

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA VIRTUAIS GERADAS POR DIFERENTES SOFTWARES

JOÃO NAVES DE MORAES¹
DANIELE BARROCA MARRA ALVES²
JOÃO FRANCISCO GALERA MONICO²

Universidade Estadual Paulista - UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT
¹Graduação em Eng. Cartográfica, Presidente Prudente - SP
²Departamento de Cartografia, Presidente Prudente - SP
joosevan@gmail.com, {danibarroca, galera}@fct.unesp.br

RESUMO - O conceito de rede de estações de referência foi desenvolvido devido à necessidade de uma melhor disponibilidade, acurácia e confiabilidade no posicionamento e navegação. As múltiplas estações de referência são utilizadas para levantamentos que requerem acurácia centimétrica em distâncias de dezenas de quilômetros. Para o posicionamento baseado em Redes, diversos métodos vêm sendo desenvolvidos nos últimos anos para formular correções a partir de dados de uma rede de estações de referência. Uma possibilidade é gerar, a partir de modelos, ao invés de correções, dados GNSS numa estação próxima ao usuário, denominada VRS (*Virtual Reference Station* - Estação de Referência Virtual). Neste sentido, nesta pesquisa é realizada a análise comparativa em termos de acurácia de dados de VRS gerados com os softwares comerciais, Geo++[®] GNSMART desenvolvido pela empresa Geo++, Trimble VRS3Net e o científico, VRS UNESP em desenvolvimento na Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Palavras chave: RTK em Rede, VRS, Posicionamento Baseado em Redes, GNSS.

ABSTRACT - The network reference stations concept was developed in order to obtain a better availability, accuracy and reliability in positioning and navigation. The multiple reference stations are used in surveys that require centimeter accuracy in distances of dozens of kilometers. In the past few years, several methods have been developed to formulate corrections to the network-based positioning. However, another possibility, is to generate GNSS data of a station next to the user position, called VRS (*Virtual Reference Station*). In this sense, in this paper is carried out a comparative analysis in terms of VRS data accuracy generated with commercial softwares: Geo++[®] GNSMART developed by the Geo++ (GeoService[®] Satellitengestützte Vermessungen GmbH) company and Trimble VRS3Net (© Trimble Navigation Limited); and the scientific VRS UNESP software, that is under development at Faculty of Science and Technology.

Key words: Network RTK, VRS, Network-Based Positioning, GNSS.

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, os métodos de posicionamento vêm se aprimorando. Além disso, novas técnicas têm surgido com o objetivo de realizar posicionamento com alta acurácia (ALVES, 2010). Para superar o problema relacionado com os erros envolvidos no posicionamento denominado RTK (*Real Time Kinematic*), foi desenvolvido o conceito de rede de estações de referência (RTK em rede) (LANDAU, VOLLATH, CHEN, 2003; LACHAPELLE, ALVES, 2003; MONICO et al., 2006; MONICO, 2008; ALVES, 2008).

O posicionamento realizado utilizando dados de redes de estações de referência tem se tornado mais efetivo nos últimos anos, devido, principalmente, a alta acurácia proporcionada pelo RTK em rede, no qual existe a possibilidade de ampliar a distância do receptor do usuário em relação às estações de referência, além de melhorar a confiabilidade dos resultados, se comparado ao RTK. Com esse método existe, além de outras, a possibilidade de se usar o conceito de VRS (*Virtual Reference Station* – Estação de Referência Virtual). Segundo Monico (2008) os dados coletados em cada estação de referência da rede são enviados para uma central de controle onde são realizados todos os

processamentos. Essa central também gera o arquivo de observação da estação virtual e o envia para o usuário, que pode realizar o posicionamento relativo utilizando a VRS como se fosse uma estação de referência nas suas proximidades (ALVES, DALBELO e MONICO, 2007).

Existem outros métodos para trabalhar com RTK em rede, mas uma vantagem do método VRS é que o processamento de dados é idêntico ao realizado num caso de RTK convencional (duas estações, base e rover), e portanto, do ponto de vista do usuário nenhuma modificação de *software* ou *hardware* é necessária para o uso de RTK convencional ou em rede (ALVES, 2008).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são abordados os *softwares* utilizados nesta pesquisa, uma síntese de suas características e seus principais módulos.

2.1 Geo++ GNSMART

O Geo++ GNSMART, *software* para monitoramento e análise de estações de referência, de acordo com a Geo++ GmbH (2011) fornece o estado da arte das correções RTK em rede utilizando a técnica denominada FKP (*Flächen-Korrektur Parameter* - Parâmetros de Correção de Área), técnica desenvolvida pela Geo++ em meados de 1990 (GEO++ GMBH, 2011).

2.2 Trimble VRS3NET

O *software* comercial VRS3Net da Trimble foi adquirido pela UNESP no projeto temático - GNSS: Investigações e aplicações no posicionamento geodésico, em estudos relacionados com a atmosfera e na agricultura de precisão, financiado pela FAPESP, Processo nº: 2006-04008-2. De acordo com o fabricante, dentre os *softwares* existentes no mercado, o VRS3Net é o mais avançado para se trabalhar com redes de estações de referência.

2.3 VRS UNESP

Na FCT/UNESP está em desenvolvimento um sistema denominado VRS UNESP (ALVES, 2008), que realiza o RTK em Rede usando o conceito de VRS no modo pós-processado. Nos resultados apresentados nesse trabalho os dados da VRS foram gerados empregando apenas modelos atmosféricos (ionosfera e troposfera), ou seja, a solução das ambiguidades não é realizada, como descrito em Alves (2008).

3 METODOLOGIA, RESULTADOS E ANÁLISES

Esta seção refere-se aos resultados obtidos e análises realizadas com a VRS gerada por meio dos *softwares* descritos anteriormente.

3.1 Método utilizado para avaliar os dados da VRS

O objetivo do trabalho é a comparação de arquivos de VRS gerados por diferentes *softwares* em uma mesma posição. Para tanto, após a geração dos dados da VRS nos softwares já mencionados foi realizado o processamento dos dados da VRS com o método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP). Dessa forma, é possível avaliar a qualidade da VRS gerada através da comparação entre a coordenada considerada verdadeira e a posição obtida no PPP. Os softwares utilizados foram: CSRS-PPP (*Canadian Spatial Reference System*) disponibilizado *on-line* pelo NRCan (*Natural Resources Canada*) e o *software* científico FCT/RTPPP, o qual está em desenvolvimento na FCT/UNESP (MARQUES, 2008).

É necessário salientar que os comprimentos das linhas de base utilizadas para a geração dos dados da VRS com todos os *softwares* envolvidos, são maiores que as condições ideais indicadas pelos fabricantes dos *softwares* comerciais (aproximadamente 50 km para o *software* Geo++ GNSMART (GEO++ GMBH, 2011) e 40 km para o *software* Trimble VRS3Net (TRIMBLE, 2011), respectivamente).

Nos testes foram utilizados arquivos gerados para a VRS com 24 horas de dados, observáveis L1, C1, L2, P2, satélites GPS e intervalo amostral de 15 segundos.

3.1.1 Geo++ GNSMART

Para o Geo++ GNSMART não foi possível gerar dados de VRS para os mesmos dias dos outros dois *softwares* devido a indisponibilidade do mesmo. Assim, foram utilizados dados gerados anteriormente, referentes ao ano de 2010.

A Tabela 1 apresenta a posição da VRS gerada pelo *software* Geo++ GNSMART.

Tabela 1 – Posição da VRS gerada (Geo++ GNSMART).

Latitude	Longitude	Altura(m)
-21°49'42"	-50°38'51"	326

A Tabela 2 refere-se aos comprimentos das linhas de base, proporcionando uma ideia do espaçamento entre as estações GNSS.

Tabela 2 - Distância entre a VRS gerada e as estações GNSS mais próximas.

Identificação da VRS	Distâncias em Quilômetros da VRS gerada (km)
PPTE-VRS	84,98
SPAR-VRS	74,45
OURI-VRS	146,32

Para gerar os dados da VRS no GEO++, foram requisitados 21 dias. Mas, os dados foram gerados para apenas 12, nos demais dias o *software* não realizou os cálculos.

Em relação aos 12 dias de dados gerados para a VRS, 4 dias (33,3%) apresentaram uma porcentagem de épocas abaixo de 50%. Também ocorreram problemas quanto a quantidade de satélites por época. Em várias épocas são apresentados dados de apenas 1, 2 ou 3 satélites.

3.1.1.1 Resultados e análises do PPP

Modo Estático

Na Tabela 3 é apresentado o EMQ (Erro Médio Quadrático) calculado para a Componente Planimétrica e Altimétrica para cada VRS gerada.

Tabela 3 – EMQ para a Componente Planimétrica software Geo++ GNSMART - Modo Estático

Dias	EMQ Componente Planimétrica (cm)	EMQ Componente Altimétrica (cm)
02/08/2010	16,46	19,65
03/08/2010	13,84	8,98
04/08/2010	8,44	14,44
04/10/2010	61,11	103,88
05/10/2010	15,29	9,83
06/10/2010	14,94	10,26
07/10/2010	13,95	8,21
08/10/2010	13,85	7,23
09/10/2010	13,50	4,24
10/10/2010	13,34	6,31
11/10/2010	13,80	7,04
12/10/2010	13,14	8,75
Média	17,63	17,40

Para a amostra analisada a VRS gerada para o dia 04/10/2010, apresentou poucas épocas de dados, apenas 11% levando em consideração o número total. Com isto, o erro médio quadrático foi de 61,11 cm, maior valor calculado para a amostra.

A média dos EMQ obtidos para a componente altimétrica foi muito próxima da média dos EMQ para a componente planimétrica (17,40 cm para a altimetria e 17,63 cm para a planimetria).

Modo Cinemático

Na Tabela 4 é dado o EMQ obtido no Modo Cinemático com o CSRS-PPP. Note que, como esperado, todos os EMQ calculados foram maiores em comparação ao Modo Estático. Com relação à componente planimétrica o maior EMQ calculado foi de 176,05 cm para o dia 04/08/2010. Pode-se observar que os valores variam desde 35,5 cm (dia 08/10/2010) até vários metros (4,90 m, dia 04/10/2010) e para a amostra a média estimada é de 1,57 m.

Tabela 4 – EMQ para as Componentes Planimétrica e Altimétrica obtidas com o software Geo++ GNSMART - Modo Cinemático

Dias	EMQ Componente Planimétrica (cm)	EMQ Componente Altimétrica (cm)
02/08/2010	52,09	58,92
03/08/2010	87,44	197,25
04/08/2010	176,05	187,33
04/10/2010	123,15	490,53
05/10/2010	68,05	60,77
06/10/2010	80,14	47,03
07/10/2010	85,15	116,02
08/10/2010	45,59	35,5
09/10/2010	106,01	386,55
10/10/2010	59,53	69,68
11/10/2010	73,43	89,91
12/10/2010	86,32	151,93
Média	86,91	157,61

3.1.2. VRS UNESP e Trimble VRS3Net

Esta seção trata da VRS gerada pelos softwares VRS UNESP e Trimble VRS3Net. A Tabela 5 apresenta a posição da VRS.

Tabela 5 – Posição da VRS gerada pelos softwares VRS UNESP e Trimble VRS3Net

Latitude	Longitude	Altura(m)
-22°00'42"	-50°35'51"	326

A Tabela 6 apresenta as distâncias entre as estações GNSS mais próximas e a posição da VRS gerada.

Tabela 6- Distância da VRS gerada e as estações GNSS mais próximas.

Identificação da VRS	Distâncias em Quilômetros da VRS gerada (km)
PPTE-VRS	84,57
SPAR-VRS	93,02
OURI-VRS	126,51

O intervalo de tempo adotado para a geração dos dados da VRS foi das 00:00:00 às 23:59:00. Totalizando 5757 épocas, mesmo adotado anteriormente. O período analisado foi de 02 a 19 de setembro, além dos dias 30 de setembro, 08 e 13 de outubro de 2011.

3.1.2.1. Resultados

Após a geração dos dados com os softwares específicos foi realizada a análise dos arquivos gerados.

3.1.2.1.1 Resultados VRS UNESP

Modo Estático

Na Tabela 7 é apresentado o EMQ calculado para as Componentes Planimétrica e Altimétrica para cada VRS gerada no Modo Estático.

Tabela 7 – EMQ para as Componentes Planimétrica e Altimétrica para cada VRS (*software* VRS UNESP) - Modo Estático

Dias	EMQ Componente Planimétrica (cm)	EMQ Componente Altimétrica (cm)
02/09/2011	1,38	3,06
03/09/2011	1,30	3,04
04/09/2011	1,29	2,40
05/09/2011	1,40	2,12
06/09/2011	1,42	1,91
07/09/2011	1,41	1,75
08/09/2011	1,53	1,63
09/09/2011	1,69	1,99
10/09/2011	1,75	2,54
11/09/2011	1,88	2,57
12/09/2011	1,36	2,27
13/09/2011	1,18	2,51
14/09/2011	1,34	2,44
15/09/2011	1,16	2,33
16/09/2011	1,65	2,49
17/09/2011	1,63	2,17
30/09/2011	1,19	2,19
08/10/2011	1,83	2,54
13/10/2011	1,89	2,26
Média	1,48	2,33

Em comparação ao software Geo++ GNSMART, apresentado anteriormente, os dados de VRS gerados pelo VRS UNESP apresentaram uma maior acurácia para todo o período analisado. Comparando o valor médio do EMQ da Componente Planimétrica foi obtido um valor 12 vezes melhor. Já para a Componente Altimétrica os resultados do VRS UNESP foram 7 vezes melhor.

O maior EMQ encontrado foi de 1,89 cm para a Componente Planimétrica (dia 13/10/2011) e 3,06 cm para a Componente Altimétrica (dia 02/09/2011).

Modo Cinemático

Na Tabela 8 são apresentados os valores de EMQ calculados para as Componentes Planimétrica e Altimétrica obtidos no Modo Cinemático de processamento.

Tabela 8 – EMQ para as Componentes Planimétrica e Altimétrica (*software* VRS UNESP) - Modo Cinemático

Dias	EMQ Componente Planimétrica (cm)	EMQ Componente Altimétrica (cm)
02/09/2011	3,83	4
03/09/2011	5,17	4,09
04/09/2011	2,77	4,48
05/09/2011	2,11	3,62
06/09/2011	2,39	3,69
07/09/2011	2,59	3,69
08/09/2011	3,33	5,58
09/09/2011	2,89	4,8
10/09/2011	4,84	9,71
11/09/2011	2,69	4,39
12/09/2011	2,13	3,59
13/09/2011	2,15	3,74
14/09/2011	2,65	4,24
15/09/2011	2,37	4,87
16/09/2011	2,15	3,67
17/09/2011	2,08	3,23
30/09/2011	49,16	80,96
08/10/2011	26,81	40,81
13/10/2011	17,70	65,16
Média	7,36	13,59

Nota-se na Tabela 8 que os últimos 3 dias apresentaram valores muito discrepantes dos demais, algo que deve ser investigado. Ainda na mesma tabela, verifica-se que estes dias influenciaram diretamente na média final do EMQ (13,59 cm para a componente altimétrica). Se esses 3 dias não forem considerados, o EMQ obtido fica em torno de 4 cm para a altimetria.

3.1.2.1.2. Resultados Trimble VRS3Net

No Trimble VRS3Net foram gerados dados de VRS para os mesmos dias do ano que os gerados no VRS UNESP. Em relação ao processamento dos dados no CSRS-PPP, o software não retornou resposta para os arquivos gerados nos dias 05/09, 08/09, 13/09/2011 e 13/10/2011. Esse fato pode ter ocorrido devido a qualidade dos dados gerados. Assim, a amostra foi reduzida em alguns dias de dados.

Modo Estático

São apresentados na Tabela 9 os EMQ calculados para as Componentes Planimétrica e Altimétrica para cada VRS gerada com o uso do Trimble VRS3Net.

Tabela 9 – EMQ para a Componente Planimétrica e Altimétrica (*software* VRS3Net) - Modo Estático

Dias	EMQ Componente Planimétrica (cm)	EMQ Componente Altimétrica (cm)
02/09/2011	156,18	268,15
03/09/2011	18,71	10,19
04/09/2011	83,35	941,87
06/09/2011	16,39	17,23
07/09/2011	16,21	35,31
09/09/2011	187,59	1073,81
10/09/2011	88,30	836,31
11/09/2011	16,68	9,94
14/09/2011	119,32	756,97
15/09/2011	301,64	1026,31
16/09/2011	31,66	32,09
17/09/2011	232,40	749,10
30/09/2011	68,09	530,03
08/10/2011	58,12	1155,76
Média	99,6	531,6

Comparando os 3 softwares, os piores valores de acurácia foram obtidos pelo *software* Trimble VRS3Net. Na componente planimétrica, os valores de EMQ calculados variaram de 16 cm até 3,01 m (Tabela 9), valores de EMQ que não se adéquam à acurácia proporcionada pelo método RTK em Rede e acima dos valores obtidos com os outros *softwares* testados.

Para o dia 16/09/2011 observou-se que houve uma grande rejeição das observáveis processadas; de um total de 7304 observações processadas, 6881 observações foram rejeitadas, o que corresponde a um total de 94,20% das observações.

Na tabela 9 também são apresentados valores próximos de 11 e 12 metros para a componente altimétrica. Há dias também que os resultados obtidos são em torno de 10 cm para a mesma componente, fato que merece maior investigação.

Modo Cinemático

Para o Modo Cinemático de processamento com o uso do CSRS-PPP não foi possível apresentar os resultados, pois os valores calculados foram extremamente grandes, o *software* (CSRS-PPP) apresentou dificuldades na escrita dos mesmos. Para investigar o problema ocorrido, um outro *software* foi testado, o RT-PPP (MARQUES, 2008). Mas, da mesma forma, os resultados obtidos foram muito grandes, algo entorno de até milhares de metros.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

O objetivo principal deste artigo era a comparação da qualidade da VRS gerada por diferentes softwares.

Para tanto, dois softwares comerciais e um *software* científico foram empregados.

No que concerne aos resultados, os dados de VRS gerados pelo sistema VRS UNESP tanto no modo estático ou cinemático apresentaram a maior acurácia para todo o período analisado. Os piores resultados foram obtidos com o *software* VRS3Net. Mas, como dito anteriormente, os comprimentos das linhas de base utilizadas para a geração dos dados da VRS, são maiores que as condições ideais indicadas pelos fabricantes dos *softwares* comerciais (aproximadamente 50 km para o *software* Geo++ e 40 km para o *software* Trimble VRS3Net).

Finalizando, em trabalhos futuros, mais testes devem ser realizados em um período maior de dias, e com softwares adicionais, visando verificar se o desempenho permanece consistente com os resultados obtidos nessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALVES, D. B. M.; DALBELO, L. F. A.; MONICO, J. F. G. **Análise da qualidade de uma estação de referência virtual através do Posicionamento por Ponto Preciso**. In: Presidente Prudente, SP: In:V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2007.

ALVES, D. B. M. **Posicionamento Baseado em Redes de Estações de Referência GPS Utilizando o Conceito de Estação Virtual**. 161 p. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) — Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2008.

ALVES, D. B. M. **Desenvolvimento e Implantação do RTK em Rede Para Posicionamento Geodésico no Estado de São Paulo**. 105 p. Relatório de Pós - doutorado apresentado á Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP— Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2010.

ALVES, D. B. M.; MONICO, J. F. G.; OLIVEIRA, P. S. **PNT versus Hopfield: Qual a melhor estratégia na geração de dados de uma estação GNSS virtual?** In: Curitiba, PR.VII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2011.

ALVES, P.; AHN, Y.; LACHAPELLE, G. The effects of network geometry on network RTK using simulated GPS data. In: **Proceedings of ION GPS 2003**, Oregon, Portland, 2003.

GEO++ GMBH. GNSMART. Garbsen, Alemanha, 2011. Disponível em: <<http://www.geopp.de/>>. Acesso em: 20 nov. 2011.

LANDAU, H.; VOLLATH, U.; CHEN, X. **Virtual Reference Stations versus broadcast solutions in Network RTK**. In: Graz, Austria: Proceedings of Institute of Navigation GNSS 2003, 2003.

MARQUES, H. A. **Influência da Ionosfera no Posicionamento GPS: Estimativa dos Resíduos no Contexto de Duplas Diferenças e Eliminação dos Efeitos**

de Segunda e Terceira Ordem. 152 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas)—Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2008.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** São Paulo SP: Editora UNESP, 2008. 476.

MONICO, J. F. G.; CAMARGO, P. O. ; SAPUCCI, L. F. ; ALVES, D. B. M. ; SOUZA, E. M. ; FAUSTINO, R. C. ; DALBELLO, L. F. ; POLEZEL, W. C. **Rede GPS Ativa do Estado de São Paulo: suporte ao posicionamento geodésico no Estado de São Paulo.** Relatório científico apresentado à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP 01, Processo 04/03384-5 — Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2006.

OLIVEIRA JUNIOR, P. S.; ALVES, D. B. M.; MONICO, J.F.G. **Modelagem Atmosférica no Posicionamento GNSS Baseado em Redes: Investigação e Implementação no Contexto da Rede GNSS SP.** Relatório de pesquisa apresentado à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente, SP, 2010.

TRIMBLE. **Trimble Navigation Limited** - Trimble VRS3Net Software User Guide. 2011. Acesso em: 26 set. 2011.