

Avaliação do Posicionamento por Ponto Utilizando Efemérides Precisas e Correções dos Relógios dos Satélites

Marcelo Tomio Matsuoka ¹
João Francisco Galera Monico ²
Paulo de Oliveira Camargo ³

¹ Bolsista PIBIC/CNPq do Curso de Engenharia Cartográfica
✉ tomiotomio@hotmail.com

² Professor Doutor do Departamento de Cartografia
FCT/Unesp – Departamento de Cartografia
Rua Roberto Simonsen, 305 - CP 467
19060-900 Presidente Prudente SP
✉ galera@prudente.unesp.br

³ ✉ paulo@prudente.unesp.br

Conteúdo	
	1. Introdução
	2. Processamento dos Dados
	2.1 Software GPSPACE
	2.2 Estratégia de Processamento
	3 Resultados e Análise
	4. Conclusões e Comentários Finais
	5. Agradecimento
	6. Referências Bibliográficas

Resumo : Neste trabalho apresenta-se o uso das efemérides precisas e das correções dos relógios dos satélites no posicionamento GPS por ponto. A maior fonte de erros no posicionamento por ponto era a técnica SA, desativada às 04 horas TU de 02 de maio de 2000. Esta técnica deteriorava as coordenadas e os relógios dos satélites, para usuários que utilizavam o código C/A para obter medidas de pseudo-distâncias. Nestas condições, o posicionamento instantâneo de um ponto, apresentava precisão planimétrica melhor que 100 m, 95 % do tempo. Visando melhorar este nível de acuracidade, utilizou-se efemérides precisas e correções dos relógios dos satélites, produzidas no âmbito do IGS. Utilizou-se dados GPS coletados na estação UEPP da RBMC, localizada em Presidente Prudente, referente a quatro semanas, abrangendo as quatro estações do ano de 1998. Para o processamento foi utilizado o software GPSPACE desenvolvido pela Divisão de Levantamentos Geodésicos do Canadá, pertencente ao NRCan. Este software permite realizar o posicionamento por ponto, tendo como observável a pseudo-distância, advinda da portadora L1 ou L2, ou da combinação linear L0, denominada livre dos efeitos da ionosfera. Utilizando a portadora L0, reduz-se os efeitos da refração ionosférica presentes na propagação do sinal GPS. Neste trabalho são apresentados alguns experimentos realizados na FCT/UNESP, bem como uma análise detalhada dos resultados obtidos.

Palavras chave : GPS, ionosfera, SA.

Abstract : In this paper presents the use of the precise ephemerides and of the corrections of the clocks of the satellites in the GPS point positioning. The largest error source in the point positioning was the SA, which was turned off at 04 hours TU of May 02, 2000. This technique deteriorated the coordinates and the clocks of the satellites, for SPS users. In these conditions, the instantaneous position horizontal precision better than 100 m, 95% of time. In order to improve this accuracy level, it was used precise ephemerides and corrections of the clocks of the satellites, provided by IGS. Data GPS collected at UEPP station of RBMC, located in Presidente Prudente, of four weeks, embracing the four season of 1998 were used. The processing was carried out using the software GPSPACE developed by to NRCan (Natural Resources Canada). This software allows to accomplish the positioning having as observable the pseudo-range, on L1 or L2, or of the linear combination L0, denominated free from the effects of the ionospheric. Using L0 combination, the effects of the ionospheric refraction present in the propagation of the signal GPS was reduced. In this work some experiments accomplished at FCT/UNESP, as well as a detailed analysis of the obtained results will be presented.

Keywords : GPS, Ionospheric, SA.

1. Introdução

Neste trabalho apresenta-se a avaliação da qualidade do posicionamento por ponto utilizando as efemérides precisas e as correções dos relógios dos satélites. Foram utilizados no processamento dados GPS coletados na estação UEPP de Presidente Prudente, referentes as quatro estações do ano de 1998, completando quatro semanas. É importante salientar que neste período havia a influência da técnica SA (*Selective Availability* – Disponibilidade Seletiva) no sistema GPS, sendo esta introduzida intencionalmente no sistema pelo DoD (*Department of Defense*), durante o período de 04 de julho de 1994 a 01 de maio de 2000.

A técnica SA afetava as coordenadas e os relógios dos satélites, limitando o nível de acurácia proporcionada pelo sistema para usuários que realizam o posicionamento por ponto utilizando as medidas de pseudo-distâncias advindas do código C/A (Monico, 1999). Nessas condições, o posicionamento instantâneo de um ponto possui acuracidade horizontal e vertical de 100 e 140 m, respectivamente, e 340 ns (nanossegundos) na medida de tempo, com 95 % de probabilidade, para usuários do serviço de

posicionamento padrão (SPS). Para este tipo de posicionamento, as informações orbitais podem ser obtidas a partir das efemérides transmitidas pelos satélites, que são disponíveis em tempo real juntamente com as observações. Para usuários que não necessitem de posição instantânea do ponto, mas com melhor acuracidade, há a opção de utilizar as efemérides pós-processadas, denominadas efemérides precisas produzidas pelo IGS (*International GPS Service*), bem como os dados referentes as correções dos relógios dos satélites. Tal procedimento elimina os efeitos devido à SA. As efemérides precisas, resultante de combinação de várias soluções (IGS) ficam disponíveis depois de 7 a 10 dias da coleta de dados. As efemérides rápidas (IGR) ficam disponíveis dentro de 48 horas e as de órbitas IGS preditas (IGP) dentro de algumas horas do dia a que se refere. O nível de acuracidade é da ordem de 5, 10 e 50 cm para as efemérides IGS, IGR e IGP, respectivamente (Fonte: <http://igs.cb.jpl.nasa.gov>).

A SA foi implementada a partir de duas técnicas, cujas denominações são dither (δ) e épsilon (ϵ). A primeira interfere na acuracidade, a partir da manipulação dos coeficientes de correção do erro do relógio do satélite, bem como de sua desestabilização. Por outro lado, a técnica (ϵ), visava a degradação da órbita dos satélites a partir da manipulação dos elementos necessários para o cálculo de sua posição.

Um importante fator, limitando a exatidão do GPS, quando se utiliza receptores de frequência simples para a coleta de dados, é a refração ionosférica (Camargo, 1999). Ela proporciona erros consideráveis na propagação do sinal, afetando, deste modo, o nível de precisão do posicionamento realizado. Com receptores GPS de dupla frequência pode-se utilizar a combinação linear entre as frequências L1 e L2, denominada L0, livre dos efeitos da ionosfera. Atualmente, o desenvolvimento do modelo da ionosfera, para determinada região, se torna uma ótima opção para reduzir os erros envolvidos na propagação do sinal. Visando reduzir o efeito da ionosfera foi utilizado no processamento a combinação linear L0.

2. Processamento dos Dados

2.1 Software GPSPACE

No processamento dos dados GPS foi utilizado o software GPSPACE (*GPS Positioning from ACS Clocks and Ephemerides*). Este software foi desenvolvido pela Divisão de Levantamentos Geodésicos do Canadá, pertencente ao NRCan (*Natural Resources Canada*). O GPSPACE realiza o posicionamento por ponto, tendo como observável principal a pseudo-distância, quer seja advinda da portadora L1 ou L2. Quando se realiza a coleta de dados com receptores de dupla frequência, pode-se utilizar a combinação linear entre L1 e L2, denominada L0. Neste caso, o efeito da ionosfera é reduzido.

Este software possibilita o processamento com as efemérides transmitidas ou precisas, bem como com as correções dos relógios dos satélites. Pode-se utilizar dados meteorológicos visando corrigir os efeitos da refração troposférica.

2.2 Estratégia de Processamento

Neste trabalho as seguintes estratégias de processamento foram utilizadas no posicionamento por ponto, utilizando o código da portadora L1 e a combinação linear L0 das pseudo-distâncias, conforme a tabela 1:

Tabela 1 Estratégias de processamento dos dados GPS.

DESIGNAÇÃO	OBSERVÁVEL	EFEMÉRIDES
L1 / ET	Pseudo-Distância – L1	Transmitidas
L1 / EPC	Pseudo-Distância – L1	Precisas + Clocks
L0 / ET	Combinação Linear – L0	Transmitidas
L0 / EPC	Combinação Linear – L0	Precisas + Clocks

As efemérides precisas e correções do relógio dos satélites foram geradas pelo GSD/NRCan, no âmbito do IGS. No processamento, visando a não se considerarem posições estimadas com pobre geometria dos satélites, adotou-se, para a diluição da precisão geométrica (GDOP), valor igual ou menor do que 7. Foram, também consideradas observações coletadas acima de 10 graus de elevação. A precisão da pseudo-distância foi adotada como sendo de 3 m. Os dados meteorológicos utilizados para correção troposférica foram coletadas na estação meteorológica da FCT/Unesp.

3 Resultados e Análise

Para o posicionamento por ponto, com a pseudo-distância, utilizou-se dados da estação UEPP coletados em 1998, abrangendo uma semana de cada estação do ano.

A análise dos resultados se baseia na comparação entre as coordenadas cartesianas estimadas para a estação UEPP e as coordenadas consideradas verdadeiras, considerando as estratégias apresentadas na tabela 1.

A Figura 1 mostra os gráficos com as discrepâncias das coordenadas cartesianas estimadas para um período de 24 horas em relação as coordenadas conhecidas da estação, para as quatro estratégias de processamento, referentes a uma semana de cada estação do ano:

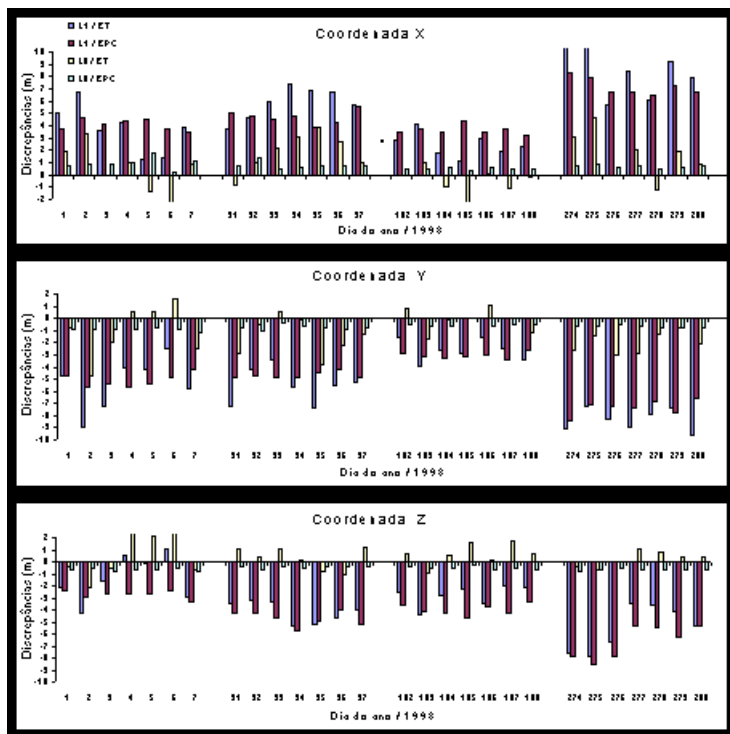


Fig. 1 : Discrepâncias entre as coordenadas – Estação UEPP

Utilizando a primeira estratégia (L1 / ET), as discrepâncias entre as coordenadas cartesianas calculadas e as conhecidas da estação, foram melhores que 11 metros (Figura 1). Não houve uma melhora significativa nas discrepâncias ao se utilizar a segunda estratégia (L1 / EPC). No geral, elas permaneceram praticamente iguais a primeira. Em alguns poucos casos, inclusive piorou. No processamento dos dados utilizando a pseudo-distância obtida da combinação linear L0 juntamente com as efemérides transmitidas (L0 / ET), as discrepâncias não ultrapassaram 3 m. Com o uso da estratégia L0 / EPC, obteve-se uma melhora considerável nas coordenadas calculadas, se comparadas com as duas primeiras estratégias de processamento. Neste caso, as discrepâncias não ultrapassaram 2 m.

Considerando a resultante ($\sqrt{Dx^2 + Dy^2 + Dz^2}$), com o uso da estratégia L0 / EPC houve uma melhora de aproximadamente 86% em relação as duas primeiras estratégias (L1 / Et e L1 / EPC) e de 52% em relação à L0 / ET. Tais resultados mostram que o efeito da ionosfera é o principal fator limitante no posicionamento por ponto, quando se utiliza apenas receptor de uma frequência, e no caso de processamento com L0 e as efemérides transmitidas.

A figura 2 mostra os gráficos dos desvios-padrão (SIGs) das coordenadas calculadas X, Y e Z para as quatro estratégias de processamento. Neste caso o desvio-padrão refere-se somente à uma época, com um nível de confiança de 68,3%.

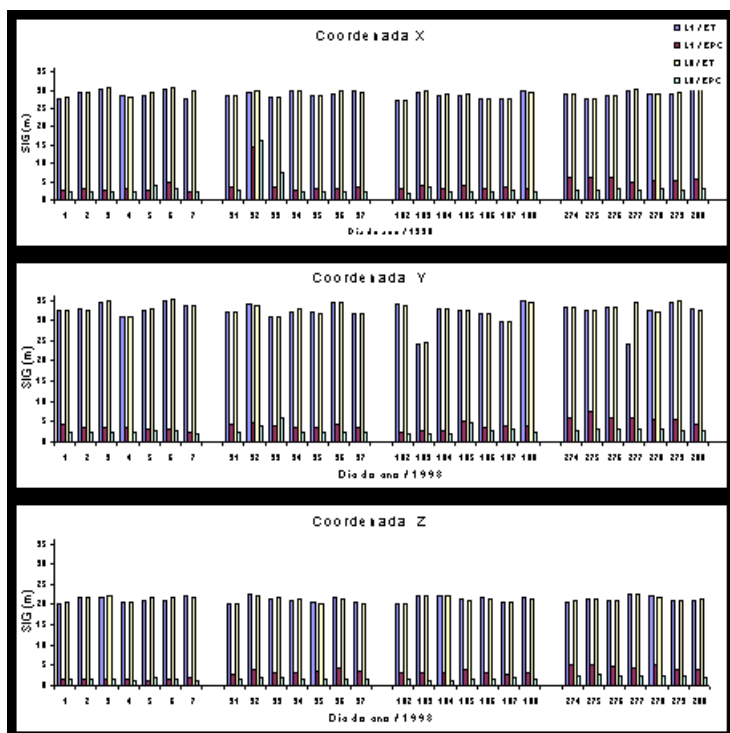


Fig. 2 : Desvios-padrão das coordenadas – Estação UEPP

À partir da figura 2, pode-se constatar uma melhora considerável no nível de precisão ao comparar as estratégias que utilizam as efemérides precisas e correções dos relógios dos satélites com as que utilizam as transmitidas. Utilizando as efemérides transmitidas (estratégias L1/ET e L0/ET), obteve-se precisão melhor que 35 m em cada uma das componentes, com um nível de probabilidade de 68,3%. Esta baixa precisão deve-se principalmente ao efeito da SA, presente nas observações. Com a utilização das efemérides precisas e as correções dos relógios dos satélites (L1/EPC e L0/EPC), eliminou-se consideravelmente o efeito da SA. No geral, a precisão da estratégia L1/EPC foi melhor que 9 m, com exceção do dia 92 para a componente X, que apresentou precisão de 14,70 m). Na média da resultante das precisões houve uma melhora de 83% em relação as estratégias L1/ET e L0/ ET.

Utilizando a estratégia L0/EPC, a precisão obtida foi melhor que 5 m nas três componentes, com exceção dos dias 92 e 93 para a componente X. Comparada com as estratégias L1/ET e L0/ET, a melhora da precisão foi de aproximadamente 88,4%.

A tabela 2 mostra as médias das discrepâncias e os desvios-padrão médio das três componentes (X, Y e Z) para uma época, para as quatro estratégias de processamento:

Tabela 2Média das discrepâncias e desvios-padrão das posições calculadas.

Estratégias de Processamento	Discrepâncias (m)			Desvio-padrão (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
L1 / ET	5,14	5,45	3,46	28,89	17,33	21,27
L1 / EPC	4,89	5,05	4,52	4,22	4,20	3,22
L0 / ET	1,62	1,57	0,96	29,12	33,05	21,28
L0 / EPC	0,72	0,70	0,58	3,15	2,80	1,80

Analisando as figuras 1 e 2, e a tabela 2, observa-se que a estratégia L1/ET possui discrepâncias parecidas com a estratégia L1/EPC . Por outro lado, os desvios-padrão da segunda estratégia são significativamente melhores que a primeira. Conclui-se, portanto, que existe um efeito sistemático na segunda estratégia, provavelmente devido ao efeito da refração ionosférica. Tanto a estratégia L1/ET como a L0/ET possuem desvios-padrão que refletem o efeito da técnica SA. Já a estratégia L0/EPC mostra-se precisa e exata, e portanto, conclui-se que foram reduzidos consideravelmente os efeitos da SA e da ionosfera.

As figuras 3, 4, 5 e 6 mostram o comportamento planimétrico em Latitude e Longitude (metros) das discrepâncias das coordenadas

estimadas para a estação, respectivamente para as quatro estratégias. Cada posição é estimada num intervalo de 15 segundos e por um período de 24 horas. Os gráficos são referentes ao dia 01 de janeiro de 1998.

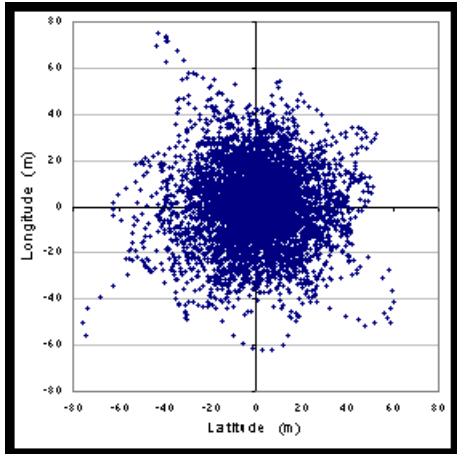


Fig. 3 : Discrepâncias – L1/ET

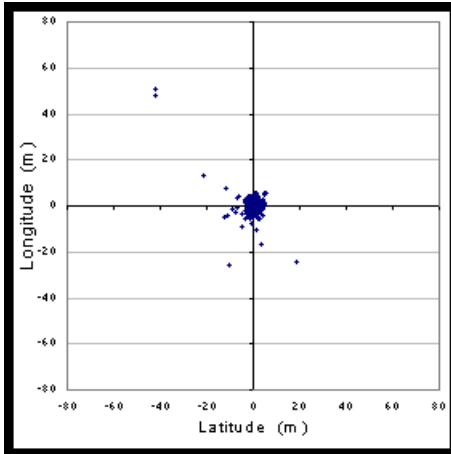


Fig. 4 : Discrepâncias – L1/EPC

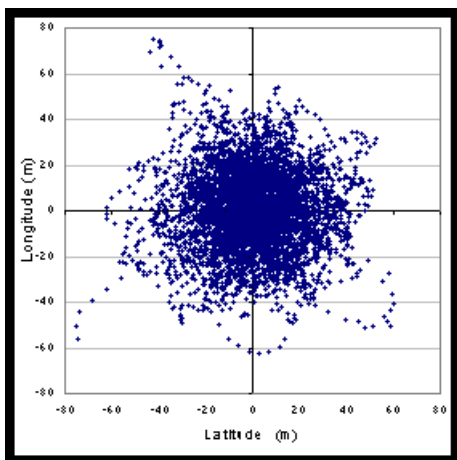


Fig. 5 : Discrepâncias – L0/ET

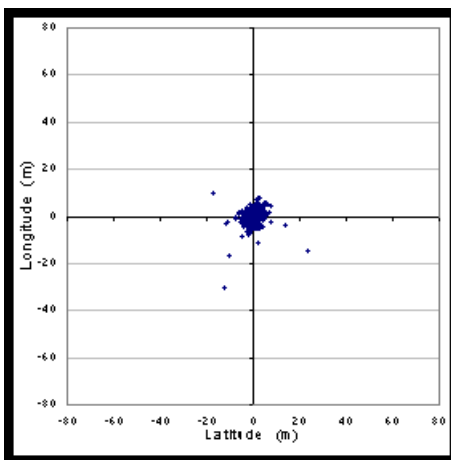


Fig. 6 : Discrepâncias – L0/EPC

Observando-se os as figuras 3, 4, 5 e 6 pode-se concluir que houve uma melhora significativa no nível de acuracidade do posicionamento ao se utilizar as efemérides precisas e as correções dos relógios dos satélites, isto comparando-se as estratégias L1/ET e L0/ET com a L1/EPCe L0/EPC. Por outro lado, não se percebe diferenças significativas entre as estratégias que utilizam as efemérides precisas e as correções dos relógios dos satélites (L1/EPC e L0/EPC).

4. Conclusões e Comentários Finais

Pode-se concluir que o uso das efemérides precisas e das correções dos relógios dos satélites no posicionamento por ponto é uma estratégia vantajosa para usuários que realizam trabalhos com receptor de uma única frequência. Com receptores de dupla frequência, o uso da combinação linear L0, eliminará consideravelmente o efeito da refração ionosférica.

Atualmente com a desativação da SA, a ionosfera é a maior fonte de erro no posicionamento por ponto. Pesquisas referente ao estudo da melhora no posicionamento após o desligamento da SA estão sendo realizadas no Laboratório de Geodésia Espacial (LGE) de Presidente Prudente. Os resultados de alguns testes mostram uma melhora de cerca de 10 vezes na precisão proporcionada pelo posicionamento por ponto a partir do código C/A.

5. Agradecimento

Este trabalho foi realizado com apoio financeiro da bolsa PIBIC/CNPq.

6. Referências Bibliográficas

Camargo, P.O.: *Modelo Regional da Ionosfera para Uso em posicionamento com receptores GPS de uma Frequência*. Curitiba, 1999. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná.

Monico, J.F.G. : *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS : descrição, fundamentos e aplicações*. Presidente Prudente, 1998. Departamento de Cartografia, FCT/Unesp.

NRCan. *User's Guide – GPSPACE (GPS Positioning from ACS Clocks and Ephemerides – Version 3.2).* Canadian Active Control System Operations, Geodetic Survey Division, Geomatics Canada, Natural Resources Canada, 1997.

Matsuoka, M.T.: *Controle de Qualidade dos Dados GPS coletados na Estação UEPP pertencente a RBMC,* Presidente Prudente, 2000. Relatório parcial de bolsa PIBIC/CNPq, Departamento de Cartografia, FCT/Unesp.

