

---

## ANÁLISE DO POSICIONAMENTO COM DADOS GPS E GLONASS COLETADOS EM PERÍODO DE CINTILAÇÃO IONOSFÉRICA

HELOÍSA ALVES SILVA MARQUES<sup>1</sup>  
HAROLDO ANTONIO MARQUES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Militar de Engenharia - IME  
Seção de Engenharia Cartográfica, Rio de Janeiro, RJ  
heloisaalves@ime.eb.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pernambuco - UFPE  
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE  
haroldoh2o@gmail.com

---

**RESUMO** - O GNSS conta atualmente com GPS e GLONASS em sua forma operacional completa o que proporciona maior redundância para a realização do posicionamento geodésico e outras atividades. . O método PPP é beneficiado com a utilização de dados de uma segunda constelação de satélites, visto que a geometria dos satélites influencia na determinação das coordenadas. Tal geometria pode mudar repentinamente quando em condições de posicionamento em meios urbanos ou sob fortes efeitos atmosféricos, tal como cintilação ionosférica (CI), causando o enfraquecimento dos sinais e consequentemente perdas de ciclos e até mesmo perda do rastreamento. A CI ocorre devido a pequenas irregularidades na ionosfera e é caracterizada por uma rápida mudança na amplitude e fase do sinal sendo mais fortes nas regiões equatoriais e altas latitudes. Neste trabalho, foi realizado a avaliação do posicionamento geodésico com a integração de dados GPS e GLONASS considerando dados sob efeitos de cintilação ionosférica. Os dados foram coletados por receptores da rede CIGALA/CALIBRA e os processamentos foram realizados com o software GPSPPP do NRCAN. A estratégia de processamento envolveu o uso de somente dados GPS e em seguida integrando medidas GPS e GLONASS visando avaliar a acurácia posicional considerando observações GNSS sob condições de CI.

**ABSTRACT** - GNSS accounts currently with GPS and GLONASS in its full operational form that provides greater redundancy information to accomplish geodetic positioning and other activities. PPP method is benefited by the means of using data from a second satellite constellation, since in this method the geometry of the satellites is very important factor in the coordinates estimation. The satellite geometry being tracked by receivers can change suddenly when in conditions of positioning in urban areas or in condition of strong atmospheric effects such as ionosphere scintillation (IS) that causes weakening of satellite signals causing cycle slips and even loss of lock. The IS is caused by small irregularities in the ionosphere and is characterized by rapid change in amplitude and phase of the signal being stronger in equatorial and high latitudes regions. In this work, the geodetic positioning through PPP method was evaluated with GPS and GLONASS data integration collected under IS conditions. The data were collected by receivers from CIGALA/CALIBRA network and the processing were performed using the GPSPPP software from NRCAN. The processing strategies involved only GPS data and after the integration of GPS and GLONASS measurements aiming to analyze the positional accuracy considering GNSS observables under IS conditions.

---

### 1 INTRODUÇÃO

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é amplamente utilizado nos dias atuais, seja para fins de posicionamento geodésico, monitoramento da atmosfera, navegação, pesquisas científicas, entre diversas outras atividades. Este sistema engloba atualmente o GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU/COMPASS, Sistemas de Aumentação (*Augmentation Systems*), além de outras definições tal como acurácia e integridade. Dentre os sistemas disponíveis, o GPS ainda é o mais aplicado na atualidade, visto que tem sido utilizado como sistema de navegação em sua forma operacional completa por mais de duas décadas. Porém, o GLONASS atualmente está totalmente operacional com uma constelação de 24 satélites em órbita (GLONASS, 2014).

A maior diferença entre os satélites GLONASS e GPS é que cada satélite GLONASS transmite na sua própria frequência e, dessa forma, a identificação dos satélites se dá pela frequência do sinal a partir da técnica denominada FDMA (*Frequency Division Multiple Acces*) (LEICK, 2004; MONICO, 2008). Porém, na atual fase de modernização dos sinais, o sistema GLONASS também transmitirá os dados da mesma forma que o GPS, ou seja, utilizando a técnica CDMA (*Code Division Multiple Access*) sendo que o primeiro de uma série de satélites GLONASS-K foi lançado em fevereiro de 2011 (OLEYNIK, 2011; GLONASS, 2014).

Em termos de posicionamento geodésico, especial atenção tem sido dada nos últimos anos ao método PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), o qual, diferentemente do posicionamento relativo, permite estimar a posição a partir de dados coletados em somente um receptor, geralmente de dupla frequência. Para estimativa de coordenadas com acurácia de poucos centímetros, o método PPP requer a utilização de órbitas precisas, correções precisas de relógios dos satélites e modelagem matemática de praticamente todos os efeitos envolvidos com a propagação dos sinais na atmosfera e aqueles relacionados com as estações terrestres (SEEBER 2003; LEICK, 2004; HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER AND WASLE 2008; MONICO, 2008; MARQUES, 2012).

Em geral, os parâmetros envolvidos no processamento dos dados com o PPP são as coordenadas tridimensionais da estação, erro de relógio do receptor, efeitos da troposfera e ambiguidades da fase da onda portadora para cada satélite. Quando se tem poucos satélites sendo rastreados pelo receptor ou quando ocorre alguma mudança brusca de geometria da constelação, geralmente, a estimativa das coordenadas sofre influência, algo que é muito comum ocorrer em trajetórias cinemáticas em meios urbanos ou condições desfavoráveis de geometria ou ainda em condições de cintilação ionosférica. Os efeitos de cintilação ionosférica são mais intensos nas regiões geomagnéticas equatoriais e de altas latitudes, onde a ocorrência está relacionada, respectivamente, à anomalia equatorial e às tempestades geomagnéticas. A cintilação ionosférica é causada devido a pequenas irregularidades na atmosfera e é caracterizada por uma rápida mudança na amplitude e fase do sinal podendo causar perdas de ciclos ou até mesmo perda do rastreamento dos satélites. Desta forma, espera-se que a inserção de dados GLONASS possa fornecer melhor geometria e consequentemente melhoria nos resultados do posicionamento via PPP sob tais condições.

Neste trabalho, apresenta-se o método de PPP com integração de dados GPS e GLONASS e avaliação de resultados com dados coletados sob condições de cintilação ionosférica. Os dados foram coletados por receptores Septentrio PolaRxS-PRO da rede CIGALA/CALIBRA (VANI et al., 2013). Estes receptores coletam além de dados GNSS, os índices S4 e Phi60 que permitem caracterizar os efeitos de cintilação ionosférica. Os dados coletados foram processados no software GPSPPP do NRCAN (*Natural Resources Canada*), cujo código fonte se encontra disponível na UFPE para fins de pesquisas. Na versão atual do software é possível processar dados GPS e GLONASS no modo PPP. Foram adotadas duas estratégias de processamento dos dados: primeiramente utilizando somente medidas GPS e em seguida a integração das medidas GPS e GLONASS. As coordenadas estimadas nas duas estratégias foram comparadas com as coordenadas oficiais das estações visando avaliar a acurácia do posicionamento com a inserção do GLONASS para dados coletados sob condições de cintilação ionosférica. Desta forma, serão apresentadas, a revisão bibliográfica relacionada com os efeitos de cintilação ionosférica, o método PPP com integração de dados das constelações GNSS e as análises realizadas com o posicionamento PPP com integração GPS e GLONASS para dados coletados sob condições de cintilação.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PPP com observáveis GPS e GLONASS

As observáveis básicas do sinal GNSS são a pseudodistância e a fase da onda portadora. A pseudodistância é obtida a partir da correlação entre o código gerado pelo satélite no instante de transmissão ( $t^s$ ) e sua réplica gerada no receptor no instante de recepção ( $t_r$ ). Já a fase da onda portadora é obtida a partir da diferença entre a fase gerada pelo satélite, no instante de transmissão do sinal, e sua réplica gerada pelo receptor, no instante de recepção do sinal, sendo que apenas uma medida fracionária é obtida, restando um número inteiro de ciclos desconhecido, denominado ambiguidade da fase ( $N_r^s$ ). As equações de pseudodistâncias e fase da onda portadora são dadas, respectivamente, por (SEEBER, 2003; MONICO, 2008):

$$PD_r^s = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) + I_r^s + T_r^s + Orb^s + dm_r^s + v_{PD_r^s}, \quad (1)$$

$$\phi_r^s = f_i \left( \frac{\rho_r^s - I_r^s + T_r^s + Orb_r^s + dm_r^s}{c} \right) + f_i (dt_r - dt^s) + (\phi_i^s(t_0) - \phi_r(t_0)) + N_r^s + v_{\phi_r^s}, \quad (2)$$

em que,  $\rho_r^s$  é a distância geométrica entre o satélite e o receptor, a qual deve ser calculada entre o instante de transmissão e o de recepção do sinal;  $c$  é a velocidade da luz no vácuo;  $dt_r$  é o erro do relógio do receptor;  $dt^s$  é o erro do relógio do satélite;  $I_r^s$  é o efeito provocado pela ionosfera;  $T_r^s$  é o efeito provocado pela troposfera;  $Orb^s$  é o erro da órbita (posição) do satélite;  $dm_r^s$  é o efeito provocado pelo multicaminho;  $v_{PD_r^s}$  são os efeitos aleatórios e não modelados da pseudodistância.  $f_i$  é a frequência da fase;  $\phi_r^s(t_0)$  é a fase inicial no satélite, correspondente à época de referência  $t_0$ ;  $\phi_r(t_0)$  é a fase inicial no receptor, correspondente à época de referência  $t_0$ ;  $N_r^s$  é a ambiguidade da fase no instante inicial de rastreamento;  $v_{\phi_r^s}$  são os efeitos aleatórios e não modelados da fase da portadora.

As equações 1 e 2 podem ser utilizadas tanto para os sinais dos satélites GPS quanto do GLONASS. No entanto, deve-se ter a devida atenção com relação a estrutura dos sinais, que no caso do GLONASS é muito similar à do GPS. Originalmente, dois sinais portadores na banda L são disseminados e os sinais são modulados por dois códigos binários, além das mensagens. Diferentemente do GPS, cada satélite GLONASS transmite os sinais em diferentes frequências, sendo a frequência L1 dada por (SEEBER, 2003):

$$f_{L1} = f_0 + k\Delta f_{L1}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, 24, \quad (3)$$

sendo,  $f_0 = 1602$  MHz e  $\Delta f_{L1} = 0,5625$  MHz. L1 e L2 estão relacionadas por  $f_{L1}/f_{L2} = 9/7$ .

Na Equação 3  $k$  é o número da frequência do satélite, sendo o número 0 (zero) designado como “frequência técnica” e reservado para fins de teste. Este procedimento do GLONASS é conhecido como FDMA (*Frequency Division Multiple Acces*). Contudo, o sistema GLONASS transmitirá os dados utilizando a técnica CDMA (*Code Division Multiple Access*) do GPS, o que faz parte da modernização do sistema e já conta com o lançamento do satélite GLONASS-K em fevereiro de 2011 (OLEYNIK, 2011).

O modelo matemático necessário para integração GPS e GLONASS no PPP pode ser descrito com base nas equações de pseudodistância e fase nas frequências  $L_i$ :

$$PD_{L_i}^G = \rho_G + c(dt_{rec}^G - dt_{sat}^G) + I_{L_i}^G + T^G + Orb^G + dm^G + v_{PD^G}, \quad (4)$$

$$\phi_{L_i}^G = \rho_G + c(dt_{rec}^G - dt_{sat}^G) - I_{L_i}^G + T^G + Orb^G + dm^G + \lambda_i^G N_{L_i}^G + v_{\phi_{L_i}^G}, \quad (5)$$

$$PD_{L_i}^R = \rho_R + c(dt_{rec}^R - dt_{sat}^R) + I_{L_i}^R + T^R + Orb^R + dm^R + v_{PD^R}, \quad (6)$$

$$\phi_{L_i}^R = \rho_R + c(dt_{rec}^R - dt_{sat}^R) - I_{L_i}^R + T^R + Orb^R + dm^R + \lambda_i^R N_{L_i}^R + v_{\phi_{L_i}^R}. \quad (7)$$

em que os símbolos  $G$  e  $R$  representam respectivamente GPS e GLONASS. Nas equações 4 a 7 os erros do relógio do receptor são representados por  $dt_{rec}^G$  e  $dt_{rec}^R$ , enquanto os erros dos relógios dos satélites são  $dt_{sat}^G$  e  $dt_{sat}^R$ , respectivamente para GPS e GLONASS. Os outros efeitos já foram descritos nas equações 1 e 2. Para o processamento dos dados na integração GPS e GLONASS comparece a compatibilização dos sistemas de referencia geodésico (WGS84 e PZ90), além do parâmetro incógnito relacionado com o sistema de tempo ( $dt_{sys}$ ). Neste caso, o erro do relógio do receptor pode ser descrito como (CAI; GAO, 2007):

$$dt_{rec} = t - t_{sys}, \quad (8)$$

sendo  $t_{sys}$  o sistema de tempo GPS ( $t_{GPS}$ ) para observações GPS ou o sistema de tempo GLONASS ( $t_{GLONASS}$ ) para observações GLONASS. Uma vez que o erro do relógio do receptor está relacionado com o sistema de tempo, seja do GPS ou do GLONASS, o processamento dos dados com integração GPS e GLONASS no modo PPP inclui a estimativa de dois parâmetros de erro do relógio do receptor.

É possível escrever o erro do relógio do receptor relacionado com o GLONASS da seguinte maneira (CAI; GAO, 2007):

$$dt_{rec}^R = t - t_{GLONASS} = \underbrace{t - t_{GPS}}_{dt_{rec}^G} + \underbrace{t_{GPS} - t_{GLONASS}}_{dt_{sys}} = dt_{rec}^G - dt_{sys}, \tag{9}$$

que é função do erro do relógio do receptor para o GPS e da diferença do sistema de tempo entre GPS e GLONASS. Aplicando a Equação 9 nas Equações 6 e 7, tem-se:

$$PD_{Li}^R = \rho_R + c \left( \underbrace{dt_{rec}^G + dt_{sys}}_{dt_{rec}^R} - dt_{sat}^R \right) + I_{Li}^R + T^R + Orb^R + dm^R + v_{PD}^R, \tag{10}$$

$$\phi_{Li}^R = \rho_R + c \left( \underbrace{dt_{rec}^G + dt_{sys}}_{dt_{rec}^R} - dt_{sat}^R \right) - I_{Li}^R + T^R + Orb^R + dm^R + \lambda_i^R N_{Li}^R + v_{\phi_{Li}}^G. \tag{11}$$

Com base nas Equações descritas nesta seção pode se estimar as coordenadas das estações, erro do relógio do receptor para o sistema GPS ( $dt_{rec}^G$ ), diferença do sistema de tempo ( $dt_{sys}$ ), ambiguidades da fase e efeitos atmosféricos (troposfera) para cada satélite. O atraso ionosférico de primeira ordem da ionosfera no método PPP pode ser eliminado utilizando a combinação livre da ionosfera ou partir de modelos matemáticos e mapas da ionosfera (MARQUES, 2012).

### 2.2 Cintilação ionosférica

A cintilação ionosférica ocorre devido a pequenas irregularidades na camada da ionosfera provocando rápidas variações de amplitude e/ou de fase no sinal GNSS (DAVIES, 1990; CONKER et al., 2002). Os efeitos de cintilação ocorrem com maior intensidade nas regiões equatoriais e altas latitudes (regiões geográficas da ionosfera). Com relação à região equatorial as cintilações estão relacionadas à anomalia equatorial. Além disso, nessa região também são formadas bolhas ionosféricas o que contribui para a ocorrência de cintilação ionosférica. Já nas regiões de altas latitudes os efeitos de cintilação ionosférica estão relacionados à existência de tempestades geomagnéticas. A Figura 1 mostra as regiões com ocorrência de cintilação ionosférica.

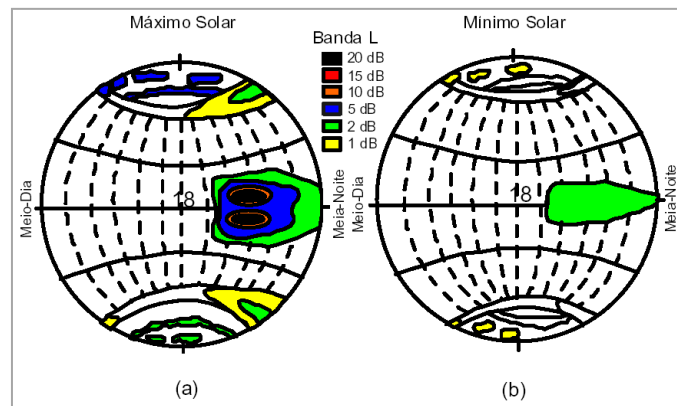


Figura 1 - Regiões geográficas de ocorrência de cintilação ionosférica

Os efeitos de cintilação ionosférica podem ser monitorados a partir dos índices da amplitude da cintilação (S4) e do desvio-padrão da fase de cintilação ( $\sigma_\phi$ ). O índice S4 é calculado através da seguinte equação:

$$S4 = \sqrt{\frac{E\{SI^2\} - E\{SI\}^2}{E\{SI\}^2}}, \tag{12}$$

em que,  $SI$  é a intensidade do sinal recebido do satélite,  $E\{.\}$  é a esperança matemática (média) num determinado intervalo (por exemplo, 60 segundos).

Os valores de  $\sigma_\phi$  são calculados a cada 60 segundos em intervalos de 1, 3, 10, 30 e 60 segundos, e depois é feita uma média destes cinco valores sobre um minuto. (VAN DIERENDONK, 2001). Nesse artigo é utilizado o valor de  $\sigma_\phi$  calculado em 60 segundos e é denominado de Phi60. A intensidade de cintilação ionosférica pode ser classificada da seguinte forma (TIWARI et al. 2011):

Tabela 1 – Classificação da intensidade da cintilação ionosférica	
Classificação da cintilação	Índices
Forte	( $S4 > 1,0$ ou $Phi60 > 0,8$ )
Moderada	( $0,5 \leq S4 \leq 1,0$ ou $0,4 \leq Phi60 \leq 0,8$ )
Fraca	( $S4 < 0,5$ ou $Phi60 < 0,4$ )

O monitoramento da cintilação ionosférica é realizado a partir de receptores capazes de coletar informações de cintilação ionosférica, tal como S4 e Phi60. No Brasil existe a rede de monitoramento contínuo CIGALA/CALIBRA, a qual além de coletar dados GNSS a uma taxa de 50 Hz gera também fornece arquivos horários com informações de cintilação (S4, Phi60), TEC (Conteúdo Total de Elétrons), entre outras medidas. A Figura 2 mostra a localização das estações da rede CIGALA/CALIBRA.

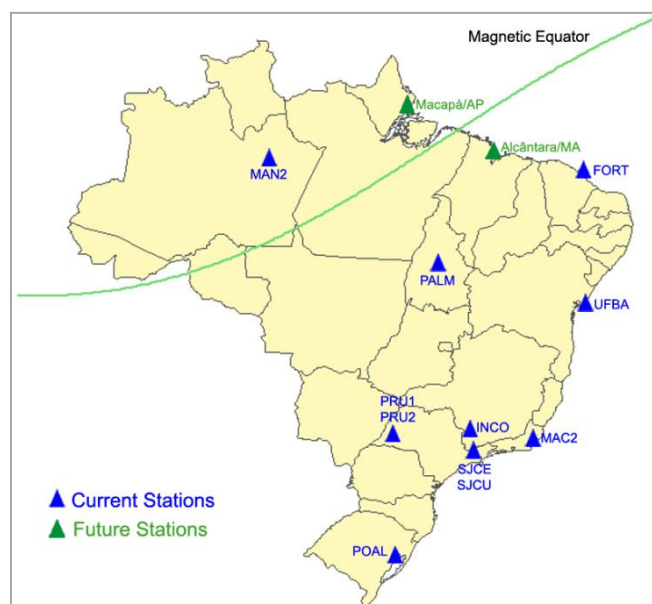


Figura 2 - Rede CIGALA/CALIBRA

### 3 RESULTADOS

Os experimentos foram realizados utilizando dados GNSS da estação PRU1 pertencente à rede CIGALA/CALIBRA coletados no dia 20/10/2012. As Figuras 3 e 4 mostram, respectivamente, os valores de S4 e Phi60 relacionadas aos satélites GPS e GLONASS.

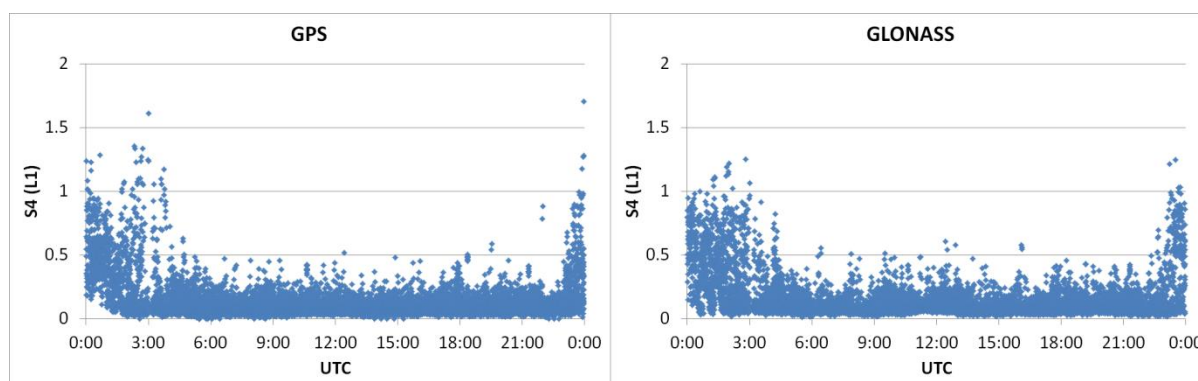


Figura 3 - Índice S4 na estação PRU1

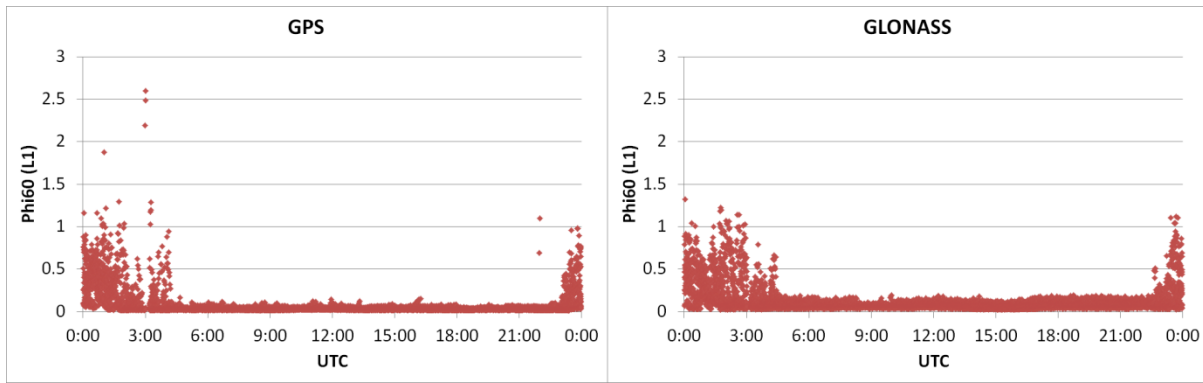


Figura 4 - Índice Phi60 na estação PRU1

Os dados GNSS foram processados no software GPSPPP do NRCAN, sendo este o mesmo utilizado no PPP online do IBGE (IBGE-PPP, 2014). Foram realizados processamentos no modo cinemático, considerando somente as observações GPS ou considerando também as observações GPS juntamente com as do GLONASS. A Figura 5 mostra as discrepâncias em altitude durante todo o processamento.

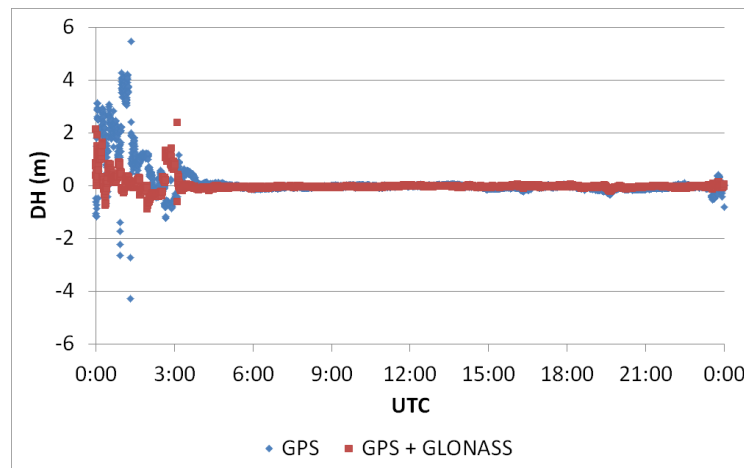


Figura 5 - Discrepâncias em altitude

A melhoria no PPP foi de aproximadamente 65% ao utilizar observáveis GPS e GLONASS ao invés de somente GPS. A melhoria foi principalmente nas primeiras três horas do dia, período em que há a maior ocorrência de cintilação ionosférica. Essa melhoria está relacionada a questões de geometria dos satélites, já que em períodos em que há forte cintilação ionosférica ocorrem muitas perdas de ciclos e perdas de sinais, principalmente na portadora L2 do GPS. A Figura 6 apresenta o número de satélites (NS) disponíveis no momento do processamento PPP para o caso usando somente dados GPS e GPS/GLONASS.

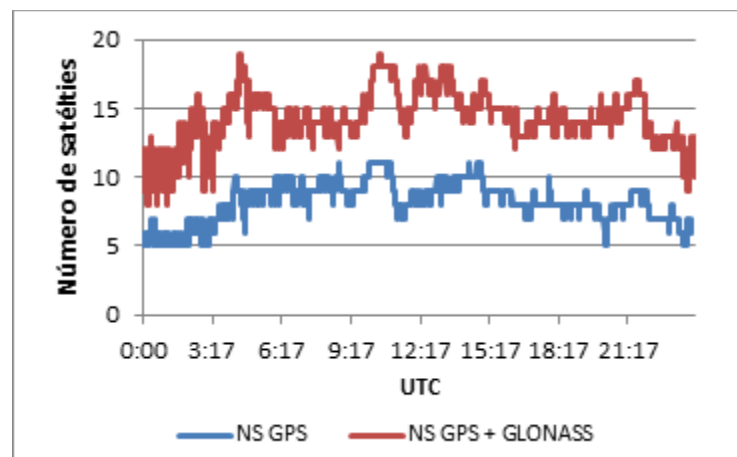


Figura 6 – Número de satélites disponíveis ao processamento PPP com GPS e GPS+GLONASS

Verifica-se que nas primeiras horas da coleta dos dados GPS, o número de satélites fica em torno de seis, o que provavelmente causa problemas de geometria na solução PPP. Com a utilização de dados GLONASS, o número de satélites aumenta para até doze satélites nas primeiras horas. O GDOP (*Geometric Dilution of Precision*) pode ser visto na Figura 7.

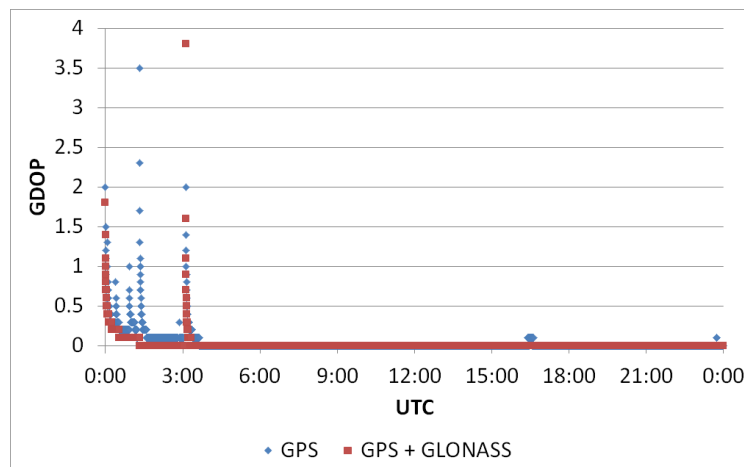


Figura 7 – Valores de GDOP na estação PRU1

Na Figura 7, verifica-se que o valor de GDOP é menor com a utilização de GPS e GLONASS para o período do início do dia, o qual foi afetado pelos efeitos de cintilação ionosférica.

#### 4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado a análise do posicionamento GNSS via método PPP com a integração de dados GPS e GLONASS considerando dados coletados sob condições de cintilação ionosférica. Apresentou-se a revisão bibliográfica relacionado à integração dos sistemas no método PPP, o qual envolveu o uso de medidas de pseudodistância e fase dos dois sistemas. Os efeitos de cintilação ionosférica foram caracterizados a partir dos índices S4 e Phi60.

Para as análises foram utilizados dados da estação PRU1 pertencente à rede CIGALA/CALIBRA. Esta estação está equipada com receptor Septentrio PolaRxS-PRO, o qual é capaz de coletar dados GNSS além dos índices S4 e Phi60. Os dados foram processados no modo cinemático e sendo esta uma estação estática, foi possível comparar as coordenadas estimadas em cada época com as coordenadas oficiais da estação, cujo objetivo foi avaliar a qualidade do posicionamento ao utilizar somente medidas GPS e a integração de medidas GPS e GLONASS considerando os dados sob efeitos de cintilação ionosférica.

Ao utilizar somente GPS, verificou-se uma degradação do posicionamento (Figura 5) nas primeiras horas do dia, período em que há forte ocorrência de cintilação ionosférica (Figura 4). O número de satélites disponíveis ao processamento pode ser visto na Figura 6, enquanto que o GDOP pode ser visto na Figura 7. Nota-se considerável melhoria em termos de GDOP nas primeiras horas do dia ao utilizar GPS e GLONASS.

As discrepâncias em termos de altitude estimada da estação (Figura 5) atingem a ordem de até 4 metros quando utilizando somente medidas GPS e ao aplicar as medidas GPS e GLONASS estes valores diminuem drasticamente com uma melhoria de até 65% no período com forte cintilação ionosférica. Desta forma, conclui-se que a utilização da constelação GLONASS junto com a do GPS favorecerá os usuários em termos de posicionamento que envolva problemas de geometria, o que pode ocorrer quando se tem efeitos de cintilação ionosférica ou outros efeitos atmosféricos, ou ainda sob condições de coleta de dados em meios a prédios urbanos e outros.

#### REFERÊNCIAS

CAI, C.; GAO, Y. Precise Point Positioning Using Combined GPS and GLONASS Observations. **Journal of Global Positioning System**. 2007. vol. 6, p.13-22, 2007.

CONKER, R. S.; EL-ARINI, B.; HEGARTY, C. J.; HSIAO, T. Modeling the effects of ionospheric scintillation on GPS/Satellite-Based augmentation system availability. **Radio Science**. vol. 37, n. 0, 2002.

DAVIES, K. Ionospheric radio. England: Short Run Press LTd., 1990, 580p.

GLONASS, **GLONASS Status**. Federal Space Agency. Information-Analytical Centre 2014. Disponível em <<http://glonass-iac.ru/en/GLONASS/index.php>>. Acesso em jun. de 2014.

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

IBGE-PPP. PPP online do IBGE. 2014. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/default.shtm>>. Acesso em: 2014.

LEICK, A. **GPS satellite surveying**. New York: John Wiley & Sons, 2004. 435p.

MARQUES, H. A. **PPP em Tempo Real com Estimativa das Correções dos Relógios dos Satélites no Contexto de Rede GNSS**. 2012. 245 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2012.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Unesp, 2008. 476p.

OLEYNIK, E. GLONASS: Status and Modernization. In: United Nations International Meeting on the Applications of Global Navigation Satellite Systems, 2011, Vienna, Austria **Proceedings**...dez. 2011. Disponível em: <<http://www.oosa.unvienna.org/pdf/sap/2011/un-gnss/02.pdf>>.

TIWARI, R.; SKONE, S.; TIWARI, S.; STRANGWAYS, H. J. 3WBMod Assisted PLL GPS Software Receiver for Mitigating Scintillation Affect in High Latitude Region. **IEEE**, 2011. Disponível em: <<http://www.ursi.org/proceedings/procGA11/ursi/FG-4.pdf>>.

SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods, and applications**. 2. ed. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003. 589p.

VAN DIERENDONK, A. J. Measuring ionospheric scintillation effects from GPS signals. In: **ION 59th Annual Meeting**. Albuquerque, New Mexico, 11-13. June 2001, p. 391-396.

VANI, C. B.; MONICO, J. F. G.; SHIMABUKURO, M. H.; PEREIRA, V. A. S.; AQUINO, M. Exploring the CIGALA/CALIBRA Network data base for Ionosphere Monitoring over Brazil. In: **AGU Fall Meeting** – San Francisco, 09-13 December 2013.