

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

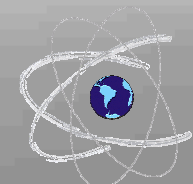
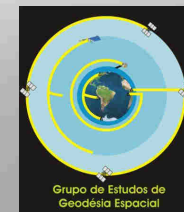
Mestrando do PPGCC – FCT/UNESP

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

carre

- TEC:

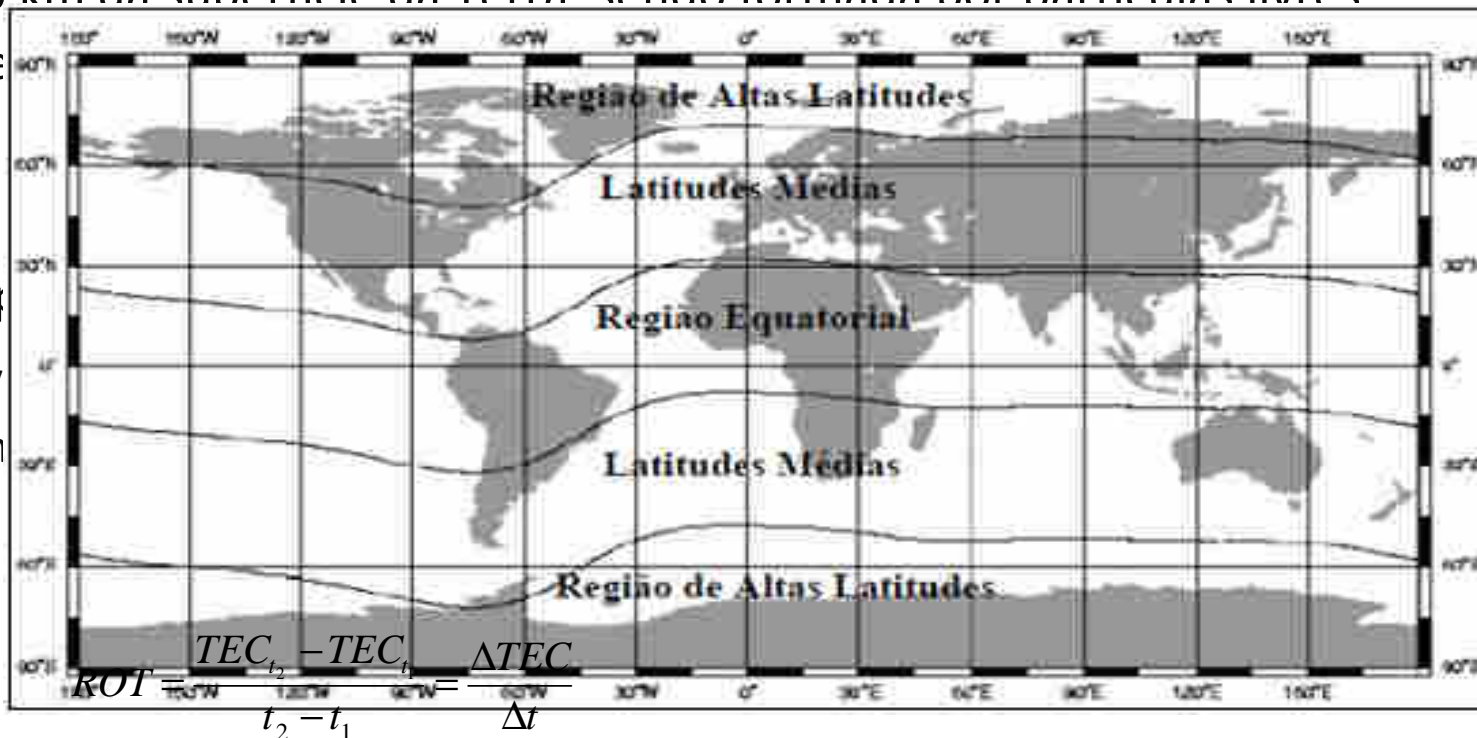
recep

- o TEC v

geom

local,

- ROT:



ra

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 da
- A partir dos
- Foram dete
períodos:
 - 21/11/2007
 - 28/10/2003
- Para fins de
 - RECF (baixa l
 - CUIB (baixa l
 - SMAR (médi

ÁLISES

INEX das

ROTI;

ra dois

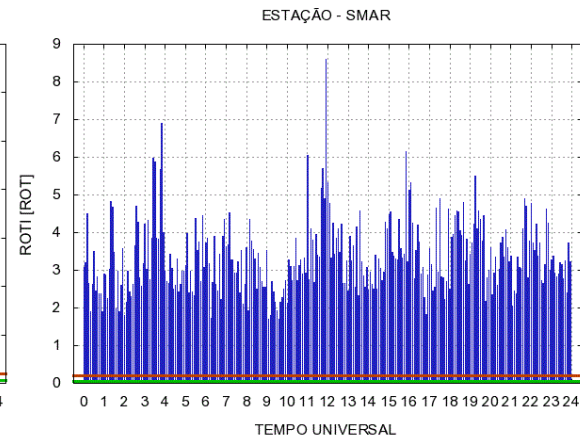
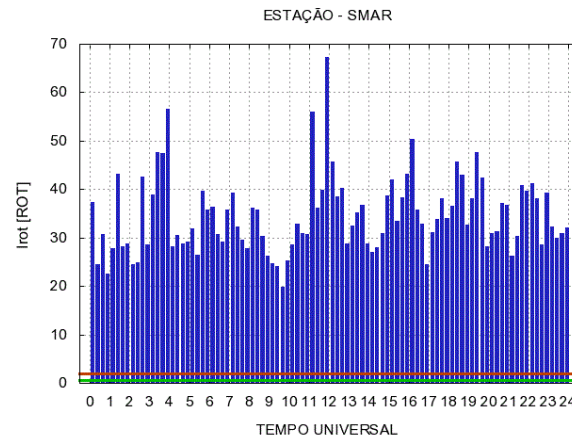
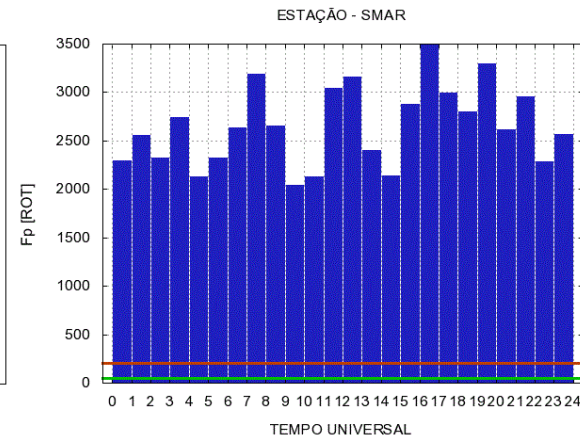
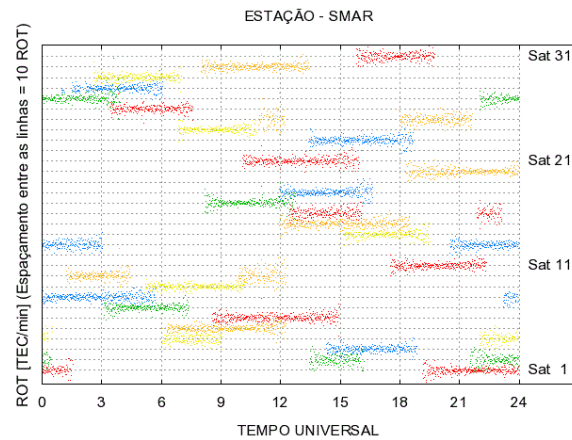
3 estações:



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.

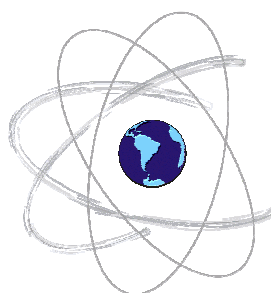
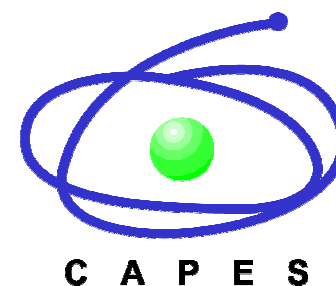
CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES

- 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 .

The screenshot shows the website of the Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) at UNESP, Presidente Prudente. The header includes the UNESP logo and the university's name. The sidebar on the left contains a list of navigation links: Home, Histórico, Laboratórios de Geodésia Espacial, Pesquisadores, Aspectos Teóricos, Projetos, Rede GNSS-SP, Publicações, Softwares, PPS on-line, Weblinks, and Artigos de Geodésia. The main content area is titled 'Softwares' and lists several tools and resources:

- [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