

ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA IONOSFERA NO POSICIONAMENTO GNSS ABSOLUTO E DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO APROXIMADA PELO MÉTODO DE BANCROFT

Lucas Gonzales Lima Pereira Calado¹; Haroldo Antonio Marques²

¹Estudante do Curso de Engenharia Cartográfica - CTG – UFPE; E-mail: lucaslimaufpe@gmail.com,

²Docente/pesquisador do Depto de Engenharia Cartográfica – CTG – UFPE; E-mail:
haroldoh2o@gmail.com.

Sumário: O posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*) pode ser realizado a partir do método PPP e no caso cinemático é necessário obter uma coordenada inicial do receptor GNSS para o processo de estimativa ao longo da trajetória. Uma maneira de realizar esta tarefa inicial é aplicar o método de Bancroft. Os sinais do GNSS são afetados por diversos erros, sendo que um dos mais impactante, no processo de estimativa de coordenadas é, causado pela camada da atmosfera denominada ionosfera. Para o caso de simples frequência, pode-se aplicar a estimativa dos efeitos da ionosfera. Desta forma, foram investigados o modelo matemático para inicializar o PPP cinemático e o processo de estimativa da ionosfera para dados de simples frequência. O método de Bancroft proporcionou estimativa com erros na ordem de centenas de quilômetros e os resultados com relação a estimativa da ionosfera foram gerados com o software RT_PPP utilizando dados GPS coletados na estação RECF da RBMC para os anos de 2006 até 2013, obtendo resultados para os erros no Sistema Geodésico Local muito bons para o uso de receptores de simples frequência e um Erro Médio Quadrático 3D máximo para o ano de 2006 e mínimo para o ano de 2010.

Palavras-chave: bancroft; gnss; ionosfera; rbmc; rt_ppp

INTRODUÇÃO

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é amplamente utilizado nos dias atuais, seja para fins de posicionamento geodésico, monitoramento da atmosfera, navegação, além de pesquisas científicas. Este sistema engloba atualmente o GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU/COMPASS Sistemas de Aumentação (*Augmentation Systems*), além de outras definições tal como acurácia e integridade. Em se tratando de posicionamento, especial atenção tem sido dada nos últimos anos para o Posicionamento Por Ponto Preciso (PPP) mais especificamente o PPP em Tempo Real (RTPPP - *Real Time Precise Point Positioning*).que permite alcançar acurácia posicional de ordem centimétrica.

O método de PPP comumente aplicado apresenta tempo de convergência dos resultados relativamente longo para muitas aplicações práticas devido ao parâmetro ambiguidade da fase ser fortemente correlacionado com outros parâmetros estimados. Um dos fatores mais impactantes na solução das ambiguidades no PPP está relacionado com os efeitos da ionosfera, principalmente para regiões equatoriais, no qual o Brasil está localizado (MATSUOKA, 2007).

O efeito ionosférico de primeira ordem, geralmente, é levado em consideração no PPP através da combinação linear denominada *ion-free* (livre da ionosfera) (SEEBER, 2003; LEICK, 2004; MONICO, 2008). A combinação *ion-free* envolve as medidas GNSS de no mínimo duas frequências fazendo que a ambiguidade da fase resultante da combinação perca sua característica de número inteiro além do aumento de outros níveis de ruído e amplificação do multicaminho (LEICK, 2004). Uma solução para tal problema é o uso das

medidas GNSS sem combinações ou diferenciações, porém considerando o efeito ionosférico como um parâmetro incógnito. Neste caso, se a ionosfera for estimada adequadamente juntamente com outros parâmetros, as ambiguidades da fase poderão ser mais facilmente solucionadas com valores inteiros no método PPP.

Desta maneira, foi analisado a acurácia do PPP com estimativa da ionosfera para dados GPS de simples frequência. Adicionalmente, foi investigado o método de Bancroft para obtenção de coordenadas iniciais de um receptor visando a aplicação no posicionamento. Para a análise de acurácia foi utilizado o software RT_PPP e foram realizados processamento diários para os anos de 2006 até 2013 utilizando dados GNSS coletados na estação RECF em Recife.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho envolveu o desenvolvimento das equações do método de Bancroft (disponível em <<http://www.asl.ethz.ch/people/slynen/personal/lectures/aircraft/gps.pdf>>) e também a geração de séries temporais de coordenadas GNSS estimadas com aplicação da estimativa da ionosfera e usando dados de simples frequência.

As equações do método de Bancroft foram implementados em linguagem de programação MATLAB. Os resultados foram gerados para a estação RECF e as órbitas dos satélites, bem como valores de pseudodistâncias foram obtidos com auxílio do software RT_PPP.

Para obtenção de resultados com a estimativa da ionosfera foram utilizados dados GPS coletados na estação RECF da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) localizada na UFPE. As estações da RBMC coletam dados durante 24 horas por dia com disponibilidades ao público de arquivos em formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*).

O formato RINEX é um formato que se refere a intercâmbio de dados, o que permite que o usuário utilize dados de diferentes receptores GNSS em diversos formatos e converta para um único. Existem os arquivos de observação com medidas de pseudodistância e fase, os arquivos de navegação com informações da órbita, arquivos com parâmetros atmosféricos e outros. Os arquivos RINEX das estações RBMC podem ser baixados a partir do endereço www.ibge.gov.br/home/geociencias/download/tela_inicial.php?tipo=8 depois de ser feito um cadastro de usuário com senha.

Com essas informações obtidas e configurações adequadas é possível realizar ajustamento no método PPP a partir do software RT_PPP, considerando que diversas outras informações são necessárias para a realização de PPP, tais como as correções de centro de fase das antenas, efeitos de carga dos oceanos entre outros. O software RT_PPP faz a leitura de um arquivo de lote (.bat) onde contém informações da estação a ser analisada e o arquivo de configuração para começar o processamento dos dados.

RESULTADOS

Para aplicação do método de Bancroft foram escolhidos dados reais observados na estação RECF. A posição do satélite no tempo aproximado de transmissão foi obtida a partir do software RT_PPP.

A Tabela 1 apresenta as coordenadas oficiais da estação RECF (determinada pelo IBGE), bem como as coordenadas estimadas e as diferenças entre a duas soluções

Tabela 1 – Resultados do Programa Bancroft (em metros)

	Coordenadas oficiais da RECF	Coordenadas Estimadas	Diferença	Resultante
X	5176588,6530	5129087,3264	-47501,3266	110591,1416
Y	-3618162,1630	-3519222,6972	98939,4658	
Z	-887363,9200	-873762,2037	13601,7163	

O erro nas coordenadas estimadas pelo método de Bancroft ficou em torno de 110 km.

Os resultados gerados para a estimativa da Ionosfera no software RT_PPP refere-se aos anos de 2006 até 2013, contudo tem-se muitos gráficos e aqui se apresenta somente para o primeiro e último ano envolvidos na análise. As figuras 1 e 2 apresentam o Erro 3D das coordenadas estimadas para os anos de 2006 e 2013, respectivamente.

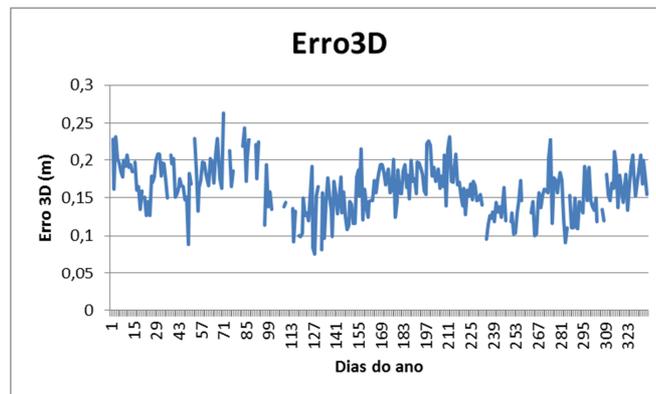


Figura 1 – Erro 3D no SGL no ano de 2006

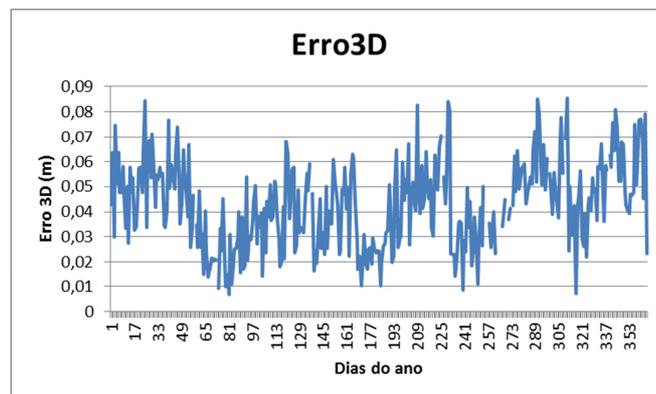


Figura 2 – Erro 3D no SGL no ano de 2013

A tabela 2, a seguir, apresenta o EMQ anual para cada um dos anos envolvidos no processamento.

Tabela 2 – Erro Médio Quadrático Anual

	EMQ			
	E	N	U	3D
2006	0,0922	0,0166	0,1359	0,1650
2007	0,0662	0,0120	0,1063	0,1258
2008	0,0297	0,0104	0,0299	0,0434
2009	0,0260	0,0114	0,0334	0,0439
2010	0,0205	0,0113	0,0235	0,0332
2011	0,0253	0,0133	0,0253	0,0381
2013	0,0200	0,0121	0,0398	0,0461

A discussão dos resultados é apresenta a seguir.

DISCUSSÃO

Verifica-se na Figura 1 que o Erro 3D para o ano de 2006 foi da ordem de 15 cm. Para o ano de 2013 foi da ordem de 5 cm. O EMQ anual para as componentes E e N não ultrapassaram a casa dos dez centímetro. O EMQ 3D foi máximo para o ano de 2006 com valor de aproximadamente 0,17 m e o valor mínimo foi de 0,0332 m para o ano de 2010. Os valores estimados das coordenadas com o método proposto podem ser considerados muito bons para o caso de uso de receptores de simples frequência, onde em geral, aplicam-se modelos matemáticos para corrigir a ionosfera.

Em relação ao método de Bancroft é importante destacar que é muito útil para obtenção de um valor aproximado das coordenadas que servirão como valores aproximados para o ajustamento dos dados pelo Método dos Mínimos Quadrados MMQ.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi analisada a acurácia do PPP com a estratégia de estimativa da ionosfera e também investigado o método de Bancroft para estimar as coordenadas de um receptor sem ter o conhecimento de um valor inicial. O método de Bancroft proporcionou uma estimativa com erros na ordem de centenas de quilômetros, contudo a estimativa serve como um valor inicial (parâmetro aproximado) para inicializar o ajustamento. Maiores investigações sobre o assunto devem ser realizadas, como por exemplo, aplicando iterações no método e atualizando o tempo de transmissão envolvido com o cálculo das órbitas dos satélites. Em relação à estimativa da ionosfera para dados de simples frequência, foram processados dados GPS no modo PPP com solução diária para os anos de 2006 até 2013. Em geral, os erros representados no Sistema Geodésico Local ficaram na casa de 15 a 20 cm, o que representa valores muito bons para o caso do uso de receptores de simples frequência.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradem à UFPE/PIBIC-CNPq pelo apoio em forma de bolsa de iniciação científica, ao CNPq pelo apoio em forma de projeto Universal (Processo:475775/2013-9) e a UFPE/UNESP/EMBRAER pela parceria em forma de projeto de cooperação científica.

REFERÊNCIAS

IGS, 2014. **RTPPP: Real Time Pilot Project**. Disponível em: <<http://www.rtiigs.net>>. Acesso em: mar. de 2013.

- LEICK, A. **GPS satellite surveying**. 3rd. ed.: New York: John Wiley & Sons, 2004. 435p.
- LIU, G. C. **Ionosphere weighted global positioning system carrier phase ambiguity resolution**. 2001. 157 f. M.Sc. dissertation. Department of Geomatics Engineering - The University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.
- MARQUES, H. A. **Influência da ionosfera no posicionamento GPS**: estimativa dos resíduos no contexto de duplas diferenças e eliminação dos efeitos de 2ª e 3ª ordem. 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2008.
- MARQUES, H. A.; MONICO, J. F. G.; AQUINO, M. RINEX_HO: second- and third-order ionospheric corrections for RINEX observation files. In: **GPS Solutions**. Springer-Verlag, V. 15 p. 305–314, DOI: 10.1007/s10291-011-0220-1, 2011.
- MARQUES, H. A. **PPP Em Tempo Real com Estimativa das Correções dos Relógios dos Satélites no Contexto de Rede GNSS**. 2012. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP, Presidente Prudente-SP. 2012.
- MATSUOKA, M. T. **Influência de diferentes condições da ionosfera no posicionamento por ponto com GPS**: Avaliação na região Brasileira. 2007. 263 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2007.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS**: descrição, fundamentos e aplicações. 2. Ed São Paulo: Unesp, 2008. 476p
- ROCHA, G.D.C. **Avaliação e mitigação dos efeitos ionosféricos no posicionamento por ponto preciso GNSS no Brasil**. 2015. 107 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. 2015.