

GNSS: AVALIAÇÕES E COMPARAÇÕES DO PÓS-PROCESSAMENTO

Bruno Zucuni Prina¹, Romario Trentin²

1 - Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências – Mestrado em Geografia, brunozprina@gmail.com

2 - Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências – Curso de Bacharelado e Licenciatura em Geografia, romario.trentin@gmail.com

Artigo recebido em 20/05/2014 e aceito em 12/01/2015

RESUMO

Tendo em vista a grande operacionalidade do sistema GNSS, buscou-se nesse trabalho verificar os resultados obtidos no pós-processamento com foco para as constelações GPS e GLONASS nos formatos de arquivo nativo e RINEX. Os pontos analisados foram coletados no perímetro rural do município de Rosário do Sul/RS. O trabalho foi realizado por meio do receptor de sinal GNSS de dupla frequência (L1/L2), modelo *Hiper* da marca *Topcon*, com o auxílio, principalmente, dos aplicativos *Topcon Tools*[®] (para o pós-processamento dos dados) e do *Microsoft Office Excel*[®] (para a análise estatística). Para proceder da avaliação e comparação da qualidade dos pontos usou-se a variável denominada Erro Médio Quadrático (EMQ), a qual é gerada automaticamente pelo aplicativo *Topcon Tools*[®]. Após a realização dos pós-processamentos com a metodologia citada, constatou-se que os dados referentes à união dos sinais das duas constelações, no formato nativo são os que geraram o menor EMQ. Em relação a comparação entre as constelações GPS e GLONASS, verificou-se que o sistema GPS obteve, em média, um EMQ inferior ao GLONASS. Em modo geral, constatou-se que a união das informações de diferentes constelações gera ao usuário um melhor resultado no pós-processamento dos dados GNSS.

Palavras-chaves: GPS; GLONASS; RINEX; NTGIR; EMQ.

GNSS: EVALUATIONS AND COMPARISONS OF POST-PROCESSING

ABSTRACT

Through from large system operability GNSS, this paper will be checked the results from post-processing with focus for a GPS and GLONASS constellations in file native and RINEX formats. The points analyzed, were collected in rural perimeter in city of Rosário do Sul/RS. The paper was performed with the GNSS receiver of signal frequency double (L1/L2), *Hiper* model, *Topcon* brand, with assistance, mainly, the software *Topcon Tools*[®] (for a post-processing of the data) and *Microsoft Office Excel*[®] (for the statistics analysis). For to make the evaluation and comparison of points quality was used the variable called Root Mean Square (RMS), which is created automatically by the software *Topcon Tools*[®]. After performing of post-processing with methodology cited, was found which the related data the union of the signals of both constellations, in native format area those resulted the smallest RMS. In relation the comparison of the GPS and GLONASS constellations, was verified which the GPS system obtained, in average, a RMS lesser than GLONASS. In general, it was found which the union of different information constellations generates the user the best results in post-processing of GNSS data.

Keywords: GPS; GLONASS; RINEX; NTGIR; RMS.

INTRODUÇÃO

Nesse trabalho realizou-se o pós-processamento de arquivos oriundos da tecnologia GNSS (*Global Navigation Satellite System*) com diferentes formas de procedimentos, objetivando alcançar o menor Erro Médio Quadrático (EMQ) possível dos dados.

O EMQ é um indicador estatístico, capaz de realizar a análise de um ponto levando em consideração suas propriedades estocásticas, que, nesse modo, é resumida com a média do quadrado do erro. Conforme Caetano (2013, p. 15) o EMQ “é a soma das diferenças entre o valor estimado e o valor real dos dados, ponderados pelo número de termos”.

É mister diferenciar dois conceitos, o de precisão e o de acurácia, pois dessa forma, não haverá confusão deles perante o EMQ (medida estatística de dispersão), o qual será utilizado. Baseando-se na pesquisa de Monico et. al. (2009) a acurácia é um termo que “envolve tanto erros sistemáticos como aleatórios”, já a terminologia precisão “está unicamente vinculada com erros aleatórios”. Mais detalhes podem ser encontrados na referida bibliografia explicitada. Enfatiza-se, que nesse trabalho será analisado, além do EMQ, as precisões posicionais dos pontos.

Em muitas situações de coletas de pontos, existe a necessidade de atingir coordenadas com um alto grau de precisão e acurácia, desta feita, o usuário deve dispor de metodologias alternativas a encaixá-las nos requisitos necessários. Visto que a Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais – 2ª edição revisada – (NTGIR) estima precisões específicas para cada classe de vértices, assim, há a necessidade de através do pós-processamento de dados GNSS, estimar precisões mínimas. Essa é a principal justificativa da escolha do tema proposto, ou seja, estimar o menor EMQ possível dos pontos. Sendo assim, buscou-se analisar a qualidade dos dados levantados perante os valores oriundos do EMQ na horizontal e vertical.

Destarte, o referido trabalho passar-se-á pela análise dos dados referidos da constelação GPS (*Global Positioning System*) e GLONASS (*Global Navigation Satellite Systems*), bem como da união de ambas. Forssell (2008, p. 318) preconiza que a combinação de constelações, gerará uma redução nos erros de navegação dos satélites. Ainda, Forssell (2008, p. 327) destaca que atualmente está havendo um avanço nas pesquisas para o desenvolvimento integrado entre o sistema GPS e o GLONASS.

Outra análise intrínseca a esta é referente ao tipo de arquivo utilizado no pós-processamento, seja ele o arquivo nativo do receptor ou o de formato padrão para o uso do GNSS, o RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*). Um arquivo no formato RINEX

apresenta subdividido em três arquivos ASC II, um de observações, outro com dados meteorológicos, e por último, um com mensagem de navegação (GURTNER (1997 apud MONICO 2007, p. 171).

Nesse trabalho, houve a análise de 8 pontos, escolhidos aleatoriamente, oriundos da tecnologia GNSS, os quais foram coletados no perímetro rural do município de Rosário do Sul, numa propriedade localizada na localidade de “Campo Seco” (Figura 1). Os dados foram coletados no dia 1º de setembro de 2012, registrados aproximadamente das 14:00 horas até as 17:00 horas.

A técnica utilizada para a coleta dos dados foi o Posicionamento Relativo Estático Rápido. Relativo, pelo fato de empregar dois receptores os quais coletam informações simultâneas dos satélites (mesmas épocas), gerando linhas-base, com seus respectivos deltas (Δx , Δy , e Δz) entre o receptor móvel (também denominado de Rover) e a base, gerando um produto final altamente preciso (KAVANAGH, 2003, p. 266). Estático Rápido pelo fato de que procede de um levantamento em que o tempo de rastreamento de um ponto é inferior a 10 minutos (KAVANAGH, 2003, p.281).

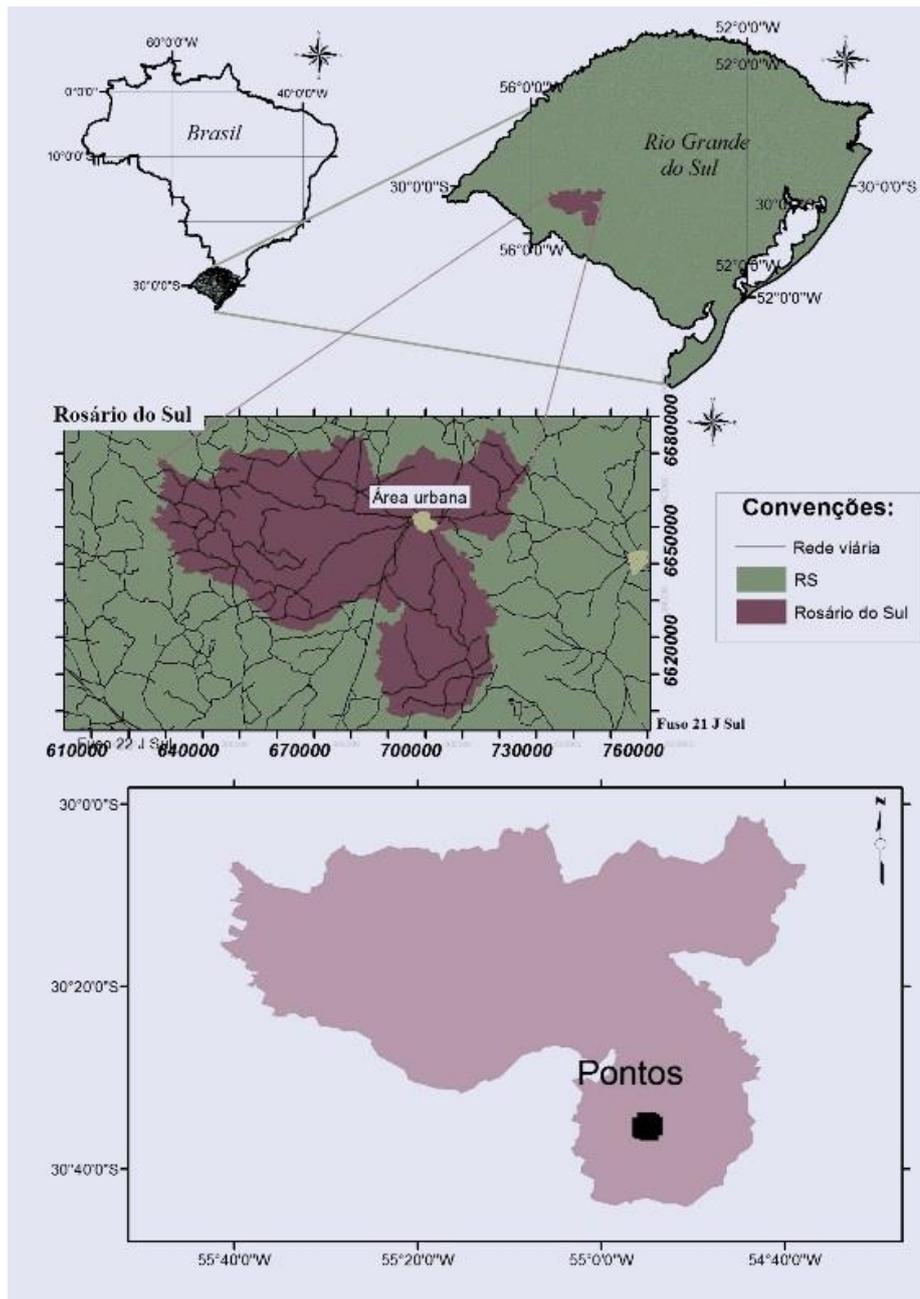
Destaca-se que houve o uso desses pontos, pelo fato de haver quase que a ausência de vegetação densa na referida área (minimização de alvos influentes ao multicaminhamento), não recrutando a essa a difamação das precisões dos pontos, bem como pelo fato de serem pontos oriundos de um trabalho particular realizado pelo autor.

O objetivo geral do trabalho é o de realizar uma análise estatística através dos resultados obtidos no pós-processamento de pontos coletados através da tecnologia GNSS, com a análise do EMQ horizontal e vertical. Dessa forma, realizar-se-á o pós-processamento analisando as seguintes situações:

- Uso das constelações GPS e GLONASS com arquivo nativo;
- Uso das constelações GPS e GLONASS com arquivo RINEX;
- Uso do exclusivo da constelação GPS com arquivo nativo;
- Uso do exclusivo da constelação GPS com arquivo RINEX;
- Uso do exclusivo da constelação GLONASS com arquivo nativo;
- Uso do exclusivo da constelação GLONASS com arquivo RINEX.

Justifica-se com esse trabalho, realizar testes a fim de obter o melhor resultado possível (menor EMQ) no pós-processamento de arquivos GNSS. Fato o qual é de excelência para a norma técnica de Georreferenciamento de Imóveis Rurais, por exemplo.

Figura 1: Localização detalhada da área de estudo.



Os valores encontrados para as precisões posicionais dos dados GNSS com certeza passarão a ter uma melhora de precisão e acurácia perante a modernização do sistema GPS bem como da adição dos receptores da constelação Galileo (*Sistema de Posicionamento desenvolvido pela Comunidade Europeia*). Sabe-se que o projeto inicial do Galileo prevê que o mesmo, seja um sistema de navegação aberto e global, bem como sendo compatível ao GPS. Dessa forma, após a consolidação do Galileo e à modernização do GPS, espera-se que os usuários possam captar sinais de até 25 satélites com uma máscara de elevação de 5°. E, ao

adicionar, ainda, a constelação GLONASS, até 30 diferentes sinais de satélites poderão estar dispostos ao usuário. Além da imensidão de sinais disponíveis, os erros referentes ao multicaminhamento e aos efeitos ionosféricos, poderão sofrer uma redução significativa (POLEZEL, 2010). Dessa maneira, os receptores, passarão a coletar informações referentes a três constelações, obtendo muito mais redundância nos dados, coletando informações de aproximadamente 30 satélites, e com certeza o tempo mínimo para solucionar a ambiguidade de um ponto será mínima.

METODOLOGIA

Instrumentos e aplicativos utilizados

Os pontos foram coletados pelo receptor GNSS de dupla frequência (L1/L2), modelo *Hiper* da marca *Topcon*. Segue abaixo a complementação de algumas especificações do aparelho em questão:

- Canais Rastreados, padrão: 40 L1 GPS (20 GPS L1 + L2);
- Canais Rastreados, opcional: 20 GPS L1 + L2 (GD) ou GPS L1 + GLONASS (GG);
- Sinal Rastreado: L1/L2 C/A e Código P & Portadora;
- Precisão linha base: 3 mm + 1 ppm para L1 + L2 e 5 mm +1.5 ppm para L1;
- Precisão RTK (OTF): 10 mm + 1.5 ppm para L1 + L2 e 15 mm +2 ppm para L1;
- SpSp: Interna 900 MHz ou 2,4 GHz SpSp transceptor;
- UHF Radio Modem: Interna Rx ou Externa Tx/Rx;
- Potência de Saída (Base): 0.5W / 2.0W / 35W.

O principal aplicativo utilizado no procedimento prático do trabalho foi o *Topcon Tools*[®], versão 7.5.1, porém houve o auxílio do *Microsoft Office Excel*[®] com intuito de proceder da análise estatística dos dados.

A importação dos dados para o meio computacional realizou-se através do aplicativo PC-CDU, aplicativo auxiliar do *Topcon Tools*[®]. Os dados nativos do receptor foram convertidos para o formato RINEX através de outro aplicativo auxiliar ao *Topcon Tools*[®], o “*Tps To RINEX*”.

Cabe destacar a explicação de Polezel (2010) o qual menciona que o aplicativo “[...] Topcon Tools processa qualquer formato dos equipamentos de sua própria fabricação, bem como de receptores de outros fabricantes. Além de processar dados GPS e GLONASS, o mesmo

também processa dados de estação total, GIS e aceita imagens para serem georreferenciadas e inseridas como plano de fundo do levantamento”.

Sendo assim, justifica-se o uso do referido aplicativo pelo fato do mesmo ser de grande abrangência de informação além de possuir uma interface amigável para a manipulação dos dados.

Procedimentos teórico-práticos realizados cronologicamente

Todo o trabalho realizado, tem o objetivo de obter resultados mínimos para o EMQ dos pontos analisados. Assim, há a verificação das precisões mínimas requeridas pela NTGIR. Consoante a referida norma, os pontos pertencentes à classe C4 devem possuir precisão abaixo de 0,5 metros, já os da classe C5, precisões inferiores a 2,0 metros, caso contrário as mesmas não estarão contidas na tolerância permitida pela norma técnica vigente (PRINA, SÁ e CARVALHO, 2012). Dessa forma, quando os vértices não alcançarem as precisões posicionais adequadas, o credenciado deverá realizar uma nova ocupação (coleta a campo), buscando adequá-las à NTGIR (PRINA, SÁ e CARVALHO, 2012). A Tabela 1 faz uma referência resumida dos dados contidos na NTGIR inerentes às precisões posicionais. Conforme sugere a metodologia de Forssell (2008, p.315) a acurácia dos dados GNSS dependem, além de tudo, do próprio receptor, como por exemplo, do seu formato.

Tabela 1: Classificação dos vértices conforme suas precisões requeridas. Fonte: INCRA, 2010, p. 21.

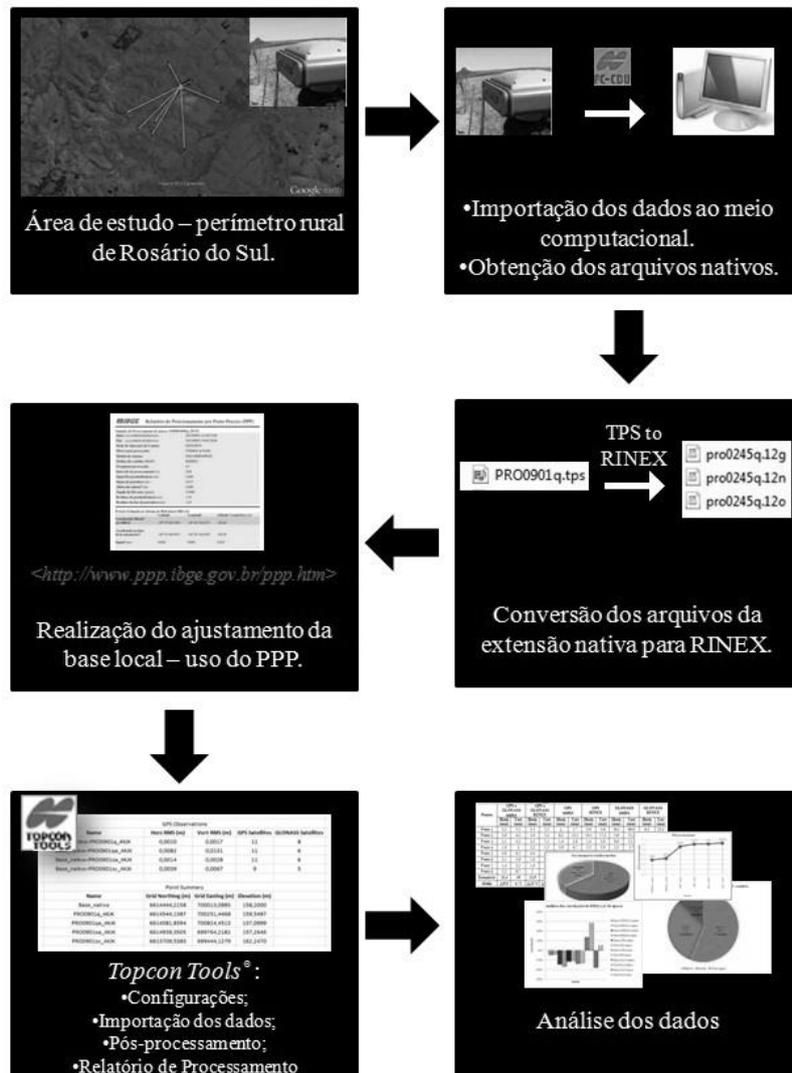
Classe	Precisão (m)	Tipo
C1	0,10	M
C2	0,20	M
C3	0,40	M, P
C4	0,50	M, P, V, O
C5	2,00	P, V, O
C7	*	-

Monico (2007) destaca que as observáveis básicas da constelação GNSS são a pseudodistância e a fase da onda portadora (ou diferença de fase de onda portadora), as quais permitem, dessa forma, determinar a posição, a velocidade e o tempo. Essas observáveis podem obter erros, como por exemplo: orbitais, no relógio do satélite, efeito da relatividade, centro de fase da antena do satélite, refração troposférica, entre outros.

A Figura 2 apresenta um fluxograma com os procedimentos metodológicos de maneira sucessiva no transcorrer do trabalho. A referida ilustração apenas resume o esquema do procedimento teórico-prático realizado.

Consequente há os procedimentos metodológicos adotados para a execução da pesquisa segmentada cronologicamente de maneira minudenciada.

Figura 1: Fluxograma ilustrativo dos procedimentos teórico-práticos realizados.

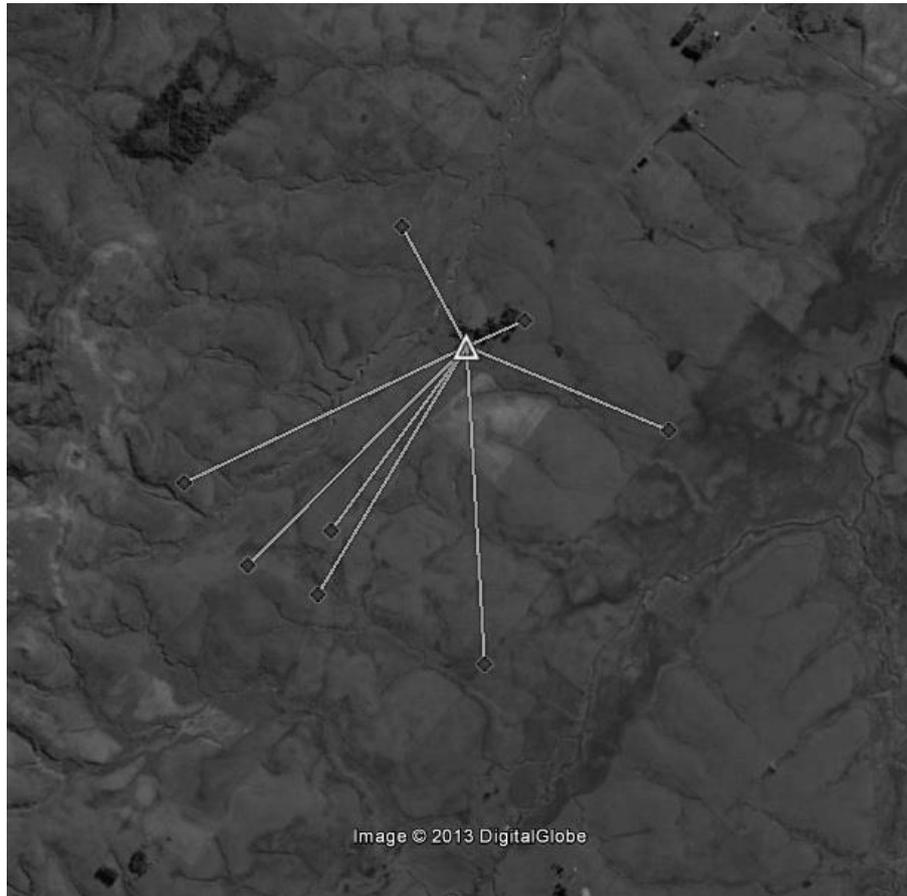


Escolha dos pontos

Escolheu-se de forma aleatória 8 pontos coletados pelo método estático rápido em uma propriedade localizada na cidade de Rosário do Sul/RS. Intensifica-se que o tempo de coleta dos pontos esteve entre 3 minutos e 46 segundos (o menor) a até 7 minutos e 56 segundos (o

maior), com uma taxa de coleta de 2 segundos (gerando 30 épocas por minuto). A disposição desses pontos encontra-se na Figura 3.

Figura 2: Disposição dos pontos analisados. Fonte *Google Earth*®.



Importação dos dados ao meio computacional

Repassou-se as informações do receptor GNSS para o meio computacional, procedimento realizado pelo aplicativo PC-CDU, aplicativo auxiliar do *Topcon Tools*®. Corroborar-se que nessa etapa os arquivos descarregados estão no formato nativo, sendo um dos formatos utilizados no pós-processamento.

Conversão dos dados para o formato rinex

A conversão dos arquivos no formato nativo para RINEX ocorreu no aplicativo “*Tps To RINEX*”, outro aplicativo auxiliar do *Topcon Tools*®. Nessa etapa, houve a conclusão da organização dos dados, conseguinte a esse procedimento, houve o ajustamento da base local, e a realização dos pós-processamentos de cada situação isolada. Refere-se que ao realizar a conversão de nativo para RINEX, há a geração de arquivos auxiliares.

Ajustamento da base local através do método do ppp

Para realizar o ajuste da base local foi utilizado o método do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), referenciado no *site* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), disponível em <<http://www.ppp.ibge.gov.br/ppp.htm>>. De acordo com o *site* do IBGE “o termo Posicionamento por Ponto Preciso normalmente refere-se à obtenção da posição de uma estação utilizando as observáveis fase da onda portadora coletadas por receptores de duas frequências e em conjunto com os produtos do IGS”.

Uma vez que o pós-processamento foi realizado poucos dias após a coleta, utilizaram-se, destarte, as efemérides rápidas, que conforme Monico (2007, p. 314) estão disponíveis na rede com a latência de 17 horas, com acurácia similar a do *International GNSS Service* (IGS), a qual é de 5 cm. As efemérides foram obtidas através do *site* <<http://www.rvdi.com/freebies/gpscalendar.html>>. A base local rastreou informações das constelações GPS e GLONASS por 2:46:06 horas, tempo suficiente para a obtenção de bons parâmetros para realizar o PPP. Considerando a metodologia de Alves, Monico e Romão (2011) “a solução de ambiguidades no PPP se torna possível de ser obtida, com dados de até uma hora, para trabalhos que exigem acurácia centimétrica”. Com efeito, essa justificativa e a análise das precisões obtidas são visíveis a correspondência das informações redigidas.

Os sigmas obtidos através do PPP foram de 0,004m (latitude), 0,009m (longitude) e 0,019m (altitude), gerando uma precisão posicional (considerando as informações referentes a duas dimensões – latitude e longitude) de 0,0098 metros (ou 9,8 mm), estando nas margens mínimas ao que a NTGIR prevê (10 cm ou 100 mm).

Configurações do aplicativo *Topcon Tools*[®]

Para realizar o pós-processamento dos dados, algumas configurações foram ajustadas no aplicativo utilizado. Dentre elas, as mencionadas abaixo.

- Definição do sistema de referência como sendo o SIRGAS 2000;
- Escolha de uma máscara de elevação de 15°, que conforme ressalta a metodologia de Barbieri et. al. (s.d.), “a máscara de 15° de elevação deve ser usada quando não se tem garantia da tecnologia das antenas e dos receptores utilizados”; o mesmo autor ainda enaltece que para o uso de uma máscara de elevação com um ângulo de 15° o “comportamento do ruído tem variação não significativa e pouca influência nas medidas de fase em termos de magnitude”.

- Configuração do item “*System*” para “*GPS+*” quando a análise era realizada para o uso da constelação GPS e GLONASS, e para “*GPS Only*” quando a análise era exclusiva para a constelação GPS. No caso da análise apenas do GLONASS, eram desabilitados os satélites da constelação GPS, através da aba “*Occupation View*”, processo realizado manualmente.

Importações do arquivo da base e realização de sua configuração

Após realizada a configuração prévia do aplicativo, realizou-se a importação para o *Topcon Tools*[®] do arquivo oriundo da base (seja ele o nativo quando esse era o requisito, e da mesma forma para o RINEX). Posteriormente, realizou-se um tratamento especial para a base local, ou seja, definiu-se o requisito “*Control*” para “*Both*”, para que no processamento, ela não realize nenhuma mudança de posição. Houve, inclusive, a inserção das coordenadas e dos Sigmas obtidos através do PPP. Destaca-se que a coordenada utilizada foi a Oficial de 2000.4, pois a mesma é referência para o sistema de referência utilizado.

Importação Dos Arquivos De Forma Segmentada E Realização Do Pós-Processamento

Para finalizar o processo de importação de dados, adicionaram-se os 8 pontos ao aplicativo e realizou-se o pós-processamento. A sistemática de processamento foi dividida na análise de 6 projetos, em que cada um possui uma configuração específica, segundo os objetivos do trabalho (uso do GPS e GLONASS com arquivos nos formatos nativo e RINEX).

Configuração e geração do relatório de processamento

Ainda no aplicativo *Topcon Tools*[®] gerou-se o Relatório de Processamento de forma segmentada para todos os projetos realizados. A configuração do relatório foi estimada a fim de conter os seguintes itens: Nome do ponto, EMQ horizontal, EMQ vertical, número de satélites GPS e GLONASS, coordenadas UTM (N e E), e altitude.

Análise dos dados – geração dos resultados

Analisaram-se os resultados obtidos na horizontal (x e y), e na vertical (z), através do EMQ horizontal e vertical, respectivamente. Posteriormente, verificaram-se os valores

correspondentes as coordenadas dos pontos (N, E e Z). A partir desse momento houve a organização das informações numa planilha do aplicativo *Microsoft Office Excel*[®].

Com efeito, analisaram-se os resultados, organizando-os numa classificação qualitativa (nativo ou RINEX com GPS, GLONAS e ambas) e quantitativa (EMQ de cada ponto e do geral (média)).

Por conseguinte, buscou-se estabelecer se havia ou não algum tipo de correlação entre os seguintes questionamentos:

- “Quanto maior o tempo de coleta, menor será o EMQ?”
- “Quanto menor a linha base, menor será o EMQ?”
- “Quanto mais satélites disponíveis, menor será o EMQ?”

Dessa forma, procedeu-se, dessa análise, com o auxílio da função “CORREL” do aplicativo *Microsoft Office Excel*[®], a qual denota o coeficiente de correlação entre as duas variáveis. A correlação ocorreu com o EMQ com o número de épocas, com o tamanho da linha base e com o número de satélites.

Sabe-se que o valor referente ao EMQ é previamente calculado pelo aplicativo *Topcon Tools*[®], sendo que os dados aqui tratados apenas passarão pelo processo de análise, sem envolver a função matemática da obtenção dos referidos dados.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Análise do número de satélites

O primeiro resultado a destacar é o número de satélites dispostos para cada ponto, o qual está evidenciado na Figura 4. Já a Figura 5 simboliza a porcentagem de satélites totais para cada constelação.

Visualizando a Figura 5, analisa-se que a constelação americana (GPS) obteve um predomínio em relação à constelação russa (GLONASS). Valores próximos destes foram encontrados em Prina, Sá e Carvalho (2012), no qual obtiveram uma média de 39,4% satélites GLONASS (média de 6,2 satélites) e 60,6% satélites GPS (média de 9,5 satélites), assemelhando-se aos dados aqui descritos.

Análise do EMQ

Outra análise realizada foi a respeito dos valores referentes ao EMQ, tanto para a horizontal (Figura 6) como para a vertical (Figura 7). Intensifica-se que os valores descritos são correspondentes as médias obtidas, os valores individuais serão retratados posteriormente.

Os valores do EMQ de cada um dos 8 pontos mostram-se na Tabela 02 de maneira detalhada.

Figura 3: Número de satélite dos 8 pontos analisados.

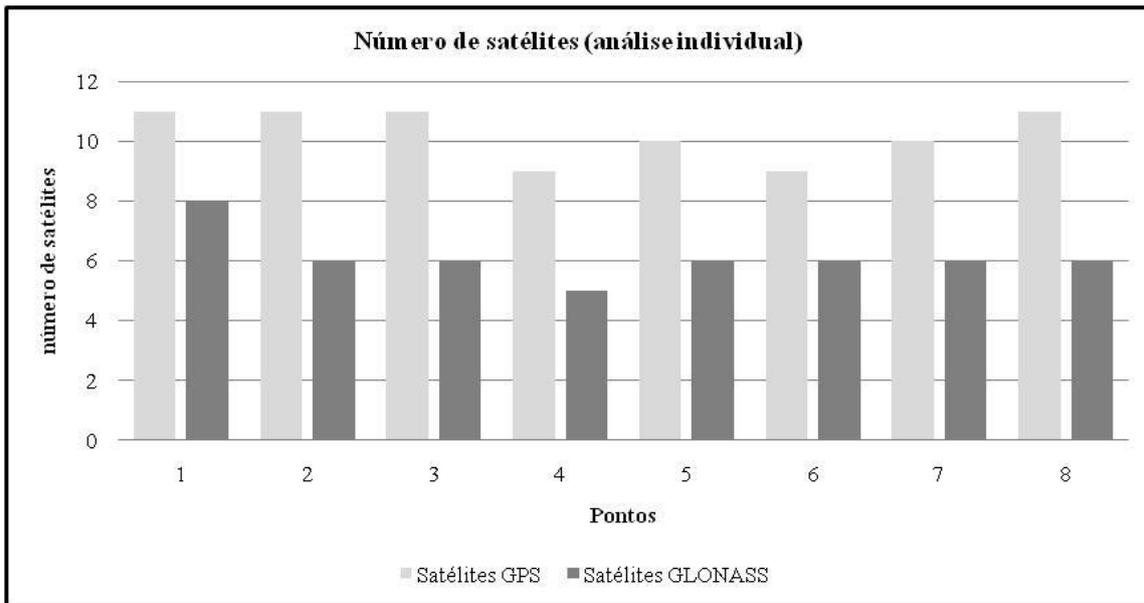


Figura 4: Porcentagem final de satélites de todos os pontos.

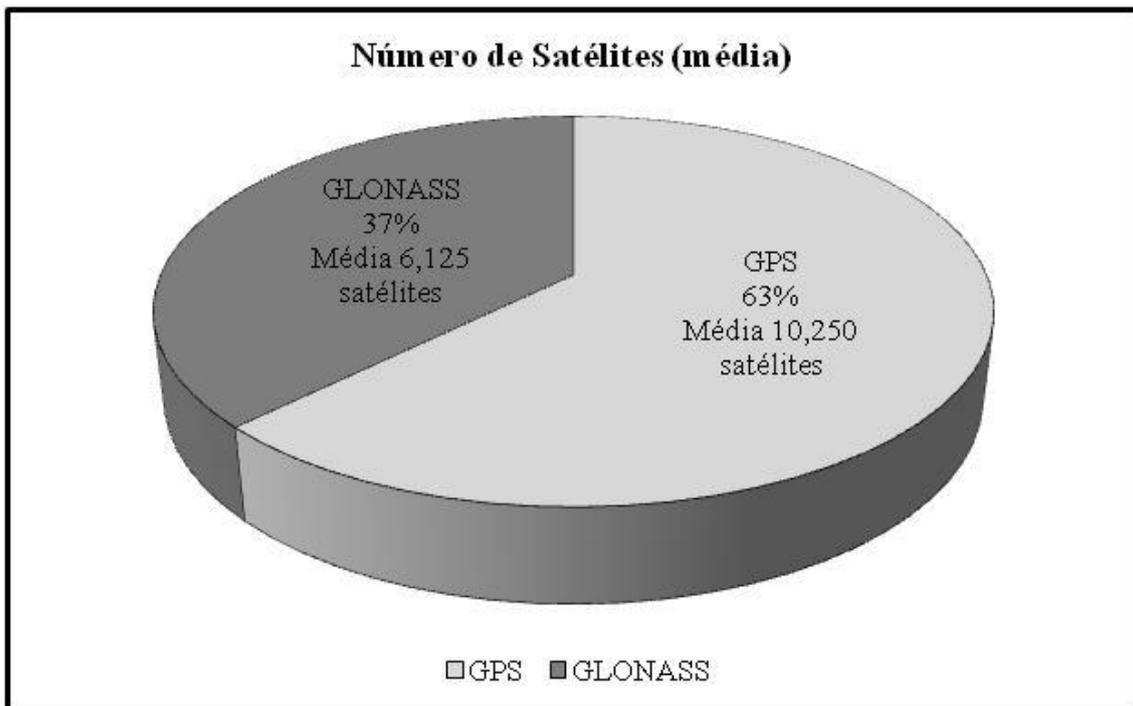


Figura 5: Análise do EMQ horizontal médio dos dados.

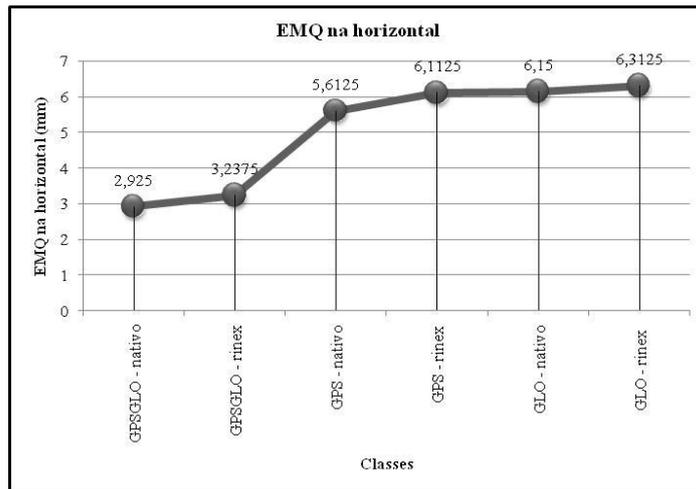


Figura 6: Análise do EMQ vertical médio dos dados.

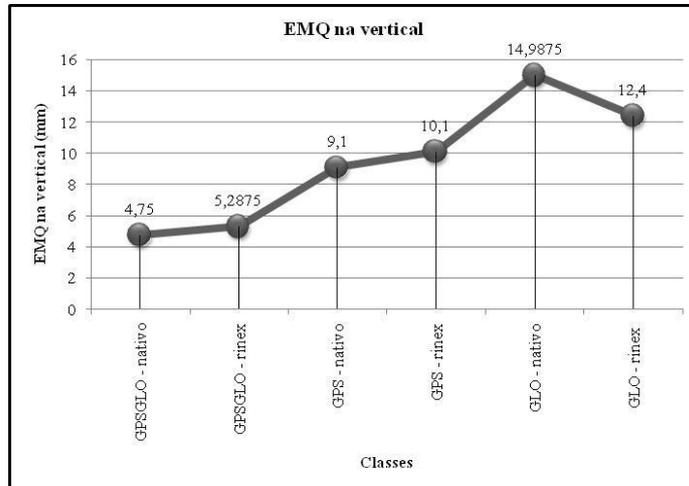


Tabela 2: EMQ dos pontos analisados (H= EMQ Horizontal; V= EMQ Vertical).

Pontos	GPS e GLONASS nativo		GPS e GLONASS RINEX		GPS nativo		GPS RINEX		GLONASS nativo		GLONASS RINEX	
	H(mm)	V(mm)	H(mm)	V(mm)	H(mm)	V(mm)	H(mm)	V(mm)	H(mm)	V(mm)	H(mm)	V(mm)
Ponto 1	3,2	5,5	3,1	5,5	1	1,7	0,9	1,6	18,1	66,9	6,2	23,6
Ponto 2	2,8	4,2	3,4	5,2	8,2	13,1	10,1	17,2	5,6	11,2	14,2	25,1
Ponto 3	2,1	4,2	2,5	5,1	1,4	2,8	1,4	2,9	8,6	13,5	10,7	16,7
Ponto 4	1,8	3	2,2	3,5	3,9	6,7	3,5	5,9	2,3	3,7	1,9	2,9
Ponto 5	4,8	8,5	4,4	8,4	6,9	11,7	6,7	11,7	8,4	14,8	11,1	21,4
Ponto 6	2,1	3,6	1,9	3,2	4	7,3	4,2	7,9	1,9	2,7	2,1	2,7
Ponto 7	1,4	2,3	1,4	2,3	1,3	2,4	1,4	2,5	2,9	4,5	2,1	3,3
Ponto 8	5,2	6,7	7	9,1	18,2	27,1	20,7	31,1	1,4	2,6	2,2	3,5
Somatório	23,4	38	25,9	42,3	44,9	72,8	48,9	80,8	49,2	119,9	50,5	99,2
Média	2,925	4,75	3,2375	5,2875	5,6125	9,1	6,1125	10,1	6,15	14,9875	6,3125	12,4

Constata-se visualmente, através das Figuras 6 e 7, que a constelação GPS apresentou EMQ inferior em relação à do GLONASS. Fato a qual está registrado na bibliografia de Monico (2007, p. 80) o qual informa-nos que: “[...] pelo menos em tese, a acurácia das pseudodistâncias GLONASS é pior do que a do GPS”. Essa afirmativa é apenas uma estimativa, uma vez que, na análise aqui descrita, principalmente na verificação individual, como por exemplo, do Ponto 8, o pós-processamento realizado com a constelação GLONASS resultou num menor valor para o EMQ, tanto horizontal como vertical comparado ao GPS e até mesmo à união do GPS e GLONASS. Claro, que esse ponto deve ser considerado como exceção, visto que inúmeras outras informações (como por exemplo, a geometria dos satélites) podem estar referenciadas ao resultado aqui encontrado.

Justifica-se também, que através da Figura 6, o EMQ para o GPS e para o GLONASS (individualmente) apresenta um resultado similar, mesmo que na média de satélites a constelação russa disponha de um número inferior. Novamente, há de se relatar que a geometria dos satélites poderia estar associada a essa questão.

Comparando os resultados do arquivo na extensão nativa e RINEX, verificou-se que com exceção do uso do GLONASS individual na vertical, todos os outros pontos (em média) tiveram melhores resultados para o arquivo nativo. Para analisar os dados individualmente, criou-se a Figura 8, a qual descreve as porcentagens das 48 situações (os 8 pontos com os 6 tipos de pós-processamentos realizados (GPS nativo, GPS RINEX, GLONASS nativo, GLONASS RINEX, GPS e GLONASS nativo, GPS e GLONASS RINEX)) analisadas, evidenciando os pontos que possuíram melhores resultados para a extensão nativa ou RINEX.

Através da Figura 8, fica descrito que 56% dos dados, os quais se referem a 27 pontos, obtiveram melhores precisões para o formato nativo e apenas 31% para o RINEX, seja ela a comparação do pós-processamento com as constelações GPS, GLONASS ou ainda com a união de ambas.

Análise das coordenadas

Para a análise das coordenadas, houve um foco especial para visualizar a variação dos dados referentes aos diferentes procedimentos aqui analisados. Os valores retratados às referidas coordenadas estão descritas na projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*), referenciadas no sistema de referência SIRGAS 2000, localizadas no Fuso 21 J Sul. As discrepâncias (diferenças entre as coordenadas extremas) estão graficamente apresentadas na Figura 9 e 10.

As informações obtidas através das Figura 9 e 10 demonstram visualmente os pontos que tiveram um maior grau de variação dos dados para os processamentos realizados. Destarte, fica visível que o Ponto 2 foi aquele que mais variou sua coordenada, atingindo 33,98 cm de variação para coordenada N e 20,81 cm para coordenada E. Outro ponto que apresentou uma variação considerável dos dados foi o 7, o qual obteve 11,42 cm da coordenada N e 9,19 cm na coordenada E. Dessa forma, estimaram-se as precisões médias posicionais dos pontos, a qual está disposta na Figura 11.

A partir da análise disposta na Figura 11, intensifica-se que os dois pontos citados anteriormente são os que abrangeram a maior variação dos dados. Sendo um deles (Ponto 2) com aproximadamente 40 cm de variação. Assim, justifica-se a importância da análise aqui realizada, pois dessa forma, poder-se-á estimar a melhor solução possível para um ponto.

Visto a grande discrepância do Ponto 2, buscou-se, através dos dados já explicitados, uma explicação para o ocorrido. Desta feita, ao analisar as coordenadas do referido ponto, notificou-se que para o pós-processamento dos dados com a constelação GLONASS e com ambos os formatos de arquivo, houve a grande influência para resultar numa alta discrepância. Ao desconsiderar os resultados desses dois pós-processamentos citados, a variação dos dados passou de 39,85 cm para apenas 0,39 cm na coordenada N. Assim sendo, nesse ponto, fica muito clara a influência negativa da constelação GLONASS na difamação da variação da coordenada do ponto.

Figura 7: Análise dos formatos RINEX e nativo.

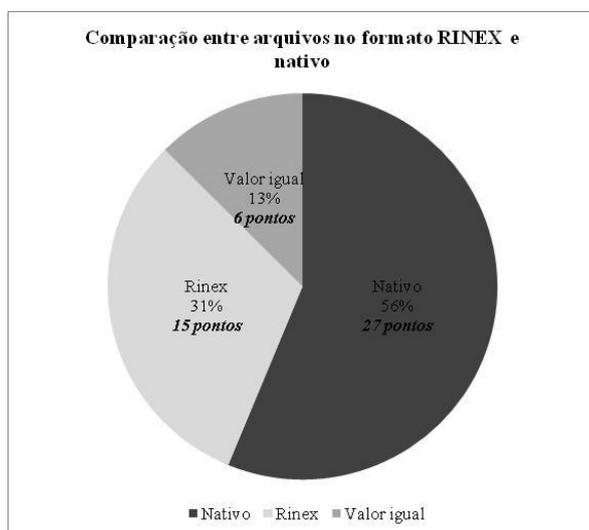


Figura 8: Discrepância na coordenada N.

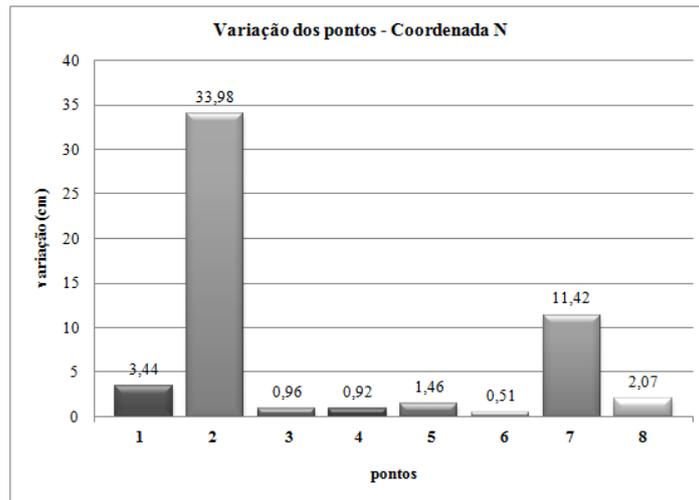


Figura 9: Discrepância na coordenada E.

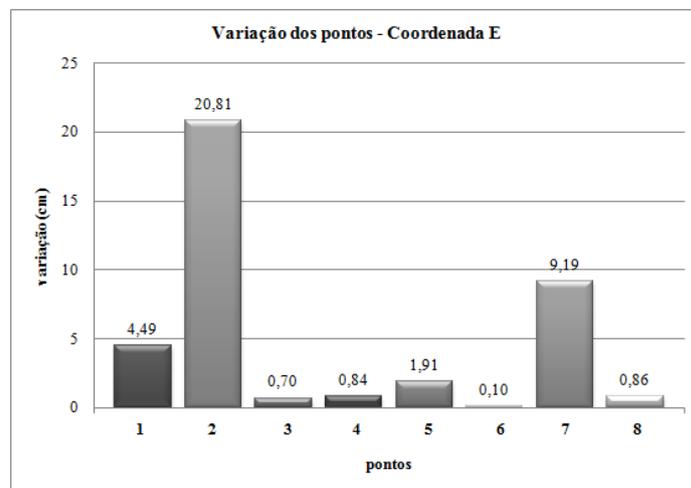
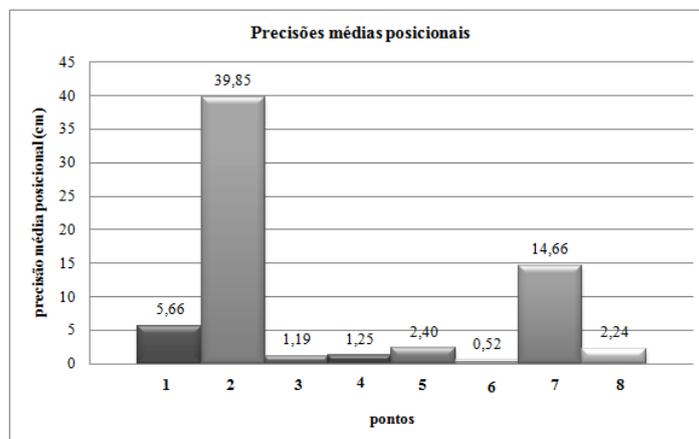


Figura 10: Precisão posicional média dos 8 pontos.



Análises das correlações

Através do aplicativo *Topcon Tools*[®] pode-se obter os dados relativos ao comprimento da linha base e o tempo de rastreamento de cada ponto, valores disponibilizados na Tabela 3. A referida Tabela ainda apresenta os dados atinentes ao número de épocas de cada ponto, o qual é extraído em função do tempo de rastreamento de cada ponto. Essa análise ocorreu, a fim de saber se os questionamentos iniciais (*Quanto maior o tempo de coleta, menor será o EMQ? Quanto menor a linha base, menor será o EMQ? Quanto mais satélites, menor será o EMQ?*) eram verdadeiros ou não.

De tal modo, realizou-se o cálculo das correlações entre o EMQ com o número de épocas (Figura 12) e do EMQ com o comprimento da linha base de cada vetor gerado (Figura 13).

Tabela 3: Informações extras obtidas do aplicativo *Topcon Tools*[®].

Pontos	Épocas	Linha Base (m)	Tempo de rastreamento (MM:SS)
pto 1	135	258,4324	04:30
pto 2	156	888,7896	05:12
pto 3	238	554,1291	07:56
pto 4	113	929,1834	03:46
pto 5	160	1294,7813	05:20
pto 6	167	1176,0156	05:34
pto 7	185	1257,7045	06:10
pto 8	195	1273,4058	06:30

Figura 11: Correlação entre o EMQ e o número de épocas.

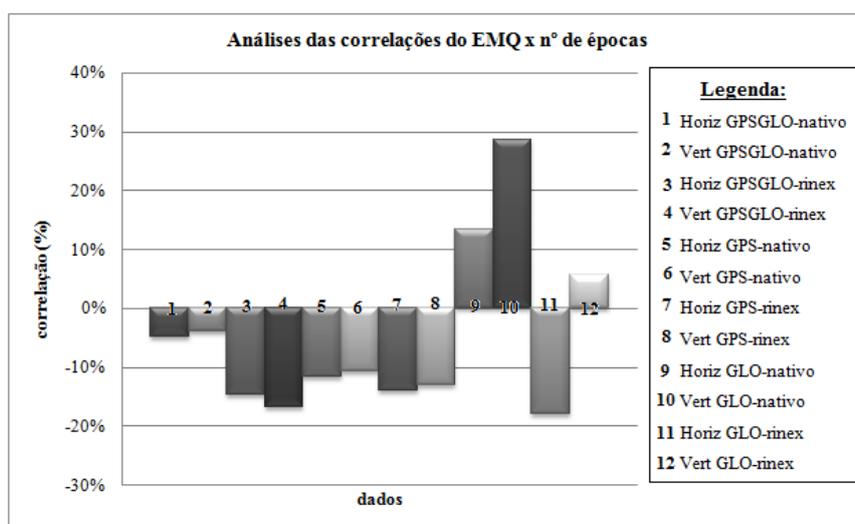
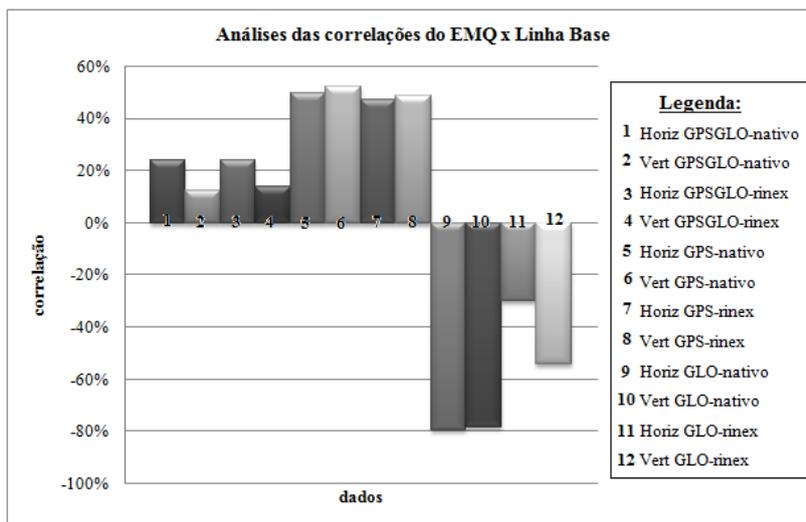


Figura 12: Correlação entre o EMQ e o comprimento da linha base.



Em relação aos dados obtidos, notifica-se que não houve influência nem do tempo de rastreamento (registrado pelo número de épocas), nem do comprimento da linha base.

Por mais que os dados utilizados variem, consideravelmente, não foi esse o motivo para um melhor ou pior EMQ final, tanto horizontal como vertical.

Deve-se destacar que ao analisar os dados referentes a correlação entre o EMQ e o comprimento da linha base, obtivemos para os dados referentes ao processamento da constelação GLONASS com arquivo nativo (horizontalmente e verticalmente), uma não correlação na ordem de 80%, ou seja, os dados citados não mantiveram nenhum tipo de correlação.

A maior correlação obtida, mesmo que muito pouco expressiva, foi em relação do uso da constelação GPS com arquivos no formato nativo, o qual obteve 50% de correlação na horizontal e 52% na vertical.

Enfatiza-se, inclusive que ao considerar a correlação do EMQ com tempo de rastreamento (número de épocas), notificou-se que havia uma baixíssima relação entre as referidas variáveis, pois o maior valor foi de apenas 29% (com o uso da constelação GLONASS em arquivo RINEX).

Através da organização dos dados no aplicativo *Microsoft Office Excel*[®], criou-se a Figura 14 e 15, as quais mostram o resultado obtido em relação a correlação obtida entre o número de satélites com o EMQ horizontal e o com o EMQ vertical, respectivamente.

Figura 13: Correlações dos pontos em relação do EMQ horizontal e o número de satélites.

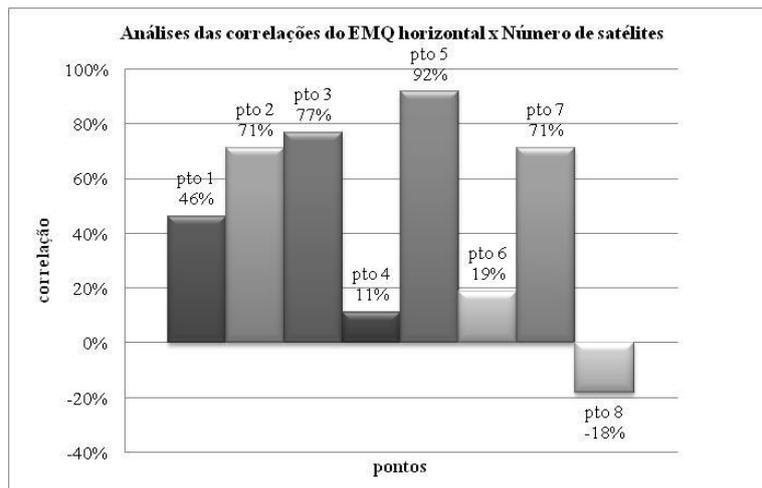
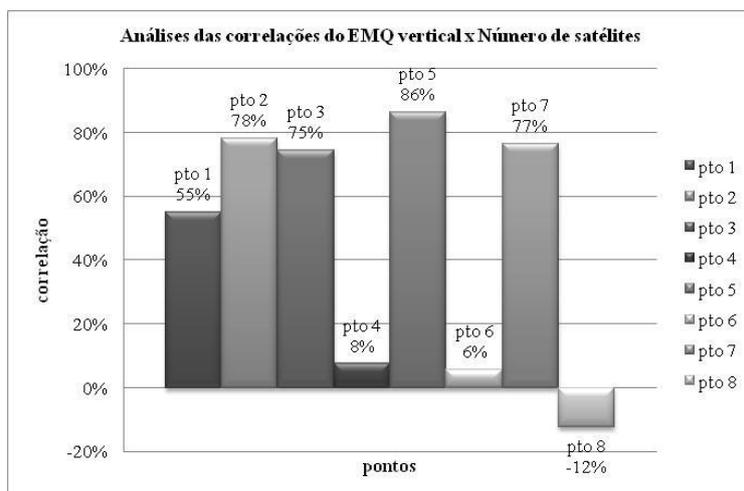


Figura 14: Correlações dos pontos em relação do EMQ vertical e o número de satélites.



Para a correlação usaram-se os dados dos 8 pontos nas 6 diferentes análises, por exemplo: correlação do ponto 1 na situação: Uso do GPS e GLONASS com o número total de satélites das duas constelações; uso do GPS com o número de satélites GPS; uso do GLONASS com o número de satélites GLONASS.

A partir da análise dos resultados, intui-se que o EMQ, na maioria dos pontos, possui alta correlação em relação ao número total de satélites disponíveis, tanto para a horizontal como para a vertical. Esse fato acaba por ser um resultado intuitivo, visto que quanto maior o número de satélites, maior será a quantidade de observações.

Os pontos “4”, “6” e “8” possuíram uma linearização diferente dos dados, dessa forma, os mesmos são considerados como exceção. Uma possível explicação para esse ocorrido é o fato da influência da geometria dos satélites, a qual é influenciada pela localização e disponibilização deles, e não apenas pelo número total de satélites. Essa variável não será

tratada nesse trabalho pelo fato de que o aplicativo *Topcon Tools*[®] gera apenas esse valor para o geral (com as constelações GPS e GLONASS), sem fornecer essa quantificação em separado para cada uma das constelações. Apenas por questão visual, a Tabela 4 apresenta os diversos valores dos DOPs (*Dilution of Precision*), com os resultados de PDOP (considera o posicionamento tridimensional), HDOP (considera o posicionamento horizontal) e VDOP (considera o posicionamento vertical) dos pontos.

Tabela 4: Informações da geometria dos satélites para os 8 pontos (análise para a união das constelações).

Nome	PDOP	HDOP	VDOP
pto 1	1,575	0,784	1,366
pto 2	1,481	0,737	1,285
pto 3	1,493	0,723	1,306
pto 4	1,520	0,789	1,299
pto 5	1,502	0,726	1,315
pto 6	1,541	0,740	1,352
pto 7	1,369	0,696	1,179
pto 8	1,575	0,829	1,339

Resumidamente, podemos destacar os resultados dos questionamentos enfatizados:

- “*Quanto maior o tempo de coleta, menor será o EMQ?*” Não se notificou nenhuma relação significativa a este questionamento, se bem que os dados aqui analisados possuíam poucas discrepâncias de tempo de coleta.
- “*Quanto menor a linha base, menor será o EMQ?*” Não houve um padrão para esse requisito, pois em parte obteve-se uma correlação de cerca de 40 a 50%, outrora, não se verificou correlação.
- “*Quanto mais satélites disponíveis, menor será o EMQ?*” Essa afirmação, foi a que possuiu maior significância, seja para o EMQ na horizontal ou vertical. Na maioria dos dados, obteve-se uma correlação na ordem de 70 a 85%

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos objetivos propostos, a avaliação da combinação das constelações GPS e GLONASS, foi atendida satisfatoriamente, verificando que a união das informações gera ao usuário um melhor resultado no pós-processamento dos dados GNSS. Intensifica-se que para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais, essa união, faz-se de extrema importância para uma melhor determinação dos limítrofes das propriedades rurais. Acarretando, menores discrepâncias na comparação de vértices comuns a dois ou mais imóveis.

O processo metodológico realizado, perante os dados coletados em campo permitiu analisar as discrepâncias referentes ao uso de cada constelação em separado, bem como da combinação de ambas. Além de tudo, podem-se notificar as diferenças cabíveis no pós-processamento com arquivos GNSS em formato padrão (RINEX) e em formato nativo.

A partir das correlações realizadas, do EMQ com o tempo de rastreamento e com o comprimento da linha base, notificou-se que os mesmos não possuem correlação significativa, não levando a este a influência de um melhor ou pior valor referente ao EMQ do ponto.

Através da análise do EMQ horizontal e vertical, concluiu-se que em média a constelação GPS é mais precisa que a GLONASS (no uso individual de cada constelação), porém alguns pontos obtiveram resultados inversos a estes. Reflete-se que o maior resultado do EMQ para o GLONASS pode estar associado ao menor número de sinais de satélites captados, bem como a uma provável influência da geometria dos satélites (DOPs), fato que não foi possível de ser analisado nesse trabalho.

Contribui Ziedan (2006, p. 25), a modernização do sistema GNSS, constará com uma nova estrutura de sinal, com códigos menores, taxa de transmissão mais rápida, novos formatos das mensagens de navegação, etc.

Os dados coletados tiveram tempo de coleta inferior a 8 minutos, os mesmos resultaram em valores abaixo de 66,9 mm para o EMQ. Com esse intuito, comprova-se a grande eficiência da tecnologia GNSS para o levantamento de propriedades rurais, adequando-se a tecnologia ao que a NTGIR necessita. Destaca-se que a eficiência no posicionamento por satélites, tem apenas a crescer, com isso, num futuro próximo, o usuário terá mais sinais de satélites disponíveis com uma maior qualidade dos dados, obtendo informações de inúmeras constelações.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa de estudos ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

ALVES, C. M. D.; MONICO, J. F. G.; ROMÃO, V. M. C. Análise da acurácia no PPP a partir da solução de ambiguidades GPS em curtos períodos de ocupação. *Revista Brasileira de Cartografia* (2011) Nº 63/5: 589-600. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. ISSN: 1808-0936.

BARBIERI, M. J.; FARRET, J. C.; MORAES, C. V de; FARRET, I. S. Correlação do ruído, multicaminho e ângulos de elevação nas medidas de fase das portadoras GPS.

CAETANO, M. A. L. Métodos Quantitativos. Insper Ibmecc São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.mudancasabruptas.com.br/MetQuant5.pdf>>. Acesso: 15 maio 2014.

FORSSELL, B. Radionavigation System. Published by Artech House, Inc., 2008.

GLEASON, S.; GEBRE-EGZIABHER, D. GNSS Applications and Methods. Published by Artech House, Inc., 2009.

GNSS Calendar. Disponível em: <<http://www.rvdi.com/freebies/gpscalendar.html>>. Acesso: 19 junho 2013.

IBGE – Posicionamento por Ponto Preciso (PPP). Disponível em: <<http://www.ppp.ibge.gov.br/ppp.htm>>. Acesso: 19 junho 2013.

INCRA - 2ª Edição/Revisada da Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais. Disponível em <<http://www.incra.gov.br/index.php/estrutura-fundiaria/regularizacao-fundiaria/certificacao-de-imoveis-rurais/file/119-2-edicao-revisada-da-norma-tecnica-para-georreferenciamento-de-imoveis-rurais>>. Acesso: 21 junho 2013.

KAVANAGH, B. F. Geomatics. Editor Ed Francis. ISBN 0-13-032289-X, 2003

MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS – Descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: Editora UNESP, 2007.

MONICO, J. F. G.; PÓZ, A. P. D.; GALO, M; SANTOS, M. C. dos; OLIVEIRA, L. C. de. Acurácia e Precisão: Revendo os conceitos de forma acurada. Bol. Ciênc. Geod., sec. Comunicações, Curitiba/PR, v. 15, nº 3, p.469-483, jul-set, 2009.

POLEZEL, W. G. C. Investigações sobre o impacto da modernização do GNSS no posicionamento. Presidente Prudente, 2010.

PRINA, B. Z.; SÁ, R. G. C. de; CARVALHO, L. F. D. Divergência de processamento de dados de receptores de sinal GNSS com arquivos nas extensões RINEX e nativo. Anais do III Simpósio Brasileiro de Geomática, Presidente Prudente - SP, 26-28 de julho de 2012. v.1.

PRINA, B. Z.; SÁ, R. G. C. de; CARVALHO, L. F. D. Análise comparativa em diferentes pós-processamentos utilizando GPS e/ou GLONASS. VI Geonordeste 2012.

ZIEDAN; Nesrenn I. GNSS Receivers for Weak Signals. Published by Artech House, Inc., 2006.