

Experiências com o Posicionamento por Ponto preciso empregando algumas Estações GPS da RBMC

Mauricio Ihlenfeldt Sejas ¹
Alexandre Moreira Ramos ²
Profa. Dra. Cláudia Pereira Krueger ¹

¹UFPR - Departamento de Geomática
81531-990 Curitiba – PR

msejas@ufpr.br ; ckruger@ufpr.br

²Centro de Hidrografia da Marinha
24048-900 Niterói – RJ

moreira.ramos@chm.mar.mil.br

Resumo: Uma alternativa para a técnica relativa no posicionamento geodésico preciso com GPS em países de dimensões como as do Brasil é o posicionamento por ponto preciso pelo fato dele independe das distâncias entre as estações GPS. A acurácia alcançada por este método pode ser da ordem de poucos centímetros quando observações obtidas em levantamentos estáticos são pós-processadas. Desta forma, nota-se que este método pode concorrer com os métodos tradicionais de posicionamento relativo que utilizam as duplas diferenças de fase no processamento. Experimentos foram realizados em quatro estações da RBMC e o programa científico Bernese v5.0 foi utilizado na estimativa dos parâmetros. Os resultados do processamento de 7 dias de dados mostram que a acurácia para as componentes planimétricas foi melhor que 4cm, enquanto que para a componente altimétrica foi melhor que 7cm.

Palavras chaves: GPS, Posicionamento por ponto preciso, Programa GPS Bernese, RBMC.

Abstract: One alternative to the well known differential technique for precise geodetic GPS-based positioning in countries as large as Brazil is the precise point positioning, due its independence on the distances between GPS stations. The accuracy reached by this method is about a few centimeters when observations from static surveys are post-processed. Thus, this method can compete with the traditional relative positioning methods based on phase double-difference processing. Experiments were carried out for four RBMC stations and the Bernese GPS Software v5.0 was used for parameter estimation. Results obtained from the processing of seven days of data show that for the horizontal components the accuracy was better than 4cm, whereas for the height component it was better than 7cm.

Keywords: GPS, Precise point positioning, Bernese GPS Software, RBMC.

1 Introdução

Segundo Seeber (2003), o princípio fundamental de navegação por satélites consiste na medida das pseudodistâncias entre o usuário e quatro satélites. Partindo-se do princípio que as coordenadas dos satélites são conhecidas em um sistema de referência apropriado, as coordenadas do usuário podem ser determinadas. Geometricamente três medidas seriam suficientes, porém uma quarta medida é necessária devido ao não sincronismo do relógio do receptor com o relógio do satélite. Zumberge et al. (1997) comenta que o termo *posicionamento por ponto* é historicamente atribuído ao posicionamento que utiliza pseudodistâncias (do código) e fixa os parâmetros transmitidos pelas mensagens de navegação (relacionados a órbita e relógio). Neste contexto, Monico (2000a) também denomina este tipo de posicionamento por *posicionamento por ponto convencional*.

Mesmo após o desligamento parcial da SA (*Selective Availability*), em maio de 2000, a acurácia obtida por este método não atinge o nível exigido para aplicações geodésicas devido à presença de diversas fontes de erro. Monico (2000b) destaca que os principais erros que afetam este método estão relacionados com a qualidade (precisão) da observável utilizada (pseudodistância) e a acurácia dos parâmetros transmitidos nas mensagens de navegação, bem como os advindos da refração atmosférica (troposférica e ionosférica), multicaminho, entre outros.

Devido às limitações de acurácia apresentadas pelo posicionamento por ponto (convencional), métodos de posicionamento relativos foram introduzidos. Neles, observações simultâneas devem ser coletadas por receptores em pelo menos duas estações, sendo uma de coordenadas conhecidas. Normalmente duplas diferenças de fase são formadas entre dois receptores e dois satélites e de acordo com Seeber (2003), elas são as observáveis básicas em muitos modelos de ajustamento empregados no GPS. Leick (1995) explica que o aspecto mais importante dessas observáveis é o cancelamento da maior parte dos erros referentes ao relógio dos receptores e dos satélites. Outro papel importante dessa observável é que as ambigüidades das duplas diferenças de fase podem ser arredondadas para números inteiros, segundo determinados critérios.

Apesar do método relativo dominar o campo de processamento de dados desde o início do GPS, King et al. (2002) observa que esta situação mudou no início dos anos 90. A disponibilidade de coordenadas e erro do relógio dos satélites mais precisos permitiu o desenvolvimento de uma nova metodologia que ficou conhecida como posicionamento por ponto preciso. Ela é baseada no processamento de observações não diferenciais (não relativas) do código e fase da onda portadora de um receptor GPS. A acurácia esperada por ela pode ser comparada àquelas obtidas pelos métodos relativos, sendo que sua performance já foi demonstrada em diversas publicações, tais como: Zumberge et al. (1997), Witchayangkoon (2000), Monico (2000b), Kouba e Héroux (2001), Shen e Gao (2002), Gao e Chen (2004), Faustino (2006), entre outros.

Neste trabalho serão apresentados resultados obtidos por meio do posicionamento por ponto preciso onde se utilizou o Programa Bernese na estimativa das coordenadas das estações e de outros parâmetros. As análises foram baseadas nos desvios-padrão das coordenadas, nas diferenças das coordenadas em relação aos valores conhecidos e nas diferenças das soluções diárias em relação à média.

2 Posicionamento por Ponto Preciso

O posicionamento por ponto preciso é um método baseado em observações não-diferenciadas, normalmente de dupla frequência, e que aplica dentre outras correções as de órbitas e erro do relógio dos satélites. O erro do relógio do receptor e o erro referente à refração troposférica são estimados no ajustamento, enquanto que o erro ionosférico é reduzido por meio da combinação linear livre da ionosfera (Wuebbena et al., 2005).

Considerando os modelos matemáticos básicos para as observações de pseudodistância do código e da fase da onda portadora entre uma estação A e um satélite j , para a frequência f , como sendo os apresentados pelas equações 1 e 2, respectivamente:

$$P_{A,f}^j = \rho_A^j + c(\delta t_A - \delta t^j) + O_A^j + T_A^j + I_{A,f}^j + M_{A,f,P}^j + A_{A,f,P}^j + \varepsilon_{A,f,P}^j \quad (1)$$

$$\lambda_f \Phi_{A,f}^j = \rho_A^j + c(\delta t_A - \delta t^j) + O_A^j + T_A^j + I_{A,f}^j + M_{A,f,\Phi}^j + A_{A,f,\Phi}^j + \lambda_f N_{A,f}^j + \varepsilon_{A,f,\Phi}^j \quad (2)$$

onde $P_{A,f}^j$ e $\Phi_{A,f}^j$ são respectivamente as pseudodistâncias do código e da fase da onda portadora; ρ_A^j é a distância geométrica entre o satélite e a estação observada; c é a velocidade da luz no vácuo; δt_A e δt^j são os erros de não sincronismo dos relógios do receptor e do satélite em relação ao tempo GPS; O_A^j é o erro orbital; T_A^j e $I_{A,f}^j$ são os erros de refração troposférica e ionosférica; $M_{A,f}^j$ é o erro provocado pelo multicaminho e $A_{A,f}^j$ pela variação do centro de fase da antena; λ_f é o comprimento de onda; $N_{A,f}^j$ o termo que designa a ambigüidade e $\varepsilon_{A,f,P}^j$ são os resíduos de efeitos aleatórios ou não modelados.

Para reduzir o efeito ionosférico a combinação linear livre da ionosfera (*ionosphere-free*) pode ser formada utilizando as observações do código e da fase da onda portadora (equações 3 e 4), nas duas frequências. Como essa combinação linear não é baseada em coeficientes inteiros, as ambigüidades também não serão números inteiros.

$$P_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} P_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_1^2} P_2 \approx 2,54P_1 - 1,54P_2 \quad (3)$$

$$\Phi_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \Phi_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_1^2} \Phi_2 \approx 2,54\Phi_1 - 1,54\Phi_2 \quad (4)$$

Da equação resultante, os termos referentes ao erro do relógio do satélite e órbita são considerados conhecidos quando se utilizam informações precisas. Segundo IGS (2007), as coordenadas dos satélites e o erro do relógio podem ser determinadas com precisão inferior a 5cm e 0,1ns, respectivamente, com uma latência de 17 horas. Para aplicações em tempo real existem serviços recentes que fornecem coordenadas e relógio precisos quase em tempo real, como o IGDG (*Internet-based Global Differential GPS*) do JPL (*Jet Propulsion Laboratory*). Este produto apresenta precisão melhor que 20cm para as coordenadas dos satélites e aproximadamente 0,7ns para o relógio. As informações referentes à órbita são disponibilizadas a cada 30 segundos e as de relógio a cada segundo, com uma latência de 4 a 6 segundos (JPL, 2007).

Erros associados ao multicaminho e variação do centro de fase da antena também podem ser removidos da equação livre da ionosfera, desde que eles sejam tratados adequadamente. Para Seeber (2003), o multicaminho afeta tanto observações de fase quanto as do código, mas em magnitude diferente. O efeito sobre as observações do código P são afetadas com uma magnitude duas vezes maior que as observações de fase, podendo alcançar de decímetros a metros. Uma das formas de reduzir o efeito do multicaminho é a utilização de antenas tipo *choke ring*. Mas a melhor foram é escolher locais apropriados para realizar o levantamento, evitando superfícies refletoras próximas à antena. O emprego de antenas calibradas reduz o problema referente à variação do centro de fase da antena. Segundo Mader (1999), ignorando as variações do centro de fase os erros verticais podem chegar a 10 cm. Freiburger Jr. (2007) realizou um estudo com o objetivo de investigar métodos de calibração de antenas de receptores GNSS. Maiores esclarecimentos sobre o tema podem ser obtidos nesta referência.

As observáveis resultantes da combinação linear formada anteriormente ainda estão sob efeito de diversas outras fontes de erro, incluindo o erro do relógio do receptor e da troposfera. Para alcançar alta precisão no posicionamento por ponto esses erros devem ser eliminados ou reduzidos a valores negligenciáveis (Shen e Gao, 2002).

O atraso troposférico não pode ser totalmente eliminado empregando os modelos disponíveis. Normalmente essa fonte de erro é separada em duas partes: uma seca e outra úmida. Algo em torno de 90% do atraso troposférico é devido à parte seca, a qual pode ser estimada com precisão próxima a 1% quando a pressão é conhecida, enquanto que a parte úmida é mais difícil de ser modelada e que para reduzir a influência dessa fonte de erro no PPP, o atraso zenital troposférico para a parte úmida, associado a uma função de mapeamento, é modelada como um parâmetro a ser estimado junto aos demais parâmetros no ajustamento (Shen e Gao, 2002).

Na tentativa de combinar a posição do satélite e relógio precisos (da ordem de poucos cm), com a combinação linear da fase (precisão milimétrica), Kouba e Héroux (2001) discutem a necessidade de se levar em conta alguns efeitos que podem não ser considerados no modelo da pseudodistância e nem do posicionamento diferencial, tais como: *offset* da antena do satélite, *phase wind-up*, marés terrestres, sobrecarga oceânica e parâmetros de rotação da Terra. Para maiores detalhes sobre estes e outros efeitos, consultar: Witchayangkoon (2000), Kouba e Héroux (2001), Faustino (2006).

Desta forma, o posicionamento por ponto preciso consiste nos seguintes parâmetros: três coordenadas da estação; o erro do relógio do receptor; um parâmetro que corresponde ao atraso zenital troposférico (parte úmida) e os termos de ambigüidades (livre da ionosfera e não inteiros) tantos quanto for o número de satélites observados.

3 Experimentos

Nesta seção será apresentada a metodologia utilizada neste trabalho, que envolve: o programa empregado no processamento das observações, as principais opções de processamento e os dados utilizados no experimento.

3.1 Programa Bernese

O Programa Bernese (*Bernese GPS Software*) é um sofisticado programa para processamento de observações GPS e GLONASS, desenvolvido pelo AIUB (Instituto Astronômico da Universidade de Bern, Suíça). Inicialmente ele foi desenvolvido com o objetivo de processar observações diferenciais (posicionamento relativo), no entanto, a partir da versão 4.2 passou a processar observações não-diferenciais (Hugentobler et al., 2001). A atual versão é a 5.0.

O programa Bernese é utilizado por um grande número de instituições e universidades em vários países. Devido a grande quantidade de observações a serem processadas em determinadas campanhas, foi desenvolvido um sistema para a automatização do processamento conhecido como *Bernese Processing Engine* (BPE). Inicialmente foi lançado na versão 4.0 com o propósito de otimizar o processamento de redes GPS. No entanto, verificou-se que este sistema tem sido utilizado não somente para o processamento de observações de redes permanentes mas também para diversas tarefas em que a automação de algumas etapas do processamento é desejável. O BPE pode ser usado em todas as tarefas, de forma seqüencial ou paralela. *Scripts* para executar determinados programas, *download* de dados ou criação de relatórios podem ser escritos (Dach, 2007). *Scripts* são arquivos tipo ASCII com uma seqüência de códigos escritos em uma linguagem específica, por exemplo *Perl*. A lista de *scripts* que devem ser executados e a seqüência com que isso acontece são definidos pelos chamados *Process Control Files* (PCF), arquivos do tipo ASCII.

A distribuição do Bernese contém alguns exemplos para serem utilizados pelo BPE, consistindo em uma série de *scripts* e quatro arquivos PCF, sendo um deles destinado ao posicionamento por ponto preciso, denominado PPP.PCF.



Figura 1 : Estratégia de processamento PPP com o programa Bernese

FONTE: adaptado de Teferte et al. (2005) e Dach et al. (2007)

O arquivo PPP.PCF da distribuição original sofreu algumas modificações para se adaptar às necessidades

deste trabalho. A estratégia de processamento utilizada nos experimentos pode ser visualizada da figura 1, a qual foi dividida basicamente em 3 etapas. A primeira, de preparação dos dados, tem o objetivo de preparar os arquivos de informações do pólo, órbita e relógio dos satélites. A segunda etapa é a de pré-processamento, onde ocorre a detecção de saltos de ciclo, suavização da pseudodistância pela fase da onda portadora, conversão dos arquivos do formato RINEX para o formato Bernese e o posicionamento por ponto utilizando as pseudodistâncias suavizadas. O principal objetivo desta etapa é gerar coordenadas aproximadas e determinar o erro do relógio do receptor. A terceira e última etapa é o processamento PPP propriamente dito. O processo consiste em: gerar resíduos baseados na combinação livre da ionosfera (GPSEST) os quais serão examinados pelo programa RESRMS; identificar *outliers*, os quais são marcados nos arquivos de observação (SATMRK); utilizar o GPSEST novamente, mas desta vez com as observações livres de *outliers* identificados anteriormente. Este processo se dá de forma iterativa com diferentes limites para a detecção de *outliers*. Finalmente, as coordenadas da estação e de outros parâmetros são estimados.

Quanto às opções de processamento, citam-se as principais utilizadas neste trabalho: ângulo de elevação de 10 graus, observável livre da ionosfera, Saastamoinen como modelo *a priori* para a troposfera associado à função de mapeamento Niell (parte seca), peso dependente da elevação dos satélites, parâmetros de calibração relativos para a variação do centro de fase das antenas, e o intervalo de observações para processamento foi de 5 minutos.

3.2 Dados Utilizados no Experimento

Foram escolhidas quatro estações pertencentes à RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) do IBGE, sendo três na Região Sul e uma em São Paulo: SMAR (Santa Maria), IMBT (Imbituba), UFPR (Curitiba) e PPTe (Presidente Prudente). A figura 2 apresenta a distribuição das estações (em azul).



Figura 2 : Estações da RBMC empregadas no experimento)

FONTE: adaptado de IBGE (2008)

A tabela 1 mostra algumas características instrumentais das estações utilizadas, bem como a data de instalação destas estações. Nota-se que somente dois tipos de receptores foram empregados: *NetR5* e *NetRS*, ambos da Trimble, que coletam observações de fase nas duas portadoras, código C/A e código P na portadora L_2 . Estes receptores operam com as antenas *Trimble Zephyr Geodetic* (TRM41249.00) e *Trimble Zephyr GNSS Geodetic Model 2* (TRM55971.00).

Tabela 1 – Informações instrumentais das estações

Estação	Tipo de Receptor	Tipo de Antena	Data de Instalação
IMTB	Trimble NetR5	TRM55971.00	10/05/2007
PSTE	Trimble NetRS	TRM41249.00	11/12/2005
SMAR	Trimble NetRS	TRM41249.00	17/05 e 22/08/2007
UFPR	Trimble NetR5	TRM55971.00	08/05/2007

FONTE: Relatório de Informação de Estação – RBMC (IBGE, 2008)

As coordenadas precisas destas estações são conhecidas no Sistema Geocêntrico de Referência para as Américas – SIRGAS 2000 (SIRGAS, 2008), na época 2000.4. As coordenadas foram estimadas com desvio-padrão entre 1 e 4mm (IBGE, 2008).

Os arquivos de observações foram obtidos diretamente da área de *ftp* (*file transfer protocol*) da RBMC (<ftp://geofp.ibge.gov.br/RBMC/>). Foram selecionados 7 dias para a realização dos testes, iniciando no dia 258/2007 (15/09/2007) e finalizando no dia 264/2007 (21/09/2007). Os arquivos de observações contêm 24 horas de dados, com intervalo de gravação de 15 segundos. A única exceção foi a estação PSTE do dia (259/2007) que coletou 13 horas de dados.

Além dos arquivos RINEX de observação, o processamento PPP exige alguns outros arquivos, como: órbitas precisas e parâmetros de orientação da Terra (no formato SP3 e IEP, respectivamente) e arquivo RINEX com informações de relógio (CLK). Os arquivos foram obtidos da área de *ftp* do CODE (*Center for Orbit Determination in Europe*), disponível em (<ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/>).

4 Resultados e Análises

No processo de ajustamento das observações o programa estima, dentre outros parâmetros, as coordenadas das estações no sistema cartesiano tridimensional e os desvios-padrão dessas coordenadas. Utilizando o conceito de propagação de covariâncias, os desvios-padrão das coordenadas no sistema cartesiano são transformados para um sistema local (*north*, *east* e *up*), permitindo melhor análise dessas grandezas. A figura 3 mostra os desvios-padrão obtidos após esta transformação. Observa-se que os valores para a componente altimétrica são aproximadamente 2 vezes superiores ao das componentes planimétricas. Em todos os casos a componente norte apresentou os menores valores.

Verifica-se também que os resultados foram semelhantes em todas as estações e para todo os dias, com exceção da estação PSTE no dia 259, que apresenta valores ligeiramente superiores aos dos demais dias. É importante lembrar que esta estação coletou apenas 13 horas de observações naquele dia, fato que deve ter contribuído para essa discrepância.

As coordenadas finais processadas encontram-se no mesmo sistema de referência das efemérides precisas, ITRF2005 (*International Terrestrial Reference Frame 2005*). A transformação de Helmert Generalizada (Sapucci e Monico, 2000) foi utilizada para transformar as coordenadas do ITRF2005 para o ITRF2000 e assim permitir uma comparação direta entre as coordenadas processadas e conhecidas, no mesmo sistema de referência e em uma mesma época. Os parâmetros de transformação foram obtidos do sítio do ITRF (<http://itrf.ensg.ign.fr/>). Como a transformação de Helmert Generalizada necessita da velocidade das estações, optou-se em fazer uso da teoria de placas tectônicas. O modelo geofísico NNR-NUVEL-1A (*No Net Rotation - Northwestern University VELocity model 1A*) foi escolhido, cujas velocidades angulares para a placa litosférica América do Sul estão disponíveis em McCarthy (1996).

A figura 4 ilustra as diferenças destas componentes para as quatro estações da RBMC nos sete dias de processamento (258 a 264). Foram utilizadas arquivos com 24 horas de dados, sendo que o intervalo das observações empregadas no processamento foi de 5 minutos. Os resultados do experimento estão de acordo com o esperado, onde as diferenças na altimetria são aproximadamente duas vezes maiores que as da planimetria. Nota-se nos gráficos da figura 3 uma tendência sistemática nas componentes planimétricas e a altimétrica, porém em sentido contrário. Na quase totalidade das amostras a componente *dn* mostrou diferenças superiores a componente *de*, apesar dos desvios-padrão serem inferiores aos da componente *de*.

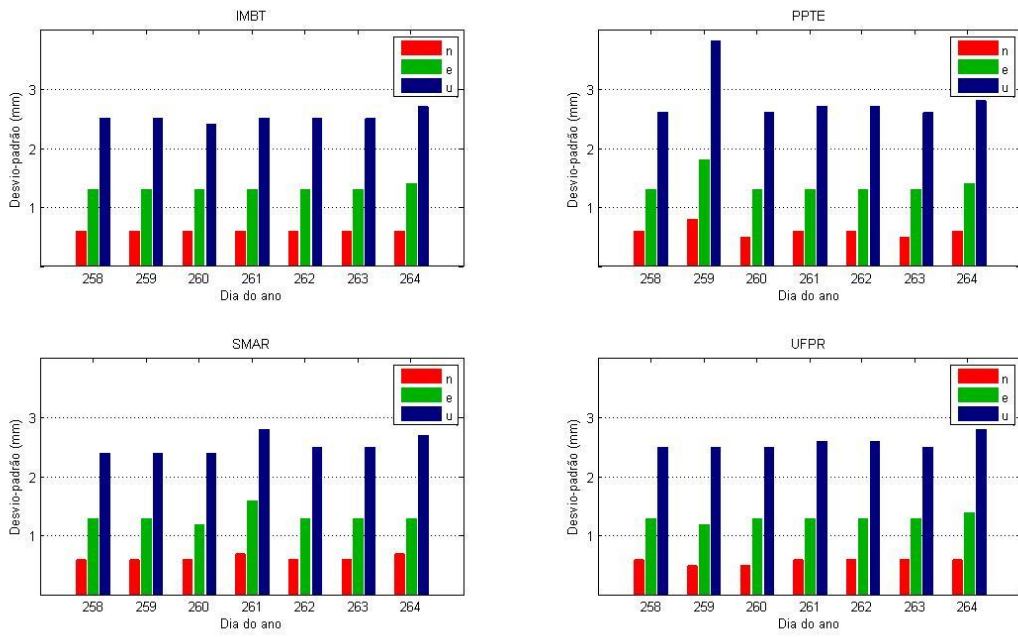


Figura 3 : Desvios-padrão para as coordenadas processadas

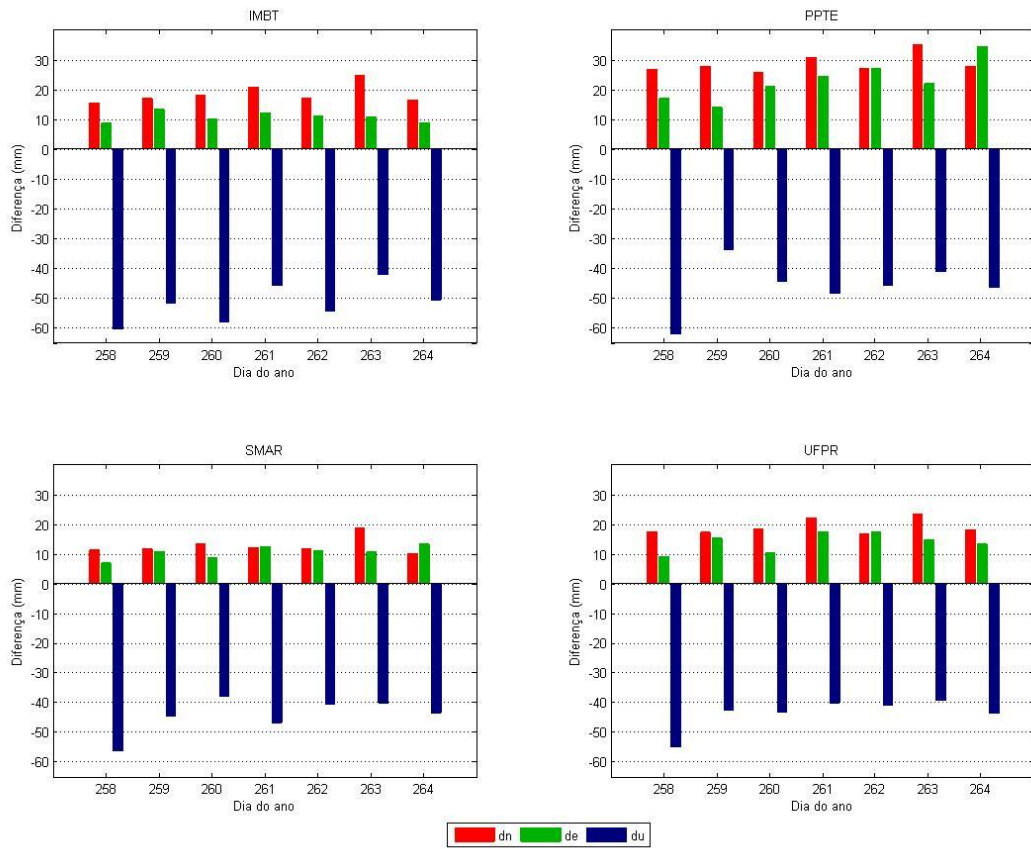


Figura 4 : Diferenças entre as coordenadas processadas e as conhecidas (mm)

A tabela 2 mostra a média dos resultados de sete dias para cada componente, o desvio-padrão e as diferenças das soluções diárias em relação a essa média. Com poucas exceções, as diferenças entre as soluções diárias não ultrapassam 10mm, permitindo dizer que existe uma boa compatibilidade entre as soluções. A estação PPTe apresentou maiores diferenças nos dois primeiros dias (258 e 259) para a componente altimétrica, sendo os valores de sinal oposto e se distanciam quase 30mm. Mas como comentado anteriormente, maiores discrepâncias foram observadas para os resultados do dia 259. Outras estações, como SMAR e UFPR, também apresentaram maiores diferenças para a altimetria, em torno de 12mm.

Tabela 2 – Diferenças das soluções diárias em relação à média (mm)

Estação	Comp.	Média	σ	258	259	260	261	262	263	264
IMBT	<i>dn</i>	18,4	3,2	-3,0	-1,5	-0,4	2,3	-1,5	6,2	-2,1
	<i>de</i>	10,7	1,7	-2,1	2,6	-0,6	1,4	0,4	0,2	-1,9
	<i>du</i>	-51,7	6,5	-8,6	0,3	-6,3	6,1	-2,5	9,7	1,2
PPTe	<i>dn</i>	28,6	3,2	-1,9	-1,0	-3,1	2,1	-1,6	6,4	-0,9
	<i>de</i>	22,7	6,7	-5,9	-8,8	-1,7	1,7	4,1	-0,9	11,6
	<i>du</i>	-45,9	8,5	-16,0	12,3	1,6	-2,5	0,3	4,8	-0,5
SMAR	<i>dn</i>	12,6	2,8	-1,3	-1,1	0,8	-0,6	-1,1	5,9	-2,5
	<i>de</i>	10,5	3,2	-3,7	0,2	-1,8	1,9	0,6	0,0	2,7
	<i>du</i>	-44,0	6,0	-12,0	-0,3	6,2	-2,5	3,6	4,2	0,8
UFPR	<i>dn</i>	19,0	2,6	-1,6	-1,8	-0,6	2,9	-2,3	4,4	-0,9
	<i>de</i>	13,9	3,2	-4,7	1,4	-3,5	3,3	3,5	0,7	-0,6
	<i>du</i>	-43,3	5,3	-11,5	1,0	0,2	3,4	2,7	4,2	-0,1

5 Considerações Finais

Experimentos com o posicionamento por ponto preciso foram conduzidos sobre quatro estações da RBMC, e foi utilizado o programa científico Bernese v5.0 na estimativa das coordenadas das estações e de outros parâmetros. Foram utilizadas arquivos RINEX de 24 horas, sendo o intervalo de processamento de 5 minutos, efemérides e correções de relógio do satélite, entre outras correções compatíveis com a precisão esperada para o método. A solução se deu por meio da combinação linear livre da ionosfera, onde as ambigüidades não foram estimadas como números inteiros.

Os desvios-padrão oriundos do ajustamento de observações foram semelhantes para todas as estações e em todos os dias. Como esperado, os desvios-padrão para a componente altimétrica foi maior que o das componentes planimétricas.

Para que fosse possível realizar a comparação direta entre as coordenadas estimadas pelo programa e as conhecidas, empregou-se transformação de Helmert Generalizada. Como esta transformação necessita da velocidade das estações, optou-se em estimar as velocidades utilizando o modelo geofísico NNR-NUVEL-1A, cujas velocidades angulares foram, naturalmente, para a placa América do Sul. Constatou-se que a precisão das coordenadas estimadas por esta transformação estão ligadas com a qualidade das velocidades estimadas. A acurácia das componentes planimétricas foi melhor que 4cm, enquanto que para a componente altimétrica melhor que 7cm.

A comparação das soluções diárias em relação a média mostrou que as coordenadas estimadas foram bastante compatíveis entre os dias consecutivos, onde 95% das amostras apresentaram diferenças inferiores a 10mm.

Baseando-se nos resultados obtidos nestes experimentos, pode-se concluir que o posicionamento por ponto preciso tem um grande potencial nas aplicações de posicionamento preciso. E a medida que as correções forem se tornando mais precisas, mais confiáveis e com menor latência, a performance do método poderá melhorar.

Para as próximos trabalhos recomenda-se utilizar as velocidades das estações calculadas para algum dos ITRFs ou SIRGAS. Os resultados obtidos com no posicionamento por ponto preciso também poderiam ser comparados com aqueles obtidos por métodos relativos ou mesmo por outros programas PPP. Mais experimentos devem ser conduzidos empregando um número maior de amostras (mais estações GPS e mais dias de processamento), permitindo um melhor tratamento estatístico dos resultados. Os próximos trabalhos também devem incluir análises de outros parâmetros, como o relógio do receptor e o atraso troposférico. Resultados de processamentos cinemáticos, fundamentais para as operações hidrográficas por exemplo, também poderiam ser incluídos com o objetivo de analisar a qualidade dos parâmetros

estimados, principalmente em relação à acurácia horizontal no mar.

6 Referências Bibliográficas

- Dach,R; Hugentobler,U.; Fridez,P.; Meindl,M.:** *Bernese GPS Software Version 5.0*, User manual of the Bernese GPS Software Version 5.0, Astronomical Institute, University of Bern, Switzerland, January 2007.
- Faustino,R.C.:** *Posicionamento por Ponto Preciso Estático e Cinemático: Implementação e Análise*, Dissertação de Mestrado, Presidente Prudente, 2006.
- Freiberger Jr.,J.:** *Investigações Sobre a Calibração de Antenas GPS*; Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), CPGCG, Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2007.
- Gao,Y.; Chen,K.:** *Performance Analysis of Precise Point Positioning Using Real-time Orbit and Clock Products*; Journal of Global Positioning Systems, Vol. 3, No. 1-2:95-100, 2004.
- Hugentobler,U.; Schaer,S.; Fridez,P.:** *Bernese GPS Software Version 4.2*, Documentation of the Bernese GPS Software Version 4.2, Astronomical Institute, University of Berne, Switzerland, February 2001.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso: 21 março 2008.
- IGS, International GNSS Service: Data & Products**, Disponível em: <<http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>>. Acesso 14 maio 2007.
- JPL, Jet Propulsion Laboratory: *The NASA Global Differential GPS System*. Disponível em: <<http://www.gdgps.net/products/orbit-clock-corrections.html>>. Acesso 5 setembro 2007.
- King,M.; Edwards,S; Clarke,P.:** *Precise Point Positioning: Breaking the Monopoly of Relative GPS Processing*, Engineering Surveying Showcase. October, 2002.
- Kouba,J.; Héroux,P.:** *Precise Point Positioning Using IGS Orbit and Clock Parameters*, GPS Solutions. V.5, No.2, pp.12-28, 2001.
- Leick,A.:** *GPS satellite surveying*, Second Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- McCarthy,D.D.:** *IERS Technical note 21*, IERS Conventions, July, 1996.
- Mader,G.L.:** *GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey*, GPS Solutions, Volume 3, Number 1 / July, p. 50-58, 1999.
- Monico,J.F.G.:** *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações*, São Paulo, Editora UNESP, 2000a.
- Monico,J.F.G.:** *Posicionamento por Ponto de Alta Precisão Utilizando o GPS: uma solução para a Geodinâmica*, Revista Brasileira de Geofísica. Vol. 18. No. 1. São Paulo, Março 2000b.
- Sapucci,L.F.; Monico,J.F.G.:** *Transformação de Helmert Generalizada no posicionamento de Alta Precisão: Fundamentação Teórica e Exemplificações*, Brazilian Journal of Geophysics, vol. 18(2), 2000.
- Seeber,G.:** *Satellite Geodesy: foundations, methods, and applications*, Berlin: Walter de Gruyter, 2003.
- Shen,X.; Gao,Y.:** *Kinematic Processing Analysis of Carrier Phase Based Precise Point Positioning*, FIG XXII International Congress. Washington, D.C., USA, April 19-26 2002.
- SIRGAS, Sistema Geocêntrico de Referência para as Américas.** <<http://www.sirgas.org/>>. Acesso 5 junho 2008.
- Teferle,N.; Orliac,E.; Bingley,R.:** *Bernese GPS Software Precise Point Positioning (PPP) for Geodynamic Applications*, Presented at COMET - Advances in GPS Data Processing and Modelling for Geodynamics, London, United Kingdom, 9-10 November 2005.
- Witchayangkoon,B.:** *Elements of GPS Precise Point Positioning*, Doctor of Philosophy (in Spatial Information Science and Engineering). The University of Maine, December, 2000.
- Wuebbena,G.; Schmitz,M.; Bagge,A.:** *PPP-RTK: Precise Point Positioning Using State-Space Representation in RTK Networks*, Presented at the 18th International Technical Meeting, ION GNSS-05, September 13-16, Long Beach, California, USA, 2005.
- Zumberge,J.F.; Heflin,M.B.; Jefferson,D.C.; Watkins,M.M.; Webb,F.H.:** *Precise Point Positioning for the*

Efficient and Robust Analysis of GPS Data From Large Networks. Journal of Geophysical Research, Vol. 102, No. B3, Pages 5005-5017, March 10, 1997.

Agradecimentos

Ao Instituto de Geodésia de Karlsruhe (GIK) da Universidade de Karlsruhe (Alemanha), pela disponibilidade do programa de processamento Bernese v5.0 e por toda infra-estrutura necessária para o desenvolvimento dos trabalhos relacionados ao tema da tese de doutorado. Agradecimentos especiais ao Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Bernhard Heck e ao Dr.-Ing. Michael Mayer pelas discussões e sugestões referentes ao tema.

O primeiro autor também agradece ao Programa CAPES-PROBRAL pela bolsa de doutorado sanduíche no exterior. Este programa de cooperação internacional tem como entidades responsáveis a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), no Brasil, e o Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (DAAD), na Alemanha.