

# AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE MULTICAMINHO NO POSICIONAMENTO RELATIVO GPS E SUA ATENUAÇÃO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE MULTIRESOLUÇÃO

*Multipath level evaluation in the GPS relative positioning and its attenuation through multiresolution analysis*

ENIUCE MENEZES DE SOUZA  
WESLEY GILDO CANDUCCI POLEZEL  
JOÃO FRANCISCO GALERA MONICO

Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP  
R. Roberto Simonsen 305, 19060 900 - Presidente Prudente – São Paulo  
[\[eniuce.wesley@pos.prudente.unesp.br\]](mailto:eniuce.wesley@pos.prudente.unesp.br) ; [galera@prudente.unesp.br](mailto:galera@prudente.unesp.br)

## RESUMO

O efeito do multicaminho afeta os posicionamentos diferencial e relativo, mesmo envolvendo linhas de base curtas. Dessa forma, existe a necessidade de detecção desse efeito, verificação do nível de erro causado e, principalmente, a remoção do mesmo. Neste artigo, pretende-se analisar e comparar alguns componentes que se mostram úteis na detecção deste efeito. Estes componentes envolvem a razão sinal ruído (SNR – *Signal to Noise Ratio*), os valores do MP1 e MP2 obtidos a partir do *software* TEQC que indicam o nível de multicaminho nas portadoras L1 e L2, a repetibilidade do efeito do multicaminho em dias consecutivos, o ângulo de elevação e o azimute dos satélites. Para tanto, é apresentado um experimento comparando tais componentes na presença e ausência de objetos refletoras que causam o efeito do multicaminho. Além da nítida repetibilidade do multicaminho nos resíduos, a mesma comparece nas medidas SNR, MP1 e MP2, alcançando até 99% de correlação. Para redução de, pelo menos, o efeito do multicaminho de alta frequência, a Análise de Multiresolução (AMR) utilizando *wavelets* é aplicada nas medidas de dupla diferença (DD). Alguns testes estatísticos foram realizados, os quais indicam a melhoria dos resultados e, principalmente, maior confiabilidade na solução das

ambigüidades, atingindo até 49% de melhoria em relação ao teste *Ratio* sem a aplicação do método proposto.

**Palavras chaves:** GPS; Multicaminho; SNR; MP1; MP2; Análise de Multiresolução.

### ABSTRACT

The multipath effect affects the differential and relative positioning, even that one involving short baselines. So it is necessary to detect this effect, check the caused error level, and mainly, its removal. This paper aims at analysing and comparing some useful components in the detection of this effect. These components are the Signal to Noise Ratio (SNR), the values of MP1 and MP2 obtained from the TEQC software that indicates the multipath level in the carriers L1 and L2, the multipath repeatability in consecutive days and the elevation angle and the azimuth of the satellites. For this purpose, an experiment is carried out, comparing such components in the presence and the absence of reflector objects that cause the multipath. Not only there is clear multipath repeatability in the residuals, but it also appears in the measures SNR, MP1 and MP2, reaching up 99% of correlation. For reduction, at least, of the high frequency multipath effect, the Multi-Resolution Analysis using wavelets is applied in the double differences (DD) measures. Some statistical tests were accomplished, which indicate results improvement, and mainly, larger reliability in the solution of the ambiguities, reaching up 49% of improvement concerning the Ratio test without applying the proposed method.

**Keywords:** GPS; Multipath; SNR; MP1; MP2; Multi-Resolution Analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

No posicionamento com GPS existem alguns fatores que afetam a acurácia dos resultados. Dentre eles, está o efeito do multicaminho (*multipath*) que afeta a qualidade do sinal durante sua propagação entre o satélite e a antena do receptor. Os sinais recebidos pela antena de um receptor GPS podem ser divididos em dois grupos: os sinais recebidos diretamente dos satélites e os aqueles que atingiram um corpo qualquer e, sofrendo uma reflexão (desvio), atingiram a antena do receptor. Esses sinais refletidos são chamados de multicaminho. Segundo Ray (2000), o efeito do multicaminho não afeta somente o código e a fase da portadora, mas também a razão sinal ruído (SNR - *Signal-to-Noise Ratio*). O valor da SNR é inversamente proporcional ao efeito do multicaminho. Então, quanto maior o valor da SNR, menor o efeito do multicaminho, e quanto menor a SNR, maior esse efeito.

Pode-se também analisar o nível de multicaminho em uma estação utilizando os valores de MP1 e MP2, os quais referem-se ao multicaminho nas portadoras L1 e L2.

Tanto os valores de SNR quanto MP1 e MP2 podem ser extraídos pelo *software* TEQC de domínio público (Estey e Meertens, 1999), o qual dispõe de funções para realizar a edição e o controle de qualidade dos dados e também a transformação do formato binário para o RINEX. A grande vantagem desse *software* é que ele verifica os dados de uma estação isolada, não havendo necessidade de combiná-los com os de outra estação.

Propõe-se neste trabalho uma metodologia de análise dos parâmetros indicadores da SNR, MP1 e MP2 em sinais afetados pelo efeito do multicaminho e a repetibilidade de cada um desses parâmetros em dias consecutivos, pois, desde que a geometria do levantamento permaneça inalterada, o efeito do multicaminho deve apresentar o mesmo padrão. As mesmas análises são realizadas para dados não afetados significativamente pelo efeito do multicaminho, ou seja, coletados em ambiente sem objetos refletoras, para que se possam realizar as devidas comparações. Em relação à redução desse efeito, o multicaminho de alta frequência é detectado utilizando a Análise de Multiresolução (AMR) e as correções são feitas nas duplas diferenças (DDs) conforme metodologia desenvolvida por Souza (2004a). O processamento dos dados é realizado antes e após a correção desse efeito nas DDs. Mesmo as correções não sendo tão significativas, pois o efeito do multicaminho de alta frequência é responsável apenas pelos menores erros provenientes de multicaminho, estas correções já permitiram verificar melhorias de até 49% nos valores da estatística *Ratio*, indicando uma melhor solução das ambigüidades.

## 2. SNR1 e SNR2

A SNR é a razão sinal ruído, logo quanto maior o valor da SNR, menor a quantidade de ruído no receptor. Segundo Ray (2000), as medidas de fase e pseudodistância, além da SNR, são afetadas pelo multicaminho, e estão correlacionadas com o intervalo de tomada das medidas e geometria espacial entre os satélites e a antena do receptor. Uma característica importante da SNR, que deve ser levada em consideração, é a sua alta correlação com o ângulo de elevação do satélite (Farret et al, 2003).

A SNR é a razão da potência do sinal recebido no receptor ( $S$ ) pela potência do nível do ruído ( $N$ ) e é representada por uma medida logarítmica em decibéis (db). Assim, a SNR equivale a 1db se (Seeber, 2003):

$$10 \text{ Log} \left( \frac{S}{N} \right) = 1. \quad (1)$$

Os valores da SNR podem ser extraídos dos arquivos de observação originais. Neste trabalho, utilizou-se o *software* TEQC para conversão dos arquivos de saída do receptor, em formato binário, para o formato RINEX (Estey e Meertens, 1999). Esse *software* foi utilizado por possibilitar a escolha das observáveis e permitir que os valores originais das SNR1 e SNR2 para as portadoras L1 e L2 fossem extraídas.

### 3. MP1 e MP2

Os valores de MP1 e MP2 proporcionam uma indicação do nível de multicaminho numa estação e podem ser obtidos a partir do *software* TEQC. As combinações lineares para MP1 e MP2 são dados por (Fortes, 1997; Estey e Meertens, 1999):

$$MP1 = PD_{L1} - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right) \phi_{L1} + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right) \phi_{L2} = M_{PD1} + B_1 - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right) M_{\phi 1} + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right) M_{\phi 2}, \quad (2)$$

$$MP2 = PD_{L2} - \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right) \phi_{L1} + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right) \phi_{L2} = M_{PD2} + B_2 - \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right) M_{\phi 1} + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right) M_{\phi 2}, \quad (3)$$

onde as tendências (*bias terms*)  $B_1$  e  $B_2$  resultam das ambigüidades da fase e são dados por

$$B_1 = -\left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right) n_1 \lambda_1 + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right) n_2 \lambda_2, \quad (4)$$

$$B_2 = -\left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right) n_1 \lambda_1 + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1\right) n_2 \lambda_2, \quad (5)$$

- $PD_{L1}$ ,  $PD_{L2}$  são as medidas simultâneas da pseudodistância, em cada portadora (L1 e L2);
- $\alpha = (f_{L1}^2 / f_{L2}^2)$ , sendo  $f_{L1}$  a frequência na L1 e  $f_{L2}$  a frequência na L2;
- $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  são os comprimentos de onda de L1 e L2;
- $\phi_{L1}$  e  $\phi_{L2}$  são as medidas da fase para cada portadora (L1 e L2);
- $M_{PD1}$  e  $M_{PD2}$  representam o efeito do multicaminho em  $PD_{L1}$  e  $PD_{L2}$ ;
- $M_{\phi 1}$  e  $M_{\phi 2}$  representam o efeito do multicaminho em  $\phi_{L1}$  e  $\phi_{L2}$ .

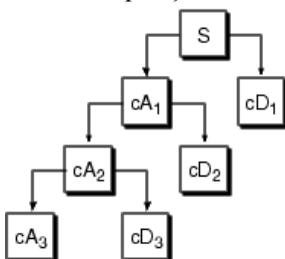
Analisando as equações 2 e 3, nota-se no segundo membro das mesmas que os MPs podem ser calculados exclusivamente das observações de pseudodistância e fase. Por outro lado, analisando o terceiro membro dessas equações, verifica-se que o MP depende do efeito do multicaminho na pseudodistância ( $M_{PD}$ ) e fase ( $M_{\phi}$ ) e das tendências  $B$  originadas das ambigüidades (desconhecidas) da fase. Portanto, independentemente do valor absoluto calculado para MP1 e MP2, o acompanhamento de sua variação ao longo do tempo fornece informações implícitas sobre a qualidade dos dados. Logo, se um valor do MP1 muda bruscamente, isso significa que houve um efeito acentuado de multicaminho em  $PD_{L1}$  (dado por  $M_{PD1}$ ) ou ocorreu uma

perda de ciclos que provocou uma variação acentuada em  $B_I$  (descartando, neste caso, os efeitos das modificações em  $M_{\phi_1}$  e  $M_{\phi_2}$  por serem os valores do efeito do multicaminho na fase muito menores que os relativos aos códigos) (Fortes, 1997).

#### 4. A ANÁLISE DE MULTIRESOLUÇÃO (AMR) NA ATENUAÇÃO DO MULTICAMINHO

Para atenuar o efeito do multicaminho de alta frequência no posicionamento relativo, a AMR pode ser aplicada na DD, tanto para a fase de batimento da onda portadora, como para a pseudodistância. Na decomposição utilizando a AMR, o sinal passa por um algoritmo de filtragem, conhecido como algoritmo de Mallat (Mallat, 1998). Nesse processo, a filtragem é iterativa com sucessivas aproximações. Como resultado, o sinal é dividido em componentes de resolução cada vez mais baixa, formando uma decomposição em árvore (figura 1).

Figura 1 - Decomposição de Mallat de 3 níveis



Fonte: Xia, 2001

A cada passo, o coeficiente de aproximação (cA) é menos influenciado pelos componentes de alta frequência (ruído e multicaminho de alta frequência) do sinal, os quais estão presentes nos coeficientes de “detalhes” (cD). Esses componentes são separados um do outro e as partes não desejadas são removidas por modificação dos coeficientes *wavelets*, isto é, colocando zero nos coeficientes não desejados (limiarização). A partir daí, o sinal é reconstruído, ou seja, a observação de DD é recuperada pelo agrupamento das componentes decompostas usando os coeficientes *wavelets*. Dessa forma, o efeito do multicaminho de alta frequência pode ser “eliminado” do posicionamento relativo estático GPS (Souza, 2004a, 2004b). O processamento dos dados, a AMR, a escolha da *wavelet* e dos limiares foram implementados em linguagem Fortran 77 (*Compilador Lahey Fujitsu Fortran 95*). Para maiores detalhes sobre esse processo, pode-se consultar Souza (2004a, 2004b) e Souza e Monico (2004).

## 5. EXPERIMENTO, RESULTADOS E ANÁLISES

O experimento foi realizado na Empresa de Transportes Takigawa (TAK) de Presidente Prudente, a aproximadamente 1,9 km da estação UEPP pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Um receptor Ashtech ZXII de dupla frequência foi colocado em um campo aberto onde os possíveis objetos refletores distavam mais de 50 m das antenas. Utilizou-se taxa de coleta de 15 s e máscara de elevação de 5°. Nos dias 16 e 17/09/03, uma carreta revestida de alumínio representando um objeto refletor de 2,5×13 m, distando 1,3 m do chão, foi colocada a 6 m do receptor (figura 2) enquanto uma placa de zinco medindo 0,30×1,10 m foi colocada a 50 cm do mesmo. Coletou-se os dados em dois dias para verificação da sua repetibilidade, pois o efeito do multicaminho deve apresentar o mesmo padrão durante dias consecutivos quando a geometria do levantamento permanece inalterada. Os dados foram coletados por mais de 2 h em cada dia.

Figura 2 - Cenário do experimento

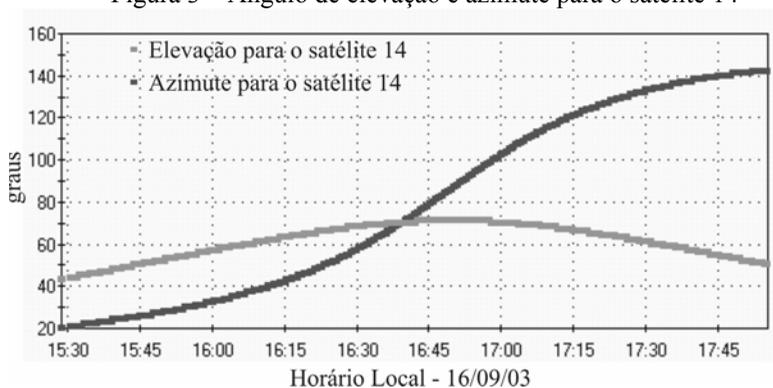


Nos dias 20 e 21/09/2003, a coleta de dados foi realizada sem os objetos refletores. Para formar a linha de base, utilizou-se os dados coletados por um receptor Trimble 4000 SSI da estação UEPP. A antena utilizada nesta estação é do tipo *chocke ring*.

Para realizar o processamento da linha de base UEPP-TAK adotou-se o PRN 23 como satélite base, pelo fato desse satélite estar com ângulo de elevação relativamente alto (72° a 83°). O ângulo de elevação e o azimute de cada satélite foram analisados, pois os satélites com menores ângulos de elevação e azimute propício para gerar reflexões causam maiores erros de multicaminho. Dessa forma, o satélite 14, com ângulo de elevação de 41° a 60° e azimute de 20° a 38°

(figura 3) durante a sessão processada (15:30 as 16:00 h), foi escolhido para mostrar os resultados.

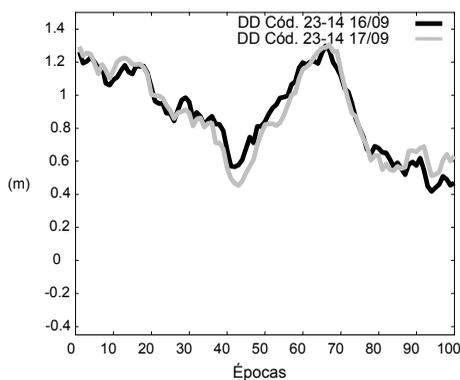
Figura 3 – Ângulo de elevação e azimute para o satélite 14



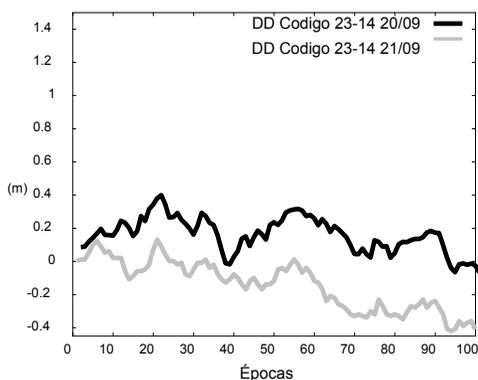
Nas figuras 4a e 4b, pode-se verificar os resíduos da DD 23-14 para o código e nas figuras 4c e 4d, o efeito do multicaminho de alta frequência calculado a partir da AMR nos dias 16-17/09 e 20-21/09, respectivamente. Os resultados para as DDs de fase da onda portadora foram semelhantes, logo, não serão mostrados graficamente, mas estão implícitos nos resultados finais.

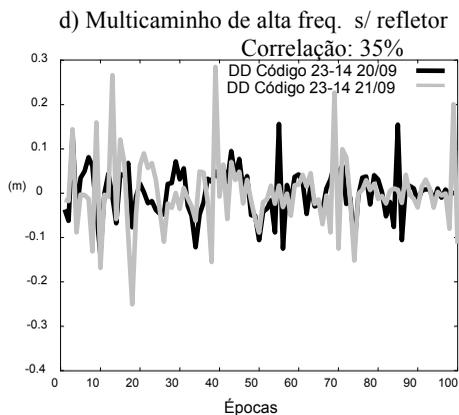
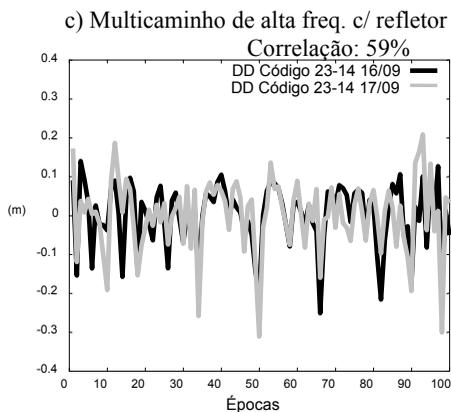
Figura 4 – Repetibilidade nos dias 16 e 17/09 para a DD 23-14

a) Resíduos da DD 23-14 c/ refletor  
Correlação: 96%



b) Resíduos da DD 23-14 s/ refletor  
Correlação: 47%



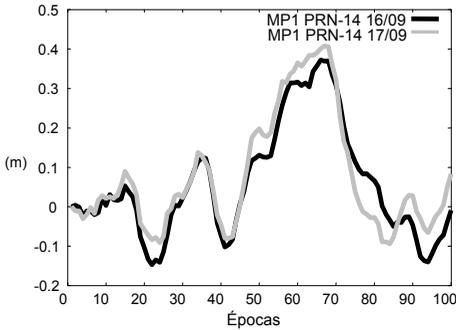


Analisando a figura 4a, como esperado, verifica-se que a repetibilidade do multicaminho é de 96% nos dias 16 e 17/09, devido à presença de refletores, o que não ocorre sem a presença deles nos dias 20 e 21 (Figura 4b). O satélite 14 é um satélite ascendente, logo, como era previsível, os erros nos resíduos são decrescentes, pois satélites com os menores ângulos de elevação tendem a gerar maiores erros de multicaminho. Como nos dias 20 e 21/09 não havia refletores, além da baixa correlação entre os resíduos (47%), verifica-se a magnitude bem menor dos mesmos em relação aos dias 16 e 17. Nota-se também a correlação de 59% do multicaminho de alta frequência detectado pela AMR na figura 4c, e menor (35%) nos dias 20 e 21/09 na figura 4d.

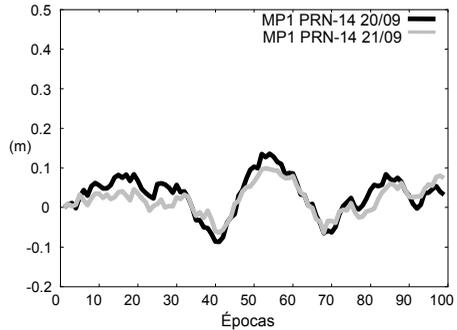
Ao analisar o nível de multicaminho na L1 e L2 utilizando as medidas MP1 e MP2 (seção 3), tem-se resultados semelhantes, os quais são mostrados nas figuras 5a, 5b, 5c e 5d.

Figura 5 – MP1 e MP2 nos dias 16, 17, 20 e 21/09

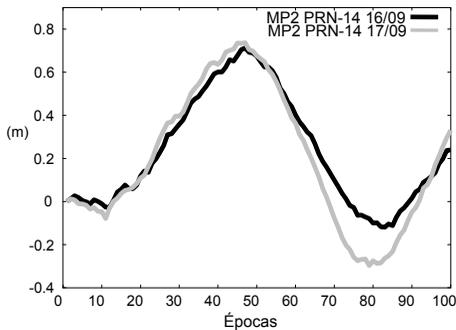
a) Multicaminho na L1 c/ refletor  
Correlação: 95%



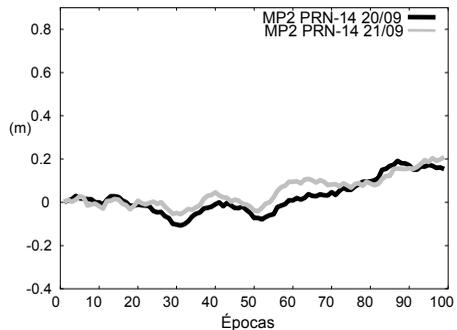
b) Multicaminho na L1 s/ refletor  
Correlação: 88%



c) Multicaminho na L2 c/ refletor  
Correlação: 98%



d) Multicaminho na L2 s/ refletor  
Correlação: 90%

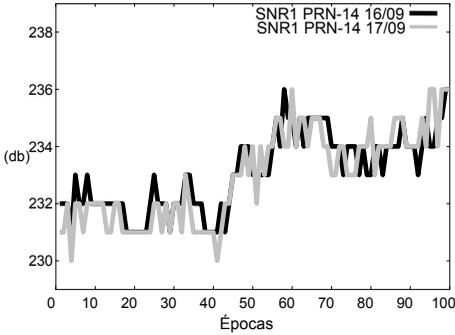


Verifica-se nas figuras 5a e 5c alta correlação sendo de 95% e 98% para o MP1 e MP2 respectivamente nos dias 16 e 17/09. Na ausência de refletores (figuras 5b e 5d), a magnitude do nível de erro de multicaminho para L1 e L2 é bem menor, ou seja, não ultrapassaram 20 cm. Por tratar-se de um indicador do nível de multicaminho verifica-se também a correlação entre os dois dias (88% e 90%, respectivamente, para MP1 e MP2).

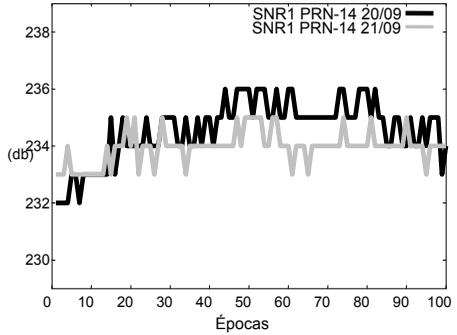
A SNR (seção 2) para a L1 e L2 são apresentadas nas figuras 6a, 6b e 6c, 6d, respectivamente.

Figura 6 – SNR1 (L1) e SNR2 (L2) nos dias 16, 17, 20 e 21/09

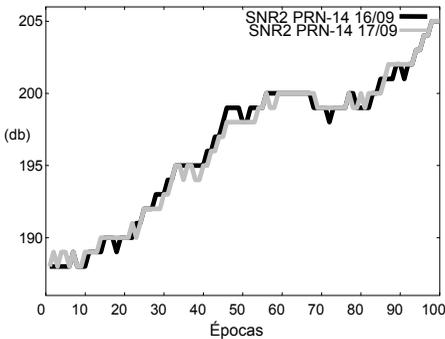
a) SNR na L1 do satélite 14 c/ refletor  
Correlação: 87%



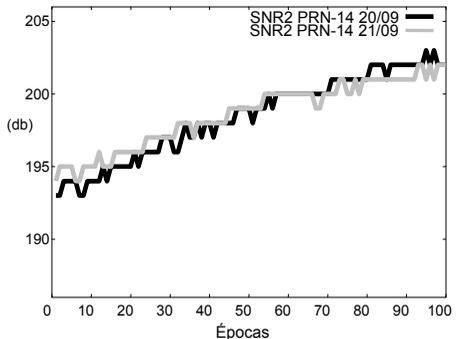
b) SNR na L1 do satélite 14 s/ refletor  
Correlação: 53%



c) SNR da L2 do satélite 14 c/ refletor  
Correlação: 99%



d) SNR da L2 do satélite 14 s/ refletor  
Correlação: 97%

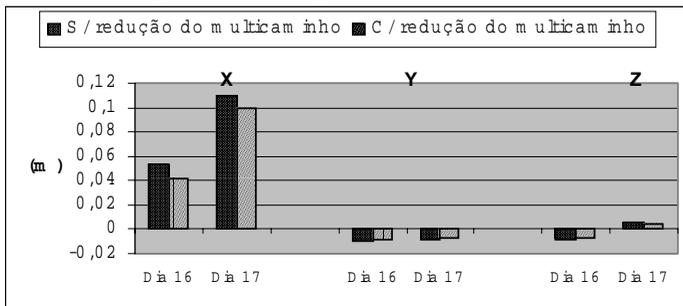


Pode-se verificar na figura 6 que o multicaminho, além de afetar o código e a fase, realmente afeta a SNR. Nas figuras 6a e 6c há uma correlação de 87% e 99% nos dias 16 e 17, respectivamente para SNR1 e SNR2. Devido ao fato do satélite 14 ser um satélite ascendente, os valores da SNR são crescentes, como esperado. Entretanto, comparando os valores da SNR nos dias 16 e 17 com os mesmos nos dias 20 e 21 verifica-se que houve uma melhoria, mas os valores estão muito próximos. Isto ocorre pois, a SNR está diretamente ligada ao ângulo de elevação do satélite e depende mais desse ângulo de elevação do que do multicaminho propriamente dito (Farret, 2000).

Depois de realizar o processamento da linha de base UEPP-TAK, o mesmo foi refeito utilizando a AMR para reduzir o efeito do multicaminho de alta frequência. As coordenadas antes e após a redução do multicaminho foram comparadas com a coordenada “verdadeira”, ou seja, estimada a partir do

processamento das sessões de dados coletadas nos dois dias sem os objetos causadores dos erros de multicaminho mais significativos. As discrepâncias entre as coordenadas são apresentadas na figura 7.

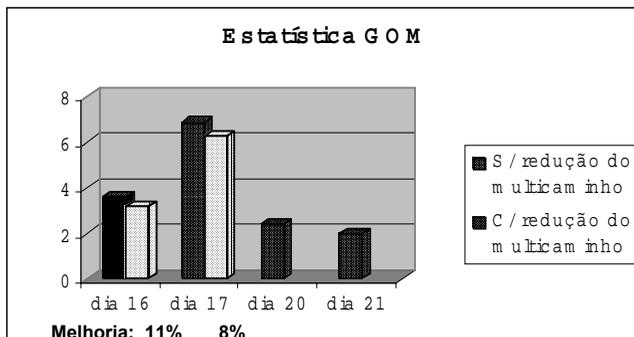
Figura 7 – Discrepâncias entre as coordenadas



A partir da figura 7, nota-se uma discrepância de mais de 1 cm na componente X devido aos erros de multicaminho em relação à “coordenada verdadeira”. Após a redução do multicaminho, verifica-se que as coordenadas estão mais acuradas. Ocorreram melhorias em relação a todas as componentes e, na componente X, obteve-se uma melhoria de até 10 mm. Por se tratar de uma linha de base curta, esta melhoria foi pequena, mas isto se deve, provavelmente ao fato de apenas os menores erros provindos de multicaminho terem sido corrigidos.

Para comparar a qualidade das observações de DD para a fase e o código, antes e após a correção do multicaminho de alta frequência, utilizou-se a estatística *Global Overall Model (GOM)* (Teunissen, 1998a). Os valores obtidos com esta análise podem ser vistos na figura 8.

Figura 8 – Estatística GOM sem e com a redução do efeito do multicaminho utilizando a AMR

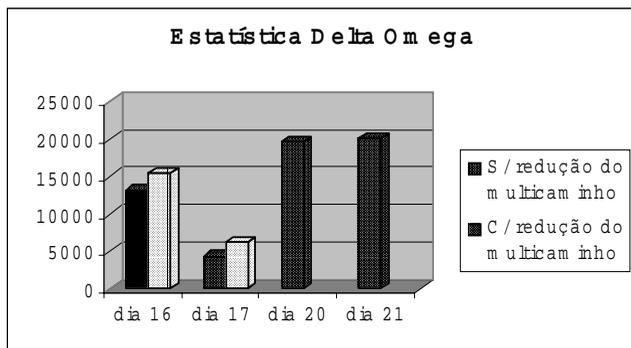


Verifica-se a partir da figura 8, que o valor da estatística GOM nos dias 16 e 17 é melhor para as observações após a correção do multicaminho de alta frequência, mostrando que este efeito sistemático foi minimizado, atingindo até 11% de melhoria. Nos dias 20 e 21 as observações apresentaram qualidade melhor devido à ausência dos objetos refletores e, conseqüentemente, do efeito do multicaminho por eles provocado.

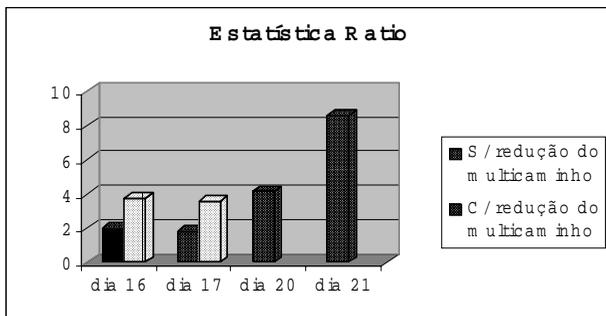
Para verificar a confiabilidade da solução das ambigüidades, a figura 9a apresenta os valores da estatística *Ratio* antes e depois da correção do multicaminho de alta frequência, e na figura 9b, os valores da estatística Delta-Omega. Esta estatística refere-se ao valor da diferença entre a forma quadrática do vetor dos resíduos que proporcionou a melhor unidade de peso *a posteriori* e a que proporcionou a segunda melhor (Teunissen, 1998b).

Figura 9 – Estatísticas sem e com a redução do multicaminho utilizando a AMR

a) Estatística *Ratio*



b) Estatística *Ratio* e Delta-Omega



Em relação ao *Ratio*, sabe-se que quanto maior o valor desta estatística, maior a probabilidade do vetor das ambigüidades estar solucionado corretamente (Teunissen, 1998b). Pode-se verificar que a solução das ambigüidades após a correção do multicaminho neste experimento está até 49% mais confiável. Da mesma forma que a estatística *Ratio*, quanto maior o valor da estatística Delta Omega, mais confiável é a solução das ambigüidades. Pode-se verificar na figura 9b que a solução das ambigüidades após a correção do multicaminho está até 30% mais confiável. Além disso, verifica-se que nos dias 20 e 21, tanto a estatística *Ratio* (Figura 9a) como a Delta Omega (Figura 9b) indicam uma maior probabilidade das ambigüidades estarem solucionadas corretamente, devido à ausência do efeito do multicaminho provocado pelos objetos refletoras, como esperado.

## 6. CONCLUSÃO

A análise de componentes relacionados com o efeito do multicaminho, feita neste artigo, é importante, pois freqüentemente realizam-se processamentos envolvendo linhas de base curtas e mesmo assim obtêm-se resultados ruins. Mesmo o usuário não tendo realizado a coleta de dados em dias consecutivos para analisar a repetibilidade, o que é usual, ele dispõe das medidas SNR1, MP1 e/ou SNR2 e MP2 para verificar se seus resultados foram ou não prejudicados pelo efeito do multicaminho. Infelizmente, eliminar completamente esses erros do processamento ainda não é possível.

Dentre outras técnicas que eliminam o efeito do multicaminho parcialmente, está a aplicação da AMR nas DDs. No experimento realizado utilizou-se esta técnica e obteve-se melhorias na acurácia das coordenadas de até 10 mm na coordenada X e, em relação à solução das ambigüidades, as estatísticas *Ratio* e Delta Omega indicam uma maior confiabilidade na solução de até 49% e 30%, respectivamente. Entretanto, o efeito do multicaminho de baixa freqüência, maior causador de erros, não pode ser reduzido diretamente das DDs.

Em se tratando de trabalhos futuros, no trabalho de doutorado da primeira autora, está sendo desenvolvido um método para eliminar, além dos erros provenientes do efeito do multicaminho de alta freqüência, os de baixa freqüência, utilizando a teoria de *wavelets*, análise dos resíduos do processamento e fundamentos estatísticos.

## 7. AGRADECIMENTOS

Este trabalho está sendo desenvolvido com recursos financeiros da FAPESP (Processo nº 03/12770-3) mediante atribuição de bolsa de doutorado à primeira autora e iniciação científica ao segundo autor (Processo nº 04/02645-0). Os autores também gostariam de agradecer o programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas da FCT/UNESP e os revisores pelas correções e sugestões.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- DAUBECHIES, I. *Ten Lectures on Wavelets*. SIAM, Philadelphia, PA, 1992. 357 p.
- FARRET, J. C. et al. Correlação SNR e multicaminho na fase das portadoras GPS. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 3, 2003, Curitiba. *Anais...* Curitiba: UFPR, 2003. CD-ROM.
- MALLAT, S. *A wavelet tour of signal processing*. United States of America: Academic Press, 1998. 577 p.
- MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo NAVSTAR - GPS: Descrição, fundamentos e aplicações*. São Paulo: UNESP, 2000. 287 p.
- RAY, J. K. *Mitigation of GPS Code and Carrier Phase Multipath Effects Using a Multi-Antenna System*. 2000. 260f. Tese (PhD) - University of Calgary, Calgary.
- SEEBER, G. *Satellite geodesy: foundations, methods and applications*. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003. 586 p.
- SOUZA, E. M. *Efeito de Multicaminho de Alta Frequência no Posicionamento Relativo GPS Estático: Detecção e atenuação utilizando Wavelets*. 2004a. 144f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente.
- SOUZA, E. M. Multipath Reduction from GPS Double Differences Using Wavelets: How Far Can We Go?. In: *ION GNSS 2004*, Long Beach. 2004b.
- SOUZA, E. M. & MONICO, J. G. Wavelet Shrinkage: High Frequency Multipath Reduction from GPS Relative Positioning. *GPS Solutions*. v. 8, n. 3, pp 152-159.
- TEUNISSEN, P. J. G. Quality Control and GPS. In: TEUNISSEN, P. J. G.; KLEUSBERG, A. *GPS for Geodesy*. 2 ed. Berlin: Springer Verlage, 1998a, p. 271-318.
- TEUNISSEN, P. J. G. GPS Carrier Phase Ambiguity fixing concepts. In: TEUNISSEN, P. J. G.; KLEUSBERG, A. *GPS for Geodesy*. 2 ed. Berlin: Springer Verlage, 1998b, p. 319-388.
- ESTEY L. H.; MEERTENS C. M., TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS Data. *GPS Solutions*, v. 3, n. 1, p. 42-49, 1999.
- XIA, L. Approach for Multipath Reduction Using Wavelet Algorithm. In: ION, 14, 2001, Salt Lake City, UT. *Proceedings...* Kansas City: The Satellite Division of the Institute of Navigation, 2001. p. 2134-2143.

(Recebido em abril/05. Aceito em novembro/05)