

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE ENTORNO E DA REFRAATIVIDADE DO AMBIENTE NO POSICIONAMENTO GPS

DIULIANA LEANDRO¹
FABIANI D. ABATI MIRANDA¹
FRANCIELY ABATI MIRANDA²
KAROLINE PAES JAMUR¹

¹Universidade Federal do Paraná – UFPR
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba - PR
diuliana_1@hotmail.com; {fabi.miranda, karol.mestrado}@ufpr.br

²Universidade Federal de Sergipe - UFS
Departamento de Agronomia, Aracaju - SE
franciely.miranda@gmail.com

RESUMO – O efeito multicaminho é um grande implicador no posicionamento GPS de precisão, esse está relacionado diretamente com o entorno do ponto onde a antena GPS é locada. Esse efeito pode causar erros de posicionamento de alguns centímetros chegando até mesmo a metros. Este trabalho se propõe a analisar a determinação das coordenadas de um ponto localizado em um ambiente extremamente propenso a reflexão dos sinais GPS, no qual se comparou coordenadas consideradas verdadeiras com coordenadas obtidas de dois dias de rastreamento GPS processadas com diferentes máscaras de elevação.

ABSTRACT - The multipath effect is a major problem in the accuracy of GPS positioning, this is directly related to the environment from the point where the GPS antenna is located. This effect can cause errors in positioning of some centimeters reaching even the meters. This paper was retained to examine the determination of the coordinates of a point located in an environment highly prone to reflection of GPS signals, in what is seen as effectively coordinated compared with coordinates obtained from two days of GPS processed with different masks for elevation.

1 INTRODUÇÃO

A antena GPS recebe, além de sinais diretos do satélite, sinais oriundos de reflexões de superfícies próximas. Tal efeito é conhecido como multicaminho, sendo considerado uma das principais fontes de erros das medidas GPS.

Segundo Farret (2000) e Barbieri et al. (2006), este efeito atua na fase da portadora, ocasionando erros nas medidas de código, fase e SNR (e/ou C/No – razão densidade ruído/portadora). A chegada de mais de um sinal gera problemas na detecção do pico da função de correlação (correlação máxima = 1) entre o sinal que chega a antena e sua réplica gerada no receptor, ocasionando um erro na distância receptor-satélite medida (BROWN e HWANG, 1992 *apud* FARRET, 2000), fornecendo assim, medidas de fase alteradas.

O multicaminho é causado por reflexões do sinal em superfícies relativamente próximas ao receptor, como construções, carros, árvores e colinas (MONICO, 2000). Os sinais refletidos se sobrepõem aos sinais de caminho direto na antena, podendo alterar

significativamente o sinal em amplitude e fase, por possuírem um tempo mais longo de propagação.

O fenômeno multicaminho causa então, um retardo nos sinais refletidos, fazendo com que as distâncias percorridas pelos mesmos sejam mais longas do que as vindas de sinais diretos. Assim, este se mostra como a maior fonte de erros nos posicionamentos de alta precisão, não sendo atenuado nem pelo método relativo (Dupla Diferença) (Figura 1), que proporciona a redução de erros de relógios dos satélites e de influências atmosféricas e orbitais (SOUZA, 2004).

A intensidade do efeito de multicaminho está relacionada diretamente com o objeto refletor e a distância que este se localiza da antena. Materiais com índices altos de reflexão, como metais, tendem a causar maiores efeitos de multicaminho.

O multicaminho depende ainda das propriedades elétricas do ambiente em que se localiza a antena, bem como das propriedades físicas do entorno, ou seja, está sujeito a refratividade do ambiente, das características da antena e do objeto refletor.

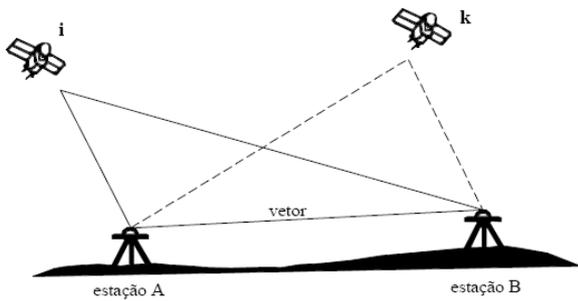


Figura 1 – Dupla diferença.
Fonte: Freiberger, 2007.

O sinal refletido sempre será menor que o sinal direto, tendo módulo menor que 1. A diferença entre o sinal direto e o sinal indireto é proporcional ao comprimento do caminho percorrido entre o satélite e o receptor (HOFMANN-WELENHOF, 1994 apud BARBIERI et al., 2006).

Os coeficientes de reflexão podem ser decompostos em coeficientes de reflexão horizontal e vertical, sendo obtidos por meio das fórmulas apresentadas por Gonçalves e Walter (2005):

$$\Gamma_H = \frac{\sin \theta - \sqrt{\epsilon - \cos^2 \theta}}{\sin \theta + \sqrt{\epsilon - \cos^2 \theta}} \quad (1)$$

e

$$\Gamma_V = \frac{\epsilon \cdot \sin \theta - \sqrt{\epsilon - \cos^2 \theta}}{\epsilon \cdot \sin \theta + \sqrt{\epsilon - \cos^2 \theta}} \quad (2)$$

Onde

$$\epsilon = \epsilon_r - j \cdot 60 \cdot \lambda \cdot \sigma \quad (3)$$

Sendo:

ϵ : permissibilidade elétrica do material sobre o qual o sinal foi refletido;

ϵ_r : permissibilidade relativa;

λ : comprimento de onda;

θ : ângulo de incidência;

σ : condutividade;

j : $\sqrt{-1}$

O efeito de multicaminho pode ser classificado em três categorias: reflexão especular, reflexão difusa e difração (Figura 2).

Após a reflexão, os sinais GPS, antes circularmente polarizados, se tornam elípticos. Isso ocorre devido ao coeficiente de reflexão linear vertical ser diferente do coeficiente horizontal em virtude do ângulo de incidência.

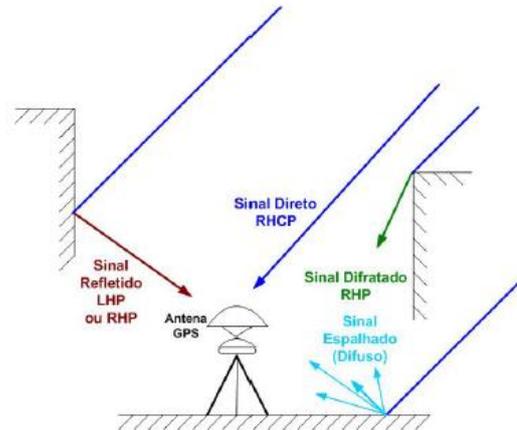


Figura 2 – Multicaminho: reflexão especular, reflexão difusa e difração.
Fonte: Gonçalves e Walter, 2005.

As antenas GPS são projetadas para receber apenas os sinais circularmente polarizados à direita. Os sinais circularmente polarizados a esquerda ou as componentes opostas são rejeitadas, sendo o critério de rejeição dependente da tecnologia usada para a sua implementação.

O sinal refletido é sempre mais fraco que o sinal direto devido à atenuação no objeto refletor. Esta atenuação depende do material do refletor, do ângulo incidente de reflexão e da polarização do sinal. Em geral, reflexões com ângulos de incidência muito baixos praticamente não sofrem atenuações. Esta é uma das explicações para o fato de satélites de órbitas de elevações baixas gerarem fortes incidências de multicaminho, ou seja, estarem mais sujeitos a refletirem saliências das edificações e construções próximas ao horizonte. (LEICK, 1995, apud SOUZA, 2004).

Nesse sentido o efeito de multicaminho é um grande implicador no posicionamento GPS, podendo impedir que as ambigüidades sejam resolvidas ou gerar uma solução errônea. O que se propõe neste trabalho, portanto, é a análise de como as propriedades físicas do entorno e a refratividade do ambiente influenciam no posicionamento GPS.

2 EXPERIMENTO

Este artigo visa analisar a influência do efeito de multicaminho em um marco geodésico implantado no interior de uma edificação. Esse marco, denominado M_Astro, está localizado no prédio da 1ªBCALBR, anexo ao observatório astronômico Camil Gemael, no campus do Centro Politécnico - Universidade Federal do Paraná, em Curitiba (Figura 3).



Figura 3 – Prédio da 1ªBCALBR, local no qual está implantado o marco utilizado nos experimentos.

Foram avaliados os dados coletados com um receptor geodésico de dupla frequência, Receptor Leica GPS900 e antena Leica ATX900 (Figura 4), dados esses obtidos no dia 9 de julho de 2008, com tempo de rastreamento de 9h e 33min e no dia 11 de julho do mesmo ano, com tempo de rastreamento de 11h e 30min, sendo estes denominam-se Rastreamento 1 e Rastreamento 2 respectivamente.



Figura 4 – Receptor Leica GPS900 e antena Leica ATX900.

Fonte: Leica Geosystems, 2008.

A coleta dos dados foi realizada com o telhado da edificação aberto. As portas de acesso à sala permaneceram fechadas durante o experimento, como pode ser observado na Figura 5.

O método de posicionamento GPS relativo estático foi empregado na determinação das coordenadas do marco, sendo o intervalo de gravação utilizado de 1 segundo. Já o processamento dos dados brutos foi realizado no software Leica Geo Office - LGO, utilizando máscaras de 0°, 50°, 60° e 70° para determinação das coordenadas do mesmo. Sendo que a máscara de 0° não foi utilizada para a captação de

satélites no horizonte da antena, mas sim para a captação dos sinais oriundos da reflexão nas paredes e outros objetos que se encontravam no seu entorno.



Figura 5 – Marco M_Astro no interior do prédio 1ªBCALBR.

As coordenadas obtidas desses processamentos foram comparadas com as coordenadas geodésicas precisas do marco, definida pelo de transporte de coordenadas utilizando o Método dos Três Tripés, proposto pelo Prof. Dr. Pedro Luís Faggion, maiores informações podem ser encontradas em Faggion e Veiga (2008).

2.2 Análises e Resultados

Uma pré-análise da qualidade dos dados brutos, estes advindos dos posicionamentos estáticos referentes aos 2 dias de rastreamento, foi realizada através dos arquivos RINEX, utilizado para isso o módulo QC TEQC, do software livre TEQC - Translate Edit Quality Check, desenvolvido pela Universidad Navstar Consortium (UNAVCO) em ambiente MS-DOS. A variação média dos erros de multicaminho de cada arquivo de dados brutos pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação dos dados coletados nos dois dias de rastreamento

Data do Rastreamento	Varição Média do Erro de Multicaminho na Onda Portadora L1	Varição Média do Erro de Multicaminho na Onda Portadora L2
9/7/2008	0,492125 m	0,924994 m
11/7/2008	0,448513 m	0,593164 m

Através do software LGO pode-se visualizar o período em que realmente houve coleta de dados. Na Figura 6, percebe-se que no dia 9 de julho, das 9h e 33min de rastreamento total, nota-se que o tempo efetivo de coleta de dados foi inferior a esse período. Isso se deve

ao fato de que o local onde a antena se encontra permite somente visualização de satélites com elevação alta, superior a 35°.

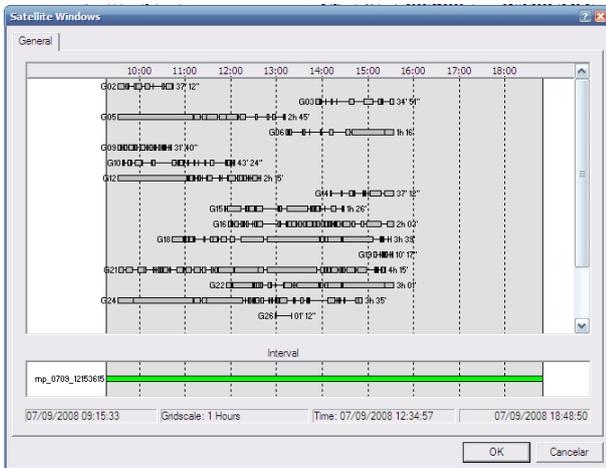


Figura 6 – Satélites captados no rastreo - dia 10 de julho de 2008.

No rastreo 2, o período de coleta de dados também foi inferior as 11h e 30min de rastreo total, e somente satélites que apresentaram elevação superior a 35° foram captados (Figura 7).

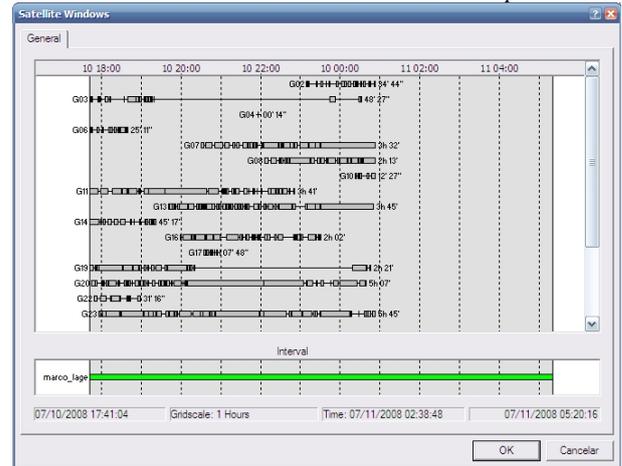


Figura 7 – Satélites captados no rastreo - dia 11 de julho de 2008.

Na Figura 8, pode-se observar a variação da elevação do satélite 06 no rastreo 1, que foi de aproximadamente 57° a aproximadamente 70°. Analisando-se a Figura 9, percebe-se que a variação de multicaminho na onda portadora L1 decresceu a medida que a elevação do satélite aumentou. Até o satélite atingir a elevação de 60° ele está mais propenso a ter o sinal refletido nas paredes, consequentemente, a variação do multicaminho é elevada, chegando a ser superior a 1m. À medida que a elevação do satélite aumenta os sinais tendem a incidir diretamente sobre a antena não sofrendo qualquer tipo de reflexão.

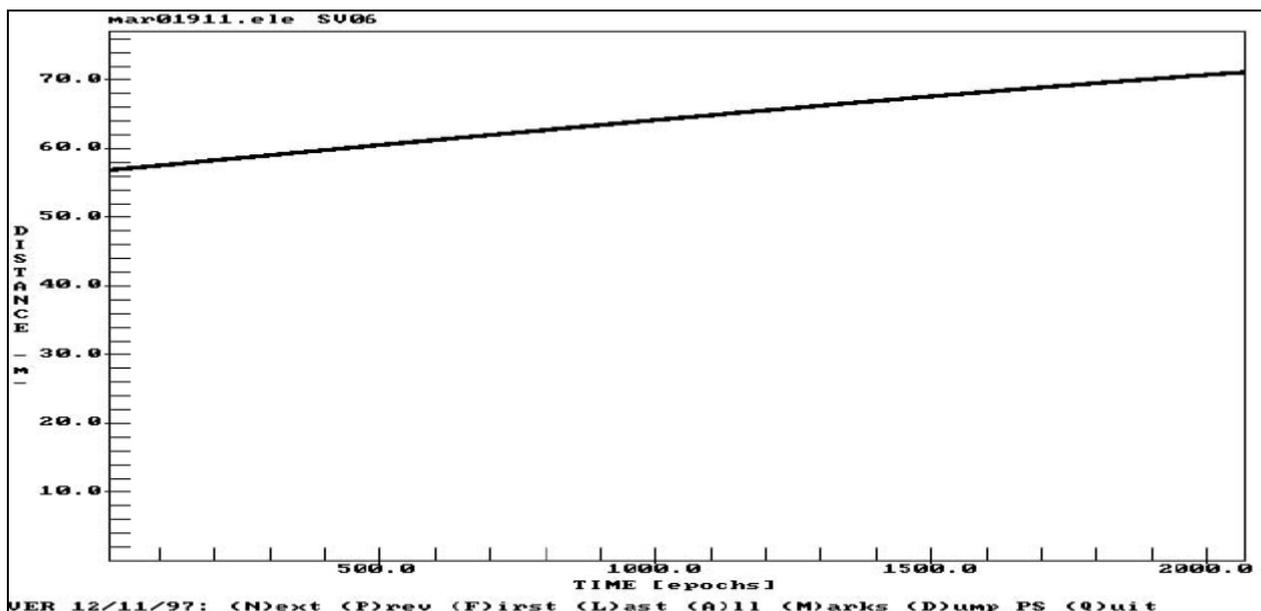


Figura 8 – Elevação do satélite 06 - dia 09 de julho de 2008.

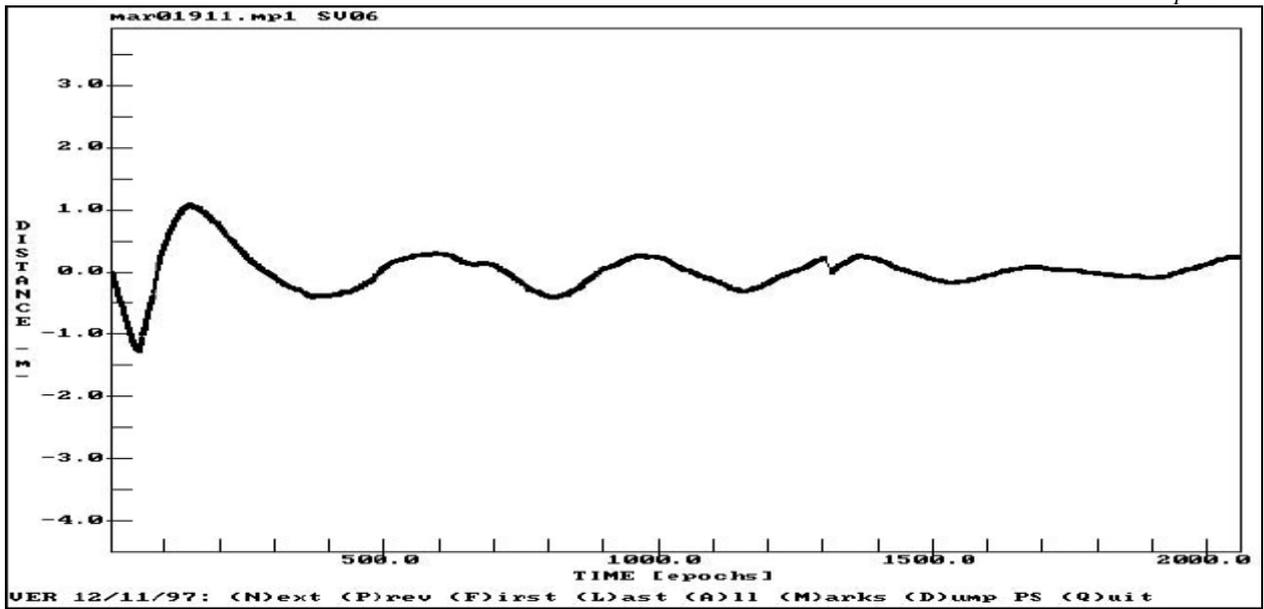


Figura 9 – Variação do efeito de multicaminho na onda portadora L1 para o satélite 06 - dia 09 de julho de 2008.

Na Figura 10, essa situação pode ser confirmada, o satélite 14 passou a ser rastreado somente após atingir elevação superior a 35°. À medida que a elevação do satélite aumentou a variação do multicaminho na onda portadora L1 diminuiu, porém, essa se manteve em torno de 50 centímetros durante o período, como pode ser observado na Figura 11.

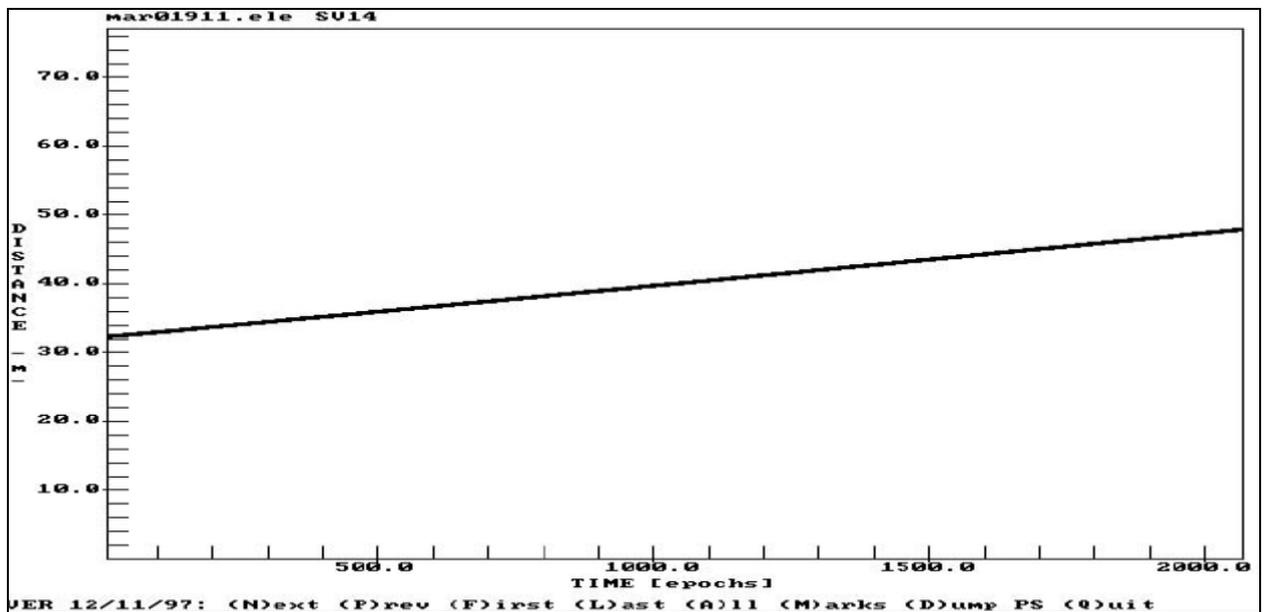


Figura 10 – Elevação do satélite 14 - dia 09 de julho de 2008.

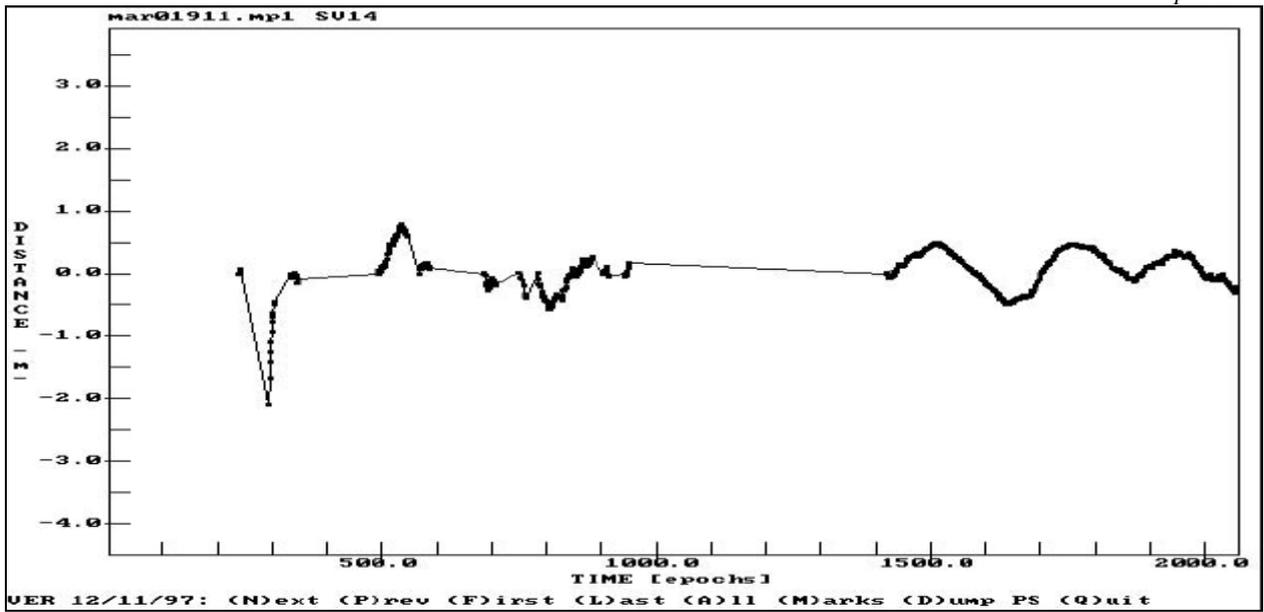


Figura 11 – Variação do efeito de multicaminho na onda portadora L1 para o satélite 14 - dia 09 de julho de 2008.

A variação do efeito do multicaminho está relacionada, no caso desse experimento, diretamente com a variação da elevação dos satélites. Em decorrência do marco, no qual a antena foi posicionada, estar locado no interior de uma edificação, somente sinais de satélites com elevação superior a 35° foram captados. Os sinais de satélites captados com elevação entre 35° e 60° apresentaram um valor elevado de variação do multicaminho nas ondas portadoras L1 e L2, como por exemplo, na onda portadora L2 houve variação de alguns poucos centímetros a aproximadamente 15 metros (Figura12).

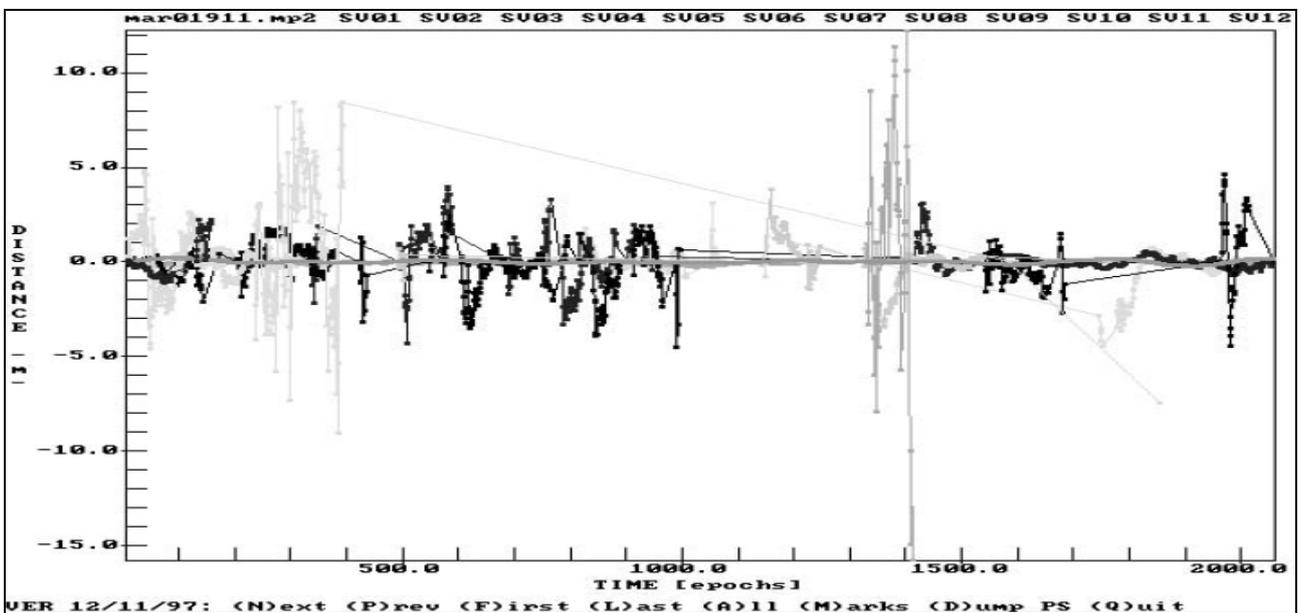


Figura 12 – Variação do efeito de multicaminho na onda portadora L2 para todos os satélites captados no rastreamento 1.

De posse das coordenadas do marco determinadas por rastreamento GPS, estas foram comparadas com coordenadas consideradas padrão (obtidas através de transporte de coordenadas), a partir dessa comparação pode-se avaliar possíveis discrepâncias, logo, quantificar o quanto o multicaminho influenciou na determinação das coordenadas desse marco. Na Tabela 2, pode-se verificar as diferenças encontradas entre as coordenadas.

Tabela 2 – Diferenças resultantes da comparação das coordenadas

Data - Rastreo	$\Delta\phi$ (m)	$\Delta\lambda$ (m)	Δh (m)	Solução do Processamento	Máscara de Satélites
09/7/2008 - Rastreo 1	0,824666	1,926757	0,5683	Fixa	0°
09/7/2008 - Rastreo 1	0,564077	1,413993	1,6474	Fixa	50°
09/7/2008 - Rastreo 1	0,547175	1,400173	1,7429	Fixa	60°
09/7/2008 - Rastreo 1	1,517009	1,66135	-8,078	Flutuante	70°
11/7/2008 - Rastreo 2	0,517367	1,445018	1,4232	Fixa	0°
11/7/2008 - Rastreo 2	-1,07935	2,770364	-5,6307	Fixa	50°

O Gráfico 1, mostra a variação das coordenadas encontradas no processamento dos dados brutos utilizando diferentes máscaras de elevação dos satélites. O processamento utilizando máscara de 0° permitiu que todos os satélites rastreados fossem utilizados no processo, dessa forma os satélites entre 35° e 60° influenciaram com variações elevadas de multicaminho na determinação das coordenadas. Com o aumento do valor da máscara de elevação, a influência dos sinais mais afetados pelo efeito de multicaminho, diminui, no entanto, o número de satélites também diminui, deixando assim, a geometria pobre, o que afetou o valor final da coordenada.

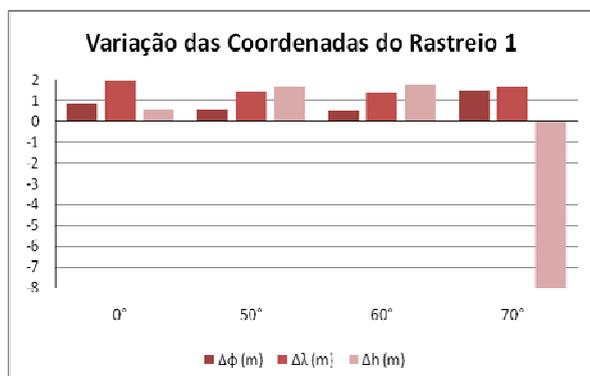


Gráfico 1 – Variação das coordenadas do Rastreo 1.

3 CONCLUSÕES

Como pode ser verificado nesse trabalho o efeito de multicaminho pode gerar uma solução errônea da posição de um elemento. O caso analisado possui grande influência desse efeito, pois o entorno da antena era extremamente favorável a reflexão de sinais advindos das paredes, dos objetos metálicos localizados no interior da sala, das portas metálicas e também dos outros objetos de madeira.

Para posicionamento de precisão o efeito de multicaminho é um dos maiores implicadores, já que este não pode ser reduzido através do método de

posicionamento relativo. Em condições normais de rastreo o efeito de multicaminho poderá não gerar erros métricos como aconteceu nesse experimento, mas afetará de alguma forma as coordenadas. Devido a isso é essencial para posicionamentos de precisão a análise do entorno de onde a antena será posicionada, além da opção por antenas que possuam planos de terra, ou preferencialmente a utilização de antenas do tipo *choke ring*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao professor Prof. Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira pelas sugestões e correções e aos Laboratório de Geodésia Espacial – LAGE e Laboratório de Instrumentação Geodésica – LAIG pelo uso das instalações e por todo o apoio técnico.

REFERÊNCIAS

AXEALRAD, P.; COMP, C. J.; MACDORAN, P. F. SNR-Based multipath error correction for GPS differential phase. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 1996, V. 32, p. 650-660.

BARBIERI, M. J.; FARRET, J. C.; MORAES, C. V.; CARNEIRO, M. Ruído, multicaminho e ângulo de elevação: qual a melhor máscara para trabalhos com GPS? *Revista Geomática*. Santa Maria, 2006, V.1, n.1.

FAGGION, P. L.; VEIGA, L. A. K. *Altimetria, gravimetria e poligonação. Levantamentos Geodésicos I*. Notas de aula. Disponível em: <http://www.cartografica.ufpr.br/docs/levgeod1/alt_gra_v_polig.pdf>. Acesso em: junho, 2008.

FARRET, J. C. *O efeito do multicaminho estático nas medidas da fase das portadoras GPS*. 2000. 132 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FREIBERGER JUNIOR, J. **Investigações para a calibração relativa de antenas de receptores GNSS.** 2007. Tese (Doutorado em Ciências Geodésias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

GONÇALVES, A. S.; WALTER, F. **Análise da reflexão especular do sinal do multicaminho.** Divisão de Engenharia Eletrônica - Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. São José dos Campos, SP – Brasil, 2005.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying.** 2ª Edition. Wiley-Interscience Publication, 1995.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR - GPS: Descrição, fundamentos e aplicações.** São Paulo: UNESP, 2000. 287 p.

SOUZA, M. E. **Efeito de multicaminho de alta frequência no posicionamento relativo GPS estático: Detecção e atenuação utilizando Wavelets.** 2004. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.