

MAPAS DA IONOSFERA PARA A REGIÃO BRASILEIRA

**Paulo de Oliveira Camargo – FCT/Unesp
Marcelo Tomio Matsuoka – Doutorando PPGCC**

**Apresentação
Edvaldo Simões da Fonseca Junior - EP/USP**

SIRGAS - Workshop GT I

16 de agosto de 2006

INTRODUÇÃO

- BRASIL - o estudo do comportamento do TEC é de grande interesse, pois é a região que apresenta os maiores valores do TEC, uma alta variação espacial e temporal se comparados com valores referentes às outras regiões do globo terrestre.
- Devido à natureza dispersiva da ionosfera, com dados GPS de receptores de dupla frequência pode-se efetuar correções do efeito da ionosfera e também calcular o TEC.

INTRODUÇÃO

➤ Neste trabalho são apresentados:

- Os resultados de experimentos para a produção de mapas do TEC da ionosfera usando dados GPS, utilizando a RBMC.
- O comportamento da ionosfera na região brasileira - para suporte a comunidade geodésica brasileira e geofísica espacial.

CÁLCULO DO TEC COM DADOS GPS

➤ Erro devido ao efeito da ionosfera:

$$I_{fr}^s = -\frac{40,3}{f^2} \text{TEC}$$

$$I_{gr}^s = \frac{40,3}{f^2} \text{TEC}$$

➤ Unidades de TEC (TECU) -> 1 TECU = 1×10^{16} elétrons/m².

➤ Para as frequências do GPS:

$$L_1: 1 \text{ TECU} = \approx 0,16 \text{ m e}$$

$$L_2: 1 \text{ UTEC} = \approx 0,27 \text{ m.}$$

CÁLCULO DO TEC COM DADOS GPS

➤ Cálculo do TEC a partir da pseudodistância:

$$P_{1r}^s = \rho_r^s + I_{1r}^s + S_{p1}^s + R_{p1} + \varepsilon_{P1}$$

Diferença

$$P_{2r}^s = \rho_r^s + I_{2r}^s + S_{p2}^s + R_{p2} + \varepsilon_{P2}$$

$$P_{2r}^s - P_{1r}^s = I_{2r}^s - I_{1r}^s + (S_{p2}^s - S_{p1}^s) + (R_{p2} - R_{p1}) + \varepsilon_{P21}$$



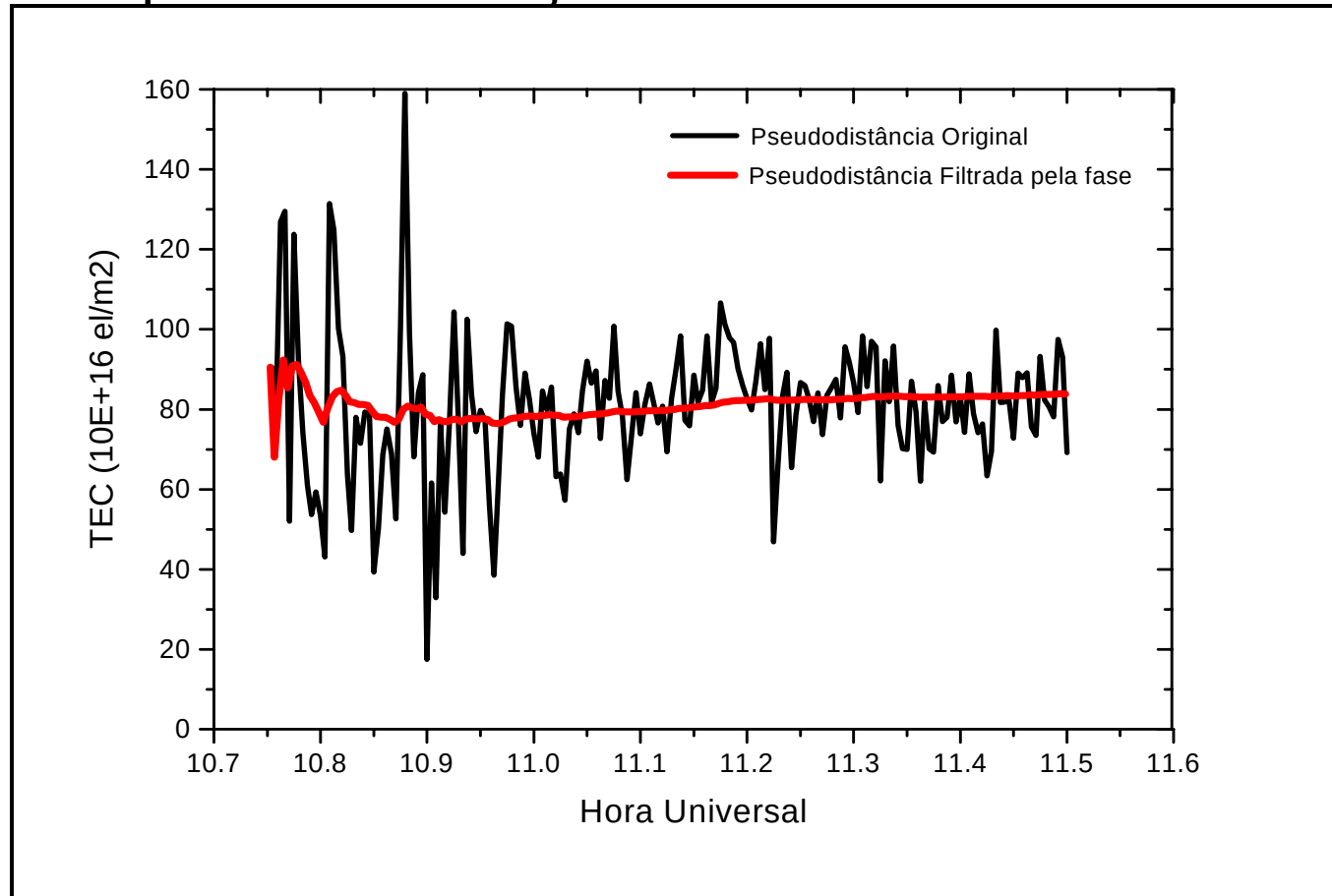
$$I_{2r}^s - I_{1r}^s = 40.3 \text{ TEC}^s \frac{f_1^2 - f_2^2}{f_1^2 f_2^2}$$



$$\text{TEC}_r^s = \frac{f_1^2 f_2^2}{40,3 (f_1^2 - f_2^2)} \left[(P_{2r}^s - P_{1r}^s) - \varepsilon_{p21} \right]$$

CÁLCULO DO TEC COM DADOS GPS

Valores do TEC usando as pseudodistâncias originais e as filtradas pela fase –Estação UEPP – satélite 25 – 27/10/2003

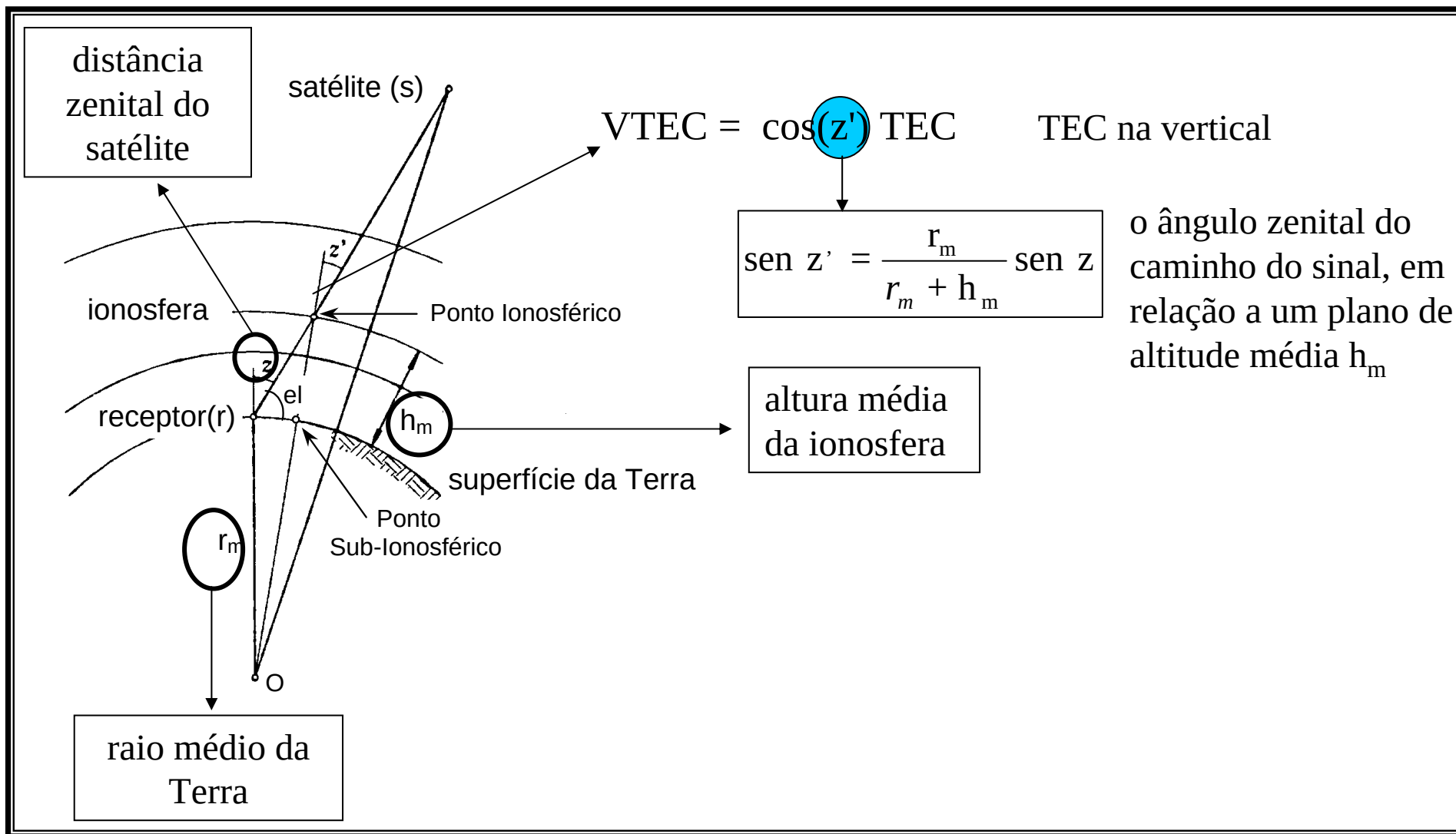


CÁLCULO DO TEC COM DADOS GPS

➤ Cálculo do TEC na direção vertical:

- O TEC na direção vertical (**VTEC**) pode ser obtido à partir da multiplicação entre TEC e a função de mapeamento geométrica padrão ($\cos(z')$):

$$\text{VTEC} = \cos(z') \text{ TEC}$$



EXPERIMENTOS

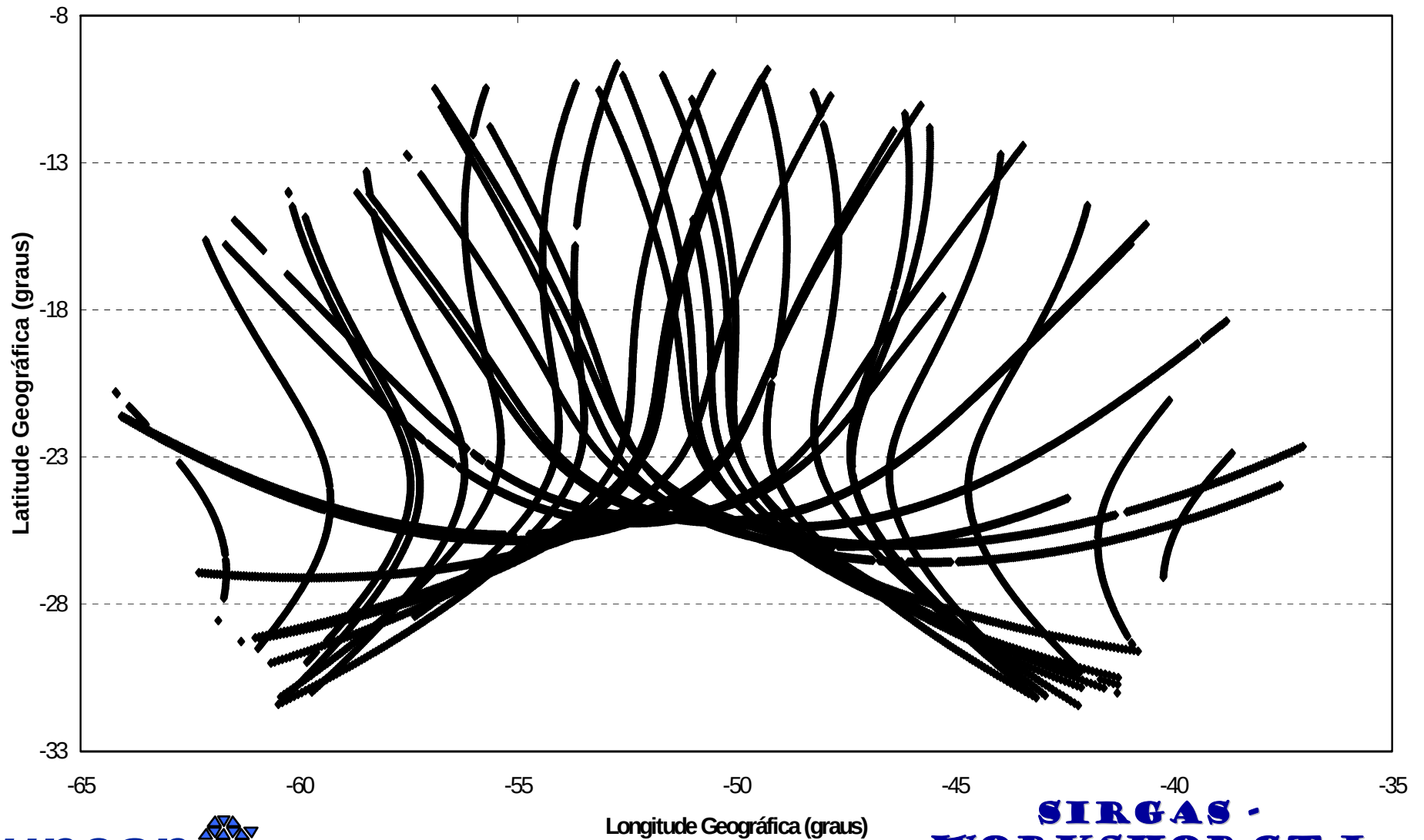
➤ MAPATEC:

- Programa desenvolvido em Fortran;
- Calcula o TEC e suas respectivas posições (latitude, longitude dos pontos ionosféricos) utilizando dados GPS de vários receptores de dupla frequência;
- Adotado altura da camada de 400 km, mascarará de 20 graus;
- Observável utilizada - pseudodistância filtrada pela fase.
- Resultado - arquivos com o VTEC, a cada 1 hora ((abrangendo valores do VTEC calculados no período de 30 minutos antes e 30 minutos após cada hora cheia).

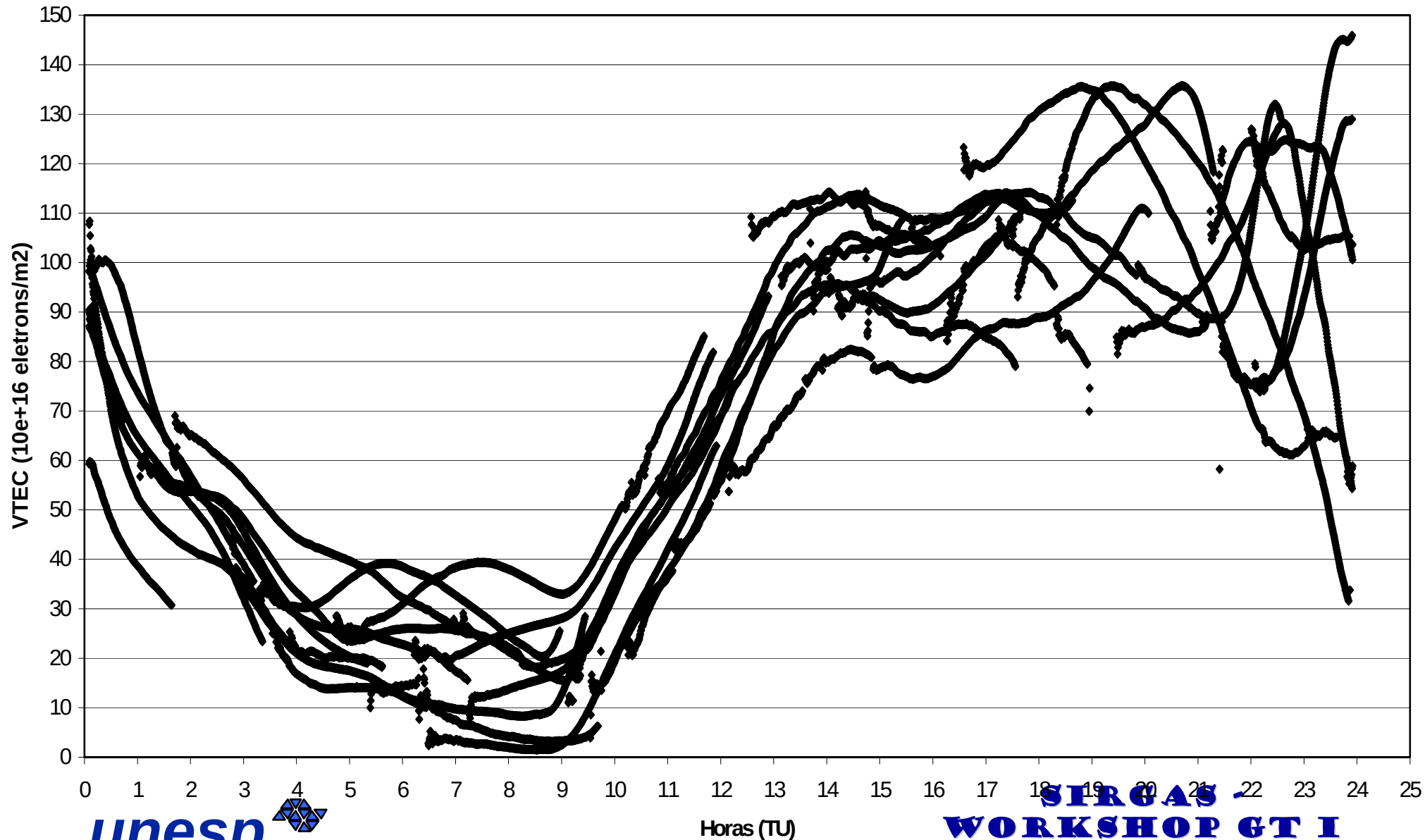
Estação	Hora	Latitude	Longitude	Atraso Ionosférico Vertical	Atraso Ionosférico Inclinado	VTEC	TEC Inclinado
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
UEPP	.09167	-23.61053	-46.80746	9.88801	15.37877	54.91576	85.41021
UEPP	.09167	-28.99053	-44.04140	8.95995	21.38832	52.95456	126.40800
UEPP	.09167	-19.84534	-58.16973	13.36412	26.12606	73.46798	143.62557
UEPP	.09167	-22.02351	-54.89412	19.69791	26.19790	112.32008	149.38384
UEPP	.09167	-24.54763	-49.99308	10.98193	13.74318	42.14747	52.74482
UEPP	.09167	-16.62359	-48.04220	14.51429	27.46098	78.85269	149.18903
UEPP	.09167	-25.82416	-62.16494	18.89007	47.26452	114.74446	287.10021
UEPP	.09167	-23.66045	-52.70177	16.94731	19.23682	93.83597	106.51281
UEPP	.09167	-14.07054	-54.12807	7.79669	17.42180	34.93302	78.05823
UEPP	.10000	-23.59294	-46.78938	9.81803	15.28832	54.49197	84.85316
UEPP	.10000	-29.05445	-43.99151	8.67009	20.78123	51.17848	122.66913
UEPP	.10000	-19.81083	-58.18178	13.42671	26.30148	73.87133	144.70592
UEPP	.10000	-22.04256	-54.88385	19.59978	26.03332	111.70397	148.37024
UEPP	.10000	-24.53679	-49.97792	10.68178	13.36266	40.28961	50.40136
UEPP	.10000	-16.57588	-48.02524	14.46266	27.48900	78.58290	149.36160
UEPP	.10000	-25.78298	-62.17163	18.85898	47.17128	114.55250	286.52597
UEPP	.10000	-23.67402	-52.69031	16.69124	18.95536	92.26400	104.77939
UEPP	.10000	-14.13943	-54.10556	8.67220	19.28532	40.26199	89.53504
UEPP	.10833	-23.57526	-46.77131	9.81704	15.30530	54.49311	84.95773
UEPP	.10833	-29.11902	-43.94087	7.64102	18.38961	44.84983	107.93992
UEPP	.10833	-19.77616	-58.19389	13.31298	26.13171	73.18875	143.66038
UEPP	.10833	-22.06153	-54.87358	19.70957	26.14529	112.36843	149.05986
UEPP	.10833	-24.52590	-49.96280	10.61687	13.27665	39.88059	49.87164
UEPP	.10833	-16.52772	-48.00807	14.48687	27.66185	78.78010	150.42612
UEPP	.10833	-25.74189	-62.17858	18.92728	47.32744	114.97260	287.48772
UEPP	.10833	-23.68755	-52.67880	16.57830	18.83646	91.57370	104.04711
UEPP	.10833	-14.20763	-54.08335	9.05869	20.04816	42.57891	94.23313
UEPP	.11667	-23.55750	-46.75326	9.76262	15.23900	54.16523	84.54944
UEPP	.11667	-29.18425	-43.88945	7.21772	17.44179	42.25185	102.10259

Dia 01/04/2001

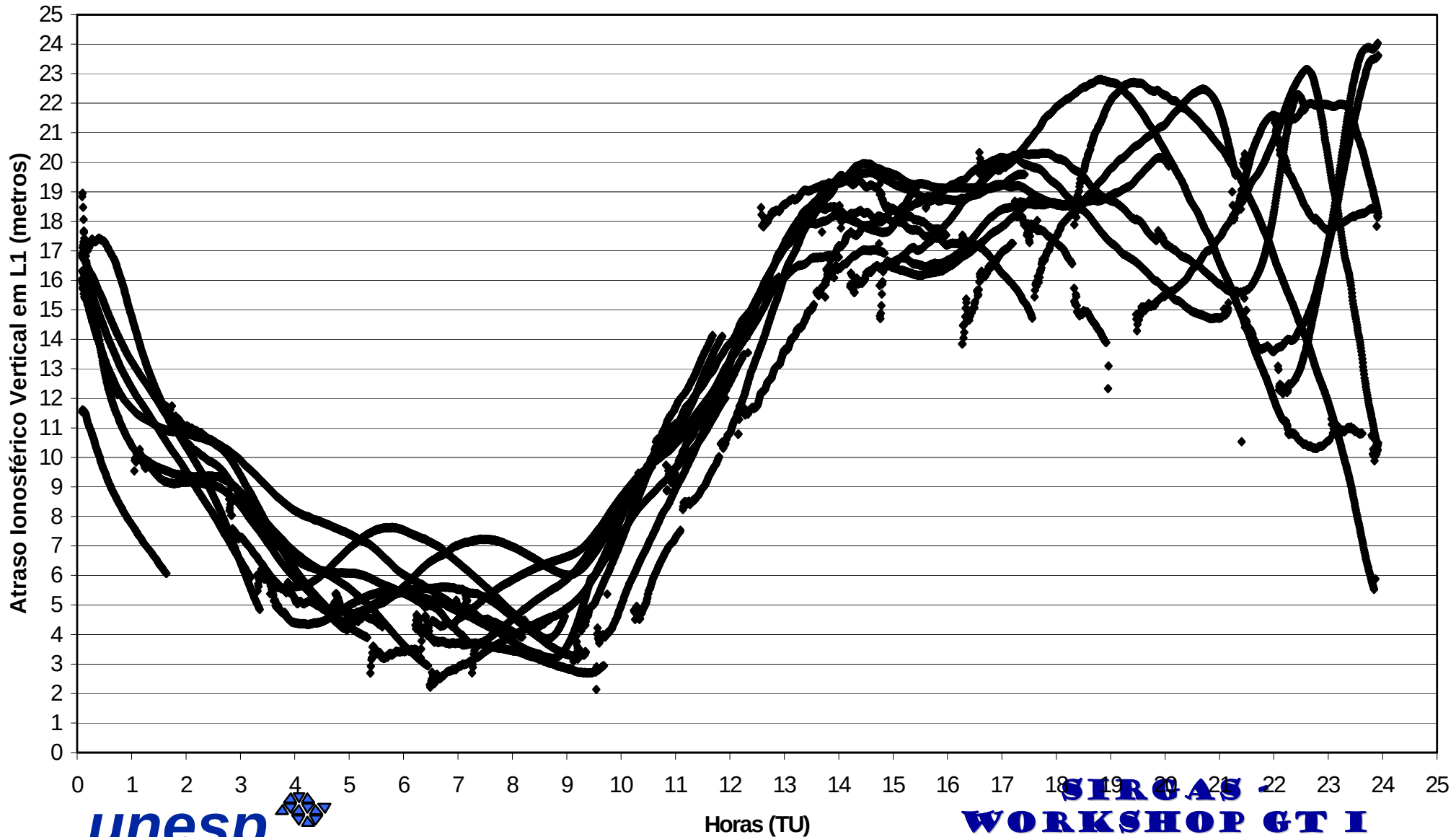
Localização dos pontos ionosféricos para a Estação UEPP - 24 horas



Valores do VTEC para todos os satélites - Estação UEPP - 01/04/2003

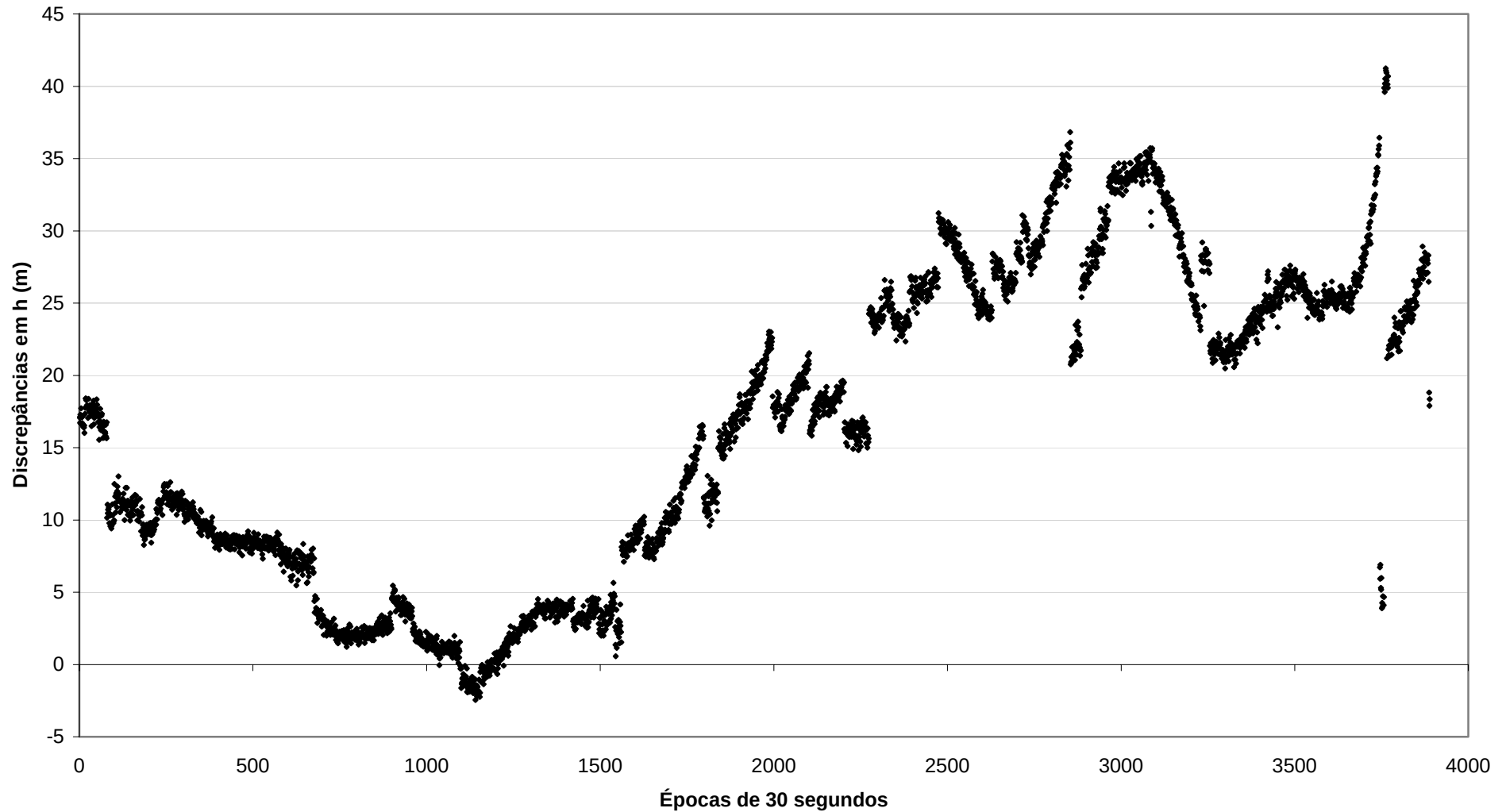


Valores do Atraso Ionosférico Vertical em L1 para todos os satélites - Estação UEPP .
24 horas - 01/04/2003

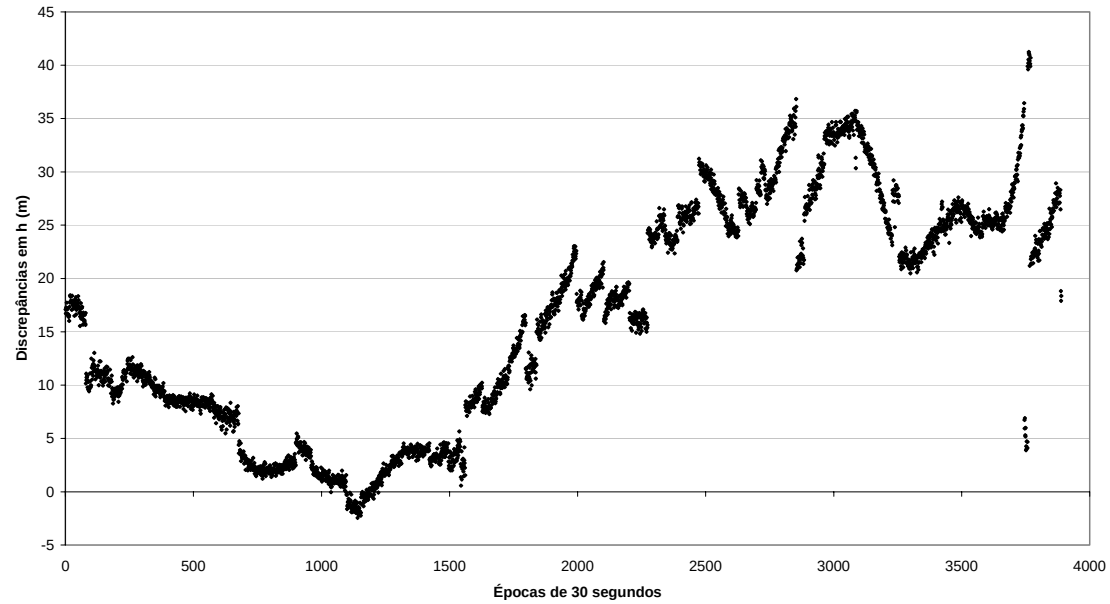


Ionosfera x Posicionamento por ponto

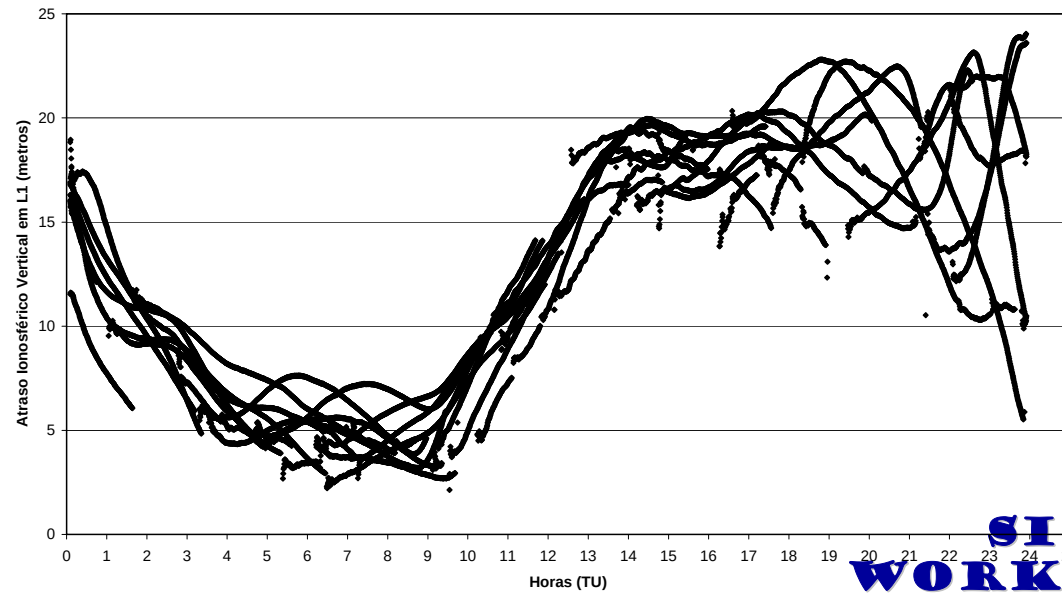
ERRO - Altitude Geométrica - Posicionamento por ponto



ERRO - Altitude Geométrica - Posicionamento por ponto



Valores do Atraso Ionosférico Vertical em L1 para todos os satélites - Estação UEPP - 24 horas



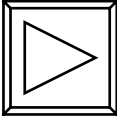
EXPERIMENTOS

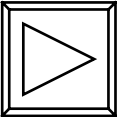
➤ Mapas do VTEC para o Brasil:

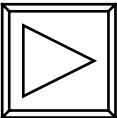
- Mapas do TEC para os dias 01/07/2001, 06/10/2001, 06/01/2002 e 01/04/2002, usando 15 estações da RBMC e 4 do IGS (UNSA, CORD, AREQ, KOUR);
- Período de intensa atividade solar do Ciclo Solar 23;
- Os dados foram escolhidos de tal forma que abrangessem as quatro estações do ano, com objetivo verificar variação sazonal;
- Para gerar os mapas, os dados disponibilizados pelo programa MAPATEC foram utilizados no software Surfer Versão 6.0, sendo adotado o método de interpolação por krigagem.

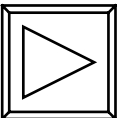
EXPERIMENTOS

➤ Mapas do TEC para:

➤ Inverno => 

➤ Primavera => 

➤ Verão => 

➤ Outono => 

CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES

- Neste artigo apresentou-se a metodologia empregada para o cálculo do TEC usando dados de receptores GPS de dupla frequência, visando a produção de mapas do TEC para a região brasileira.
- Os mapas obtidos mostraram que para as quatro estações do ano o TEC atinge o valor mínimo próximo às 7-8 horas UT (4-5 horas local) e o seu valor máximo próximo às 17-19 horas UT (14-16 horas local).
- Além do comportamento diário, com a produção dos mapas pode-se verificar o comportamento sazonal da ionosfera, com valores maiores nos meses de equinócio (outubro e abril) e menores nos de solstícios (janeiro e julho).

CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES

- Os mapas do dia referente a outubro apresentaram as maiores variações espaciais do TEC, principalmente na direção norte-sul, consequência da presença da anomalia equatorial que também pôde ser observada.
- Os valores do TEC apresentados nos mapas estão com a influência do atraso instrumental diferencial dos receptores. Porém, considerando que não se tinha como objetivo obter valores altamente precisos e sim apenas uma visualização para todo o território brasileiro, esta influência não comprometeu o comportamento da variação do TEC durante o dia e com relação as estações do ano, pois, os resultados se mostraram bastante coerentes com a teoria sobre o assunto.

TRABALHOS FUTUROS

- Calibrar os receptores - estimar o atraso instrumental diferencial (IFB - *Inter-Frequency Bias*) dos receptores;
- Produzir arquivos IONEX;
- Produzir sistematicamente os mapas.