
ANÁLISE DA PRECISÃO DE EQUIPAMENTOS GEODÉSICOS NA DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIAS CURTAS

RENATA MAGDA CAVALCANTE WERLICH
NASSAU DE NOGUEIRA NARDEZ
ANDERSON RENATO VISKI
CLAUDIA PEREIRA KRUEGER

Universidade Federal do Paraná – UFPR
Setor de Ciências da Terra – CT
Departamento de Geomática – DGEOM
Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia – LAGEH
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – PPGCG
renatawerlich@gmail.com; nardez Nassau@hotmail.com; andernxs@hotmail.com; ckrueger@ufpr.br

RESUMO – Nos dias de hoje, com o avanço da tecnologia, principalmente no âmbito das ciências geodésicas, cada vez mais os equipamentos de mensuração apresentam precisões da ordem de centímetros pelo fabricante, para alguns equipamentos como receptores GNSS estas precisões chegam a ser da ordem de milímetros dependendo do método de rastreamento utilizado. Com o intuito de verificar as precisões impostas pelo fabricante no que diz respeito aos receptores GNSS, foram realizados rastreios de satélites artificiais com diferentes receptores em três pilares da Base de Calibração de Antenas GNSS da UFPR (BCAL/UFPR). Foram utilizados receptores e antenas da série 900 e 1200 da fabricante *Leica* e uma estação total *Leica SmartStation* a fim de comparar os dados e verificar a acurácia dos mesmos. Os resultados alcançados para linhas de base curta atendem as precisões e a acurácia imposta pelo fabricante.

ABSTRACT – Nowadays, with the advancement of technology, mainly within geodetic science, more and more equipment of measurement have precision of the order of centimeters by the manufacturer, for some equipment as GNSS receivers, these accuracies are up to the order of millimeters depending on the method used. In order to check the specifications stipulated by the manufacturer with regard to GNSS receivers, measurements were made of artificial satellites with different receptors on three pillars of Base of Antenna Calibration of UFPR (BCAL/UFPR). Receivers and antennas were used in the series 900 and 1200 of the manufacturer *Leica* and a total station *Leica SmartStation* order to compare the data and verify the accuracy of the same. The results obtained for short baselines meet the precision and accuracy imposed by the manufacturer.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o manual do fabricante do receptor *Leica* GPS 900, a precisão é dependente de vários fatores, dentre eles cita-se: o número de satélites visíveis, a geometria da constelação de satélites visíveis, o tempo de rastreamento, a precisão das efemérides e os distúrbios ionosféricos.

Segundo Hofmann-Wellenhof *et al.* (2001), as fontes de erros em equipamentos geodésicos, podem ser divididas em três grupos principais: erros relacionados com os satélites, erros relacionados com o meio de propagação do sinal e erros relacionados com o receptor.

Para o desenvolvimento do presente trabalho torna-se necessário o entendimento do conceito de precisão e de acurácia. De acordo com Monico (2000), a acurácia é definida como o grau de concordância entre o valor estimado e o verdadeiro para uma determinada grandeza, em contrapartida a precisão, é a dispersão de um conjunto de observações.

Os receptores GPS (*Global Positioning System*), apesar de serem equipamentos eletrônicos, não possuem uma rotina de verificação dos equipamentos. De acordo com Silva e Santos (2010), devido a ausência de normas nacionais, normas internacionais têm sido utilizadas para a verificação dos equipamentos geodésicos, porém no Brasil não se tem conhecimento de estudos que utilizam tais normas.

Neste trabalho, serão realizados alguns experimentos com o receptor *Leica* GPS 900, com o objetivo de verificar a precisão imposta pelo fabricante. Para isso, serão ocupados alguns pontos localizados no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná – UFPR, a fim de se analisar os vetores das linhas de base curtas.

De forma a contornar os efeitos das variáveis apresentadas acima, as quais influenciam diretamente na precisão obtida em levantamentos através de rastreamento de satélites artificiais, os rastreios foram realizados de forma simultânea, podendo assim considerar estes efeitos como sistemáticos para todos os pontos rastreados.

2 MÉTODO DE POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO

O posicionamento relativo estático caracteriza-se pela observação simultânea dos sinais advindos dos satélites em pelo menos duas estações distintas, tomando-se uma dessas estações como estação base, com coordenadas geodésicas conhecidas com precisão, além de outras estações denominadas itinerantes. No Brasil deve-se destacar que se dispõe de redes de monitoramento contínuo, e.g. RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), as quais fornecem dados com precisão para o pós-processamento de observações GPS.

No Posicionamento Relativo não se determinam diretamente coordenadas de um ponto, mas o vetor (linha de base), que une a estação com coordenadas conhecidas ao ponto no qual deseja-se determinar as coordenadas. Na Figura 1 pode-se observar o princípio do método. As estações (base e itinerante) devem rastrear simultaneamente, os satélites visíveis (pelo menos quatro), com intervalos de gravação de dados iguais ou múltiplas. Neste método, segundo Krueger (2006), para uma linha de base menor que 10 km é possível obter uma precisão de 1,5 a 5 mm + (0,01 a 1 ppm), com no mínimo uma hora de rastreamento.

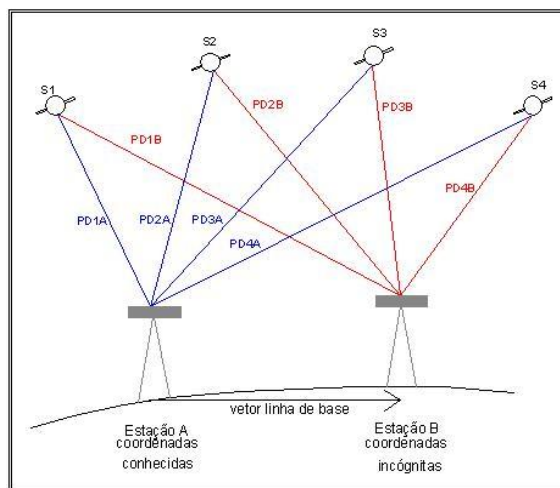


Figura 1 – Princípio do Posicionamento Relativo Estático
Fonte: Adaptado de KRUEGER (2006)

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se no Campus Jardim das Américas do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná. Foram utilizados como estações itinerantes três marcos denominados: pilar 1000, pilar 2000 e pilar 3000 como mostra a Figura 2.



Figura 2 – Pilares e estações utilizadas
Fonte: Adaptado de Google Earth (2011) e HUINCA (2009)

Os pilares, materializados na laje do antigo observatório astronômico Camil Gemael localizado ao lado do Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH) (Figura 2), compõem a primeira base de calibração de antenas GNSS da América Latina denominada BCAL/UFPR (HUINCA, 2009).

Foram utilizadas como estação base o marco RM03 e a estação da RBMC Curitiba UFPR, ambas localizadas nas dependências do Campus onde foi realizado o estudo (Figura 2). Uma terceira estação, denominada UnicenP, foi utilizada como estação de referência. A mesma pertencente à rede de monitoramento da empresa Manfra e é homologada pelo IBGE.

O Quadro 1 apresenta as coordenadas geodésicas das estações de referência utilizadas, assim como os respectivos desvios-padrão. As coordenadas geodésicas da estação Curitiba UFPR e RM03 estão referenciadas ao SIRGAS2000, enquanto que as coordenadas geodésicas da estação UnicenP estão referenciadas ao SAD-69.

Estação de referência	Latitude	σ (m)	Longitude	σ (m)	Altitude Elipsoidal	σ (m)
Curitiba UFPR	-25°26'54,1269"	0,001	-49°13'51,4372"	0,001	925,81 m	0,004
UnicenP	-25°26'50,8424"	0,001	-49°21'33,4463"	0,001	960,15 m	0,011
RM03	-25°26'54,56631"	0,0001	-49°13'52,21111"	0,0001	923,7064 m	0,0003

Quadro 1 – Coordenadas geodésicas e desvios-padrão das estações de referência
Fonte: IBGE (2010) e Manfra (2010)

3.2 Equipamentos

No método de posicionamento relativo estático foram utilizados os seguintes equipamentos, ambos com 24 canais e de dupla frequência (L1 e L2):

- Receptor 1: *Leica* GPS 900 e antena ATX 900:
 - Precisão no modo estático (*Leica Geosystems*, 2007):
 - Horizontal: 10 mm ± 1 ppm; e
 - Vertical: 20 mm ± 1 ppm.
- Receptor 2: *Leica* GPS 1200 e antena AX 1201 (*Leica Geosystems*, 2008):
 - Precisão no modo estático:
 - Horizontal: 5 mm ± 0,5 ppm; e
 - Vertical: 10 mm ± 0,5 ppm.

E para a realização das medidas das distâncias horizontais entre os pilares, foi empregado o seguinte equipamento:

- Estação total *Leica SmartStation*:
 - Precisão linear com prisma (Manfra, 2011):
 - $1 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$.

3.3 Experimentos

Os dados dos rastreios realizados nos pilares (1000, 2000 e 3000) foram processados com o *software Leica Geo Office* (LGO). A estação de referência utilizada foi a RM03, no entanto esta estação utilizou como estações de referência as estações Curitiba UFPR e UnicenP.

O intervalo de gravação de dados utilizado para os pilares foi de 5 segundos, utilizou-se de receptores Leica GPS 900, e antenas tipo ATX 900.

As estações base utilizadas para o processamento relativo dos rastreios realizados nos três pilares e suas características são apresentadas a seguir.

Rastreou-se a estação base RM03 ao mesmo tempo em que os pilares, no rastreio foi empregado um intervalo de gravação de dados de 1 segundo através de um receptor *Leica GPS 1200* e uma antena *Leica* modelo AX 1201. A estação base Curitiba UFPR possui um intervalo de gravação de dados de 5 segundos, um receptor NetR5 da *Trimble* e uma antena modelo ZEPHYR GNSS *GEODETIC MODEL 2* (TRM 55971.00) e por fim a estação UnicenP a qual possui um intervalo de gravação de dados de 1 segundo, um receptor *Leica RS 500* e uma antena modelo *Leica RS 500*.

Os rastreios de satélites foram realizados em três dias GPS distintos, dia GPS 230, dia 237 e dia GPS 244. Foram realizados processamentos empregando-se as efemérides precisas e processamentos sem as efemérides.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

No Quadro 2, são apresentadas as linhas de base formadas, o dia GPS, a duração dos rastreios, os comprimentos das linhas de base formadas bem como os valores dos PDOPs máximos e mínimos. Verifica-se que as medidas das coordenadas geodésicas, foram efetuadas nos três dias de campanha, contribuindo na verificação das linhas de bases entre os pontos. Para a execução dos processamentos foram utilizadas efemérides transmitidas, e precisas (índice "P" na coluna processamentos), as quais não apresentaram diferença significativa em seu uso na comparação das distâncias. Ainda no processamento foi empregada a máscara de elevação de 15° com a finalidade de minimizar os erros troposféricos.

Processamentos	Linha de Base	Dia GPS	Duração do rastreio	Distância entre pilares (m)	PDOP (máx)	PDOP (mín)
230_BASE1000_2000	BASE1000_2000	230	2h00'40"	5,8774	2,8	1,9
230_BASE2000_1000	BASE2000_1000	230	2h00'40"	5,8774	2,8	1,9
230_BASE1000_2000_P	BASE1000_2000	230	2h00'40"	5,8774	2,8	1,9
230_BASE2000_1000_P	BASE2000_1000	230	2h00'40"	5,8774	2,8	1,9
237_BASE1000_3000	BASE1000_3000	237	2h00'05"	4,4987	3	1,7
237_BASE3000_1000	BASE3000_1000	237	2h00'05"	4,4987	3	1,7
237_BASE1000_3000_P	BASE1000_3000	237	2h00'05"	4,4987	3	1,7
237_BASE3000_1000_P	BASE3000_1000	237	2h00'05"	4,4987	3	1,7
244_BASE1000_2000_3000	BASE1000_2000	244	30'35"	5,8806	2	1,8
244_BASE1000_2000_3000_P	BASE1000_3000	244	2h20'35"	4,4992	10,7	1,7
244_BASE2000_1000_3000	BASE2000_1000	244	30'35"	5,8806	2	1,8
244_BASE2000_1000_3000_P	BASE2000_3000	244	30'35"	7,4619	2	1,8
244_BASE3000_1000_2000	BASE3000_1000	244	2h20'35"	4,4992	10,7	1,7
244_BASE3000_1000_2000_P	BASE3000_2000	244	30'35"	7,4637	2	1,8
244_BASE1000_2000_3000_P	BASE1000_2000	244	30'35"	5,8806	2	1,8
244_BASE1000_2000_3000_P	BASE1000_3000	244	2h20'35"	4,4992	10,7	1,7
244_BASE2000_1000_3000_P	BASE2000_1000	244	30'35"	5,8806	2	1,8

244_BASE2000_1000_3000_P	BASE2000_3000	244	30'35"	7,4619	2	1,8
244_BASE3000_1000_2000_P	BASE3000_1000	244	2h20'35"	4,4992	10,7	1,7
244_BASE3000_1000_2000_P	BASE3000_2000	244	30'35"	7,4619	2	1,8

Quadro 2 – Características das linhas de base formadas

Verifica-se que os PDOPs (Quadro 2) atingiram valores mínimos de 1,7 e valores máximos de 10,7 o que pode ter ocorrido pela influência da geometria dos satélites para aquele período de tempo. As distâncias entre os pilares são consideradas curtas, não ultrapassando o valor de 7,5 m tendo-se a menor distância de aproximadamente 4,5 m. Destaca-se que devido a proximidade das estações, todas as soluções foram fixadas, resolvendo 100% das ambiguidades envolvidas.

Como forma de verificar as distâncias formadas pelas linhas de base geradas neste trabalho, foi utilizada uma estação total. O objetivo desta verificação é comparar as linhas de base formadas pelo processamento GPS e as medidas topográficas horizontais entre os pilares da base de calibração. Com isso foi possível comparar a qualidade métrica das medidas realizadas com o GPS *Leica* GPS 900, essa comparação é importante para verificar se não houve inserção de possíveis erros na determinação dos vetores formados pelo processamento dos dados GPS entre os pilares.

O Quadro 3 apresenta as distâncias entre os pilares medidos com o receptor GPS e a estação total.

Pilar ocupado	Pilar visado	Distância estação total (m)	Distancia GPS média (m)
1000	2000	5,877	5,877
1000	3000	4,499	4,499
2000	3000	7,464	7,461

Quadro 3 – Comparação de distâncias entre o receptor GPS e a estação total

Verifica-se que as distâncias não apresentaram diferenças entre os dois métodos de medição, apenas entre os pilares 2000 e 3000 foi detectada uma variação na distância de 0,003 m.

4.1 Análise da precisão horizontal

Para verificar se as precisões horizontais alcançadas estão dentro dos padrões preconizados pelo manual do fabricante, foram efetuadas as correções do cálculo do arco de deslocamento infinitesimal em latitude e longitude geodésicas, segundo as equações de cálculo da excentricidade, raio de curvatura da seção transversal e meridiana, achatamento, semi-eixo maior e os respectivos valores dos parâmetros definidores do WGS-84, o leitor poderá encontrar detalhes em Gemael (1959).

Segundo o manual do *Leica* GPS 900, a precisão horizontal estabelecida é de 10 mm \pm 1ppm. No Quadro 4, foram verificadas as precisões com relação aos vetores formados pelos três dias de campanha entre os pilares. Verifica-se que a variação média horizontal ficou abaixo da estabelecida pelo fabricante com valores de no máximo 0,010670872 m e mínimo de 0,001303879 m.

Para as linhas de bases onde também foi possível realizar as medidas com a estação total os valores médios foram: para a linha de base pilar 1000-2000 a média da precisão horizontal alcançada foi de 0,001643343 m; para a linha de base pilar 1000-3000 a média da precisão horizontal alcançada foi de 0,001306798 m e para a linha de base pilar 2000-3000 a média da precisão horizontal alcançada foi de 0,002079178 m.

Estação itinerante	Estação de referência	Dia GPS	Precisão horizontal alcançada (m)
1000	UFPR	230	0,010670872
1000	RM03	230	0,004282889
1000	2000	230	0,001642993
1000	3000	230	0,001307716
1000	UFPR	237	0,010671078
1000	RM03	237	0,004284409
1000	2000	237	0,001644028
1000	3000	237	0,001305351
1000	UFPR	244	0,010671145
1000	RM03	244	0,004285293

1000	2000	244	0,00164461
1000	3000	244	0,001303879
2000	UFPR	230	0,009131853
2000	RM03	230	0,00270079
2000	1000	230	0,001642993
2000	3000	230	0,002079522
2000	UFPR	244	0,009131339
2000	RM03	244	0,002702853
2000	1000	244	0,001642092
2000	3000	244	0,002076574
3000	UFPR	237	0,010296676
3000	RM03	237	0,004714888
3000	1000	237	0,001307716
3000	2000	237	0,002079522
3000	UFPR	244	0,010297027
3000	RM03	244	0,004716276
3000	1000	244	0,001309328
3000	2000	244	0,002081093
RM03	UFPR	230	0,007351937
RM03	1000	230	0,004282889
RM03	2000	230	0,00270079
RM03	3000	230	0,004714888
RM03	UFPR	237	0,007351937
RM03	1000	237	0,004282889
RM03	2000	237	0,00270079
RM03	3000	237	0,004714888
RM03	UFPR	244	0,007351937
RM03	1000	244	0,004282889
RM03	2000	244	0,00270079
RM03	3000	244	0,004714888

Quadro 4 – Cálculo das precisões planimétricas

4.2 Análise da precisão vertical

O Quadro 5 apresenta a variação da altitude elipsoidal em cada pilar determinada pelo sistema de posicionamento global (GPS), para os três dias de campanha. De acordo com as especificações do fabricante a precisão vertical do equipamento (*Leica GPS 900*) é estabelecida em: 20 mm \pm 1ppm.

Após a realização dos processamentos das coordenadas geodésicas tridimensionais dos pontos, foram realizadas análises das altitudes elipsoidal das bases utilizadas como precisas. A menor diferença encontrada foi de 0,2 mm e o maior valor foi de 6,3 mm. Verifica-se, portanto, que os valores obtidos não excederam a precisão nominal do equipamento empregado.

Dias GPS	Pilar	Diferença de altitude (m)
237-244	3000	0,0016
230-237	1000	0,0017
237-244	1000	0,0063
230-237	RM03	0,0002

Quadro 5 – Variação da altitude elipsoidal

5 CONCLUSÃO

Neste estudo foram realizadas análises das linhas de base utilizando curtas distâncias com o emprego de receptores *Leica* GPS 900, para verificar a precisão estabelecida pelo fabricante dos equipamentos de rastreamento GPS.

Os dados foram coletados sobre os pilares da BCAL/UFPR do Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia, por meio do método de posicionamento relativo estático. Sabe-se que para o desenvolvimento do estudo foram necessárias coletas de dados em um total de 3 dias, sendo que os dias de observações em campo não foram contínuos.

Como o método de posicionamento relativo caracteriza-se pela utilização de mais de um receptor para a determinação das coordenadas de um vetor, considera-se esse método o mais indicado para este trabalho e análise de resultados.

Através dos resultados dos processamentos, foi possível verificar que as precisões verticais e horizontais, estabelecidas pelo fabricante, atendem as necessidades dos usuários do receptor *Leica* GPS 900.

É importante frisar que estas análises foram realizadas para linhas de bases menores que 10 m. Sendo aconselhável que estes experimentos sejam também executados para linha de bases médias e longas onde, espera-se que devido aos erros sistemáticos presentes nas observações e nos receptores esta precisão tenda a mudar.

REFERÊNCIAS

GEMAEL, C. **Geodésia Elementar: 1º Caderno**. Diretório Acadêmico de Engenharia do Paraná. 56. Ed. Curitiba: UFPR, 1959.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **GPS: Theory and Practice**. 3 ed. Wien: Springer. 2001.

IBGE (2010). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Relatório de Informação de Estação. Estação Curitiba UFPR. Disponível em: < ftp://geoftp.ibge.gov.br/RBMC/relatorio/Descritivo_UFPR.pdf >. Acesso em: 8 de setembro de 2010.

KRUEGER, C.P. **Posicionamento por Satélites**. Apostila do curso de especialização em geotecnologias, Universidade Federal do Paraná, 2006.

Leica Geosystems (2007). *Leica GPS 900 Technical Data*. Disponível em: <http://www.leica-geosystems.us/en/Leica-GPS900_62015.htm>. Acesso em: 27 de novembro de 2011.

Leica Geosystems (2008). *Leica GPS 1200+ Series High performance GNSS System*. Disponível em: < http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/gps/general/brochures/GPS1200_brochure_en.pdf >. Acesso em: 27 de novembro de 2011.

Manfra (2010). Rede Manfra de Monitoramento Contínuo. Estação UnicenP – Curitiba. Disponível em: < http://www.manfra.com.br/bases2.php?base=ctba >. Acesso em: 8 de setembro de 2010.

Manfra (2011). Estação Total Profissional Leica Série TPS 1200+. Disponível em: < http://www.manfra.com.br/produtos.php?tipo=novos&produto=32 >. Acesso em: 27 de novembro de 2011.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Ed. UNESP. 2000.

SILVA, K. K., SANTOS, M, A. **Adaptação da Norma ISO 17123-8 para Testes em Equipamentos GNSS Utilizando o Método de Posicionamento Relativo Estático**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010 p. 001 – 004.