

Geração de dados GPS de pseudodistância para uma estação virtual: métodos, implementação e análise dos resultados

Daniele Barroca Marra ALVES & João Francisco Galera MONICO

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Campus de Presidente Prudente Departamento de Cartografia, Rua Roberto Simonsen, 305, CEP: 19060-900, Presidente Prudente - SP. E-mail: danibarroca@yahoo.com.br; galera@fct.unesp.br

Recebido em 03/2009. Aceito para publicação em 08/2010.

Versão online publicada em 11/11/2010 (www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br)

Resumo - O objetivo deste artigo é avaliar a qualidade das observáveis de pseudodistância geradas para uma estação de referência virtual (VRS - *Virtual Reference Station*). Para gerar os dados da VRS três métodos diferentes foram implementados e testados. No primeiro método, foram empregados os dados brutos das estações de referência da rede. O segundo foi baseado nas correções de duplas diferenças das estações de referência. No terceiro método, foram utilizados modelos atmosféricos (ionosfera e troposfera) para gerar os dados da VRS. As estações da rede do estado de São Paulo foram utilizadas para realizar os experimentos. A VRS foi gerada na posição de uma estação de referência (arquivo real), com coordenadas conhecidas. Para avaliação, os dados da VRS foram comparados com aqueles provenientes do arquivo real. Os resultados obtidos foram similares, proporcionando acurácia decimétrica ou centimétrica, dependendo do método.

Palavras-chave: posicionamento baseado em rede, VRS, pseudodistância.

Abstract - GENERATING GPS PSEUDORANGE DATA FOR A VIRTUAL STATION: METHODS, IMPLEMENTATION, AND ANALYSIS OF RESULTS. This paper aims to evaluate the quality of the pseudorange observables generated for a Virtual Reference Station (VRS). In order to generate the VRS data three different approaches were implemented and tested. In the first one, raw data from the reference station network were used while in the second it was based on double difference reference station corrections. Finally, in the third approach atmospheric models (ionosphere and troposphere) were used to create the VRS data. Sao Paulo State Network stations were used in all experiments. The VRS data were generated in a reference station position of known coordinates (real file). In order to validate the approaches, the VRS data were compared with the real data file. The results were quite similar, reaching the decimeter or centimeter level, depending on the approach applied.

Keywords: network-based positioning, VRS, pseudorange.

1. Introdução

Com o advento dos sistemas de posicionamento globais, como é o caso do GPS (*Global Positioning System*) (Monico, 2008), busca-se cada vez mais viabilizar a navegação de baixa, média e alta acurácia. Nesse sentido, diversos métodos de posicionamento vêm se aprimorando ou surgindo nos últimos anos. Dentre eles, o método que utiliza redes de estações de referência (posicionamento baseado em redes) (Alves, 2008) tem recebido grande atenção da comunidade científica.

Com o posicionamento baseado em redes é possível obter acurácia centimétrica em uma ampla área de cobertura, minimizando custos aos usuários. Além disso, é uma tendência mundial a instalação e manutenção de redes de estações de referência ativas, devido, principalmente, à potencialidade do método e ao grande número de aplicações.

Dispondo de dados de uma rede GPS de estações de referência, deve-se selecionar um método adequado para manipulação e utilização desses dados. Diversos métodos vêm sendo desenvolvidos e aprimorados nos últimos anos para formular correções a partir dos dados das estações da rede (Alves, 2008). Os principais métodos presentes na literatura são: algoritmos de derivadas parciais (Wübbena *et al.*, 1996; Fotopoulos, 2000; Varner, 2000), algoritmos de interpolação (Gao & Li, 1998; Odijk, 2000), algoritmo de ajustamento condicional (Raquet, 1998; Fotopoulos & Cannon, 2000; Fortes, 2002) e conceito de estação de referência virtual (VRS – *Virtual Reference Station*) (Marel, 1998; Retscher, 2002; Zhang & Roberts, 2003; Hu *et al.*, 2003).

Os três primeiros métodos se concentram na geração de correções da rede, enquanto o último lida com o conceito de uma estação de referência virtual. Este método se torna mais adequado se for levada em consideração a realidade dos usuários brasileiros e de outros países em condição semelhante. Isso ocorre, pois empregando o conceito de VRS, o usuário não tem a necessidade de utilizar *softwares* especiais que aceitem um tipo específico de correção, como é o caso dos demais métodos. No conceito de VRS, basta que o usuário use um *software* padrão que realize o posicionamento relativo.

Assim, o objetivo deste artigo é avaliar a qualidade dos dados de pseudodistância gerados para a VRS através de diferentes métodos, além de simular seu uso em diferentes técnicas de posiciona-

mento. Esse tipo de investigação é importante, pois, em geral, a maioria das pesquisas se concentra na geração e análise de observações de fase da onda portadora. Entretanto, há um grande número de aplicações que utiliza a pseudodistância.

2. Redes de estações GNSS/GPS de referência

O posicionamento baseado em dados de redes de estações GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de referência tem se tornado mais efetivo nos últimos anos devido, principalmente, à grande potencialidade proporcionada pelo método.

Uma das grandes vantagens do uso de redes de estações de referência é a disponibilidade e confiabilidade do serviço. Isso acontece principalmente porque se uma ou duas estações falhar ou apresentar problemas, as demais ainda têm a possibilidade de prover o serviço ao usuário. Isso não ocorre com outros tipos de serviço, como no caso do DGPS (*Differential GPS*) e RTK (*Real Time Kinematic*), pois como uma única estação de referência é usada, se ocorrer falha o usuário terá que realizar posicionamento por ponto ou retornar a campo posteriormente (Alves, 2008).

Outro fator importante que vem fortalecendo e viabilizando o uso do posicionamento baseado em redes é a existência de redes de estações de referência ativas pelo mundo todo, principalmente em países mais desenvolvidos, como é o caso, por exemplo, de Alemanha, Canadá, Estados Unidos e Japão, onde as redes de estações de referência são altamente densificadas (dezenas ou centenas de estações). No que concerne ao Brasil, a RBMC/RIBAC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo/Rede INCRA de Bases Comunitárias do GPS), com a configuração atual, torna inviável a aplicação do posicionamento baseado em redes, pois a distância entre as estações ainda é grande (maior que 200 km em muitos locais) para esse tipo de serviço. Entretanto, em um futuro próximo, com a densificação da rede que já vem ocorrendo, esse tipo de posicionamento poderá se tornar uma realidade.

Para usuários do oeste do estado de São Paulo já existe a possibilidade de se ter implementado esse tipo de serviço. A figura 1 ilustra a posição das estações que compõem a rede.

Os dados coletados pelos receptores da rede do Estado de São Paulo são disponibilizados online através da Internet na página <<http://gege.fct.unesp.br>>, bastando fazer um simples e rápido

cadastro. Até o momento, são disponibilizados arquivos RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) a cada uma hora, com intervalo de coleta de 1 segundo, e arquivos RINEX a cada dia, com intervalo de coleta de 15 segundos. Além disso, os dados também podem ser acessados em tempo

real na Internet através do protocolo Ntrip (*Network of RTCM via Internet Protocol*) (Weber *et al.*, 2005). O *software* que pode ser utilizado para acessar os dados em tempo real é encontrado para *download* de forma gratuita no site <http://igs.ifag.de/index_ntrip.htm>.

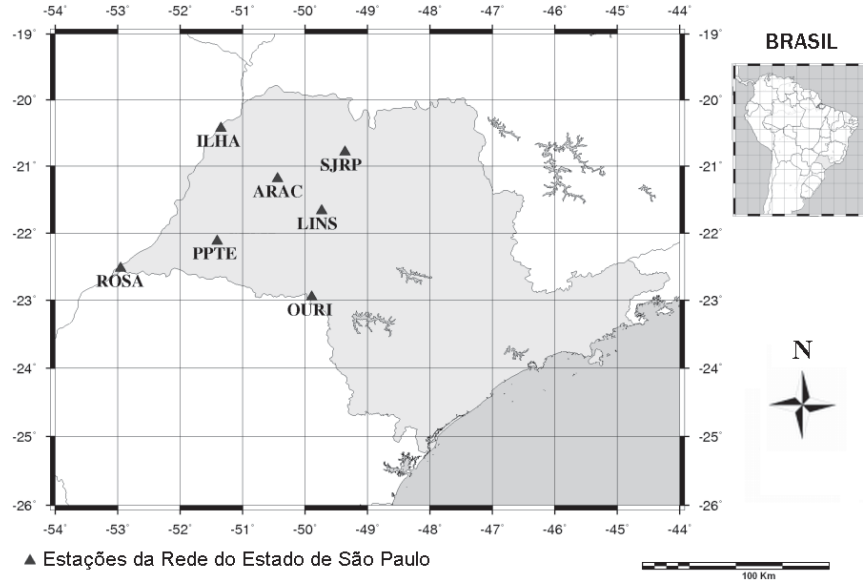


Figura 1. Rede GNSS do oeste do Estado de São Paulo.

3. VRS

A ideia básica do conceito de VRS é gerar nas proximidades do usuário os dados de uma estação que fisicamente não existe, mas que se aproximem o máximo possível dos dados de uma estação real situada no mesmo local (Zhang & Roberts, 2003; Retscher, 2002; Higgins, 2001; Alves, 2008; Alves *et al.*, 2007). A figura 2 ilustra o conceito de VRS.

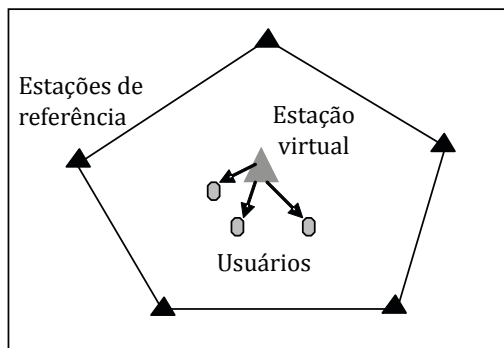


Figura 2. Conceito de estação de referência virtual (adaptado de Wanninger, 1999).

Para utilizar o conceito de VRS é necessário ter à disposição uma rede de estações de referên-

cia. De posse desses dados, a VRS é gerada na posição de interesse. Para tanto, o usuário deve enviar sua posição (obtida, por exemplo, pelo método de posicionamento por ponto simples) ao computador de controle central, para que a VRS seja criada em tal posição.

De posse da posição da VRS, é necessário que o *software* da estação de controle selecione a estação base da rede (a nomenclatura utilizada “estação base” está relacionada com a estação da rede mais próxima ao usuário, não se deve confundir com a estação base utilizada no posicionamento relativo, por exemplo). Para isso, são calculadas as distâncias entre a posição da VRS e as estações de referência da rede. A estação de referência mais próxima é selecionada como base.

As observáveis da VRS são geradas a partir das observáveis da estação base da rede. Primeiramente, são inseridos nos dados da estação base os deslocamentos geométricos (DG) (Alves *et al.*, 2007; Alves, 2008; Hu *et al.*, 2003). Esse procedimento é empregado para realizar uma relocalização da estação base para a posição da VRS (os dados da estação base passam a se localizar na posição da VRS). Num segundo passo, deve ser rea-

lizada a correção dos efeitos atmosféricos, pois os efeitos atmosféricos existentes na VRS devem ser similares aos do usuário.

É nesse segundo passo que os métodos utilizados para gerar os dados de pseudodistância para a VRS se diferenciam. Nesse trabalho, três métodos foram implementados e analisados:

Método 1 - Determinar o resíduo de cada estação da rede a partir da observável original de pseudodistância e então interpolar para a posição da VRS (Seção 3.1);

Método 2 - Determinar o resíduo de cada estação da rede a partir do erro residual recuperado das DDs (Duplas Diferenças) e interpolar tal erro para a posição da VRS (Seção 3.2);

Método 3 - Utilizar apenas modelos atmosféricos para determinar os erros atmosféricos na posição da VRS (seção 3.3);

Os três procedimentos citados serão detalhados nas próximas seções. Para os métodos 1 e 2 é necessário utilizar um modelo de interpolação para determinar o erro residual na posição da VRS. Diversos métodos de interpolação podem ser aplicados. Em Alves (2008) foram testados a interpolação baseada em um plano e a interpolação ponderada pela distância. Os melhores resultados foram apresentados pela interpolação ponderada pela distância. Portanto, neste artigo, esse método é empregado.

3.1. Correções Geradas das Observações Originais - Método 1

Nesse método, as correções são obtidas diretamente das observações originais de cada estação de referência da rede. Para determinar as correções para cada estação, o procedimento é similar ao utilizado no DGPS (*Differential GPS*). Em Dalbello *et al.* (2005) e Alves (2008) o procedimento matemático é descrito.

A figura 3 apresenta todos os passos necessários para a geração dos dados da VRS.

Observando a figura 3 pode-se perceber que, de posse das efemérides precisas obtidas no IGS (*International GNSS Service*) e arquivos de observação das estações da rede, é calculado o erro residual da observável original para cada estação de referência da rede (foi empregado o termo “erro residual” para que não seja confundido com o resíduo do Método dos Mínimos Quadrados, para mais informações consulte Alves (2008)). Em seguida, é utilizado o método de interpolação ponderada pela

distância para determinar o erro residual para a posição da VRS.

Por outro lado, a partir das coordenadas das estações de referência e das coordenadas da VRS, a estação base da rede é selecionada e o DG é calculado.

Finalmente, utilizando os dados da estação base re-localizados com o DG e o erro residual na posição da VRS, o arquivo de dados no formato RINEX é gerado para a estação virtual.

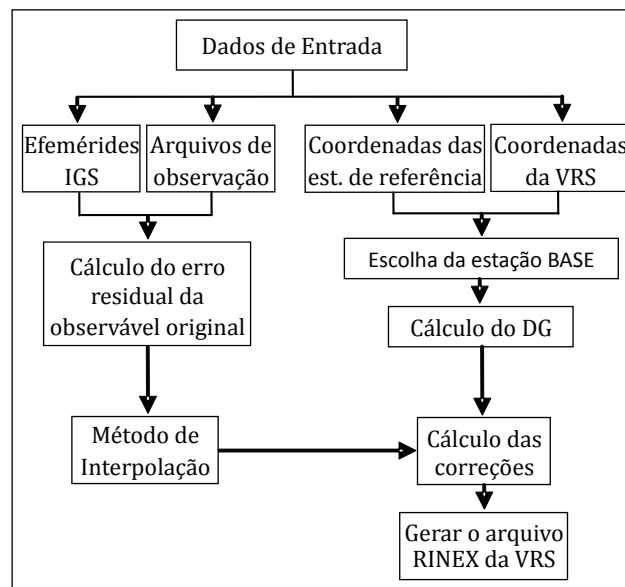


Figura 3. Etapas utilizadas para gerar a VRS a partir das observáveis originais das estações de referência da rede.

3.2. Correções Geradas a partir do Erro Residual das DD - Método 2

A figura 4 ilustra as principais etapas empregadas para gerar os dados da VRS através do erro residual das DD.

Observando a figura 4 pode-se notar que a partir dos arquivos de observação e efemérides dos satélites são calculadas as DDs da pseudodistância para cada linha de base, independente da rede. Posteriormente, é calculado o erro residual das DD (Alves, 2008), mas é necessário obter o erro da observável original para que este possa ser interpolado na posição da VRS. Nesse sentido, é necessário empregar um algoritmo para tal conversão. Nesse algoritmo, primeiramente o erro residual das DD é convertido para SD (simples diferença) e então o erro das SD é convertido para a observável original. Nos dois casos, é introduzida uma injunção para que se possa resolver o sistema envolvido. Nessa injunção, utiliza-se a hipótese de que o erro

residual não possui tendência, sendo ela ponderada pelo ângulo de elevação de cada satélite. Para mais detalhes, consulte Alber *et al.* (2000), Braun *et al.* (2000) e Alves (2008).

Tendo disponível o erro residual da observável original para cada estação de referência da rede, o método de interpolação ponderada pela distância é utilizado para obter o erro residual na posição da VRS. E, finalmente, assim como na metodologia apresentada na seção anterior, os dados da estação virtual são gerados no formato RINEX.

Algo que deve ser esclarecido ao leitor é a importância do método apresentado. Pode-se perceber que o Método 1 é mais simples que o Método 2, apresentado nessa seção. Entretanto, é importante ressaltar que quando se trabalha com dados de fase da onda portadora é indispensável o cálculo das DD devido à necessidade de solução das ambiguidades (Teunissen, 1998), ou seja, não é possível aplicar o Método 1. Portanto, o objetivo de utilizar o Método 2 para a pseudodistância é verificar se este é eficiente na recuperação do erro residual da observável original a partir do erro das Dds.

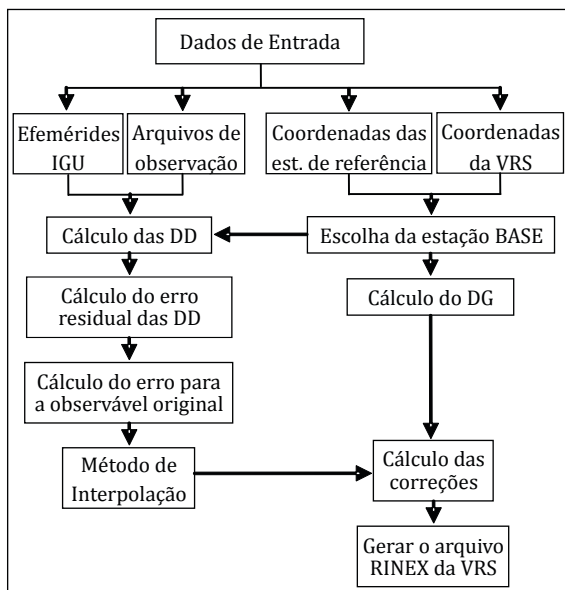


Figura 4. Etapas utilizadas para gerar a VRS após calcular as DD entre as estações de referência da rede.

3.3. Correções Geradas a partir de Modelos Atmosféricos - Método 3

A figura 5 ilustra o método empregado para gerar as correções aplicadas a VRS utilizando modelos atmosféricos. Mais detalhes podem ser encontrados em Alves (2008) e Alves *et al.* (2007).

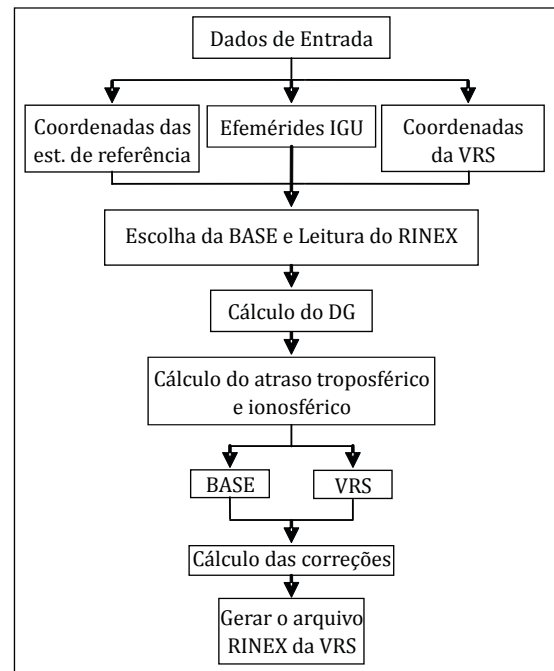


Figura 5. Etapas utilizadas para gerar a VRS através de modelos atmosféricos.

No que concerne à modelagem da ionosfera, o erro devido ao efeito ionosférico é calculado utilizando um modelo desenvolvido por pesquisadores da FCT/UNESP denominado Mod_Ion_FK (Carmargo, 1999; Aguiar, 2005).

Os demais procedimentos utilizados para gerar os dados da VRS são similares aos apresentados nos métodos anteriores.

4. Experimentos e análises

Para gerar os dados da VRS foram utilizados dados das estações da rede do oeste do Estado de São Paulo e de uma estação extra (Fig. 6). Foram coletados dados nos dias 362, 363 e 364 de 2006 e 002 de 2007, 24 horas por dia, com intervalo de coleta de 15 segundos.

A VRS foi gerada na posição da estação de Presidente Prudente (PPTE), também denominada “arquivo real” nos experimentos. No entanto, os dados da estação PPTE não foram utilizados nos cálculos da VRS, seus dados são usados apenas para comparação. A estação SEM1 foi considerada estação base da rede, pois é a mais próxima da posição da VRS (aproximadamente 70 km).

Para analisar a qualidade dos dados de pseudodistância (C1) gerados para a VRS, alguns testes foram realizados utilizando o PP (posicionamento

por ponto), o posicionamento relativo e o DGPS (Dalbello *et al.*, 2005; Monico, 2008; Seeber, 2003). Também foram realizadas análises levando em consideração a observável original gerada para a VRS. Também foram realizadas análises levando em consideração a observável original gerada para a VRS.

No que concerne ao PP, foi utilizado um *software* disponível on-line pelo NRCan (*Natural Resources Canada*) no site <http://www.geod.nrcan.gc.ca/online_data_e.php>. Em relação ao posicionamento relativo foi empregado o *software* TGO (*Trimble Geomatics Office*), versão 1.63. Já em relação ao DGPS, um aplicativo desenvolvido por Dalbello *et al.* (2005) foi usado. Finalmente, no caso da análise da observável original, os dados gerados pela VRS foram subtraídos dos dados originais da

estação PPTE.

Em todos os métodos de posicionamento aplicados, as coordenadas obtidas com os dados da VRS foram comparadas com as coordenadas de referência (coordenadas da estação PPTE onde a VRS foi gerada). Além disso, os dados da estação PPTE (arquivo real) também foram utilizados para comparação.

Para facilitar as análises, os resultados obtidos foram separados em três seções. Primeiramente serão avaliados os dados da VRS utilizando os métodos 1 e 2 (seção 4.1). Posteriormente, na seção 4.2, o método que apresentar melhores resultados será comparado com o Método 3. Em seguida, na seção 4.3, são analisados os dados originais gerados para a VRS.

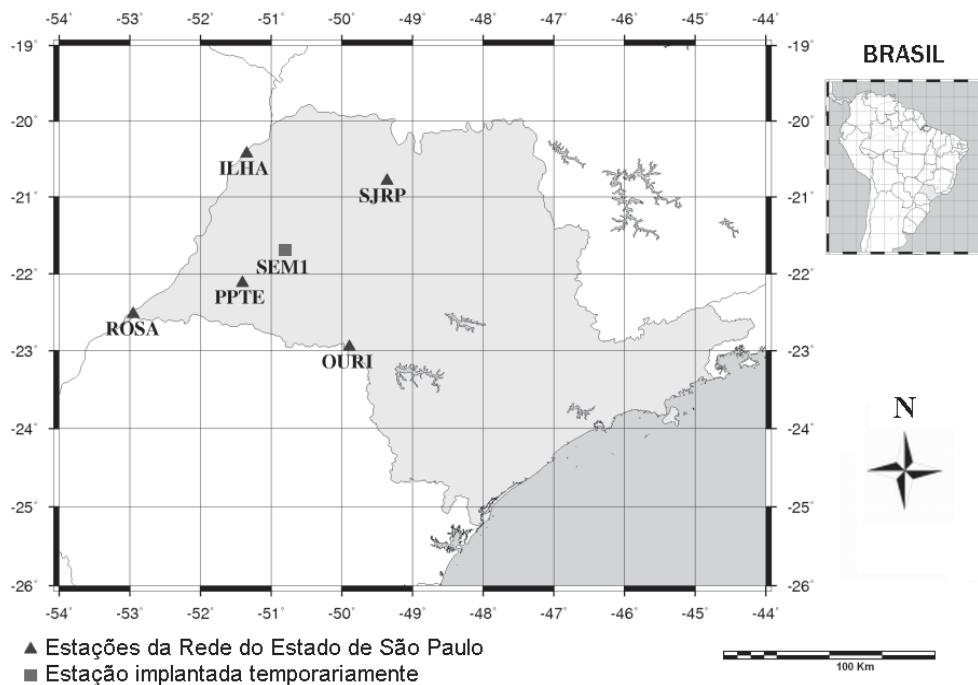


Figura 6. Estações utilizadas nos experimentos.

4.1. VRS Gerada a Partir do Erro Residual de DDs × VRS Gerada a Partir da Observável Original

Essa seção visa a analisar as diferenças obtidas para os dados da VRS gerados pelos métodos 1 e 2, isto é, dados da VRS gerados a partir da observável original (denominado “Original” nas figuras) ou a partir do erro residual das DDs (denominado “DD”). Para analisar os métodos propostos, os dados de C1 da VRS foram processados primeiramente no PP, modos estático e cinemático.

A figura 7A ilustra o EMQ (Erro médio quadrático) resultante obtido para o PP no modo está-

tico. Já a figura 7B apresenta os resultados para o modo cinemático.

Analisando tanto a figura 7A como a figura 7B, nota-se que os resultados apresentados pelos métodos 1 e 2 são praticamente idênticos para todos os dias de dados processados. Diferenças ocorrem apenas na casa dos milímetros. Isso se dá tanto para o PP modo estático como para o cinemático. Como esperado, os valores do EMQ obtidos para o PP modo cinemático são maiores que os obtidos para o modo estático, pois no modo cinemático a posição é determinada a cada época.

Para confirmar os resultados obtidos, também foi realizado o posicionamento relativo entre a VRS e o arquivo real da estação PPTE. Da mesma forma que no experimento anterior, a VRS gerada pelos métodos 1 e 2 foi testada. A figura 8 traz a distância obtida entre a VRS e o arquivo real para os 4 dias de dados processados. É esperado que num caso ideal a linha de base seja nula.

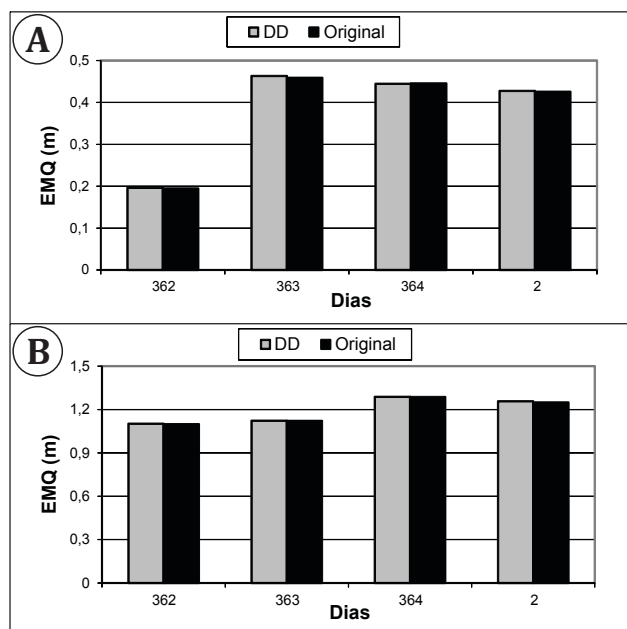


Figura 7. EMQ resultante obtido no PP modo estático (A) e cinemático (B) com C1 gerado a partir da observável original ou das DDs.

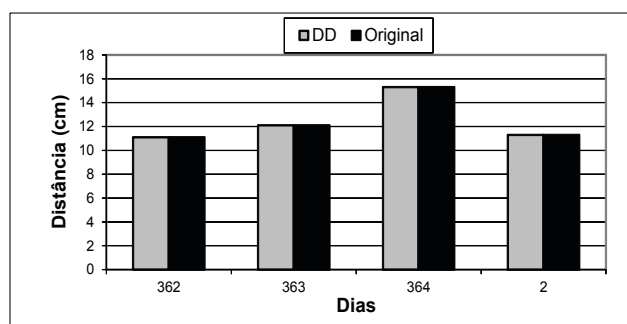


Figura 8. Distância obtida no posicionamento relativo VRS-PPTE com os dados da VRS gerados a partir da observável original ou das DDs.

Observando a figura 8 percebe-se que, da mesma forma que no PP, os resultados obtidos para a VRS gerada a partir da observável original são similares aos obtidos pela VRS gerada a partir do erro residual das DD. Com isso, pode-se concluir que os métodos 1 e 2 são similares.

Devido aos resultados obtidos, na próxima

seção apenas o Método 1 será aplicado para comparação com a VRS gerada por modelos atmosféricos.

4.2. VRS Gerada a Partir da Observável Original × VRS Gerada a Partir de Modelos Atmosféricos

Essa seção tem por objetivo avaliar a qualidade dos dados obtidos para a VRS gerada por dois métodos: através da observável original (denominada "Original" nas figuras) e por modelos atmosféricos (denominada "Modelos").

A figura 9A ilustra o EMQ resultante obtido para o PP no modo estático. A figura 9B traz os resultados para o PP cinemático. Além da VRS gerada pelos métodos 1 e 3, na figura 9 também são apresentados os resultados obtidos para o arquivo real da estação PPTE (denominado "Arquivo Real").

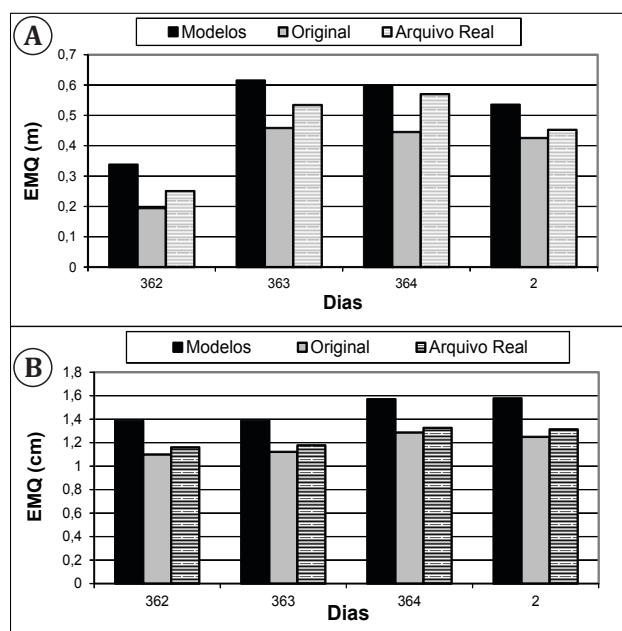


Figura 9. EMQ resultante obtido no PP modo estático (A) e cinemático (B) com C1 gerado a partir da observável original, a partir de modelos atmosféricos e pelo arquivo real.

Na figura 9, tanto para o modo estático como cinemático, nota-se que os melhores resultados são obtidos quando a VRS é gerada pelo Método 1. A tabela 1 apresenta a média do EMQ obtida para os 4 dias de dados processados.

Na tabela 1 os resultados apresentados nos gráficos podem ser confirmados. O EMQ médio obtido para a VRS no PP estático é de 38 cm para o Método 1 e 52 cm para o Método 3. Em relação ao PP cinemático, os melhores resultados também são obtidos pela VRS gerada pela observável original,

em média 1,19 m, enquanto para a VRS gerada por modelos o EMQ médio é de 1,48 m. É claro que em várias aplicações os dois métodos podem ser empregados, visto que as diferenças encontradas nos resultados estão em torno de centímetros (14 cm para o estático e 29 cm para o cinemático).

Com o objetivo de verificar se as mesmas conclusões seriam obtidas com outro método de posicionamento, os dados gerados e o arquivo real também foram processados no DGPS. Nesse processamento, a VRS foi considerada estação base e a estação OURI (cujas coordenadas são conhecidas) foi considerada móvel. Além da linha de base VRS-OURI (aproximadamente 180 km) também são apresentados os resultados do processamento da linha de base PPTE-OURI.

Na figura 10 são apresentados os valores do EMQ dos 4 dias de dados processados no DGPS.

Tabela 1. EMQ médio obtido no PP modo estático e cinemático com C1 gerado a partir da observável original, a partir de modelos atmosféricos e pelo arquivo real.

	PP Estático	PP Cinemático
Modelos	0,522	1,480
Original	0,381	1,189
Arquivo Real	0,452	1,244

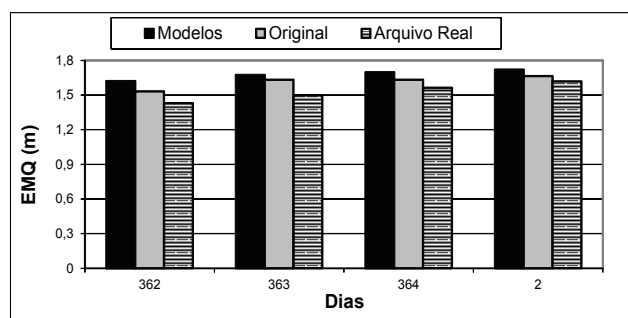


Figura 10. EMQ resultante obtido no DGPS com C1 gerado a partir da observável original, a partir de modelos atmosféricos e pelo arquivo real.

Como pode ser observado na figura 10, os melhores resultados da VRS são obtidos quando esta é gerada pelo Método 1, isto é, observável original. Na média dos 4 dias de dados processados, é obtido um EMQ médio de 1,68 m para a VRS gerada por modelos e 1,62 m para a VRS gerada pela observável original. Portanto, da mesma forma que no PP, o Método 1 apresenta os melhores resultados, mas a diferença entre os dois métodos também não

é tão relevante, em torno de centímetros. Finalizando, cabe acrescentar que para o arquivo real o EMQ médio foi de 1,53 cm, próximo ao valor obtido pela VRS.

4.3. Análise dos dados Originais gerados para a VRS

Nesta seção são analisados os dados originais da VRS. Para tanto, as pseudodistâncias (C1) geradas para a VRS são subtraídas das observáveis correspondentes do arquivo real da estação PPTE. Antes de realizar a subtração, as observáveis foram corrigidas do erro do relógio do receptor para não levar a conclusões errôneas.

A diferença entre a observável da VRS e a real foi calculada para cada satélite em todas as épocas. Em relação à VRS, foram utilizados os dados gerados pelo Método 1, pois este foi o mais eficiente (vide seções anteriores). Como os resultados foram similares para os 4 dias de dados, apenas aqueles obtidos do dia 364 são apresentados.

A figura 11 ilustra o valor médio do EMQ para todos os PRNs (*Pseudo Random Noise*) presentes no dia 364.

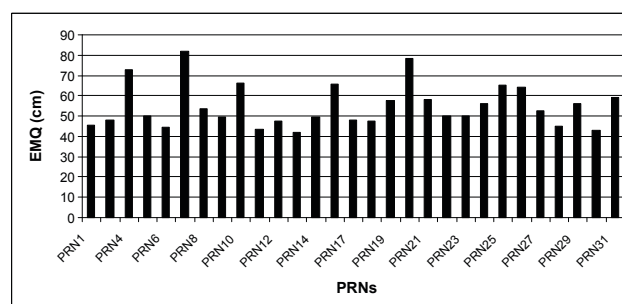


Figura 11. Valor médio do EMQ obtido na diferença entre a observável gerada para a VRS e a real da estação PPTE para todos os PRNs disponíveis.

Como pode ser observado na figura 11, o EMQ médio varia de aproximadamente 40 a 80 cm. Tais valores representam aproximadamente a precisão da observável pseudodistância.

Levando em consideração todos os PRNs, é obtida uma diferença média de 5,4 cm com desvio padrão de 54,1 cm, o que representa um EMQ médio de 54,9 cm. Com isso, pode-se concluir que os dados gerados para a VRS atendem à acurácia exigida para a observável pseudodistância, e que podem ser utilizados de forma confiável por pesquisadores/usuários nas mais diversas aplicações.

5. Considerações finais

As redes de estações de referência ativas que viabilizam o posicionamento baseado em redes já são uma realidade em muitos países. O Brasil está caminhando nesse sentido com a modernização e densificação da RBMC/RIBAC. Num futuro próximo, esse tipo de posicionamento será uma realidade para todo o país. Mas para usuários do oeste do estado de São Paulo esse tipo de posicionamento já pode ser viabilizado.

Neste trabalho foram apresentados três métodos para gerar dados de pseudodistância para uma VRS através de dados da rede do oeste do estado de São Paulo. Diversas análises foram realizadas e foi constatado que os resultados apresentados pela VRS gerada a partir da observável original e a partir do erro residual das DD são similares. Além disso, a VRS gerada por modelos atmosféricos apresentou resultados ligeiramente piores (diferença de centímetros – dependendo da técnica de análise empregada). O mais importante a salientar é que os resultados obtidos se assemelharam àqueles provindos do arquivo real.

Finalizando, pode-se ressaltar que até o momento esse tipo de posicionamento tem sido realizado na rede do oeste do estado de São Paulo apenas de forma simulada. Espera-se que num futuro próximo esse serviço seja disponibilizado via internet para os usuários através do projeto que vem sendo desenvolvido pela primeira autora deste trabalho.

Agradecimentos - Este trabalho foi desenvolvido com recursos financeiros da FAPESP (Proc. 2008/06499-9) mediante atribuição de bolsa de pós-doutorado à primeira autora e se insere no projeto temático FAPESP (Proc. 2006/04008-2).

Referências

- Aguiar, C.R. 2005. *Modelo Regional da Ionosfera (Mod_Ion): Implementação em Tempo Real*. Presidente Prudente, São Paulo, 159f. Dissertação de Mestrado em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista.
- Alber, C., Ware, R., Rocken, C. & Braun, J. 2000. Obtaining Single Path Phase Delays from GPS Double Differences. *Geophysical Research Letters*, 27 (7): 2661-2664. Disponível em: <<http://www.cosmic.ucar.edu/~braunj/papers/ddfinal.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2006.
- Alves, D.B.M. 2008. *Posicionamento GPS Utilizando o conceito de Estação Virtual*. Presidente Prudente, São Paulo, 166f. Tese Doutorado em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista.
- Alves, D.B.M., Monico, J.F.G. & Dalbello, L.F.A. 2007. Geração de VRS a partir de Modelos Atmosféricos: Conceito, Implementação e Resultados. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 13 (2): 316-336.
- Braun, J., Rocken, C., Ware, R. & Alber, C. 2000. A Technique for Determining Single Satellite, Single Station Information From Double Difference GPS Residuals. University Corporation for Atmospheric Research (UCAR)/GPS Research Group. Disponível em: <http://www.cosmic.ucar.edu/~braunj/papers/fall_98_agu.pdf>. Acesso em: 28 out. 2006.
- Camargo, P.O. 1999. *Modelo Regional da Ionosfera para Uso em Posicionamento com Receptores GPS de Uma Frequência*. Curitiba, 191f. Tese Doutorado em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Dalbello, L.F.A., Alves, D.B.M. & Monico, J.F.G. 2005. DGPS Utilizando Órbitas Precisas do IGS. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 4., 2005, Curitiba, *Anais...* Curitiba, 6p.
- Fortes, L.P.S. 2002. *Optimising the Use of GPS Multi-Reference Stations for Kinematic Positioning*. Calgary, 355f. PhD Thesis, University of Calgary.
- Fotopoulos, G. 2000. *Parameterization of DGPS Carrier Phase Errors Over a Regional Network of Reference Stations*. Calgary, 202p. MSc Dissertation, University of Calgary.
- Fotopoulos, G. & Cannon, M.E. 2000. Spatial and Temporal Characteristics of DGPS Carrier Phase Errors Over a Regional Network. In: INTERNATIONAL ASSOCIATIONS OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION (IAIN), 2000, San Diego, *Proceedings...* San Diego, p.54-64.
- Gao, Y. & Li, Z. 1998. Ionosphere Effect and Modeling for Regional Area Differential GPS Network. In: ION GPS, 1998. Nashville, *Proceedings...* Nashville, p.91-97.
- Higgins, M.B. 2001. An Australian Pilot Project for a Real Time Kinematic GPS Network Using the Virtual Reference Station Concept. In: ANNUAL WORKING MEETING OF THE INTERNATIONAL FEDERATION OF SURVEYORS, 2001, Seoul, *Proceedings...* Seoul, 7p.
- Hu, G.R., Khoo, H.S., Go, P.C. & Law, C.L. 2003. Development and Assessment of GPS Virtual Reference Stations for RTK Positioning. *Journal of Geodesy*, 77 :292-302.
- Marel, H. van der. 1998. Virtual GPS Reference Stations in the Netherlands. In: ION GPS, 1998. Nashville, *Proceedings...* Nashville, p.49-58.

- Monico, J.F.G. 2008. *Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações*. 2.ed. São Paulo, Unesp, 476p.
- Odiijk, D. 2000. Precise GPS Positioning by applying Ionospheric Corrections from an Active Control Network. *GPS Solutions*. 3(3):49-57.
- Raquet, J. 1998. *Development of a Method for Kinematic GPS Carrier-Phase Ambiguity Resolution Using Multiple Reference Receivers*. Calgary, 281f. PhD Thesis, University of Calgary.
- Retscher, G. 2002. Accuracy Performance of Virtual Reference Station (VRS) Networks. *Journal of Global Positioning System*, 1 (1):40-47.
- Sapucci, L.F., Monico, J.F.G., Espinoza, E.S. & Machado, L.A.T. 2003. Predição do Atraso Zenital Troposférico na América do Sul para Posicionamento GNSS em Tempo Real. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 3., 2003, Curitiba. *Anais...* Curitiba, 14p.
- Sapucci, L.F., Machado, L.A.T. & Monico, J.F.G. 2006. Previsões do Atraso Zenital Troposférico para a América do Sul: Variabilidade Sazonal e Avaliação da Qualidade. *Revista Brasileira de Cartografia*, (58/3): 279-292.
- Seeber, G. 2003. *Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications*. Berlin, Walter de Gruyter, 589p.
- Teunissen, P.J.G. 1998. GPS Carrier Phase Ambiguity Fixing Concepts. In: Teunissen, P.J.G. & Kleusberg, A. (Eds.). *GPS for Geodesy*. 2ed. Berlin, Springer Verlag, p. 271-318.
- Varner, C.C. 2000. *DGPS Carrier Phase Networks and Partial Derivative Algorithms*. Calgary, 175f. PhD Thesis, University of Calgary.
- Wanninger, L. 1999. The Performance of Virtual Reference Stations in Active Geodetic GPS-networks under Solar Maximum Conditions. In: ION GPS 99, Nashville. *Proceedings...*, Nashville, p.1419-1427.
- Weber, G., Dettmering, D., Gebhard, H. & Kalafus, R. 2005. Network of RTCM via Internet Protocol (Ntrip) - IP - Streaming for Real Time GNSS Applications. In ION GNSS 2005, Long Beach, CA. *Proceedings...* Long Beach, p. 2243-2247.
- Wübbena, G., Bagge, A., Seeber, G., Boder, V. & Hankemeier, P. 1996. Reducing Distance Dependent Errors for Real-Time Precise DGPS Applications by Establishing Reference Station Networks. In: ION GPS 1996. Kansas City. Missouri. *Proceedings...* Kansas City, p.1845-1852.
- Zhang, K. & Roberts C. 2003. Network-Based Real-Time Kinematic Positioning System: Current Development in Australia. In: GEOINFORMATICS AND SURVEYING CONFERENCE, 2003. The Institute of Surveyor. Malasia. *Proceedings...* Malasia, 9p.