

AValiação DO POSICIONAMENTO ESTÁTICO PARA DISTÂNCIAS MÉDIAS

Avaliating static positioning for mid distances

JOSÉ GONZÁLEZ BRICEÑO

Dirección de Geografía y Cartografía de la Fuerza Armada Venezolana
Departamento de Geodesia
Fuerte militar Tiuna, Al lado de la Corte Marcial, Caracas, Venezuela
Fone 0058-0212-6824406, Fax 0058-0212-6823405
e-mail: bricenojg@cantv.net

RESUMO

Neste trabalho são apresentados testes com a técnica estática de posicionamento relativo com GPS para distâncias entre 20 km e 100 km. Foram medidas, com receptores GPS de dupla frequência, cinco (5) linhas de base de 20 km, 40 km, 56 km, 70 km e 96 km, entre as cidades de Curitiba e Ponta Grossa, no Estado do Paraná, Brasil. Empregou-se um tempo de observação de 2 horas e uma taxa de gravação de dados de 5 segundos. Inicialmente os dados foram processados em modo estático usando todos os dados coletados visando obter-se coordenadas precisas para servirem de referência para os cálculos futuros. Posteriormente, estes dados foram processados em modo estático, em intervalos de 10 minutos (de 10 a 120 minutos). As precisões obtidas estão representadas em gráficos e mediante a análise destes gráficos, foram apresentadas as conclusões correspondentes.

ABSTRACT

This work carries out a test over the static technique for distances between 20 and 100 km. In this project, with double frequency, five (5) baselines of 20, 40, 56, 70 and 96 km, between Curitiba and Ponta Grossa Cities, Paraná state, Brazil were measured; using the observation time of 2 hours and at a the save data rate of 5 seconds. In the beginning, data were processed in static mode, using all date, in order to get high precise coordinates, reference for future computing. Later on, these data were processed in static mode, with 10 minutes interval (10 up to 120 minutes). The obtained precisions are presented in graphics. Analyzing these graphics, correspondent conclusions were carried out.

Palavras chaves: GPS, Geodésia, Levantamentos, Estático.

1. INTRODUÇÃO

Na técnica de posicionamento relativo estático com o GPS (*Global Positioning System*), segundo o IBGE (1996), deve-se usar um tempo de observação de 2 horas para distâncias menores que 50 km, e 4 horas para distâncias menores que 100 km.

Com este trabalho pretende-se testar a técnica estática em distâncias entre 20 e 100 km para conhecer a sua precisão e a resolução das ambigüidades em função do tempo de observação.

No item 2 estão relatadas generalidades sobre o GPS, englobando apenas alguns conceitos básicos, informações mais detalhadas sobre o tema encontram-se em: LEICK (1995), SEEGER (1993), TEUNISSEN et al (1998), HOFMANN-WELLENHOF et al (1994). No item 3 é descrito o levantamento de campo realizado e no item 4 o processamento dos dados e a análise dos resultados. Finalmente, na parte 5 são apresentadas as conclusões, e as referências bibliográficas estão indicadas no item 6.

2. GENERALIDADES SOBRE GPS

O *NAVSTAR-GPS (NAVigation System with Time And Ranging - Global Positioning System)* é um projeto que visava inicialmente desenvolver uma técnica de posicionamento com precisão adequada (navegação), para uso da força militar americana e seus aliados em qualquer parte do mundo em qualquer instante. A comunidade civil explorou a possibilidade de utilizar este sistema para realizar medições geodésicas.

Convencionalmente o GPS é dividido em três segmentos: o espacial, o de controle e o do usuário. O segmento espacial consiste numa constelação de 24 satélites (o sistema foi planejado para 24 satélites, hoje existem 29) orbitando a Terra com altura média de 20.200 km, dispostos em 6 planos orbitais e com um período de 12 horas. A função principal de cada satélite é emitir para a Terra ondas de rádio com informações de tempo, sua posição e demais dados necessários para possibilitar a determinação das coordenadas de pontos sobre a superfície terrestre. O segmento de controle que atende este sistema é composto de 5 estações espalhadas pelos continentes. A estação central localiza-se em Colorado Spring nos EUA. Com estas estações, os satélites são rastreados permanentemente, permitindo a correção do tempo dos relógios, das órbitas e das demais informações dos satélites. O segmento do usuário está relacionado com os equipamentos (receptores) encarregados de posicionar os pontos sobre a superfície terrestre.

Cada satélite que compõe a constelação GPS, emite sinais de rádio, denominados L1 e L2, modulados com os códigos C/A na portadora L1, e P em ambas as portadoras; emite também os sinais de mensagem de navegação com outras informações como por exemplo, as posições dos satélites. O ruído nos códigos para receptores clássicos é considerado como 1% do comprimento de onda, sendo que o código C/A (Livre Aquisição) tem um comprimento de onda de 293,1

m, e uma precisão de aproximadamente 3 m. O código P (Preciso) tem um comprimento de onda de 29,31 m, e uma precisão de aproximadamente 0,30 m (para receptores com tecnologia moderna, o ruído nos códigos é de poucos centímetros) (SEEBER, 1993). Sendo o GPS um sistema desenvolvido para a defesa dos EUA, é claro que os americanos têm o total controle do mesmo e o uso do código P é restrito a eles e seus aliados. Desde 31-01-1994 a técnica de segurança *Anti-Spoofing* (AS) encontra-se ativada. Ela, codifica o código P sobre as duas fases das portadoras L1 e L2 em um código secreto denominado de código Y. Eles, ainda manipulam as frequências dos relógios dos satélites e as efemérides transmitidas, através da técnica de segurança denominado *Selective Availability* (SA). Ela leva a precisão do código C/A (usado pela comunidade civil) para cerca de 100 m (nível de probabilidade de 95%). Logo, em geral, fala-se que o GPS para navegação civil tem uma precisão aproximada de 100 m. Contudo, a partir do dia 02-05-2000, o presidente dos Estados Unidos da América determinou a desativação do efeito *Dither* - (δ) da técnica de segurança SA, possibilitando a navegação civil (receptores com código C/A) com precisão inferior a 25 m, e para receptores geodésicos inferior a 10 m (DIVIS, 2000).

A comunidade geodésica explorou a possibilidade de realizar medições da fase da portadora, atingindo 2 mm de precisão no posicionamento relativo. É claro que para atingir esta precisão é necessário minimizar os erros provenientes do AS, atmosfera, etc.

O posicionamento de pontos sobre a superfície terrestre pode ser realizado através de 2 métodos denominados: absoluto e relativo.

O método absoluto se caracteriza pelo posicionamento de pontos isolados de forma estática ou cinemática. Emprega apenas um receptor GPS e está baseado nas medidas das pseudodistâncias com o uso dos códigos e/ou das portadoras, e as coordenadas obtidas estão associadas diretamente ao geocentro.

A equação de observação fundamental para a pseudodistância associada à fase do código no GPS é formulada por (TEUNISSEN et al, 1998):

$$P = \rho + c.(dt-dT) + d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon; \quad (1)$$

onde:

- P: Pseudodistância satélite-receptor;
- ρ : Distância geométrica satélite-receptor (ou raio vetor entre a antena do satélite e a antena do receptor posicionado);
- c: Velocidade de propagação da luz no vácuo;
- dt: Erro de sincronismo do relógio do satélite;
- dT: Erro de sincronismo do relógio do receptor;
- d_{ion} : Refração ionosférica;
- d_{trop} : Refração troposférica;
- ε : Demais erros existentes (ruídos do receptor, efeito de reflexão, variação do centro de fase da antena, etc).

O posicionamento relativo envolve dois ou mais receptores em uso simultâneo. Um deles permanece fixo na estação de coordenadas conhecidas, e o(s) outro(s) ocupa(m) ponto(s) de interesse (coordenadas desconhecidas), realizando observações simultâneas dos sinais dos satélites. Aqui, as coordenadas são determinadas com relação a um referencial materializado por um ou mais vértices com coordenadas conhecidas.

A equação de observação fundamental para um posicionamento relativo observando-se a fase da portadora, é formulada por (TEUNISSEN et al, 1998):

$$\Phi = \rho + c.(dt-dT) + \lambda N - d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon; \quad (2)$$

onde:

Φ : Medição da fase da portadora em ciclos;

λ : Comprimento da onda portadora;

N : Ambigüidade (em ciclos) da medida da fase da portadora.

Assumindo observações simultâneas em duas estações e no mínimo dois satélites, as combinações lineares de simples, dupla e tripla diferença de fase podem ser realizadas conduzindo a uma eliminação ou minimização dos erros existentes no sistema (HOFMANN-WELLENHOF, 1994).

Ainda que as ambigüidades (N) sejam números inteiros, elas podem ser números fracionários em virtude de resultarem da solução de um sistema de equações. Se isto ocorrer, tem-se uma solução flutuante (*float solution*). Estes números fracionários podem ser arredondados para o número inteiro mais próximo, o que caracteriza a solução chamada fixa. Basicamente, fala-se de três métodos para a determinação das ambigüidades (SEEBER, 1993). O primeiro baseia-se na mudança da geometria dos satélites, o segundo é uma combinação do código e da fase da portadora, e o terceiro baseia-se na procura das ambigüidades. A primeira solução necessita de longos períodos de observação, enquanto que os outros necessitam de um menor tempo de observação. Qualquer outro método, por enquanto, é a combinação destes três.

No método de posicionamento relativo, basicamente, existem três técnicas GPS em relação direta com os métodos de resolução das ambigüidades: a estática, a estática rápida e a cinemática.

A técnica estática caracteriza-se por dois ou mais receptores rastrear simultaneamente os satélites por um determinado tempo, com um intervalo médio de gravação de dados de 15 segundos. Este tempo é função do comprimento da linha base. Nesta técnica, a solução das ambigüidades baseia-se no método geométrico. Em distâncias curtas, pode-se trabalhar só com uma frequência, em distâncias longas deve-se utilizar duas frequências devido à influência da ionosfera.

A técnica estática rápida diferencia-se da técnica estática pelo fato de empregar menor tempo de observação e menor taxa de gravação de dados.

A técnica cinemática caracteriza-se por utilizar um receptor fixo na estação de coordenadas conhecidas, e um receptor itinerante. Emprega-se a taxa de gravação de dados de um segundo e a solução das ambigüidades é realizada pelos métodos rápidos como, por exemplo, o *OTF (On The Fly)*.

3. LEVANTAMENTOS DE CAMPO

O levantamento de campo consistiu na medição, com dois receptores GPS geodésicos ASHTECH Z12 (eles, permitem rastrear as portadoras L1 e L2 e os códigos C/A e P de até 12 satélites simultaneamente) de 5 pontos com distâncias aproximadas de 20 km, 40 km, 56 km, 70 km e 96 km. O marco RM03, localizado próximo ao LAGE (Laboratório de Geodésia Espacial) no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR), foi empregado como estação base. Os pontos foram medidos duas vezes, em duas campanhas diferentes. Os demais marcos implantados na área em estudo tiveram as suas coordenadas determinadas a partir desta estação base e foram rastreados nas duas campanhas mencionadas: a primeira de 28 a 30-04-00 e a segunda de 02 a 07-06-00, a taxa de gravação de dados foi de cinco (5) segundos. A tabela 1 apresenta o tempo de observação de cada ponto e a sua distância aproximada à estação base.

Tabela 1: Informação das linhas de base

Ponto	Distância aproximada até o RM03 (km)	Tempo de observação (horas)
P020	20	2
P040	40	2
P056	56	2
P070	70	2
P096	96	2

4. PROCESSAMENTO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados coletados foram pós-processados utilizando-se o programa PRISM. Ele, é um software comercial da ASHTECH Inc., desenvolvido para processar dados GPS (L1, L2 e códigos) nos modos estático, estático rápido e cinemático. As linhas de base processadas constituíram-se da estação base RM03 e das marcos itinerantes P020, P040, P056, P070 e P096.

4.1. OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DOS PONTOS

Inicialmente as linhas de base foram processadas no modo estático empregando-se todas as informações coletadas nas duas campanhas, para obter as coordenadas de cada ponto. Elas serão consideradas precisas visando a comparação dos resultados dos processamentos realizados na seqüência. A resolução das

ambigüidades foi realizada empregando-se a *Wide-Lane* (WL) e a fase da portadora L1. Os resultados da segunda campanha foram melhores que os da primeira, então optou-se pela utilização dos dados da 1ª campanha nos estudos seguintes visando obter resultados nas situações mais desfavoráveis.

A técnica *Wide-Lane* é obtida pela diferença entre as portadoras L1 e L2, segundo a seguinte equação (HOFMANN-WELLENHOF et al, 1994):

$$f = n_1 * f_1 + n_2 * f_2; \quad (3)$$

sendo:

f: Freqüência da onda resultante;

n_1 : 1;

f_1 : Freqüência da portadora L1;

n_2 : -1;

f_2 : Freqüência da portadora L2.

Esta combinação gera uma onda com comprimento de 86,2 cm, que por ser maior que L1 e L2 ajuda na resolução das ambigüidades.

4.2. PROCESSAMENTO E ANÁLISE DA TÉCNICA ESTÁTICA

Os dados coletados na 1ª campanha foram processados empregando-se a técnica *Wide-Lane* (WL) e a fase da portadora L1, conforme descrito em 4.1.

Segundo o manual do PRISM, para distâncias de até 15 quilômetros, a influência da atmosfera pode ser negligenciada, as medições podem ser realizadas inclusive com uma só freqüência. Neste caso, onde as linhas de base são superiores a 20 km, os efeitos da ionosfera e troposfera influenciam os resíduos do sistema de equações no cálculo das coordenadas do ponto. Desta forma afetam a possibilidade de resolver as ambigüidades de maneira proporcional ao comprimento da linha de base.

Todas as linhas de base foram processadas com intervalos de tempo de observação incrementados em 10 minutos (10, 20, 30, etc), desde 10 até 120 minutos.

Destes processamentos foram obtidas as coordenadas geodésicas (ϕ , λ , h), o DOP (*Dilution of precision*), o RMS (erro médio quadrático) e as diferenças tridimensionais, entre estas coordenadas e as consideradas precisas, para cada tempo de observação e para as diferentes linhas de base.

A tabela 2 apresenta o tempo mínimo de observação no qual foram resolvidas as ambigüidades para cada linha de base, o RMS, as diferenças tridimensionais com as coordenadas consideradas precisas (DIF.) e a precisão (soma do RMS mais a DIF.).

Tabela 2: Informação sobre a resolução das ambigüidades

Ponto	Tempo (min)	RMS (cm)	Dif. (cm)	Precisão (cm)
P020	100	2,5	1,0	3,5
P040	50	2,2	1,1	3,3
P056	30	2,4	3,0	5,4
P070	70	2,5	2,8	5,3
P096	70	2,9	0,4	3,3

Analisando-se esta tabela observa-se que o tempo mínimo de observação é maior para a linha de base de 20 km que para as linhas de base de maior comprimento. Então, em geral, pode-se falar que para linhas de base entre 20 e 96 km o tempo mínimo de rastreo para a resolução das ambigüidades é de 100 minutos e também pode-se observar que a precisão obtida ao resolver as ambigüidades está entre 3 e 6 cm.

O gráfico 1 ilustra as diferenças tridimensionais acrescidas do RMS, entre as coordenadas geodésicas obtidas deste processamento e as coordenadas consideradas precisas, em função do tempo de observação, para os pontos de 20, 40, 56, 70 e 96 km. Analisando-se este gráfico observa-se que a precisão aumenta de 100 para 5 cm nos tempos de observação de 10 a 100 minutos respectivamente, e que esta precisão independe da distância da linha de base, sendo que para a linha de base de 20 km, a precisão é menor que para as linhas de base de comprimento maior.

Do gráfico 1 foram extraídos os valores máximos das precisões para os diferentes tempos de observação e com estes dados foi desenhada a curva com traço mais fino do gráfico 2, que representa as precisões máximas para as linhas de base entre 20 e 96 km, em função do tempo de observação (a precisão para 10 minutos foi excluída por ser muito baixa em relação aos demais tempos de observação). O gráfico 2 também apresenta uma curva aproximada por mínimos quadrados das precisões máximas para as distâncias consideradas em função do tempo de rastreo. Ainda pode-se considerar esta precisão como uma função linear da distância da linha de base como sendo de -4,5 mm por minuto de rastreo, começando com 47 cm em 20 minutos.

Gráfico 1: Precisão da técnica estática em função do tempo, para distâncias de 20, 40, 56, 70 e 96 km.

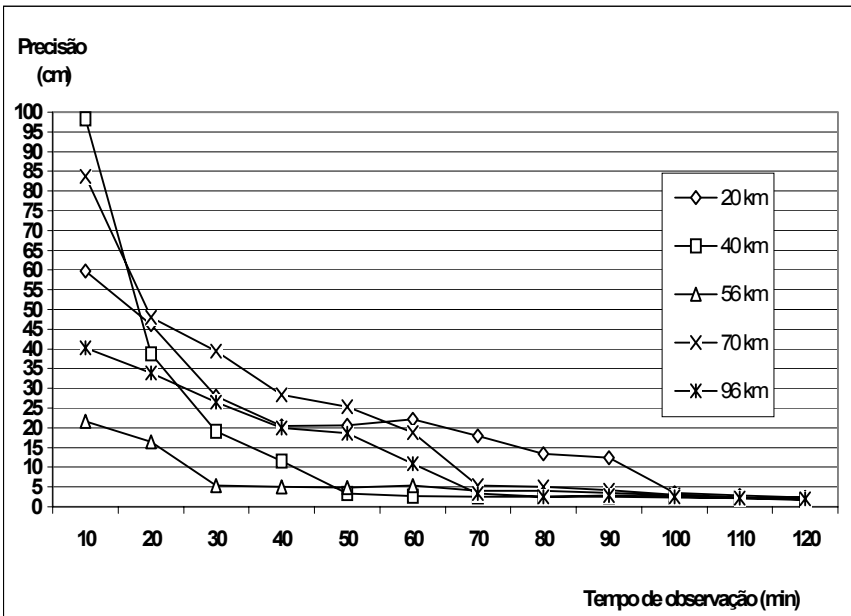
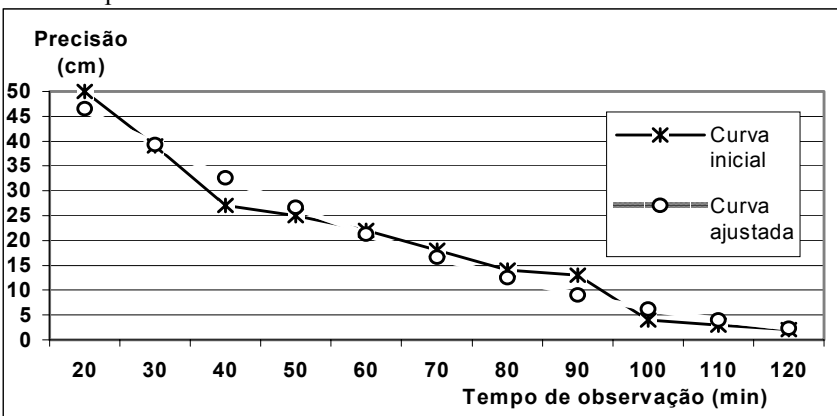


Gráfico 2: Curva aproximada de precisão da técnica estática em função do tempo, para distâncias entre 20 e 96 km



5. CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho consistiu na análise da precisão alcançada com o posicionamento relativo empregando a técnica estática em bases médias (linhas de base menores que 100 km). Este objetivo foi alcançado com a realização de levantamentos de campo em cinco linhas de base: 20 km, 40 km, 56 km, 70 km e 96 km, com tempo de observação de 2 horas, e um taxa de gravação de dados de 5 segundos. Os pontos (estações itinerantes) foram ocupados com o GPS em 2 campanhas distintas.

Para o processamento dos dados foi utilizado o programa comercial PRISM da ASHTECH. Inicialmente foram usados todos os dados disponíveis para se obter as coordenadas precisas de cada ponto. Elas passaram a servir de parâmetros para a comparação dos resultados obtidos com o pós-processamento posteriores.

Os dados foram processadas com intervalos de tempo de observação incrementados em 10 minutos (10, 20, 30, etc), desde 10 até 120 minutos. Destes processamentos foram obtidas as coordenadas geodésicas (ϕ , λ , h), o DOP, o RMS (erro médio quadrático) e as diferenças tridimensionais, entre estas coordenadas e as coordenadas consideradas precisas, para cada tempo de observação e para as diferentes linhas de base. Analisando-se os resultados observou-se que para linhas de base entre 20 e 96 km, o tempo mínimo de rastreamento para a resolução das ambigüidades é de 100 minutos.

Também pode-se observar que a precisão obtida ao resolver as ambigüidades está entre 3 e 6 cm. De forma conservadora pode-se falar que o tempo de rastreamento recomendado para conseguir a resolução das ambigüidades usando a técnica estática, para linhas de base entre 20 e 96 km, é de duas (2) horas.

Foi ajustada uma curva com as precisões máximas das diferentes linhas de base em função do tempo de observação e analisando a curva foi observado que a precisão aumenta de 100 para 5 cm nos tempos de observação de 10 a 100 minutos respectivamente e que esta precisão independe da distância da linha de base. Com base nesta curva, considera-se a precisão do posicionamento estático, para linhas de base entre 20 e 96 km, como uma função linear do tempo de observação como sendo de -4,5 mm por minuto de rastreamento, começando com 47 cm em 20 minutos.

6. REFERÊNCIAS

- ASHTECH. **PRISM Software Suite: Software User's Guide**. 1995.
- DIVIS, DEE A. SA: **Going to the way of the dinosaur**. GPS WORLD. Junho, 2000.
- HOFMANN-WELLENHOF, B; LICHTENEGGER, H; COLLINS, J. **Global Positioning System**. 3. ed. New York: Springer-Verlag, 1994.
- IBGE. **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos**. Rio de Janeiro, 1996.
- LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 2 ed. New York: Jhon Wiley & Sons, Inc, 1995.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy**. Berlin-New York: Walter de Gruyter, 1993.
TEUNISSEN, P. J; KLEUSBERG, A. **GSP for Geodesy**. 2. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1998.

(Recebido em 02/03/00. Aceito para publicação em 08/02/02.)