

I Workshop da RBMC

19 de junho de 2013

MundoGEO#Connect LatinAmerica 2013

A Contribuição da RBMC na Estimativa de Índices de Irregularidades da Ionosfera

Eng. Cart. Vinícius Amadeu Stuani Pereira

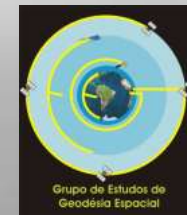
Mestrando do PPGCC – FCT/UNESP

vi_stuani@hotmail.com

Prof. Dr. Paulo de Oliveira Camargo

Departamento de Cartografia – FCT/UNESP

paulo@fct.unesp.br



SUMÁRIO

- Introdução
- Ionosfera, TEC e ROT
- Índices de Irregularidades da Ionosfera
- Experimentos, Resultados e Análises
- Considerações e Conclusões
- Agradecimentos
- Referências Bibliográficas

INTRODUÇÃO

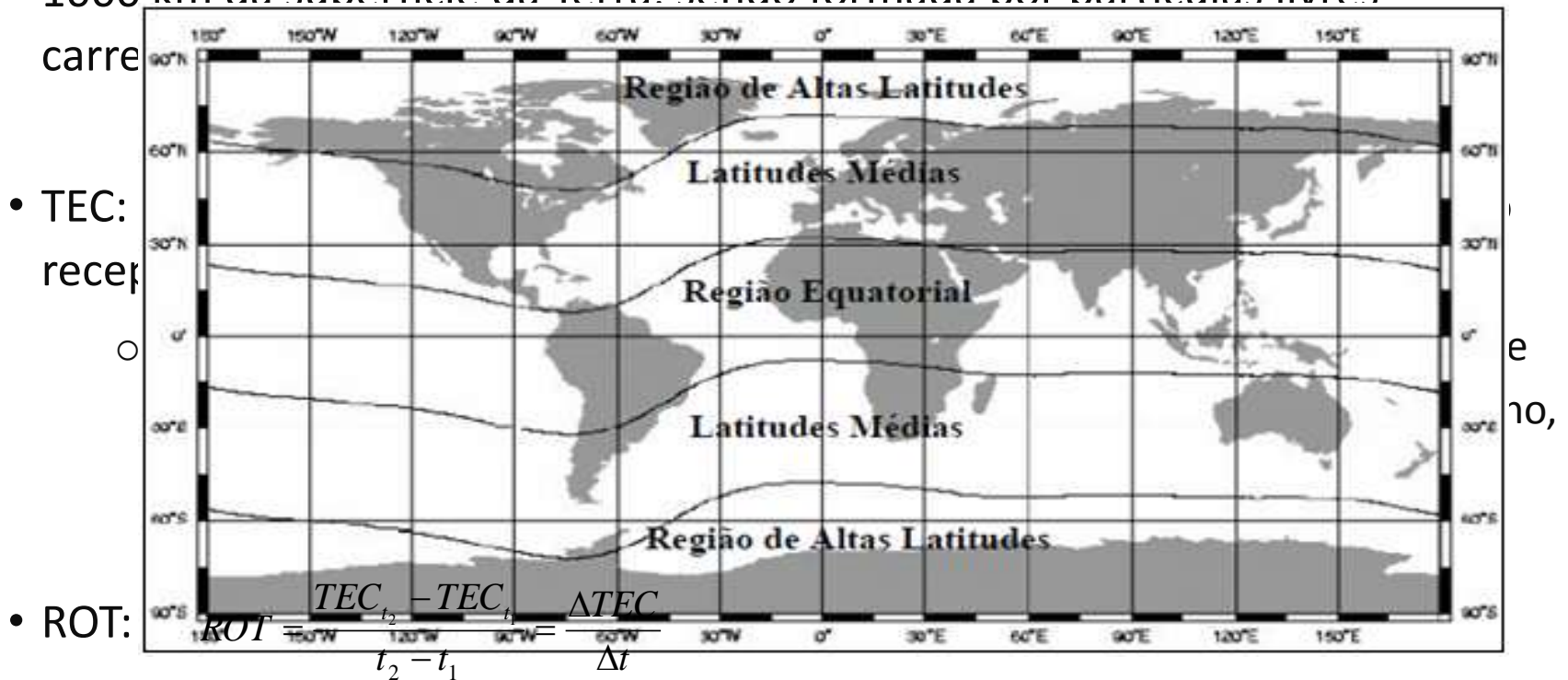
- Ionosfera -> Conteúdo Total de Elétrons (TEC)
 - TEC varia no tempo e no espaço, devido ao fluxo de ionização solar, atividade geomagnética, ciclo de manchas solares, ângulo zenital do Sol, estação do ano, hora local, localização geográfica.
- Receptores de dupla frequência -> eliminar o efeito de 1ª ordem (L1 e L2), calcular o TEC e o erro nas observáveis;
- Receptores de uma frequência -> modelos ionosféricos (regionais ou globais);
- Estudos no Brasil - > Redes Ativas: RBMC/IBGE e Rede GNSS-SP;
- Dados da RBMC -> calcular TEC, ROT (*rate of TEC*), mapas da ionosfera;

INTRODUÇÃO

- A partir do ROT pode-se determinar vários índices que indicam irregularidades da ionosfera:
 - f_p , F_p (MENDILLO; LIN; AARONS, 2000);
 - I_{ROT} (WANNINGER, 1993);
 - ROTI (PI et al., 1997).
- Os índices de irregularidades permitem fazer inferências sobre o comportamento da ionosfera, bem como auxiliar no planejamento e/ou análise dos resultados dos levantamentos com GNSS.

IONOSFERA, TEC E ROT

- Ionosfera: parte ionizada da atmosfera terrestre, situada numa faixa a partir de, aproximadamente, 50 km de altitude e se estende até uma altitude de 1000 km da superfície da Terra, sendo formada por partículas livres



INDÍCES DE IRREGULARIDADES DA IONOSFERA

- Índice f_p (*phase fluctuation*) (MENDILLO; LIN; AARONS, 2000):
 - Mediana dos ROT's para um período de 15 min, sendo os ROT's estimados a cada min;
 - Calculado p/ cada satélite de uma determinada estação;
 - Sempre ≥ 0 ;
 - Mediana elimina os picos de ruídos;
 - Representa a resolução espacial das irregularidades;

$$f_p(n, hr, i) = \text{Mediana} \left| \frac{\Delta TEC}{\min} \right|$$

INDÍCES DE IRREGULARIDADES DA IONOSFERA

- Índice F_p (MENDILLO; LIN; AARONS, 2000):
 - Calculado para cada estação, para cada hora;
 - Valor médio de f_p de todos os satélites observados em uma estação dentro de uma hora;
 - Retrata o nível geral de irregularidades presentes na vizinhança de uma determinada estação;

$$F_p(hr) = \frac{\sum_n^{nsat} \left[\sum_i^k f_p(n, hr, i) / k \right]}{nsat(hr)} * 1000$$

$F_p \leq 50$: baixos níveis de irregularidades;

$50 < F_p \leq 200$: presença de irregularidades moderadas; e

$F_p > 200$: níveis de irregularidades muito fortes.

INDÍCES DE IRREGULARIDADES DA IONOSFERA

- Índice I_{ROT} (WANNINGER, 1993):

- 30 seg de dados GNSS podem ser utilizados para caracterizar “cintilações da fase” como um diagnóstico de irregularidades ionosféricas;
- Calculado a cada 15 min:

$$I_{ROT} = 10RMS \left(\frac{\overline{\Delta TEC}}{\text{min}} \right)$$

$I_{ROT} \leq 0,5$: baixos níveis de irregularidades;

$0,5 < I_{ROT} \leq 2,0$: presença de irregularidades moderadas;

$I_{ROT} > 2,0$: níveis de irregularidades muito fortes (PEREIRA, 2013).

INDÍCES DE IRREGULARIDADES DA IONOSFERA

- Índice ROTI (PI et al., 1997):
 - Flutuações em pequena escala não estavam sendo identificadas nos índices já existentes;
 - Calculado para um período de 5 min:

$$ROTI = \sqrt{\langle ROT^2 \rangle - \langle ROT \rangle^2}$$

ROTI \leq 0,05 : baixos níveis de irregularidades;

0,05 < ROTI \leq 0,20 : presença de irregularidades moderadas;

ROTI > 0,20 : níveis de irregularidades muito fortes (PEREIRA, 2013).

EXPE

- TEC's foram estações de
- A partir dos
- Foram dete períodos:
 - 21/11/
 - 28/10/
- Para fins de
 - RECF (
 - CUIB (l
 - SMAR



ÁLISES

NEX das

OTI;

ra dois

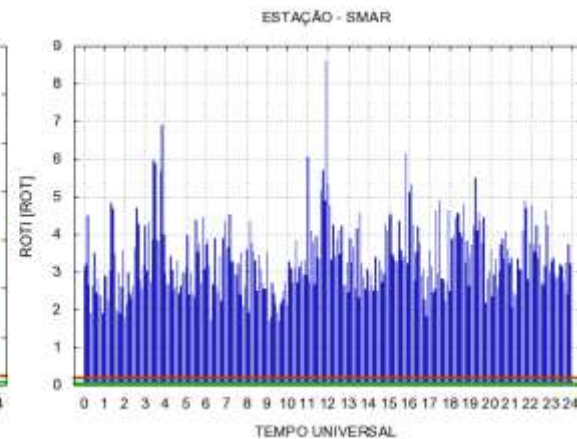
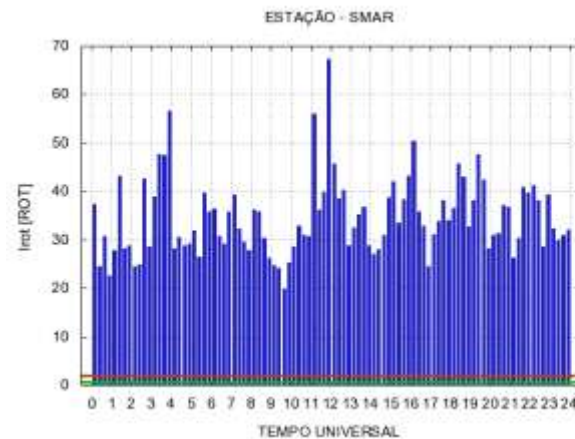
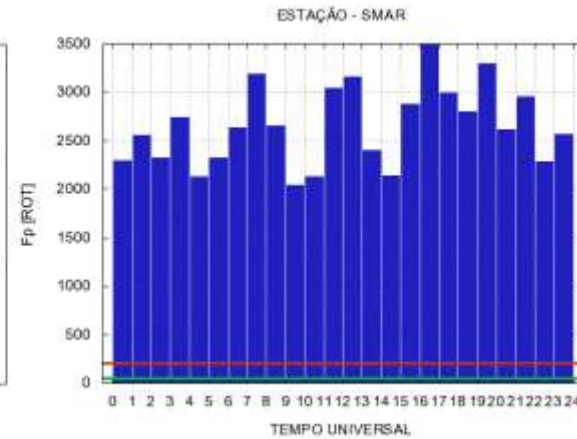
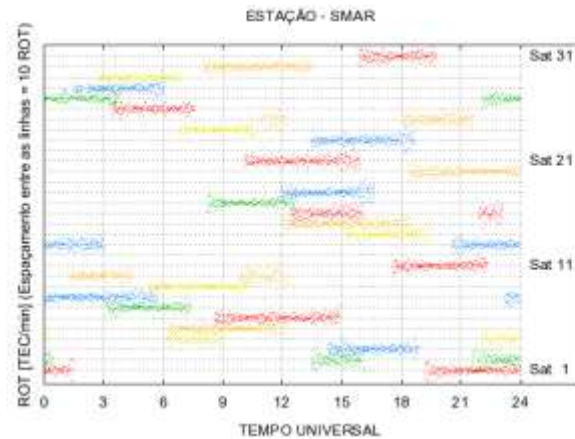
).

3 estações:

EXPERIMENTOS, RESULTADOS E ANÁLISES

21/11/2007

28/10/2003



EXPERIMENTOS, RESULTADOS E ANÁLISES

- Para o período de baixa atividade solar (21/11/2007), tanto para estações localizadas em latitudes baixas quanto médias, os valores de ROT foram mínimos, acarretando em índices de irregularidades que indicam pouca atividade da ionosfera;
- Em relação ao índice F_p , os valores obtidos para as estações RECF e SMAR não foram superiores a 50, que representam baixos níveis de irregularidades; para a estação CUIB, que provavelmente estava debaixo do pico sul da AIE, os valores variaram de 25 a 75, indicando baixos e moderados níveis de irregularidades. Análise análoga foi realizada para os índices I_{ROT} e ROTI, sendo obtidas as mesmas classificações da ionosfera para as estações em estudo;

EXPERIMENTOS, RESULTADOS E ANÁLISES

- Para o período de alta atividade solar (28/10/2003) os valores dos ROT's foram elevados, que por sua vez proporcionou índices de irregularidades da ionosfera alarmantes;
- As estações RECF e CUIB, por estarem localizadas próximas a crista Sul da AIE, apresentaram os maiores valores de índices em relação à SMAR;
- Com relação ao índice F_p , os valores obtidos para as três estações foram superiores a 2000, que representam elevados níveis de irregularidades. Já para os índices I_{ROT} e ROTI os valores foram superiores a 20 e 2, respectivamente, indicando também fortes níveis de irregularidades.

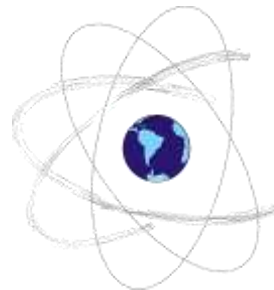
CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES

- I_{ROT} e ROTI: representam/detalham melhor as irregularidades da ionosfera do que o índice F_p , devido ao fato de ambos serem obtidos a partir de períodos de dados menores do que o índice F_o .

The screenshot shows the website of the Faculty of Sciences and Technology at UNESP. The header includes the university logo and name, along with navigation links like 'Página inicial' and 'Fale Conosco'. The main content area is titled 'Softwares' and lists several tools:

- [Ajustamento de Redes GPS \(AJURGPS V1.1\)](#) - [Relatório do AJURGPS](#)
- [Ajustamento de Redes de Nivelamento](#) - (Ajunível V1.0)
- [GPSATORB V1.0](#) - Avaliação da Qualidade das Efemérides Transmitidas e Precisas dos satélites GPS
- [Hatanaka to RINEX](#) (Interface para ambiente Windows que permite transformar arquivos Hatanaka para o formato RINEX). Informações: A partir do programa original, foi criada uma interface para ser usada de forma mais simples pelos usuários.
- **[ION INDEX - v. 1.1](#)** - Estimativa e Visualização de Índices de Irregularidades da Ionosfera
- [ISMR Query Tool](#) - Ferramenta on-line para análise da cintilação ionosférica
- [PPS on-line](#) - Aplicativo on-line para Posicionamento por Ponto Simples (PPS) com dados GPS
- [Posicionamento Relativo GPS - linhas de base curtas \(GPSeq V1.1\)](#)
- [Rinex HO](#) - Rinex Higher Order - Software desenvolvido para corrigir os arquivos RINEX dos efeitos de segunda e terceira ordem da ionosfera.

AGRADECIMENTOS



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARGO, P. O. *Modelo Regional da Ionosfera para uso em Posicionamento com Receptores de uma Frequência*. 1999. 191p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- CAMARGO, P. O. Quality of TEC Estimated with Mod_Ion Using GPS and GLONASS Data. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2009, Article ID 794578, 16 pages doi:10.1155/2009/794578.
- CAMARGO, P. O.; MONICO, J. F. G.; FERREIRA, L. D. Application of Ionospheric Corrections in the Equatorial Region for L1 GPS Users. *Earth Planets And Space*, Japão, v.52, n.11, p.1083-1089, 2000.
- DAVIES, K. *Ionospheric Radio*. London: Peter Peregrinus Ltd., 1990. 580p.
- LEICK, A. *GPS Satellite Surveying*, New York: John Wiley & Sons, 1995. 560p.
- LIN, L. S. A Novel Approach to Improving the Accuracy of Real-Time Ionospheric Delay Estimation Using GPS. *Proceedings of The 10th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation - ION GPS-97*, Kansas City, Sept. 16-19, p.169-178, 1997.
- MATSUOKA, M. T.; COLLISCHONN, C.; KLEIN, I.; CAMARGO, P. O.; PEREIRA, V. A. S. Impacto de tempestade geomagnética na ionosfera e no posicionamento com GNSS: estudo de caso para 20 de novembro de 2003 na região brasileira. *Boletim de Ciências Geodésicas* (impresso), v.19, n.1, p.14-33, 2013.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MATSUOKA, M. T.; CAMARGO, P. O. Cálculo do TEC usando dados de receptores GPS de dupla frequência para produção de mapa da ionosfera para região brasileira. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.56, n.1, p.14-27, 2004.
- McNAMARA, L. F. *The ionosphere: communications, surveillance, and direction finding*. Flórida: Krieger Publishing Company, 1991. 237p.
- MENDILLO, M.; LIN, B.; AARONS, J. The application of GPS observations to equatorial aeronomy. *Radio Science*, v.35, n.3, p.885-904, 2000.
- PEREIRA, V. A. S. *Estimativa, Análise e Disponibilidade de Índices de Irregularidades da Ionosfera Utilizando Dados GPS/GLONASS de Redes Ativas*. 2013. 158f. Relatório (Iniciação Científica), FAPESP – Processo 2011/00986-8, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente.
- 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, p.2283-2286, 1997.
- SEEBER, G. *Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications*. Berlin-New York: Walter de Gruyter, 1993. 531p.
- WANNINGER, L. Ionospheric Monitoring Using IGS Data, paper presented at the *IGS Workshop*, Inst. of Geol. Sci., Bern, Switzerland, March 1993.

OBRIGADO

vi_stuani@hotmail.com