	N [m]	h [m]	E [m]	N [m]	h [m]
13/01	768373,0262	7249379,3759	251,594	768373,0206	7249379,3830	251,612
14/01	768373,0266	7249379,3799	251,574	768373,0194	7249379,3800	251,576
15/01	768373,0135	7249379,3867	251,642	768373,0150	7249379,3878	251,646
16/01	768373,0221	7249379,4026	251,510	768373,0242	7249379,4007	251,520

TABELA 2. Comparação das precisões planimétricas e altimétricas com e sem *screening* obtidas com o *software* Topcon Tools, referentes ao processamento dos dados da estação STSH para os dias 13, 14, 15 e 16 de janeiro de 2020.

Data	$\sigma_{\text{planimétrico}}$ [m]			$\sigma_{\text{altimétrico}}$ [m]		
	sem <i>screening</i>	com <i>screening</i>	melhora	sem <i>screening</i>	com <i>screening</i>	melhora
13/01/2020	0,0141	0,0132	6,4%	0,0230	0,0230	0,0%
14/01/2020	0,0145	0,0135	6,9%	0,0260	0,0240	7,7%
15/01/2020	0,0132	0,0128	3,0%	0,0220	0,0220	0,0%
16/01/2020	0,0152	0,0146	3,9%	0,0400	0,0230	42,5%

O experimento realizado verificou uma melhora de até 6,9% na precisão planimétrica e de até 42,5% na precisão altimétrica quando se compara o processamento dos dados com e sem *screening*. Ressalta-se que é necessário o processamento de um maior conjunto de dados, contemplando variações sazonais. Tal atividade, de simplesmente excluir satélites com sinais degradados, permite o usuário obter coordenadas mais precisas utilizando qualquer *software*, seja comercial ou científico.

**CONCLUSÕES:** Os resultados iniciais obtidos são de grande importância, principalmente devido a região de Santa Helena e o leste do Paraguai serem grandes produtores de grãos e a Agricultura de Precisão ser uma realidade cada vez mais disponível aos médios e grandes produtores. Assim, além de servir como estação de referência para o posicionamento relativo estático e cinemático, principalmente para RTK (*Real Time Kinematic*), a estação STSH se comporta também como uma base de monitoramento dos efeitos ionosféricos para a região.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem ao INCT GNSS-NavAer, financiado pelo CNPq (processo 465648/2014-2), FAPESP (processo 2017/50115-0) e CAPES (processo nº 88887.137186/2017-00) pelo fornecimento dos dados GNSS, bem como à Fundação Araucária pela bolsa de Iniciação Científica e a UTFPR pelo ambiente de trabalho.

## REFERÊNCIAS:

INCT GNSS-NavAer. **Tecnologia GNSS no Suporte à Navegação Aérea**. 2020a. Disponível em: <<http://inct-gnss-नावर.फक्त.उनेसप.ब्र/पत/>>. Acesso em: 30 jan. 2020.

INCT GNSS-NavAer. **Rede de Estações de Monitoramento Contínuo da Cintilação Ionosférica**. 2020b. Disponível em: <<http://inct-gnss-नावर.फक्त.उनेसप.ब्र/पत/नोटिस/एस्टाकोए-डे-मोनितोरामेन्तो-कन्तुनुओ-दा-कन्तिलाओ-इओन्सफेरिका.फहप>>. Acesso em: 27 jan. 2020.

PEREIRA, V. A. S.; CAMARGO, P. O. **Padrões para classificação dos índices de irregularidades da ionosfera: IROT e ROTI**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 5., 2014, Recife. *Anais...* Recife: UFPE, 2014.

PEREIRA, V. A. S.; CAMARGO, P. O. Programa científico para o monitoramento em tempo real ou pós-processado das irregularidades ionosféricas e cintilação dos sinais GNSS. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 2, pp. 282-302, 2016.

PEREIRA, V. A. S.; CAMARGO, P. O. Brazilian active GNSS networks as systems for monitoring the ionosphere. **GPS Solutions**, v. 21, n. 3, pp. 1013-1025, 2017.

PI, X.; MANNUCCI, A. J.; LINDQWISTER, U. J.; HO, C. M. Monitoring of global ionospheric irregularities using the worldwide GPS network. **Geophysical Research Letters**, v. 24, n. 18, pp. 2283-2286, 1997.

VANI, B. C.; SHIMABUKURO, M. H.; MONICO, J. F. G. Visual exploration and analysis of ionospheric scintillation monitoring data: the ISMR query tool. **Computers & Geosciences**, v. 104, p. 125-134, 2017.

WEBSTER, I. R. **A regional model for prediction of ionospheric delay for single frequency users of the Global Positioning System**. Thesis University of New Brunswick, 1993.