

# IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DOS NOVOS MODELOS DE PNT PARA A MODELAGEM NEUTROSFÉRICA NO POSICIONAMENTO GNSS

TAYNÁ APARECIDA FERREIRA GOUVEIA<sup>1</sup>, LUIZ FERNANDO SAPUCCI<sup>1,2</sup>, JOÃO FRANCISCO GALERA MONICO<sup>1</sup>

Universidade Estadual Paulista – UNESP<sup>1</sup>

Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT

Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Presidente Prudente – SP

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos<sup>2</sup>

Divisão de Desenvolvimento e Modelagem, Cachoeira Paulista - SP

tayna.ppgcc@gmail.com; luiz.sapucci@cptec.inpe.br; galera@fct.unesp.br

## ABSTRACT

In GNSS applications that require high precision in real time is very important take into consideration all error sources. The delay generated in the signal propagation by tropospheric layer is due to influence of the atmospheric gases and water vapor and should be minimized in these cases. The modeling of the tropospheric delay is divided in two steps: in the determination of the delay in the zenithal direction, and the relationship between ZTD with satellite elevation angle using the mapping functions. There are some alternatives to minimize the ZTD, which the products from Numerical Weather Prediction can be a good option. The CPTEC-INPE provide a modeling of ZTD using Eta model with horizontal resolution of 15x15km and a other version involving data assimilation with 40x40km, both over South American. The object this work is to evaluate the impact of the use of these new versions of the modeling of the tropospheric delay in the GNSS positioning.

**Key words:** Tropospheric modeling, ZTD, Numerical Weather Prediction.

## 1 INTRODUÇÃO

A atmosfera terrestre exerce diferentes efeitos no sinal transmitido pelos satélites artificiais do sistema global GNSS (*Global Navigation Satellite System*). A atmosfera pode ser dividida em duas camadas quando se trata da propagação dos sinais de radio frequência. Essas camadas são diferenciadas devido ao seu conteúdo eletrônico, sendo denominada de ionosfera, a camada composta por elétrons livres, e de neutrosfera a camada eletricamente neutra. A ionosfera afeta o sinal quanto à velocidade e sua direção, sendo esse efeito proporcional ao TEC (*Total Electron Control*). Por ser um meio dispersivo, a influência da ionosfera está relacionada com a frequência do sinal, e assim o erro gerado na propagação desse pode ser minimizado através de combinação linear de observáveis obtidas nas diferentes frequências utilizadas pelo sistema.

Depois da ionosfera a neutrosfera pode ser considerada a maior fonte de erro no posicionamento GNSS. A neutrosfera pode ser subdividida em duas componentes: hidrostática e úmida. Sendo a primeira composta por gases secos como nitrogênio, oxigênio, entre outros gases, e a segunda constituída apenas por vapor d'água. O atraso no sinal causado pela neutrosfera é significativo quando se trata de um posicionamento com alta precisão, o qual deve ser estimado no posicionamento ou modelado. A modelagem possui duas fases: determinação do atraso gerado no sinal do satélite ao se propagar na neutrosfera na direção zenital – ZTD (*Zenital Tropospheric Delay*), na qual é possível obter a modelagem da influência neutrosférica a partir de medidas de temperatura, pressão e umidade do perfil vertical neutrosférico. A segunda fase relaciona o ZTD com o ângulo de elevação do satélite pelas funções de mapeamento.

A modelagem da neutrosfera a partir de modelos de PNT (Previsão Numérica de Tempo) apresenta-se como boa alternativa para amenizar as limitações da regionalização que ocorrem em alguns períodos com os modelos teóricos mais utilizados, Hopfield e Saastamoinen que utilizaram parâmetros medidos em uma rede global e pouco densa.

No Brasil, foi desenvolvido por Sapucci et al (2005) uma modelagem da neutrosfera utilizando PNT, na qual o modelo de previsão Eta com resolução de 20x20km tem sido utilizado. Essa versão ficou disponível até fevereiro de 2012 no Centro de Previsão Numérica de Tempo (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Atualmente o CPTEC/INPE disponibiliza uma nova versão do modelo Eta com resolução de 15x15km que passa a ser utilizada na modelagem do ZTD. No CPTEC/INPE também teve operacional até início desse ano o modelo de previsão RPSAS (*Regional Physical Space Statistical Analysis System*) (com resolução de 40x40 km) com assimilação de dados, processo que utiliza as observações meteorológicas considerando suas incertezas tornando possível gerar parâmetros iniciais para a PNT que mais se aproxime da realidade física da atmosfera. Nesse trabalho será avaliado o impacto do ZTD no posicionamento geodésico, quando

obtido pelos modelos Eta20, Eta15 e RPSAS, bem como análise da qualidade dos valores do ZTD em relação à resolução desses modelos.

## 2 ATRASO NEUTROSFÉRICO

O sinal GNSS ao se propagar na Neutrosfera sofre os efeitos de cintilação neutrosférica, atenuação neutrosférica e o atraso neutrosférico. Para ângulos acima de 10° esses dois primeiros efeitos são muito pequenos, podendo ser desconsiderados. Mas o atraso neutrosférico gera erros maiores e deve ser tratado de forma adequada.

O atraso neutrosférico depende das características termodinâmicas da atmosfera. O atraso causado pela componente hidrostática é da ordem de 2,3 m varia de acordo com a temperatura, pressão e altitude, e embora represente 90% do atraso total tem uma baixa variação temporal e espacial. Já o atraso da componente úmida embora represente 10% do atraso total, tem grande variação no tempo e no espaço, o que dificulta sua predição.

O atraso que a neutrosfera causa nos sinais transmitidos pelos satélites GNSS pode ser obtido pela soma das duas parcelas  $D_{ZH}$  (hidrostática) e  $D_{ZW}$  (úmida). Na equação 1 tem-se que o  $D_{ZH}$  pode ser obtido a partir de medidas de pressão atmosférica  $P_0$  (hPa), latitude local  $\varphi$ , altitude acima do elipsóide  $h_0$ . E sendo  $\rho$  ( $2,27683157 \times 10^{-3} \pm 5,0 \times 10^{-7}$ ) as incertezas compostas por: constante de refratividade do ar, constante universal dos gases, massa molar dos gases da componente hidrostática e as incertezas da constante gravitacional.

$$D_{ZH} = \left( \rho \frac{P_0}{(1 - 0,0026 \cos 2\varphi - 0,00028h_0)} \right) \quad (1)$$

Na equação 2 tem-se que o  $D_{ZW}$  pode ser obtido a partir das medidas de pressão parcial do vapor d'água ( $e$ ) e de temperatura ( $T$ ) variando em relação a altitude.

$$D_{ZW} = 10^{-6} \int (k'_2 \frac{e}{T} Z_w^{-1} + k_3 \frac{e}{T^2} Z_w^{-1}) dh \quad (2)$$

Esses valores de  $e$  e  $T$  podem ser obtidos por radiossondas ou radiômetros, mas essas técnicas são de alto custo. Por essa razão é utilizada a PNT a qual gera valores previstos desses parâmetros podendo então obter o ZTD previsto, e assim aplicando-o no posicionamento geodésico em tempo real.

## 3 MODELAGEM DO ZND USANDO PNT

A PNT é uma técnica utilizada pelas ciências atmosféricas para prever o tempo através de processos computacionais com aplicação de equações matemáticas, ou seja, técnica utilizada para obter o estado futuro a partir de um estado inicial ( $t = t_0 + \Delta t$ ) considerando as leis de evolução desse estado na atmosfera. Um dos fatores determinante para se obter o melhor resultado da previsão está relacionado com a boa descrição do estado inicial da atmosfera. Os modelos podem ser divididos pela área de

abrangência da superfície modelada, podendo ser globais ou regionais, sendo que os regionais apresentam melhor resolução espacial.

No CPTEC/INPE o modelo regional operacional é o modelo Eta, que foi adaptado do HIBU (*Instituto Hidrometeorológico e Universidade de Belgrado*) desenvolvido na ex-Iugoslávia, e adaptado pelo CPTEC para a América do Sul, sendo que a grade dos pontos onde são obtidos os dados meteorológicos previstos são distribuídos sobre essa região igualmente espaçados. Após melhorias na resolução da grade sobre América do Sul, atualmente se encontra operacional uma grade de distribuição dos pontos com 15x15km (Eta 15km), com previsão de até sete dias dos dados meteorológicos com saídas do modelo a cada três horas, ou seja, oito previsões por dia.

Outro modelo disponível para estudos é o RPSAS 40km com rodadas as 00h 06h 12h e 18h com assimilação de dados e previsões com o mesmo modelo Eta de até sete dias. Com um conjunto de dados mais robustos, obtidos por diversas fontes (radiossondas, bóias oceânicas, aviões, etc.), é possível gerar condição inicial mais correta para o modelo de PNT. A partir da previsão dos valores de temperatura, pressão e umidade, aplicados a equação (2) tem-se o valor do atraso zenital úmido. E com os valores de pressão atmosférica aplicados a equação (1), resulta no atraso zenital hidrostático. Somando essas duas componentes obtém-se o atraso zenital troposférico (ZTD).

## 4 COMENTÁRIOS FINAIS

Como foi apresentado o ZTD é uma das maiores fontes de erros no posicionamento geodésico, por essa razão deve ser minimizado. Para isso podem ser utilizados os modelos de PNT e a assimilação de dados quando se busca um posicionamento mais preciso, visando aplicações em tempo real. A análise dos resultados a serem apresentados nesse trabalho pode contribuir para aprimorar a modelagem do ZTD sobre a América do Sul, ao apontar possíveis deficiências na mesma.

## REFERÊNCIAS

SAPUCCI, L. F. **Estimativas do IWV utilizando receptores GPS em bases terrestres no Brasil: Sinergia entre a Geodésia e a Meteorologia**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – FCT/UNESP, Presidente Prudente.

CPTEC – **Centro de Previsão Numérica de Tempo**. Disponível em: < <http://www.cptec.inpe.br/>>. Acesso: 11 de maio de 2012.