

AVALIAÇÃO DO POSICIONAMENTO RELATIVO GPS/GLONASS SOB INFLUÊNCIA IONOSFÉRICA

Assessment of GPS/GLONASS relative positioning under ionospheric influence

Gabriel Oliveira Jerez

Universidade Estadual Paulista

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas

gabrielojerez@gmail.com

Daniele Barroca Marra Alves

Universidade Estadual Paulista

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Departamento de Cartografia

daniele.barroca@unesp.br

João Vitor Espinhosa Vieira

Universidade Estadual Paulista

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Graduação em Engenharia Cartográfica

joao.vitor.espinhosa.vieira@hotmail.com

Resumo:

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é, atualmente, constituído por quatro sistemas globais dos quais dois encontram-se operacionais e com constelação completa, o russo GLONASS (*GLObal NAVigation Satellite System*) e o americano GPS (*Global Positioning System*). O uso combinado de dados GPS e GLONASS teve perda de interesse no final da década de noventa devido à rápida degradação que o GLONASS sofreu. Porém, após um plano de restabelecimento do sistema, o mesmo voltou a contar com constelação completa de 24 satélites e cobertura global. Outros fatores que podem influenciar a qualidade do posicionamento, além do uso de dados combinados, são os métodos aplicados e os erros aos quais os sinais transmitidos estão sujeitos. Quanto aos erros, a ionosfera é uma importante fonte, que exige atenção especial, pois além de degradar a acurácia do posicionamento existe uma grande dependência entre perdas do sinal e irregularidades ionosféricas. No presente trabalho são apresentadas as análises realizadas na aplicação do posicionamento relativo estático utilizando dados combinados GPS/GLONASS sob efeito de cintilação ionosférica. Para o estudo foram selecionadas estações em três regiões do Brasil com comportamentos ionosféricos distintos. Os resultados obtidos apresentaram valores irregulares, principalmente em regiões e períodos mais afetados pela ionosfera, destacando a influência regional e sazonal da ionosfera na qualidade do posicionamento. Em relação ao uso de dados combinados, de maneira geral, houve melhoria em 69,18% dos casos analisados ao se utilizar dados GPS/GLONASS.

Palavras-chave: GNSS; GPS/GLONASS; Posicionamento relativo; Ionosfera.

Abstract

Currently GNSS (*Global Navigation Satellite System*) is composed by four global systems, from those two are operational with full constellation, the Russian GLONASS (*GLObal NAVigation Satellite System*) and the American GPS (*Global Positioning System*). The interest in the combined use of GPS and GLONASS data had a great fall in the late nineties due to the fast degradation of GLONASS. However, after a restoration plan of the

system, GLONASS recovered the full constellation (24 satellites) with global coverage. Other factors that influence the positioning quality, besides the use of combined data, are the applied methods and the errors that can affect the transmitted signals. About the errors, the ionosphere is an important source, that requires special attention, because besides of degrading the positioning accuracy, there is a great dependency between the loss of signal and ionospheric irregularities. In this research are presented the analysis related to static relative positioning using combined GPS/GLONASS data under ionospheric influence. For this study three Brazilian regions with distinct ionospheric behavior were selected. The results obtained presented irregular behavior, mainly in regions and periods more affected, indicating the regional and seasonal influence of ionosphere in the positioning quality. Related to the combined data use, in general, there were improvement in 69,18% of the analyzed cases using GPS/GLONASS data.

Keywords: GNSS; GPS/GLONASS; Relative positioning; Ionosphere.

1. INTRODUÇÃO

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é formado pelos sistemas operacionais GLONASS (*GLOBAL NAVIGATION Satellite System*) e GPS (*Global Positioning System*). Encontram-se, ainda, em desenvolvimento o Galileo e o BeiDou, além dos sistemas de aumento. Com a obtenção de constelação completa pelos dois principais sistemas, a utilização de dados combinados gerou grande interesse devido ao número de satélites disponíveis que os dois sistemas podiam oferecer (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2008; LEICK, 2004). O maior número de satélites visíveis tem importância devido à quantidade de observações disponíveis, principalmente quando são levados em conta intervalos de coleta curtos. No entanto, o GLONASS passou por um longo período de degradação devido à falta de investimentos e curta vida útil dos primeiros satélites. Com isso, o sistema chegou a contar com constelação de seis a oito satélites disponíveis em alguns períodos de 2001 (FEAIRHELLER e CLARK, 2006).

Porém, após esse período de degradação do GLONASS teve início um plano de restabelecimento e modernização do sistema, garantindo primeiramente a cobertura completa do território russo e, posteriormente, cobertura global (FEAIRHELLER e CLARK, 2006). No processo de modernização novas gerações de satélites começaram a ser desenvolvidas e novas estações de monitoramento passaram a ser instaladas em todo o globo, a partir de parcerias do governo russo com diversos países. Em 2011 o GLONASS restabeleceu sua constelação, completando 24 satélites operacionais e alcançando novamente cobertura global.

Quando se analisa a qualidade do posicionamento é de fundamental importância realizar investigações relativas às fontes de erros aos quais os sinais GNSS estão sujeitos. Do satélite ao receptor GNSS, o sinal transmitido pode sofrer diversas formas de influência e degradação. Existem erros relacionados ao satélite, à propagação do sinal, ao receptor e à própria estação. A atmosfera tem grande influência na propagação dos sinais GNSS, sendo a ionosfera uma das principais fontes de degradações e erros (CAMARGO, 1999). Os efeitos ionosféricos têm relação, entre outros, com a atividade magnética, estação do ano, ciclos solares e localização geográfica (SEEBER, 2003; MONICO, 2008). Esses fatores fazem com que o Brasil se encontre em uma região privilegiada para estudos sobre esse tema, uma vez que grande parte de seu território se encontra na região equatorial, fortemente afetada por esses efeitos.

Neste contexto, o presente trabalho teve como intuito investigar a viabilidade da integração de dados GPS e GLONASS para o posicionamento relativo estático sob influência ionosférica. Para isso, foi realizado um experimento considerando três regiões brasileiras com diferentes

comportamentos da atividade ionosférica e diferentes tamanhos de linha de base.

2. POSICIONAMENTO RELATIVO

A determinação da posição de um objeto em relação a um referencial pode ser dada basicamente de duas formas: diretamente em relação ao geocentro, quando se tem o posicionamento absoluto, também chamado de posicionamento por ponto; ou em relação a um referencial materializado, quando se tem o posicionamento relativo. Sendo que neste último caso são necessários ao menos dois receptores coletando dados simultaneamente, um localizado no ponto de interesse e o outro em um ponto cujas coordenadas são conhecidas. No posicionamento relativo o vetor entre os dois pontos considerados é determinado e, a partir desse vetor e das coordenadas do ponto usado como base, podem ser obtidas as coordenadas do ponto de interesse (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2008; MONICO, 2008). Na Figura 1 é apresentado o conceito de posicionamento relativo.

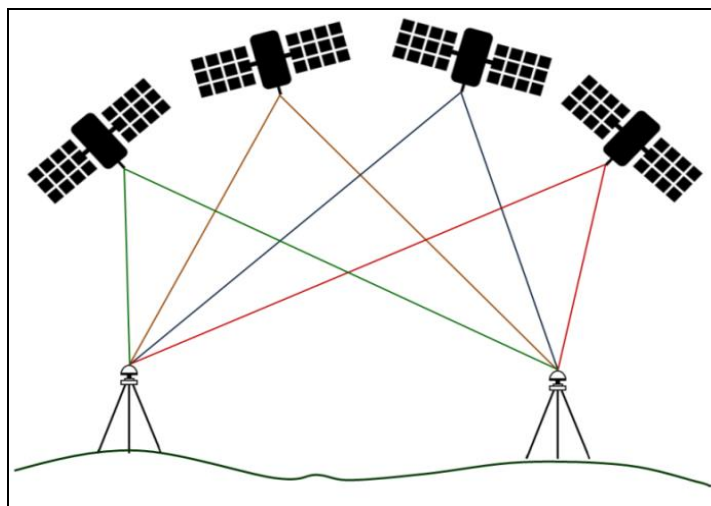


Figura 1 – Representação do posicionamento relativo.

Nos métodos relacionados ao posicionamento relativo a pseudodistância, a fase ou mesmo ambas podem ser adotadas como observáveis originais. Com base nessas observáveis, podem ser utilizadas as duplas diferenças como observáveis fundamentais, além das simples ou triplas diferenças (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2008).

Entre os métodos de posicionamento relativo existem classificações adotadas, de acordo com o tempo de coleta e estado do objeto a ter coordenadas definidas. Nesse artigo, foi aplicado o posicionamento relativo estático. Neste método, os dois receptores coletam dados, de forma simultânea, por pelo menos vinte minutos. O posicionamento relativo estático em geral se utiliza das DDs da fase, podendo também ser utilizadas as da pseudodistância, ou de ambas. Os melhores resultados são obtidos com o uso das duas observáveis (MONICO, 2008).

3. EFEITO IONOSFÉRICO

Os sinais GNSS se propagam por regiões atmosféricas de diferentes naturezas e estados variáveis. Com isso perturbações podem ocorrer levando a variações na direção de propagação, velocidade, polarização e potência do sinal. Diversas classificações das camadas atmosféricas podem ser utilizadas de acordo com a área de estudo. Para o caso da propagação de ondas eletromagnéticas a divisão se dá em duas camadas, troposfera, corresponde à camada mais próxima da superfície, até aproximadamente 50 km, e a ionosfera, camada seguinte indo até, em torno de, 1000 km (SEEBER, 2003). A atmosfera tem grande influência na propagação dos sinais GNSS, sendo a ionosfera uma das principais fontes de degradações e erros, principalmente para usuários de uma frequência (SEEBER, 2003; CAMARGO, 1999).

Os efeitos da ionosfera são proporcionais ao TEC (*Total Electron Content* – Conteúdo Total de Elétrons), que corresponde à quantidade de elétrons contida em uma coluna que vai do satélite ao receptor, com base de um metro quadrado. Esses valores variam no tempo e no espaço tendo relação com o fluxo de ionização solar, atividade geomagnética, estação do ano, localização no globo e ciclos de manchas solares (CAMARGO, 1999).

Em relação à localização geográfica, os níveis de densidade de elétrons são mais intensos nas regiões equatoriais (onde se situa grande parte do território brasileiro), menos intensos nas latitudes médias e seguem comportamento menos previsível nas altas latitudes. Nas regiões equatoriais os efeitos da ionosfera são relacionados, entre outros fatores, à anomalia equatorial com intensidade maior no pico local da anomalia (latitudes geomagnéticas aproximadas de $\pm 15^\circ$) (SEEBER, 2003; MONICO, 2008). Isso faz com que o Brasil se encontre em uma região privilegiada para estudos sobre esse tema, uma vez que grande parte de seu território se encontra na região equatorial, fortemente afetada por esses efeitos. A Figura 2 ilustra as regiões ionosféricas.

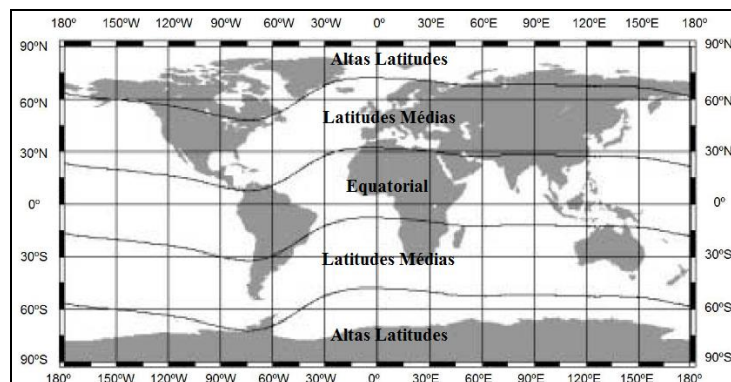


Figura 2 – Regiões ionosféricas.

Fonte: Adaptado de FONSECA JUNIOR (2002).

O campo geomagnético pode sofrer influência das atividades solares, como explosões e manchas solares. Esses eventos podem causar os chamados ventos solares que podem afetar as linhas de força do campo, fazendo com que as mesmas sejam comprimidas. Em decorrência disso podem ocorrer tempestades geomagnéticas que originam tempestades ionosféricas (CAMARGO, 1999).

Já as variações temporais podem ser divididas em diurnas, sazonais ou em ciclos de longo período. As diurnas ocorrem devido a mudanças em regiões da ionosfera, decorrentes de recombinações de elétrons e íons distribuídos em suas camadas. As mudanças sazonais se relacionam às variações na densidade de elétrons causadas pela mudança do ângulo zenital do Sol e pelo fluxo de ionização, que mudam devido às estações do ano. Sendo a radiação incidente na Terra mais direta no verão, causando assim aumento da ionização. Por fim, os ciclos de longo período correspondem aos ciclos solares, que ocorrem em intervalos de aproximadamente 11 anos, sendo associados às manchas solares. As manchas correspondem a regiões mais frias e escuras na superfície do Sol, em volta dessas regiões existe elevado nível de emissão de radiação ultravioleta. Com isso o aumento de manchas leva ao aumento da radiação solar e, conseqüentemente, mudança na densidade de elétrons da ionosfera (McNAMARA, 1991). O pico do último ciclo solar ocorreu no final de 2013 e início de 2014, tornando este um período propício para estudos relacionados a ionosfera. A Figura 3 apresenta os dois últimos ciclos solares, ciclos 23 e 24.

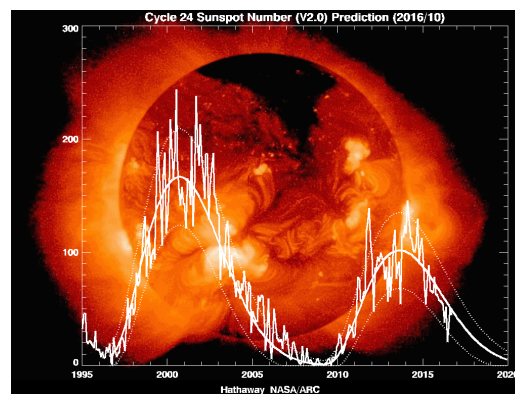


Figura 3 – Ciclos solares.

Fonte: <<http://solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml>>.

Irregularidades na densidade de elétrons da ionosfera também podem afetar o sinal GNSS, pois podem causar mudanças na fase e amplitude do sinal de rádio recebido, ocasionando muitas vezes a degradação ou até mesmo perda do sinal. A esse efeito é dado o nome de cintilação ionosférica (CONKER et al., 2003). A cintilação tem comportamento específico e relacionado à região, tendo relação com as variações na densidade de elétrons, assim como acontece com o TEC. As regiões com maior ocorrência de cintilação são as do pico da anomalia equatorial, conforme citado anteriormente, próximas às latitudes geomagnéticas de 15°. As cintilações em médias latitudes são mais fracas que as observadas em regiões da anomalia equatorial, nessas regiões a ocorrência de cintilação está relacionada às irregularidades do plasma ionosférico. Já nas regiões de altas latitudes a ocorrência se relaciona às tempestades geomagnéticas (SKONE, 1998).

4. METODOLOGIA

Para o presente trabalho foi realizado um experimento com posicionamento relativo utilizando dados de estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) de três regiões com diferentes comportamentos ionosféricos. Uma na região próxima ao equador geomagnético, onde foi utilizada a estação PBCG (Campina Grande) para simular a estação de

interesse do usuário. Uma na região afetada pelo efeito fonte, sendo utilizada a estação SPDR (Dracena) e, em região com menor efeito ionosférico, onde a estação SCLA (Lages) foi selecionada. A Figura 4 apresenta a distribuição das estações de interesse pelo território nacional.



Figura 4 – Distribuição das estações de interesse selecionadas para posicionamento relativo.
Fonte: Google Earth (2018).

Além de considerar regiões com diferentes comportamentos ionosféricos, a seleção das estações buscou utilizar estações base que possibilitassem estimar as coordenadas de uma mesma estação (simulando o usuário) com duas linhas de base menores e duas maiores. Vale ressaltar que, como foram utilizadas as estações da RBMC, a seleção ficou limitada à disponibilidade de dados e à distribuição das estações da rede. Nas figuras a seguir são apresentadas as linhas de base menores (em laranja) e maiores (em branco) utilizadas para a determinação das posições das estações de interesse. Na Figura 5 são apresentadas as linhas de base da estação PBCG, na Figura 6 as da estação SPDR e na Figura 7 as da estação SCLA. Já a Tabela 1 apresenta as linhas de base formadas entre as estações com as respectivas bases e comprimentos de linhas de base.



Figura 5 – Região próxima ao equador geomagnético

Fonte: Google Earth (2018).



Figura 6 – Região afetada pelo efeito fonte
Fonte: Google Earth (2018).



Figura 7 – Região com menor atividade ionosférica
Fonte: Google Earth (2018).

Tabela 1- Linhas de bases formadas.

Estação	Linhas Menores		Linhas Maiores	
	Bases	Comprimento (km)	Bases	Comprimento (km)
PBCG (Campina Grande)	PBJP (João Pessoa)	115	RNMO (Mossoró)	280
	RECF (Recife)	140	ALAR (Arapiraca)	290
SPDR (Dracena)	ILHA (Ilha Solteira)	120	SJRP (São José do Rio Preto)	240
	SPTU (Tupã)	120	OURI (Ourinhos)	240
SCLA (Lages)	IMBT (Imbituba)	170	SCCH (Chapecó)	230
	SCFL (Florianópolis)	180	POAL (Porto Alegre)	270

Os processamentos foram realizados no modo estático utilizando o *software* comercial *Trimble Business Center* (TBC) na versão 2.81. Os projetos dos processamentos foram configurados considerando somente dados da constelação GPS e dados das constelações GPS e GLONASS. Os dados utilizados são dos meses de junho e outubro de 2014. A escolha dos meses visou abordar períodos de menor (junho) e maior (outubro) atividade ionosférica, já a escolha do ano foi devido à proximidade com o pico do último ciclo solar (ciclo 24), que ocorreu entre 2013 e 2014. Quanto ao tempo de coleta, foram considerados dois tipos de arquivos, de 30 minutos e de 04 horas (ambos com início da coleta às 00h TU – Tempo Universal). A Figura 8 esquematiza as configurações utilizadas nos testes.

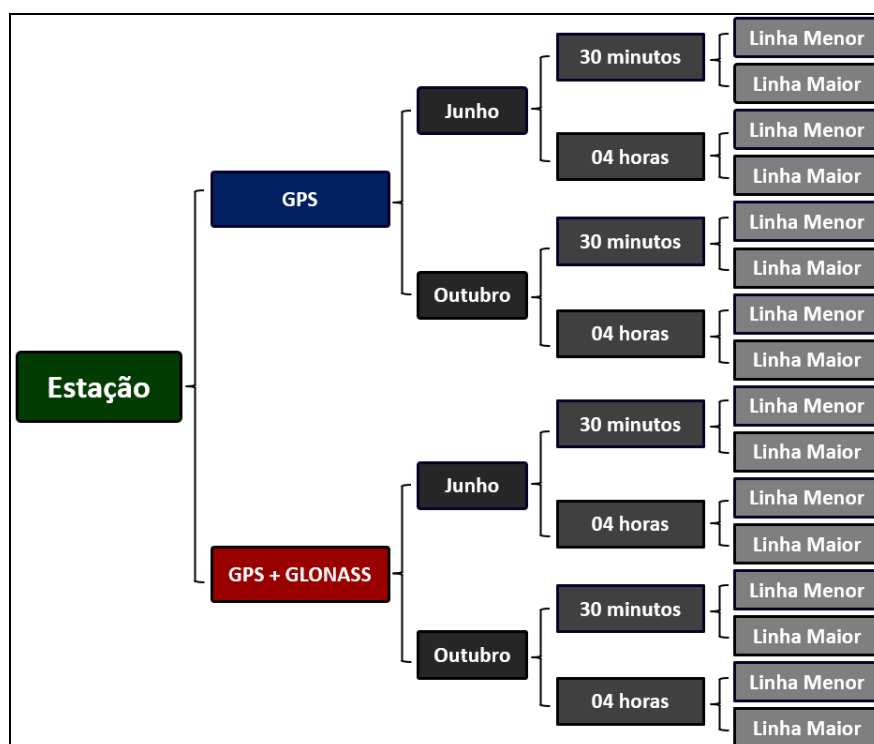


Figura 8 – Processamentos realizados para cada estação (posicionamento relativo).

Nos processamentos foi adotado o SIRGAS2000 como sistema de referência. Foram utilizados dados de dupla frequência com intervalo de coleta de 15 segundos, máscara de elevação de 10 graus e, além disso, foram utilizadas efemérides transmitidas. O uso de efemérides transmitidas foi devido a uma limitação da versão do *software* disponível, que não realiza o processamento de dados GLONASS quando efemérides precisas são utilizadas.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados obtidos foram comparados com as coordenadas oficiais das estações, também em SIRGAS2000, atualizadas para a época dos dados processados. A partir das resultantes das discrepâncias calculadas e dos desvios padrão obtidos nos processamentos, foram calculados os EMQs (Erros Médios Quadráticos) 3D, que foram utilizados nas análises.

Nessa seção são apresentados os resultados obtidos com os processamentos. Ressalta-se a diferença nas escalas gráficas, escolhidas com o intuito de possibilitar melhor visualização e comparação dos resultados. Os processamentos com dados de junho (gráficos A e B) são apresentados com valor máximo de 1,5 m no eixo do EMQ, já os resultados dos processamentos com dados de outubro (gráficos C e D) possuem valor máximo de 15 m.

Os resultados foram organizados de acordo com o intervalo de tempo (30 minutos ou 04 horas) por estação, permitindo comparações entre os meses analisados, os tamanhos das linhas de base, constelações utilizadas e os intervalos de tempo. Nos processamentos alguns dias apresentaram problemas, pois cada processamento é dependente de três estações (estação de interesse e duas bases). Com isso, falhas de coleta em qualquer uma das três estações envolvidas impossibilitaram o processamento na referente configuração.

Na Figura 9 (30 minutos de dados) e na Figura 10 (04 horas de dados) são apresentados os resultados obtidos na estimativa das coordenadas da estação PBCG. Os gráficos A e B apresentam os resultados de junho, com linhas de base menores e maiores, respectivamente. Nos gráficos C e D são apresentados os resultados de outubro, também para linhas de base menores e maiores, respectivamente. Os resultados correspondem aos processamentos apenas com constelação GPS (azul) e com as constelações GPS e GLONASS (vermelho).

No mês de outubro a ionosfera tem atividade mais intensa e, além disso, a estação em questão se encontra próxima ao equador geomagnético, o que pode ter levado a EMQs mais elevados, principalmente no período de maior atividade ionosférica. A partir dos gráficos fica clara a diferença de comportamento dos resultados com linhas de base menores e maiores, sendo os resultados das linhas menores mais regulares. Para outubro (gráficos C e D) os resultados são mais discrepantes e irregulares independentemente do comprimento das linhas de base.

Para o tempo de coleta de 04 horas de dados, os resultados são menos discrepantes, mas, ainda assim, os dados de junho apresentam EMQs menores e mais regulares que os de outubro. Para este conjunto de dados as altas discrepâncias não foram tão frequentes quanto na configuração de 30 minutos.

Considerando as constelações utilizadas, nota-se melhoria nos resultados na maior parte dos dias analisados com a adição de dados GLONASS. Em apenas uma das configurações (dados de junho com 30 minutos e linhas de bases maiores) não houve melhoria em mais de 50% dos dias com o uso de dados combinados.

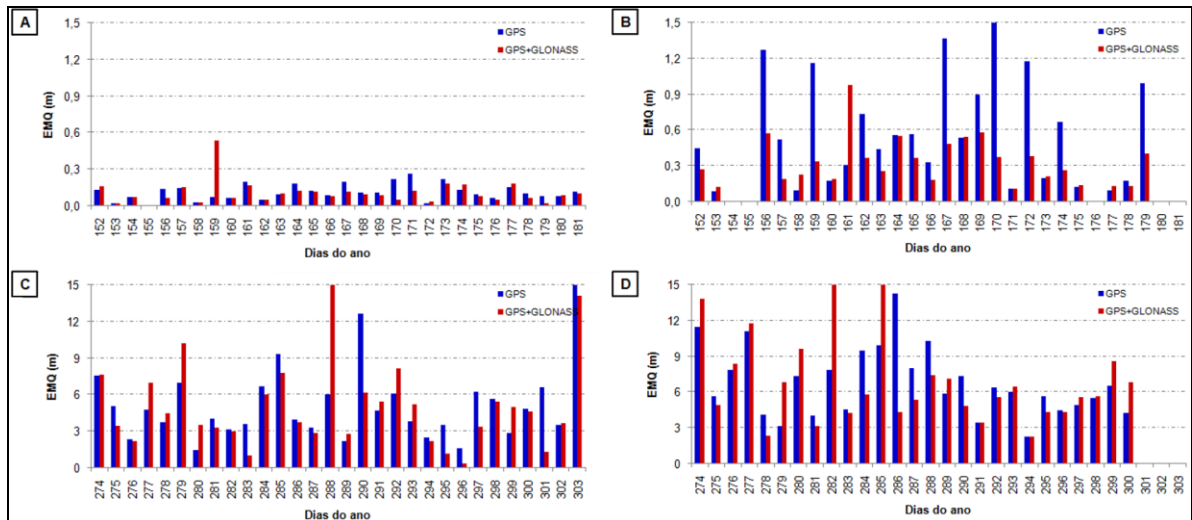


Figura 9 – Resultados para 30 minutos estação PBCG (A: Junho, menor; B: Junho, maior; C: Outubro, menor; D: Outubro, maior)

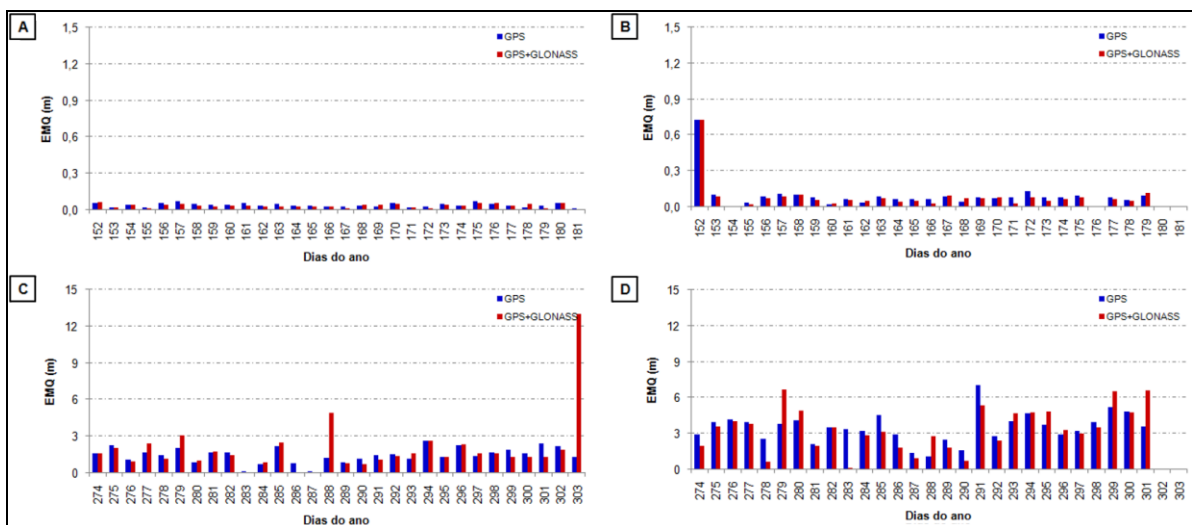


Figura 10 – Resultados para 04 horas estação PBCG (A: Junho, menor; B: Junho, maior; C: Outubro, menor; D: Outubro, maior)

A Figura 11 apresenta os gráficos gerados com dados de 30 minutos para a estação SPDR. Na Figura 12 são apresentados os gráficos obtidos com 04 horas de dados. Considerando o mês de junho, com 30 minutos a diferença não é tão grande entre os resultados para linhas de base menores e maiores. Mas, ainda assim, é possível notar comportamento mais regular e erros menores para os resultados com linhas de base menores. Os valores obtidos para dados de outubro apresentam valores mais irregulares, principalmente para as linhas de base maiores. Junho apresenta valores um pouco maiores no começo do mês, já em outubro os valores mais altos se concentram na segunda metade do mês para bases maiores. Vale lembrar que esta estação se encontra em região com intensa atividade ionosférica (região afetada pelo efeito fonte), podendo ser esta a causa de valores mais irregulares principalmente em outubro.

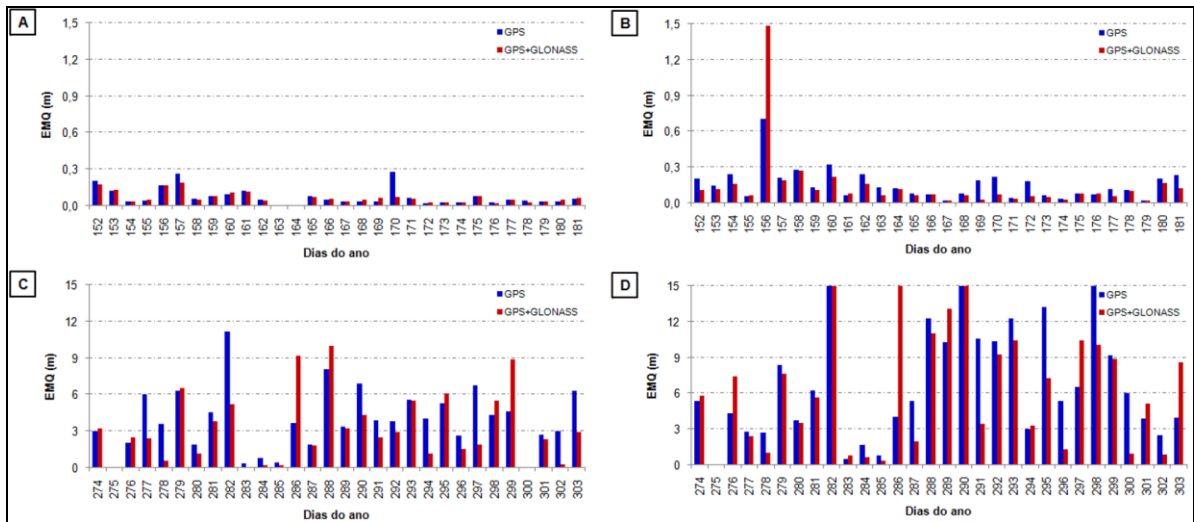


Figura 11 – Resultados para 30 minutos estação SPDR (A: Junho, menor; B: Junho, maior; C: Outubro, menor; D: Outubro, maior)

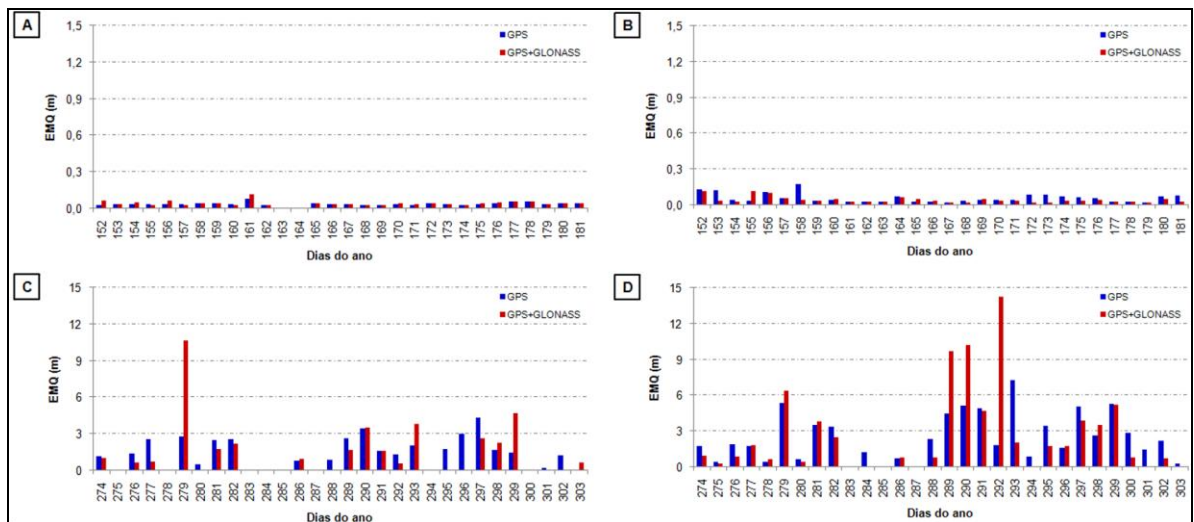


Figura 12 – Resultados para 04 horas estação SPDR (A: Junho, menor; B: Junho, maior; C: Outubro, menor; D: Outubro, maior)

Para os resultados com dados de 04 horas, novamente é possível verificar significativa diferença nos EMQs, havendo comportamento mais regular e menores erros, se comparados à configuração com 30 minutos. Em relação aos meses, o mês de outubro apresenta erros maiores e comportamento mais irregular. Quanto aos tamanhos de linhas de base, para o mês de junho as linhas maiores apresentaram valores um pouco maiores. Em outubro é possível notar maior diferença entre os resultados, sendo os valores mais discrepantes obtidos para linhas maiores, principalmente na segunda metade do mês. Em relação à utilização de dados GLONASS, em todas as configurações adotadas houve melhoria em mais da metade dos casos ao se utilizar dados combinados. A menor taxa de dias com melhoria ocorreu para dados de junho, com 04 horas de coleta e linhas de base menores, com 57% dos dias com melhorias. Já a maior taxa foi

obtida na configuração de junho, com 30 minutos de dados e linhas de base maiores, que em 83% dos dias houve melhoria com o uso de dados da constelação GLONASS.

Na Figura 13 são apresentados os gráficos gerados com dados de 30 minutos para a estação SCLA. A Figura 14 apresenta os gráficos gerados com 04 horas de coleta. Neste caso, em que a estação está localizada em região menos afetada pela ionosfera que as demais, foram obtidos os menores valores de EMQ. A maior parte dos valores obtidos com 30 minutos em outubro foram inferiores a 1 m e em junho nenhum valor passou de 60 cm. No mês de junho não há diferença significativa entre os resultados para diferentes tamanhos de linhas de base, sendo que em alguns casos os valores obtidos com linhas maiores tiveram menor erro que os obtidos com linhas menores. Em outubro a diferença de comportamento não foi muito significativa, mas, ainda assim, os valores obtidos com linhas menores apresentaram EMQ menor.

Com a configuração de 4 horas de dados, a diferença observada nas demais estações com o aumento do intervalo de tempo de dados também pôde ser observada, chegando aos menores valores entre todas as configurações. Vale destacar que para dados do mês de junho a maior parte dos EMQs atingiu valores máximos centimétricos. Mesmo com valores menores, ainda é possível notar nos dois meses a diferença com a mudança do tamanho da linha de base, sendo observados valores inferiores nos resultados com linhas de base menores.

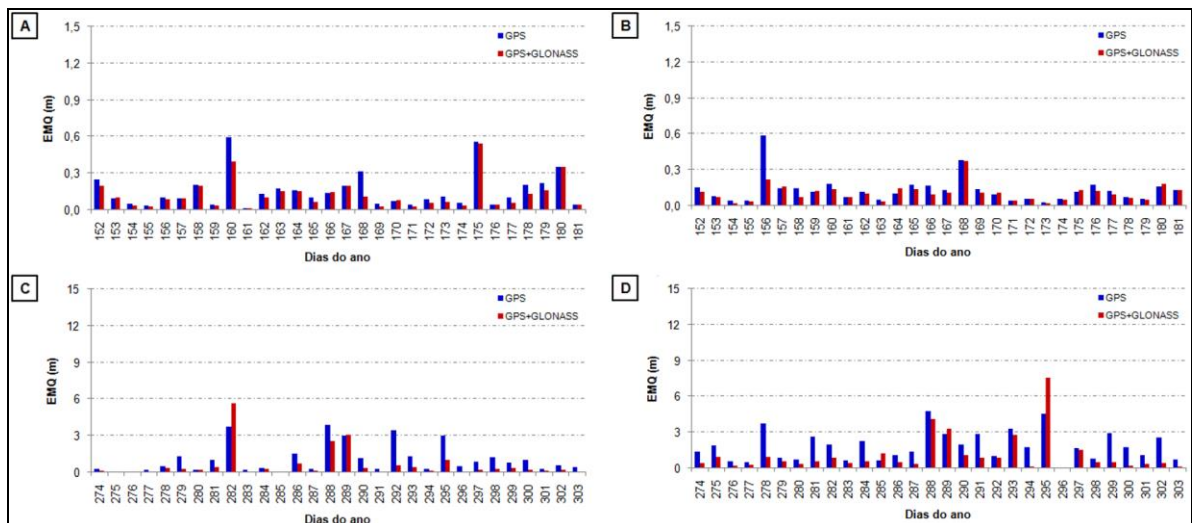


Figura 13 – Resultados para 30 minutos estação SCLA (A: Junho, menor; B: Junho, maior; C: Outubro, menor; D: Outubro, maior)

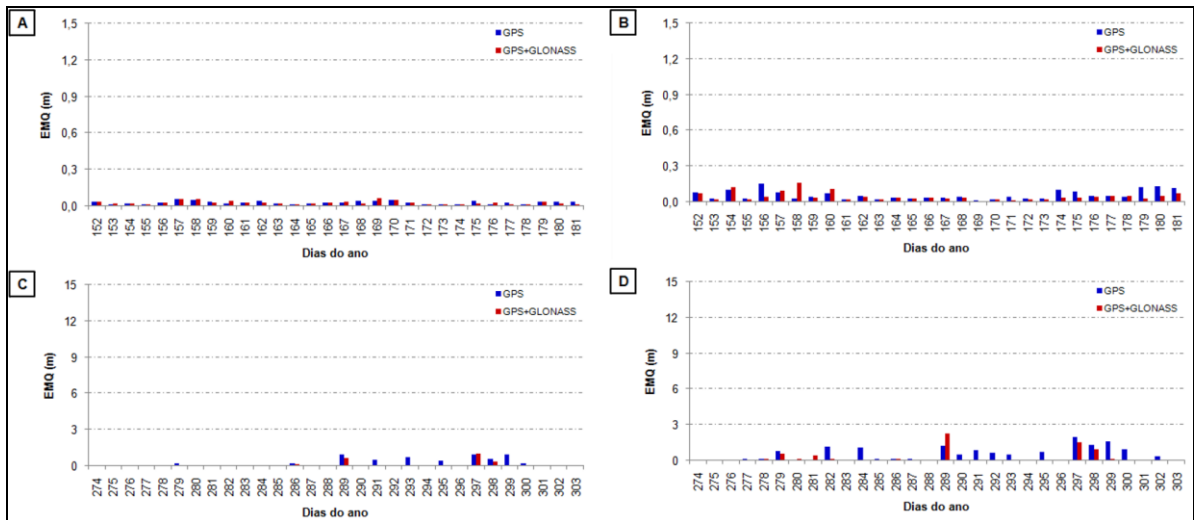


Figura 14 – Resultados para 04 horas estação SCLA (A: Junho, menor; B: Junho, maior; C: Outubro, menor; D: Outubro, maior)

As configurações com a estação SCLA foram as que obtiveram maiores índices de dias com melhorias ao utilizar dados combinados GPS/GLONASS, com todas acima de 60%. A configuração de outubro, com 30 minutos e linhas de bases menores obteve o maior índice, com melhoria em 93% dos dias analisados, ao incluir dados GLONASS.

As informações analisadas foram reunidas na Tabela 2 onde são apresentados esses dados em porcentagens de dias com melhorias, médias e desvios padrão das melhorias para cada configuração avaliada. São destacados na Tabela 2 os casos que apresentaram valores negativos na média dos EMQs com o uso de dados combinados, indicando piora nos resultados, e a única configuração que apresentou melhoria em menos de 50% dos dias analisados, estação PBCG, utilizando dados de outubro, com 4 horas de dados e linhas de base maiores. Considerando todos os dias, independente da configuração utilizada, houve melhoria em 69,18% dos casos analisados com a adição de dados GLONASS.

As porcentagens de melhoria também foram reunidas de acordo com o mês, tamanho da linha de base, intervalo de tempo de dados e estação na Tabela 3. Em relação aos meses selecionados as melhorias ocorreram em quantidade semelhante, sendo a diferença inferior a 1%. Levando-se em conta o tamanho das linhas de base, fica mais evidente a diferença entre as configurações adotadas. Para linhas de base maiores houve melhoria em mais dias com o uso de dados GPS/GLONASS. Em relação ao intervalo de tempo de coleta houveram mais dias com melhoria no menor tempo de coleta de dados. E, considerando as estações, a estação com mais dias com melhoria foi a localizada mais ao sul do país, SCLA, seguida da localizada próxima à região afetada pelo efeito fonte, SPDR e, por fim, PBCG, mais próxima ao equador geomagnético.

Tabela 2 – Melhorias obtidas com o uso de dados GPS/GLONASS em porcentagem de dias e média de melhoria.

Estação	Mês	Intervalo de dados	Linha de base	Melhoria com GPS+GLONASS		
				Dias	Média (cm)	Desvio padrão (cm)
PBCG	Junho	30 minutos	Menor	60%	0,6	10,0
			Maior	64%	26,1	43,5
		04 horas	Menor	70%	0,4	1,2
			Maior	73%	1,1	2,0
	Outubro	30 minutos	Menor	60%	-5,7	364,4
			Maior	48%	-65,9	510,0
		04 horas	Menor	60%	-44,7	226,7
			Maior	64%	9,4	132,6
SPDR	Junho	30 minutos	Menor	64%	0,9	4,3
			Maior	83%	1,4	15,8
		04 horas	Menor	57%	-0,4	1,1
			Maior	73%	1,5	3,7
	Outubro	30 minutos	Menor	71%	74,8	242,6
			Maior	69%	114,7	546,0
		04 horas	Menor	64%	1,2	191,2
			Maior	67%	-17,8	296,0
SCLA	Junho	30 minutos	Menor	77%	3,0	5,1
			Maior	70%	2,4	6,9
		04 horas	Menor	60%	0,2	1,0
			Maior	73%	1,0	4,3
	Outubro	30 minutos	Menor	93%	48,9	79,6
			Maior	90%	77,2	111,6
		04 horas	Menor	68%	11,7	22,9
			Maior	79%	25,8	48,1

Tabela 3 – Porcentagens de dias com melhorias ao utilizar dados GPS/GLONASS.

Categoria	Dias com melhoria
Mês de junho	68,88%
Mês de outubro	69,48%
Linhas de base menores	66,95%
Linhas de base maiores	71,43%
Intervalo de 30 minutos de dados	70,93%
Intervalo de 04 horas de dados	67,44%
Estação PBCG	62,39%
Estação SPDR	68,83%
Estação SCLA	76,07%

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve objetivo de avaliar a viabilidade da utilização de dados GPS/GLONASS para o posicionamento relativo. Além disso, buscou-se verificar a influência da atividade ionosférica na qualidade do posicionamento. Para isso, foram selecionadas estações em três regiões brasileiras com comportamento distinto relacionado à ionosfera. Uma região próxima ao equador geomagnético, uma em região afetada pelo efeito fonte e uma em região com atividade ionosférica mais regular. Além dessas abordagens, foram ainda considerados dois intervalos de coletas (30 minutos e 04 horas) e diferentes tamanhos de linha de base.

Nos resultados ficaram evidentes algumas influências específicas na qualidade do posicionamento: o tempo de coleta, a época do ano, a região da estação e o tamanho da linha de base. Conforme esperado, as configurações com os menores tempos de coleta e maiores linhas de base apresentaram maiores EMQs e maiores irregularidades no comportamento dos resultados. As influências regional e sazonal da atividade ionosférica ficaram claras nos resultados do posicionamento, havendo maior erro e variação dos resultados no mês com maior atividade (outubro) e em regiões mais afetadas (região afetada pelo efeito fonte e próxima ao equador geomagnético).

Em relação ao uso de dados das constelações GPS e GLONASS, considerando todos os dias, independente da configuração, houve melhoria em 69,18% dos casos utilizando-se dados combinados GPS/GLONASS comparado ao uso apenas do GPS. Além disso, apenas uma configuração não apresentou melhoria em mais de 50% dos dias considerados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de mestrado do primeiro autor (Processo 1481345) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de Produtividade em Pesquisa (PQ) da segunda autora (Processo 303553/2017-0) e pela bolsa de iniciação científica do terceiro autor (Processo 167944/2017-7).

Referências Bibliográficas

CAMARGO, P. O. **Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores GPS de uma frequência**. 1999. 191f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CONKER, R. S.; EL-ARINI, M. B.; HEGARTY, C. J.; HSIAO, T. Modeling the Effects of Ionospheric Scintillation on GPS/Satellite-Based Augmentation System Availability. **Radio Science**. Virginia. V. 38 (1): 1-23, 2003.

FEAIRHELLER, S.; CLARK, R. Other Satellite Navigation Systems. In: KAPLAN, E. D.; HEGARTY, C. J. (Eds). **Understanding GPS: Principles and Applications**, 2 ed. Artech House, Norwood, 2006, cap 11, p. 595-634.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo, and more**. New York: Springer-Verlag, 2008. 516p.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 3 ed. New Jersey: John Wiley & Sons. 2004. 435p.

McNAMARA, L. F. **The ionosphere: communications, surveillance, and direction finding**. Florida: Krieger Publishing Company, 1991. 237p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Fundamentos, Definição e Aplicação**. 2 ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476p.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications**. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003. 589p.

SKONE, S. **Wide area ionosphere grid modeling in the auroral region**. 1998. 198f. Dissertation (PhD in Science) – The University of Calgary, Calgary.