

Posicionamento GNSS: Comparação entre coordenadas oficiais de estações da RBMC e as obtidas por PPP e posicionamento relativo e ajustamento

Carolina Collischonn^{1,2}
Elen Marten de Lima^{1,2}
Luis Fernando Chimelo Ruiz²
Thiago Diniz Araujo²
Marcelo Tomio Matsuoka^{1,2}

¹ Laboratório de Pesquisas em Geodésia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul –
LAGEO/UFRGS
Porto Alegre - RS, Brasil
carol.collischonn@gmail.com, elen.lima@ufrgs.br

² Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto – PPGSR/UFRGS
ruiz.ch@gmail.com, tdinizaraujo@gmail.com

Abstract. In this paper is performed a comparison between the official coordinates of nine RBMC stations with the coordinates of these stations calculated using the relative positioning method and also is done a comparison between these official coordinates and the coordinates obtained with the precise point positioning (PPP) method. Initially a brief review of the relative positioning and PPP is realized. After the calculated coordinates stations, analyzes and results comparisons are presented. The results, which were in geocentric Cartesian coordinates, were converted in to UTM coordinates, so the discrepancies could be analyzed in terms of planimetry. The results show that the difference between the PPP and official coordinates, in average, were about 2.5 centimeters for X, 1.9 centimeters for Y and 3 centimeters for Z components. The difference calculated between the official coordinates and the relative positioning method for X, Y and Z components the median values were 4 centimeters, 3 centimeters and 1.5 centimeters, respectively. In the case of UTM coordinates the differences calculated using the relative method in combination with the adjustment and the official coordinates were about two centimeters in the East coordinate and one centimeter in the North component. The average value determined in the PPP method instead of the UTM official coordinates were about of eight millimeters and 1.3 centimeters in the East and North coordinates respectively.

Palavras-chave: GNSS, PPP, RBMC.

1. Introdução

Posicionamento está relacionado à determinação da posição de objetos com relação a um referencial específico. O posicionamento pode ser classificado em absoluto, quando as coordenadas estão associadas diretamente ao geocentro, e relativo, no caso em que as coordenadas são determinadas com relação a um referencial materializado por um ou mais vértices com coordenadas conhecidas (MONICO, 2008). Nesse trabalho são utilizados os métodos de posicionamento relativo estático e posicionamento por ponto preciso (PPP), além dos dados da RBMC (Rede Brasileira de monitoramento Contínuo), descritos a seguir.

1.1 Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), responsável pela materialização e manutenção da RBMC, esta é composta por 101 estações que possuem, em sua maioria, receptores rastreando satélites GPS (*Global Positioning System*) e GLONASS (*Global Orbiting Navigation Satellite System*), enquanto que algumas das estações têm receptores que rastreiam apenas satélites da constelação GPS. Em cada estação há um receptor e uma antena geodésica que coletam as observações do código e da fase das ondas portadoras advindas dos satélites GPS ou GLONASS.

As coordenadas das estações da RBMC estão referenciadas ao SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) com precisão de ± 5 milímetros (IBGE). As

observações são organizadas em sessões que iniciam às 00h01min e acabam às 24h00min no tempo universal, com intervalo de rastreamento de 15 segundos. Estas sessões são organizadas em arquivos diários, que são processados no Centro de Controle da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Após o processamento os dados são disponibilizados para download na página do IBGE. Além dos dados das observações, o IBGE também disponibiliza as órbitas transmitidas pelos satélites.

1.2 Posicionamento Relativo

No posicionamento relativo, a posição de um ponto é determinada com relação à de outro(s), cujas coordenadas são conhecidas. Nesse contexto surge o conceito de linha-base. A linha-base envolve duas estações, podendo ser uma supostamente conhecida e outra a determinar, as duas estações conhecidas, ou ainda, ambas as estações desconhecidas, fazendo parte de uma rede. Os elementos que compõem a linha-base, ou seja, ΔX , ΔY e ΔZ , são estimados e, ao serem acrescentados às coordenadas da estação-base ou de referência (estação com coordenadas conhecidas), proporcionam as coordenadas da estação desejada.

Para realizar o posicionamento relativo o usuário deve dispor de dois ou mais receptores, ou utilizar dados de estações pertencentes a Sistemas de Controle Ativos (SCA), no Brasil tem-se a RBMC. No contexto de posicionamento relativo utilizam-se, em geral, as duplas diferenças (DD) como observáveis fundamentais. Ainda com relação à classificação, o método de posicionamento relativo pode ser estático, estático rápido, semicinemático e cinemático. Adotando uma das observáveis: pseudodistância, fase da onda da portadora, fase da onda da portadora e pseudodistância (MONICO, 2008).

O conceito fundamental do posicionamento relativo é que os dois ou mais receptores envolvidos rastreiem, simultaneamente, pelo menos dois satélites comuns. Quando se realizam diferenças entre observáveis coletadas simultaneamente, objetiva-se, sobretudo, reduzir alguns tipos de erros. A observável normalmente adotada no posicionamento relativo estático é a DD da fase da onda portadora, muito embora possa também se utilizar a DD da pseudodistância, ou ambas. Os casos em que se têm as duas observáveis proporcionam melhores resultados em termos de acurácia (MONICO, 2008). O método de posicionamento relativo estático é muito adotado em posicionamento geodésico, e implica em linhas base com tempos de ocupação acima de 20 minutos. As linhas-base são processadas, podendo ser em softwares comerciais, de forma individual ou levando em conta a correlação entre as várias linhas-base simultâneas de cada sessão. Após, é feito o ajustamento envolvendo todos os resultados de cada linha-base.

1.3 Posicionamento por Ponto Preciso

O PPP é empregado desde a década de 1990, primeiramente limitando-se a aplicações científicas. Nos últimos anos esta técnica passou a ser empregada mais amplamente, também no Brasil (MATSUOKA, 2009). Principalmente com o surgimento de serviços gratuitos on-line de processamento com facilidade de acesso e a simplicidade de uso. Segundo Monico (2008), no PPP são utilizadas as observáveis pseudodistância e/ou fase da onda portadora, coletadas por receptores de simples ou de dupla frequência, com efemérides precisas. Para receptores de dupla frequência, deve-se usar como observável no processamento a combinação linear livre dos efeitos da Ionosfera (ion-free). Quando utilizados receptores de simples frequência, devem-se minimizar estes efeitos com emprego de algum modelo da Ionosfera disponível (MATSUOKA, 2009)

Ainda segundo Monico (2008), nas efemérides precisas, ou pós-processadas, a órbita (posição) e o erro do relógio (tempo) dos satélites são determinados com alta precisão por algum serviço e disponibilizados por algum meio de comunicação, como por exemplo, a Internet. Essas informações têm sido produzidas e disponibilizadas pelo IGS (*International*

GNSS Service) e centros associados, sem qualquer custo (MATSUOKA, 2009). Atualmente, o IGS produz três tipos de efemérides e correções para o relógio dos satélites denominadas de efemérides IGS, IGR e IGU, cuja descrição detalhada pode ser obtida em Monaco (2008).

Serviços de PPP são disponibilizados de forma gratuita e de processamento on-line, tais como o JPL, a UNB, o GSD-NRCan (*Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada*) e, no Brasil, o IBGE. O IBGE-PPP é utilizado nesse trabalho. O resultado do IBGE-PPP independe de qualquer ajustamento de rede geodésica e não está associado às realizações ou ajustamentos de rede planimétrica. Deste modo, os resultados obtidos através deste serviço terão uma pequena diferença daqueles disponíveis no Banco de Dados Geodésicos - BDG.

2. Materiais e Metodologia

Os principais dados e *softwares* utilizados no trabalho são:

- Dados GNSS das estações da RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm?c=7>)
- *Software* para processamento de dados GNSS – Topcon Tools v.7.5.1 do Departamento de Geodésia da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul);
- *Software* para computação numérica–Scilab v.4.1.2 (*freeware*);
- IBGE-PPP.

A metodologia para o posicionamento relativo consiste em processar os vértices da rede com relação aos pontos de controle (estações oficiais da RBMC do IBGE). Após o processamento e obtidas os resultados das linhas-base, bem como as suas precisões (variâncias e covariâncias), o ajustamento é realizado pelo método paramétrico do MMQ (Método dos Mínimos Quadrados) na forma de inunção relativa para se determinar as coordenadas, bem como, os respectivos desvios-padrão dos vértices da rede, utilizando as linhas-base obtidas no processamento. Após o ajustamento, obtêm-se as coordenadas, com as respectivas precisões, dos vértices da rede geodésica. Em seguida da execução do ajustamento da rede geodésica, faz-se seu controle de qualidade. Na etapa de detecção de possíveis erros grosseiros nas observações e de erros no modelo (funcional e estocástico) realizou-se o teste global do ajustamento.

Para o posicionamento por ponto preciso a metodologia consiste em o usuário cadastrado enviar o arquivo do levantamento para o serviço de processamento por ponto preciso do IBGE via internet, no endereço <http://www.ppp.ibge.gov.br/ppp.htm>. Mais informações podem ser obtidas no manual do usuário, na página do IBGE, seção geociências.

2.1 Dados

A rede geodésica utilizada nesse trabalho é constituída de nove vértices: PRCV, PRGU, UFPR, SCCH, SCLA, IMBT, RSAL, SMAR, POAL. As estações PRGU, UFPR, SCCH, SCLA, IMBT, RSAL, SMAR são os vértices desconhecidos da rede, cujas coordenadas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z) devem ser determinadas. Os arquivos de rastreamento das estações contemplam os meses de setembro e outubro de 2013.

As estações POAL (Porto Alegre/RS) e PRCV (Cascavel/PR) são os pontos de controle da rede, considerando as coordenadas oficiais destas estações (no referencial SIRGAS2000, homologadas pelo IBGE) e seus respectivos desvios padrão no processo de ajustamento. A configuração da rede geodésica é apresentada na Figura 1.

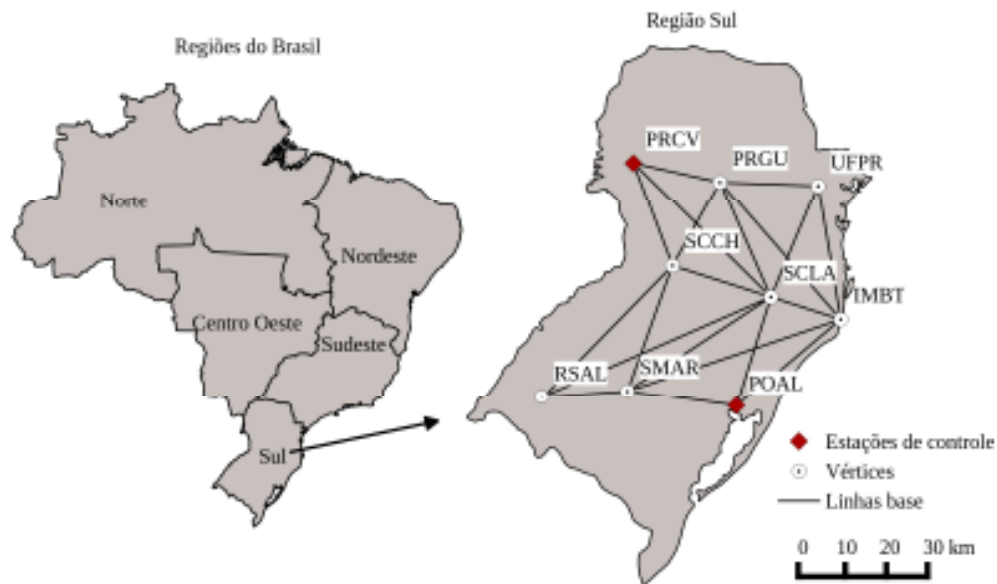


Figura 1 – Configuração da geometria da rede.

Analisando a Figura 1 verifica-se que a rede se constitui de nove vértices e vinte linhas-base (distâncias relativas entre os vértices - ΔX ΔY ΔZ): PRCV_PRGU; .PRGU_UFPR; IMBT_UFPR; IMBT_POAL; POAL_SMAR; RSAL_SMAR; RSAL_SCCH; PRCV_SCCH; PRGU_SCLA; .SCLA_SMAR; SCCH_SCLA; IMBT_SCLA; PRCV_SCLA; .PRGU_SCCH; .SCLA_UFPR; IMBT_PRGU; RSAL_SCLA; SCCH_SMAR; POAL_SCLA; IMBT_SMAR. Os vértices POAL e PRCV são pontos de controle (com coordenadas conhecidas, materializando o referencial). O número de observações é $20 \times 3 = 60$ (componentes ΔX ΔY ΔZ das vinte linhas-base), o número de incógnitas é $7 \times 3 = 21$ (coordenadas cartesianas geocêntricas dos vértices desconhecidos PRGU, UFPR, SCCH, SCLA, IMBT, RSAL, SMAR) e o número de injunções é $2 \times 3 = 6$ (coordenadas cartesianas geocêntricas dos pontos de controle POAL e PRCV).

As coordenadas X, Y e Z dos pontos de controle utilizadas no ajustamento da rede foram obtidos consultando os descritivos oficiais do IBGE. Outras informações importantes referem-se ao nome e altura das antenas. O comprimento médio das linhas-base é de aproximadamente 316 km.

Tabela 1. Coordenadas oficiais IBGE (SIRGAS2000).

Estações	X (m)	Y (m)	Z (m)
IMBT	3714771,559	-4221851,099	-2999473,942
PRGU	3590927,128	-4512405,645	-2718013,371
RSAL	3116428,464	-4580324,955	-3150197,438
SCCH	3450305,441	-4512731,664	-2892128,265
SCLA	3606986,062	-4345293,244	-2956654,209
SMAR	3280748,41	-4468909,741	-3143408,684
UFPR	3763751,681	-4365113,832	-2724404,715

2.2 Posicionamento Relativo

No site do IBGE, foram obtidos os arquivos de navegação e de observação de cada estação que compunha a linha-base. Os descritivos das estações também foram obtidos no site do IBGE. A rede foi processada utilizando o *software Topcon Tools* e foram obtidas as distâncias relativas entre os vértices (ΔX , ΔY e ΔZ), os desvios padrão (σX , σY , σZ) e as correlações entre XY, XZ e YZ. Estes foram convertidos em variâncias e covariâncias. Todos

estes dados resultantes do processamento das linhas-base são utilizados no ajustamento da rede, pelo método paramétrico do MMQ.

Como descrito anteriormente, a rede geodésica é composta por nove vértices, sendo POAL e PRCV pontos de controle (com coordenadas injuncionadas de forma relativa), totalizando 20 linhas-base (distâncias relativas entre os vértices). O número de observações é $20 \times 3 = 60$ (componentes $\Delta X \Delta Y \Delta Z$ de cada uma das linhas-base), o número de incógnitas é $7 \times 3 = 21$ (coordenadas X Y Z dos vértices da rede, incluindo os pontos de controle POAL e PRCV injuncionados) e o número de injunções é $2 \times 3 = 6$ (coordenadas X Y Z dos pontos de controle POAL e PRCV). Portanto, o número de equações é $n = 60 + 6 = 66$.

Com relação ao vetor das observações (componentes $\Delta X \Delta Y \Delta Z$ de cada uma das 20 linhas-base e as coordenadas X, Y, Z dos pontos de controle POAL e PRCV) sem as injunções, somente as linhas-base, e sua respectiva matriz variância covariância (MVC), com os desvios padrão associados a cada uma das 60 observações se observa que as diferentes linhas-base possuem precisão (desvio padrão) de ordem centimétrica, sendo a média obtida de 4,7 centímetros de desvio padrão para a resultante de todas as linhas-base. Os maiores desvios padrão encontrados nas três coordenadas cartesianas X, Y e Z estão na linha-base RSAL_SCLA, sendo o desvio padrão de 7,9 centímetros na componente X, 6,9 centímetros na componente Y e 4,5 centímetros na componente Z. Esses valores são coerentes, pois é a linha-base com maior distância. O maior valor de desvio padrão médio é de 6,4 centímetros também para a linha-base RSAL_SCLA.

As covariâncias entre componentes de diferentes linhas-base foram consideradas nulas. As variâncias e covariâncias das componentes de cada linha-base foram obtidas por meio do posicionamento GNSS relativo, que foi realizado para estimar o valor numérico de suas componentes $\Delta X \Delta Y \Delta Z$. Assim, a MVC das observações tem estrutura bloco-diagonal 3×3 . Cada uma das 20 linhas-base possui uma matriz 3×3 , relativa às variâncias e covariâncias de suas componentes ($\Delta X \Delta Y \Delta Z$). Na MVC ainda constam as variâncias e covariâncias das coordenadas dos pontos de controle injuncionadas de forma relativa no ajustamento.

A diferença entre as coordenadas obtidas para os pontos de controle POAL e PRCV e as coordenadas injuncionadas de forma relativa inicialmente para estes no ajustamento da rede está dentro dos valores de desvio-padrão para as coordenadas. A Tabela 2 apresenta as coordenadas cartesianas geocêntricas obtidas para os vértices da rede geodésica, bem como as precisões.

Tabela 2. Coordenadas cartesianas geocêntricas (SIRGAS2000) dos pontos da rede geodésica obtidos pelo ajustamento realizado e respectivos desvios-padrão.

Estações	X (m)	σX (m)	Y (m)	σY (m)	Z (m)	σZ (m)
IMBT	3714771,570	0,027	-4221851,071	0,029	-2999473,930	0,019
PRGU	3590927,172	0,028	-4512405,689	0,019	-2718013,385	0,039
RSAL	3116428,420	0,018	-4580324,942	0,024	3150197,441	0,039
SCCH	3450305,463	0,036	-4512731,662	0,025	-2892128,275	0,026
SCLA	3606986,125	0,036	-4345293,289	0,016	-2956654,250	0,030
SMAR	3280748,381	0,023	-4468909,726	0,026	-3143408,694	0,029
UFPR	3763751,745	0,028	-4365113,883	0,029	-2724404,728	0,020

2.3 Posicionamento por Ponto Preciso

Os dados foram processados no serviço PPP do IBGE. O IBGE-PPP é um serviço on-line para o pós-processamento de dados GPS, esses dados podem ser no modo estático ou cinemático, de receptores de simples ou dupla frequência. O sistema aceita arquivos nos formatos RINEX ou Hatanaka, caso seja mais de um arquivo, devem ser comprimidos. Além disso, são necessários o tipo da antena utilizado no levantamento, conforme identificação adotada pelo IGS (*International GNSS Service*) e o valor da altura da antena em metros

referidos ao plano de referência da antena. Os resultados são informados através de e-mail fornecido pelo usuário, quando este submete os dados para processamento. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS (*Canadian Spatial Reference System*)-PPP desenvolvido pelo *Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada* (NRCan).

A fim de realizar uma comparação entre o posicionamento relativo e o posicionamento por ponto preciso (PPP), processou-se os arquivos de observação no serviço de PPP do IBGE. Após o processamento, as coordenadas X, Y e Z obtidas pelo PPP comparadas com as coordenadas oficiais contidas nos descritivos do IBGE. A Tabela 3 apresenta as coordenadas das estações obtidas pelo PPP, em SIRGAS2000, bem como as suas precisões.

Tabela 3. Coordenadas estimadas (em SIRGAS2000) no PPP e respectivos desvios-padrão.

Estações	X (m)	σX (m)	Y (m)	σY (m)	Z (m)	σZ (m)
IMBT	3714771,527	0,006	-4221851,062	0,006	-2999473,910	0,004
PRGU	3590927,100	0,006	-4512405,623	0,006	-2718013,345	0,004
RSAL	3116428,438	0,006	-4580324,954	0,006	-3150197,357	0,004
SCCH	3450305,420	0,006	-4512731,640	0,006	-2892128,244	0,004
SCLA	3606986,029	0,009	-4345293,219	0,009	-2956654,184	0,006
SMAR	3280748,398	0,005	-4468909,743	0,006	-3143408,685	0,004
UFPR	3763751,659	0,006	-4365113,810	0,006	-2724404,693	0,004

3. Resultados e análises

A partir dos resultados obtidos para o PPP e o posicionamento relativo, esses foram comparados com as coordenadas oficiais das estações. A Tabela 4 apresenta os resultados.

Tabela 4. Comparação entre as diferenças obtidas no PPP e no posicionamento relativo.

Diferenças entre as coordenadas oficiais e as coordenadas PPP.

Estações	X (m)	Y (m)	Z (m)
IMBT	0,032	-0,037	-0,032
PRGU	0,028	-0,022	-0,026
RSAL	0,026	-0,001	-0,081
SCCH	0,021	-0,024	-0,021
SCLA	0,033	-0,025	-0,025
SMAR	0,012	0,002	0,001
UFPR	0,022	-0,022	-0,022

Diferenças entre as coordenadas oficiais e as coordenadas do ajustamento realizado.

Estações	X (m)	Y (m)	Z (m)
IMBT	-0,011	-0,028	-0,012
PRGU	-0,044	0,044	0,014
RSAL	0,044	-0,013	0,003
SCCH	-0,022	-0,002	0,010
SCLA	-0,063	0,045	0,041
SMAR	0,029	-0,015	0,010
UFPR	-0,064	0,051	0,013

Analisando os resultados, verifica-se que com relação à diferença entre as coordenadas obtidos pelo PPP e as que contam nos descritivos da RBMC na componente X essa diferença é da ordem de 2,5 centímetros. A média da diferença em Y é de 2 centímetros. Já as diferenças em Z estão da ordem de 3 centímetros. Com relação ao posicionamento relativo e ajustamento essas diferenças não são da ordem de 2 centímetros para a componente X. Para a componente Y a diferença média foi de 1,2 centímetros e para Z de 1,1 centímetros, sendo que para a estação SCCH, essa diferença para a componente Y ficou muito menor que com relação as outras estações, com cerca de 2 milímetros. E para a componente Z da estação RSAL também, cerca de 3 milímetros. A diferença máxima encontrada entre o PPP e os descritivos da RBMC foi para a componente Z da estação RSAL, de 8,1 centímetros. E a menor diferença encontrada é para as componentes Z da estação SMAR e Y de RSAL, entre PPP e RBMC, de 1 milímetro. Na Figura 2.1 podem-se visualizar essas diferenças.

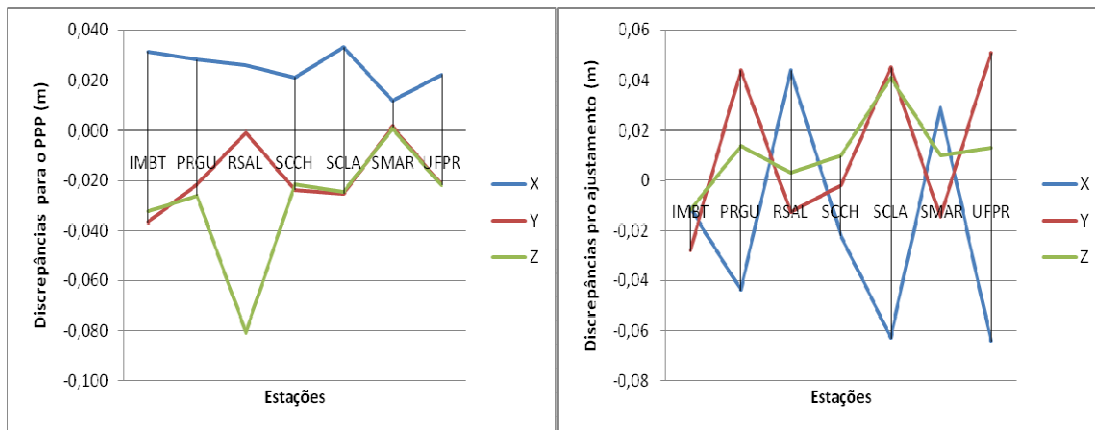


Figura 2 – Diferenças entre as coordenadas oficiais com relação às coordenadas PPP e ao ajustamento realizado.

Analisando a Figura 2.1 pode-se verificar que os valores de diferença para a componente X se mantiveram positivos, ou seja, a coordenadas constantes nos descritivos da RBMC foram sempre maiores que os do PPP. As diferenças para as componentes X e Y são próximas, exceto para a estação RSAL. Essa estação possui comportamento diferenciado com relação às outras estações, com menor valor de diferença em Y, próximo a zero. E maior valor em Z. Em geral, a estação SMAR possui menor diferença entre os valores dos descritivos e os obtidos pelo PPP.

Analisando a Figura 2.2 verifica-se um comportamento irregular com relação a valores de diferença entre o ajustamento e a RBMC, maiores e menores que zero. Quando a diferença para a componente X tende a ser maior e positiva, as componentes Y e Z tendem a ser maiores e negativas, e vice-versa. As diferenças encontradas entre as coordenadas oficiais e o ajustamento foram aproximadamente 0,75 vezes maiores para a componente X, 0,65 vezes maiores para componente Y e 0,4 vezes maior para a componente Z, que as com relação ao PPP, em média.

As coordenadas cartesianas geocentricas X, Y e Z foram convertidas, utilizando o programa PROGRID (IBGE), em coordenadas planas UTM: Leste (E) e Norte (N), tanto para os resultados obtidos do ajustamento quanto para os resultados obtidos por PPP. Os resultados para a conversão, bem como as diferenças com relação às coordenadas oficiais, são apresentados nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5. Coordenadas estimadas via Posicionamento Relativo e ajustamento, coordenadas oficiais e a diferença entre as duas.

Estações	Coordenadas do ajustamento		Coordenadas oficiais IBGE		ΔE (m)	ΔN (m)
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)		
IMBT	730029,489	6874555,733	730029,462	6874555,729	0,027	0,004
PRGU	450952,315	7192442,111	450952,308	7192442,097	0,007	0,014
RSAL	618997,067	6703910,170	618997,097	6703910,190	-0,030	-0,020
SCCH	341486,112	6997318,536	341486,093	6997318,540	0,019	-0,004
SCLA	568538,14	6925551,901	568538,121	6925551,903	0,019	-0,002
SMAR	237205,233	6709269,503	237205,247	6709269,527	-0,014	-0,024
UFPR	677878,531	7184223,333	677878,515	7184223,311	0,016	0,022

Analisando a Tabela 5 se verifica que o valor médio de diferença, em UTM, entre os valores obtidos no ajustamento e os valores das coordenadas oficiais do IBGE foi de 2 centímetros, na coordenada Leste e de 1 centímetro na coordenada Norte. A maior diferença encontrada foi para a coordenada Leste da estação IMBT, de 3 centímetros.

A Tabela 6 apresenta as diferenças entre as coordenadas determinadas via PPP e as coordenadas oficiais do IBGE.

Tabela 6. Coordenadas estimadas via PPP, coordenadas oficiais e a diferença entre as duas.

Estações	Coordenadas PPP		Coordenadas oficiais IBGE			
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)
IMBT	730029,463	6874555,735	730029,462	6874555,729	0,001	0,006
PRGU	450952,299	7192442,105	450952,308	7192442,097	-0,009	0,008
RSAL	618997,076	6703910,252	618997,097	6703910,190	-0,021	0,062
SCCH	341486,091	6997318,544	341486,093	6997318,540	-0,002	0,004
SCLA	568538,111	6925551,906	568538,121	6925551,903	-0,010	0,003
SMAR	237205,237	6709269,523	237205,247	6709269,527	-0,010	-0,004
UFPR	677878,513	7184223,317	677878,515	7184223,311	-0,002	0,006

Analisando a Tabela 6 verifica-se que o valor médio de diferença, em UTM, entre os valores obtidos pelo PPP e os valores das coordenadas oficiais do IBGE foi de aproximadamente 7,9 milímetros, na coordenada Leste e de 13 milímetros na coordenada Norte. Todos os valores de diferença para a coordenada Norte foram da ordem de 5 milímetros, com exceção da estação RSAL cujo valor de diferença é 6,2 centímetros, cerca de dez vezes maior que para as outras estações.

4. Considerações finais

Nesse estudo foi realizado um comparativo entre as coordenadas constantes nos descritivos em sete estações da RBMC do IBGE com relação ao PPP realizado nas estações e com relação às coordenadas das mesmas estações obtidos por ajustamento pelo método paramétrico do MMQ. Primeiramente foi feita uma breve revisão sobre RBMC do IBGE, o posicionamento relativo e o PPP. Os dados das estações da RBMC foram apresentados, bem como a rede GNSS utilizada no posicionamento relativo e ajustamento. Análises foram feitas com relação às diferenças entre as coordenadas cartesianas geocêntricas obtidas pelo PPP, ajustamento e as oficiais constantes nos descritivos da RBMC. Após, as coordenadas cartesianas geocêntricas foram convertidas em coordenadas planas UTM e foram feitas análises com relação às diferenças, planimetricamente.

Os resultados mostram que a diferença entre os resultados de PPP e as coordenadas oficiais, em média, foi de aproximadamente 2,5 centímetros para a componente X, 1,9 centímetros para a componente Y e 3 centímetros para Z. A maior diferença encontrada foi para a componente Z entre o PPP e os descritivos da RBMC, de 8,1 centímetros, para a estação RSAL. Enquanto que os valores máximos de diferença para X e Y são de 3,3 centímetros para a estação SCLA e de 3,7 centímetros para a estação IMBT, respectivamente. E a menor diferença média encontrada para a componente X, entre PPP e RBMC, de 7 milímetros. Com relação à diferença encontrada entre as coordenadas oficiais do IBGE e do ajustamento realizado verificou-se que para as componentes X, Y e Z, os valores médios foram de aproximadamente 4 centímetros, 3 centímetros e 1,5 centímetros, respectivamente. Com relação às coordenadas planas UTM verificou-se a diferença entre os valores obtidos no ajustamento e os valores das coordenadas oficiais do IBGE de 2 centímetros, na coordenada Leste e de 1 centímetro na coordenada Norte. Entre os valores obtidos pelo PPP e os valores das coordenadas oficiais do IBGE verifica-se que o valor médio de diferença, em UTM foi de aproximadamente 8 milímetros, na coordenada Leste e de 1,3 centímetros na coordenada Norte. Todos os valores de diferença para a coordenada Norte foram da ordem de 5 milímetros, com exceção da estação RSAL cujo valor de diferença é 6,2 centímetros, cerca de dez vezes maior que para as outras estações.

Em geral, com relação às coordenadas cartesianas geocêntricas das estações, a diferença, em média, nas componentes X e Y encontrada foi maior entre as coordenadas obtidas no ajustamento e as coordenadas oficiais. Enquanto que a diferença obtida, em média, para a componente Z foi maior entre os resultados do PPP e das coordenadas oficiais do IBGE, cerca de duas vezes maior. Analisando, de forma geral, os resultados para a diferença, planimetricamente, com relação as coordenadas UTM, verifica-se que em Norte a diferença tanto para o PPP quanto para o ajustamento com relação as coordenadas oficiais são de mesma magnitude, em média. Com relação à componente Leste a diferença entre o ajustamento e as coordenadas oficiais é cerca de 2,4 vezes maior, em média, que com relação a diferença entre o PPP e as coordenadas oficiais.

5. Referências

IBGE. **Manual do Usuário Posicionamento Por Ponto Preciso. Diretoria de Geociências**, 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2014.

IBGE. **RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm>>. Acesso em: 25 jun. 2014.

Klein, I.; Matsuoka, M.T.; de Souza, S.F.: Análise do serviço on-line de PPP (GDGPS – APPS) para Receptores de Dupla Freqüência: um estudo envolvendo dados de estações da RBMC. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3., 2010, Recife. **Anais...**Porto Alegre: UFRGS, 2010. Artigos, p. 001-007. On-line. ISBN 978-85-63978-00-4. Disponível em: <http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/Cad_Geod_Agrim/Geodesia%20e%20Agrimensura/A_216.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2014.

Klein, I.; Matsuoka, M.T.; de Souza, S.F.: Análise do serviço on-line de PPP (GDGPS – APPS) para Receptores de Dupla Freqüência: um estudo envolvendo dados de estações da RBMC. **Gaea – Journal of Geoscience**, v. 6, n. 2, p. 90-98, 2010.

Matsuoka, M.T.; Azambuja, J.L.F.; Souza, S.F. Potencialidades do serviço on-line de Posicionamento por Ponto Preciso (CSRS-PPP) em aplicações geodésicas. **Gaea - Journal of Geoscience**, v. 5, n. 1, p. 42-49, 2009.

Monico, J.F.G. Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: Editora Unesp, 2008, 476 p.