

ANÁLISE DA QUALIDADE DO EFEITO MULTICAMINHO EM ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DA REDE GNSS/SP

ADÉLITON DA FONSECA DE OLIVEIRA¹, FABRICIO DOS SANTOS PROL², DANIELE BARROCA MARRA ALVES³

Universidade Federal do Paraná – UFPR¹
Departamento de Geomática, Curitiba - PR
adeliton_oliveira@hotmail.com

Universidade Estadual Paulista – UNESP^{2,3}
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT
Departamento de Cartografia, Presidente Prudente - SP
fabricioprol@hotmail.com
danibarroca@yahoo.com.br

RESUMO - As estações da rede GNSS/SP disponibilizam dados de qualidade em tempo real ou no modo pós-processado. No entanto, esses dados estão sujeitos a erros sistemáticos que afetam o posicionamento, dentre eles o efeito multicaminho. Neste trabalho foi avaliado o efeito multicaminho nas ondas portadoras L1 e L2, dos dados das estações PPTE, NEIA, OURI e UBAT, pertencentes à rede GNSS/SP. A análise de qualidade dos dados GNSS foi feita com base no software TEQC, cujo módulo QC permite ao usuário quantificar o efeito multicaminho para cada estação em particular. Ao analisar o efeito multicaminho foi possível determinar as estações que apresentaram maiores variações mediante a troca dos receptores e antenas.

Palavras chave: multicaminho, rede GNSS/SP, TEQC.

ABSTRACT – The GNSS/SP network stations provide quality data in real time or post-processed mode. However, these data are subject to systematic errors that affect the positioning, including the multipath effect. In this paper the multipath effect was analyzed in L1 and L2 carriers from PPTE, NEIA, OURI and UBAT stations of GNSS/SP network. The TEQC software was used to analyze the GNSS data quality, in this software the QC module permits the user to quantify the multipath effect. Analyzing the effect of multipath was possible to determine the stations that had greater variations after the exchange of receivers and antennas.

Key words: multipath, GNSS/SP network, TEQC.

1 INTRODUÇÃO

O *Global Navigation Satellite System (GNSS)*, responsável por integrar os diversos sistemas de posicionamento global, é uma das tecnologias mais utilizadas no posicionamento geodésico. No entanto, suas observáveis (fase da onda portadora e pseudodistância) são afetadas diretamente, pelas principais fontes de erros sistemáticos que atuam sobre o sistema (efeitos atmosféricos, efeito de multicaminho, sinal ruído, centro de fase da antena, dentre outros).

Uma forma de minimizar ou eliminar a influência de tais erros é a aplicação do posicionamento baseado em redes de estações de referência. Entretanto, segundo MAREL (1998), os erros provenientes do efeito multicaminho não são modelados. O que implica na adoção de técnicas especiais para minimizar o efeito,

como por exemplo, evitar objetos refletores ao redor da antena, realizar calibração de antenas, aplicar filtros computacionais ou utilizar antenas tipo *choke ring* ou *pinwheel* (SEEBER, 2003).

Nos dias atuais, algumas estações que compõe a rede GNSS Ativa do Oeste do estado de São Paulo estão vinculadas a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo). Tendo em vista o grande número de aplicações em que a rede GNSS/SP é empregada, torna-se importante fornecer indicadores de qualidade de seus dados de forma que seja possível avaliar seu funcionamento e permita aos seus usuários empregar tais informações no planejamento de suas atividades (IBGE, 2011). O efeito multicaminho não pode ser eliminado dos dados GNSS, porém com o monitoramento contínuo dos dados da rede em longo período de tempo é possível modelar o seu comportamento.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo analisar os indicadores de qualidade do efeito multicaminho das estações OURI, UBAT e UBA1, PPTE e NEIA da rede GNSS/SP em períodos de troca de antenas e receptores e para os dias atuais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O receptor GNSS recebe além dos sinais que chegam de forma direta, sinais refletidos que chegam de forma indireta, no receptor (POLEZEL et al., 2004). O efeito multicaminho depende das propriedades do ambiente, bem como das propriedades físicas do entorno, ou seja, depende da refratividade do ambiente, das características da antena e dos objetos refletos (MONICO, 2008).

O efeito de multicaminho é oriundo de três tipos de reflexão: especular polarizada à esquerda (LHP) ou polarizada à direita (RHP), difusa e da difração (FIGURA 1). O multicaminho especular afeta cerca de 90% das medidas de fase da onda portadora, sendo um tema pertinente no campo de geodesia espacial (COMP e AXELRAD, 1996).

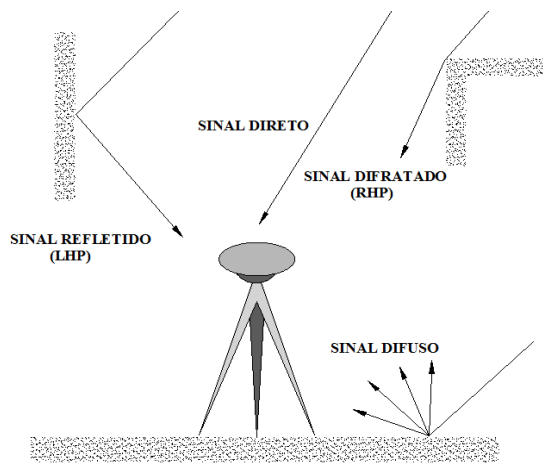


Figura 1 – Formas de multicaminhos possíveis de recepção por uma antena GPS.

Fonte: Adaptado de Gonçalves e Walter (2005).

Esse erro pode variar desde alguns centímetros a vários metros, fato este dependente da quantidade de obstruções na área de levantamento e da superfície do material incidente (RAY, 1999). O atraso na fase da onda portadora devido ao multicaminho acarreta erros de no máximo ¼ de ciclo de onda (SOUZA, 2004) (Tabela 1).

Tabela 1 – Valor aproximado dos erros gerados por multicaminho para as ondas portadoras do satélite.

Fase da onda portadora	Erro aproximado (cm)
L1	4,8
L2	6,1

Fonte: Monico (2008)

A geometria de propagação do efeito multicaminho muda lentamente no posicionamento estático. Com o receptor fixo em um ponto e o ambiente inalterado, o erro de multicaminho muda somente devido ao movimento do satélite. A coleta de dados em um ponto por pelo menos 24 horas, permite haver repetição na geometria do satélite e com a análise destes dados, pode-se detectar erros provenientes de multicaminho (LEANDRO, 2009).

3 METODOLOGIA

A seguir será discutida a metodologia empregada no desenvolvimento desta pesquisa. As seções 3.1 e 3.2 descrevem a área de estudo, assim como a escolha dos dias para a realização da coleta dos dados amostrais. Na seção 3.3 é mostrado um breve histórico de mudanças nas antenas e receptores das estações. Na seção 3.4 é discutida a forma com que os dados foram processados no módulo QC do software TEQC (*Translate Edit Quality Check*). Na seção 4 são mostrados os resultados e as análises da qualidade dos mesmos.

3.1 Área de estudo

A rede GNSS/SP é composta por 15 estações de monitoramento contínuo (Figura 2) com receptores de dupla frequência (L1 e L2), sendo que parte delas encontram-se homologadas pelo IBGE e pertencem à RBMC.

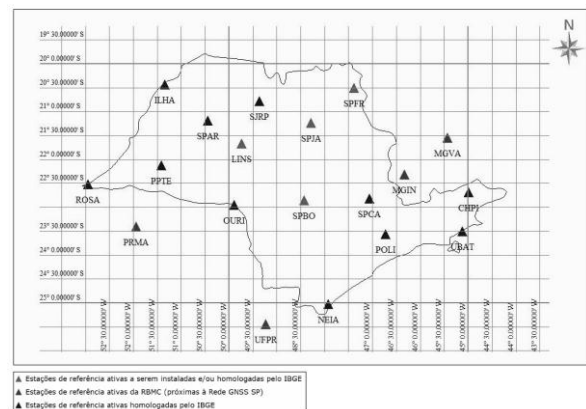


Figura 2 – Distribuição das estações da rede GNSS/SP.

Fonte: GEGE (2012) (gege.fct.unesp.br).

A configuração geométrica da rede foi elaborada de maneira a possibilitar o posicionamento baseado em redes de estações de referência para todo o estado de São Paulo. Os dados brutos das estações são enviados continuamente ao centro de controle do Laboratório de Geodésia Espacial da FCT/UNESP em Presidente Prudente.

3.2 Coleta dos dados da rede GNSS/SP

No ano de 2009 e 2010, alguns receptores da rede GNSS/SP apresentaram defeito ou falha no envio de dados. Esses receptores foram substituídos por equipamentos modernos, que proporcionam observações de qualidade aos usuários da rede.

Os dados GNSS utilizados neste experimento correspondem aos dias 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230 e 231 dos anos 2009, 2010 e 2011. Os dados coletados em 2009 correspondem à época antes da troca dos receptores, exceto para a estação OURI que ocorreu em 2010. Os dados coletados para os dias de 2010 e 2011 correspondem a épocas após a troca dos receptores, sem exceção. No ano de 2012 foram coletados dados para os dias 15, 16, 17, 18, 118, 119, 120, 121, 122 e 123 com a finalidade de avaliar o impacto do efeito do multicaminho nas estações para os dias atuais.

3.3 Antenas e receptores

Os receptores geodésicos e antenas que equipam as estações da rede GNSS/SP utilizadas no desenvolvimento desta pesquisa são mostrados na Tabela 1. Sendo assim, são apresentados os receptores e antenas antes e depois da troca.

Tabela 1 – Receptores e antenas GNSS antes e depois da substituição.

Estação	Receptor Antes	Receptor Depois	Antena Antes	Antena Depois
UBAT UBA1	4000SSI	NetR8	DORNE MARGOLIN T	GNSS Choke Ring
PPTE	NetR5	NetR8	ZEPHIR GEODETIC	GNSS Choke Ring
OURI	NetRS	NetR5	ZEPHIR GEODETIC	GEODETIC Model 2
NEIA	4000SSI	NetR8	DORNE MARGOLIN T	GNSS Choke Ring

Esta troca de receptores e antenas foi efetuada no dia 07, 10 e 11 de setembro do ano de 2009 para as respectivas estações PPTE, UBAT e NEIA. Além do receptor e da antena, UBAT mudou para UBA1, que passou a se localizar no marégrafo do Instituto de Oceanografia (IO) da USP. Na estação OURI, a troca dos equipamentos ocorreu no dia 23 de setembro de 2010. Após esta troca, não houve substituição destes equipamentos até os dias atuais.

3.4 TEQC

Na análise da qualidade dos dados utilizou-se o *software* livre TEQC, elaborado e disponibilizado pela Universidade *Navstar Consortium* (UNAVCO, 2010). O TEQC opera em ambiente MS-DOS, por meio de linhas de comando. Foram utilizados arquivos no formato RINEX tanto de navegação quanto de observação. O processamento com o TEQC permite quantificar diversas

informações além do efeito multicaminho nas portadoras L1 (MP1) e portadora L2 (MP2), dentre elas: atraso do sinal ionosférico, ângulo de elevação, azimute do satélite, razão sinal/ ruído e etc.

4 RESULTADOS

Através dos arquivos RINEX das estações, calcularam-se os valores MP1 e MP2 para a observável fase da onda portadora (L1 e L2). Fez-se então a comparação dos resultados entre os anos 2009 e 2010, descritos nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 – Valores MP1 e MP2 antes da troca de antena/receptor.

2009 D/ano	UBAT (cm)		PPTE (cm)		OURI (cm)		NEIA (cm)	
	MP1	MP2	MP1	MP2	MP1	MP2	MP1	MP2
223	70,33	129,33	34,19	42,10	30,90	32,37	28,70	95,62
224	69,96	129,04	33,97	41,43	31,00	32,11	28,81	98,22
225	69,26	125,89	34,46	42,98	30,84	30,85	28,24	100,17
226	68,89	129,43	33,94	42,23	30,54	31,84	28,19	97,77
227	69,08	128,93	33,83	40,98	32,50	31,69	28,38	96,22
228	70,54	131,99	34,47	41,10	32,23	31,17	28,57	97,96
229	69,59	129,65	34,17	42,21	31,90	32,11	28,85	98,40
230	70,04	124,53	35,14	43,78	32,54	32,14	28,56	94,28
231	71,64	124,53	34,85	43,77	32,05	30,99	28,73	97,43
232	71,03	125,97	34,94	45,64	31,72	33,86	28,81	97,86
Média	70,04	127,93	34,40	42,62	31,62	31,91	28,58	97,39

Analisando a Tabela 2, percebe-se a semelhança nos valores MP1 das estações PPTE, OURI, NEIA, porém MP2 apresenta variações significativas. Segundo Castro (2002) isso ocorre, provavelmente, porque as técnicas e algoritmos utilizados pelos fabricantes para acessar as portadoras são diferentes, bem como a influência do próprio multicaminho na estação.

Tabela 3 – Valores MP1 e MP2 após troca de antena/receptor.

2010 D/ano	UBA1 (cm)		PPTE (cm)		OURI (cm)		NEIA (cm)	
	MP1	MP2	MP1	MP2	MP1	MP2	MP1	MP2
223	43,34	51,23	38,57	36,79	32,75	31,58	27,11	29,30
224	42,64	48,27	36,95	35,03	32,73	31,00	27,25	28,89
225	40,40	45,99	35,95	38,91	32,35	31,84	27,41	29,29
226	41,72	47,30	34,25	37,38	32,25	31,56	27,16	29,44
227	43,58	48,63	37,96	39,72	32,50	31,70	27,78	29,63
228	45,36	49,75	37,75	35,89	32,23	31,20	27,18	29,41
229	43,10	47,21	35,46	37,25	31,90	32,10	27,32	30,11
230	46,29	51,17	35,28	36,24	32,54	32,10	27,13	29,90
231	42,33	47,65	33,62	37,59	32,05	31,00	27,23	29,70
232	40,36	50,18	33,67	37,84	31,96	31,20	27,08	29,20
Média	42,91	48,74	35,95	37,26	32,33	31,53	27,26	29,49

De acordo com as tabelas 2 e 3, é possível notar que com a troca do receptor 4000SSI para o NetR8, juntamente com a troca da antena DORNE MARGOLIN T para a GNSS CHOKE RING, ocorreu uma melhora contundente nos resultados dos valores MP2 de UBAT, com redução média de 79,19 cm. Para NEIA, a redução do MP2 também foi significativa, uma média de 67,90

cm. Como os valores MP1 de NEIA mostraram pouca diferença após a troca, há razões para acreditar que a melhora nos valores de UBA1 para UBA1 foram devidas à mudança de ambiente, com redução média de 27,13 cm.

No entanto, com a substituição da antena ZEPHIR GEODETIC para a antena Trimble GNSS CHOKE RING junto a troca do receptor NetR5 para NetR8, a estação PPTE apresentou um aumento de em média 1,55 cm para a portadora L1 e redução de 5,36 cm para a portadora L2.

Na estação OURI, não houve substituição de equipamentos nesta época, sendo possível perceber a baixa discrepância entre os valores MP1 e MP2 para os dois anos de observação.

A seguir, a Tabela 4 mostra os valores de MP1 e MP2 para as estações referentes ao ano de 2011. É importante frisar que os dados da estação UBA1 não estavam disponíveis nesta época, sendo desconsiderada a análise da mesma.

Tabela 4 – Valores MP1 e MP2 para o ano de 2011.

2011 D/ano	PPTE (cm)		OURI (cm)		NEIA (cm)	
	MP1	MP2	MP1	MP2	MP1	MP2
223	71,94	48,83	51,52	37,38	46,05	34,31
224	74,25	45,55	51,99	35,91	45,67	34,54
225	69,72	45,76	52,97	35,77	45,94	34,35
226	70,03	44,30	52,40	36,89	45,45	34,41
227	70,13	46,46	51,27	36,88	45,29	34,33
228	74,41	45,01	51,21	37,26	45,49	34,68
229	77,65	44,92	51,52	36,88	45,75	34,66
230	81,86	45,50	51,66	35,87	45,53	34,50
231	68,18	45,38	52,97	37,63	45,35	34,86
232	72,41	44,25	54,59	37,72	45,81	35,08
Média	73,06	45,60	52,21	36,82	45,63	34,57

Os resultados analisados em 2011 são significativos, sendo que houve aumento do efeito multicaminho em praticamente todas as estações analisadas.

A estação PPTE apresentou aumento entre os anos de 2010 e 2011, sendo em média 37,11 cm para portadora L1 e 8,34 cm para a portadora L2. Na estação NEIA houve aumento de em média 18,37 cm para a portadora L1 e 5,08 cm para a portadora L2.

Na estação OURI também ocorreu um aumento contundente com a troca do receptor NetRS para o NetR5 junto a troca da antena ZEPHIR GEODETIC para a antena GEODETIC Model 2, sendo em média um acréscimo de 19,88 cm na portadora L1 e 5,29 cm para a portadora L2. Segundo o relatório de análise dos dados da RBMC do IBGE (2006 a 2010), este acréscimo é possivelmente devido ao receptor novo não ter sido configurado para suavizar as observáveis das ondas portadoras e dos códigos.

A Tabela 05 contém os dados das estações referentes a dias do ano de 2012.

Tabela 5 – Valores MP1 e MP2 para o ano de 2012

2012 D/Ano	PPTE (cm)		OURI (cm)		NEIA (cm)	
	MP1	MP2	MP1	MP2	MP1	MP2
15	87,60	82,60	91,30	68,80	59,60	60,60
16	80,60	94,80	56,60	42,10	48,30	39,10
17	78,60	63,60	57,30	64,50	66,10	66,50
18	83,90	60,40	63,90	51,20	59,90	57,40
118	71,99	51,45	29,70	30,15	46,56	36,10
119	71,06	50,97	30,98	30,12	46,03	34,87
120	76,54	51,06	31,59	31,25	45,86	34,90
121	72,83	48,42	30,32	30,52	45,74	35,05
122	70,95	49,29	30,16	29,55	45,91	34,90
123	72,02	48,63	30,21	31,69	45,77	36,54
Média	76,61	60,12	45,21	40,99	50,98	43,60

Na comparação da Tabela 5 (2012) com a Tabela 4 (2011), observa-se que os valores MP2 de PPTE tiveram um aumento de em média 14,52 cm. Esta diferença teve um alto valor em função de um pico no efeito do multicaminho para os dias 15, 16, 17 e 18. Porém, ainda assim, percebem-se valores elevados para os outros dias da análise. Este aumento pode se dar em função de mudanças no ambiente, como por exemplo, o crescimento de árvores ao redor da estação.

De forma semelhante à estação PPTE, em OURI e NEIA, encontram-se valores de MP1 e MP2 muito elevados para os dias 15, 16, 17, 18, porém mais baixos, em relação a 2011, para os outros dias da análise.

Na Figura 3, é possível verificar as variações encontradas entre os anos de 2009/2010, 2009/2011 e 2009/2012 para o multicaminho na portadora L1 (MP1).

A Figura 3 ilustra graficamente as variações médias do efeito multicaminho na portadora L1 (MP1).

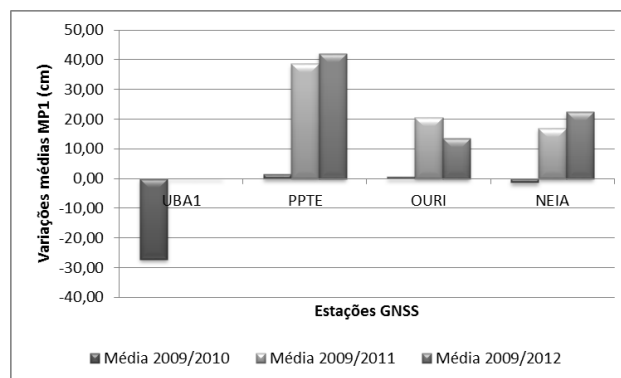


Figura 3 – Variações médias do MP1 para a portadora L1

É possível notar que dentre as estações analisadas, PPTE apresentou aumento significativo para as três épocas de observação, sendo a variação mínima de 1,55 cm e máxima de 42,21 cm. A estação UBA1 apresentou menores variações na época de observação 2009/2010, sendo redução significativa de 27,12 cm. A estação OURI apresentou aumento mínimo de 0,70 cm até atingir um pico em 2011 e decrescendo em 2012 para 13,58 cm. Na estação NEIA houve redução inicial de 1,32 cm, aumentando progressivamente para as épocas de observação 2009/2011 e 2009/2012.

A Figura 4 mostra as variações do efeito multicaminho na portadora L2 (MP2) entre os anos de 2009/2010, 2009/2011 e 2009/2012, respectivamente. Nota-se que com a troca de equipamentos, a estação NEIA apresentou reduções significativas para as três épocas de observação, variando de -67,91 cm a 53,80 cm. Na estação UBA1 também foi encontrada variações relevantes para a época 2009/2012, com redução de 79,19 cm.

Maiores variações ocorreram para a estação PPTE seguida da estação OURI, de modo que houve aumento de 17,50 cm na comparação 2009/2012 e 9,08 cm para a estação OURI.

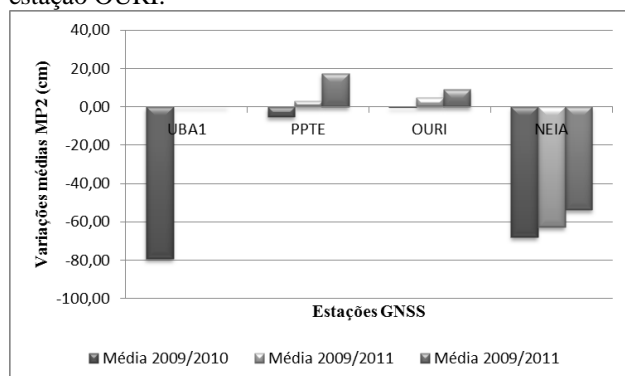


Figura 4 – Variações médias do MP2 para a portadora L2

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada a análise de qualidade do efeito do multicaminho em algumas estações de monitoramento contínuo da rede GNSS/SP. Foram observados os resultados de MP1 e MP2 obtidos com o software TEQC para alguns dias dos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012.

Nas épocas em que houve troca de equipamentos, observou-se melhora significativa para as estações UBA1 e NEIA, onde a troca do receptor 4000SSI para o NetR8, junto a troca da antena DORNE MARGOLIN T para a GNSS CHOKE RING, mostrou uma diferença significativa na minimização do efeito do multicaminho, principalmente na portadora L2 (MP2). A troca de antena e receptor para a estação PPTE mostrou-se eficaz na época 2009/2010, com uma melhora de aproximadamente 5,00 cm em MP2. Porém a estação OURI mostrou uma piora nos valores MP1 e MP2, o que pode ter sido causado por falha na configuração do receptor.

Além das análises para épocas em que houve trocas de equipamentos, observaram-se o comportamento dos dados MP1 e MP2 desde a troca até os dias atuais, sendo que tais resultados podem servir de referência para análises advindas de processamentos de dados futuros.

Para trabalhos futuros serão realizados testes experimentais em longos períodos de tempo, com maior volume de dados nas diferentes épocas de observação. Além de abordar as características técnicas próprias de cada antena e fazer uso de diagramas de obstrução na avaliação da influência do ambiente ao redor das estações.

Deste modo, monitorar o aumento progressivo do efeito multicaminho (MP1 e MP2) sobre as portadoras L1 e L2 nas estações da rede GNSS/SP. É importante destacar que o IBGE também deve monitorar os arquivos provenientes das estações da RBMC com o intuito de fornecer dados de qualidade ao usuário.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao curso de pós-graduação em Ciências Cartográficas da FCT/UNESP pela oportunidade de desenvolver este trabalho. Também ao grupo de pesquisa do LGE (Laboratório de Geodesia Espacial), pela disponibilidade dos arquivos Rinx da rede GNSS/SP na etapa de desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASTRO, A. L. P. **Nivelamento através do GPS: avaliação e proposição de estratégias**. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, 2002.

COMP, C. J.; AXELRAD, P. An Adaptive SNR-Based Carrier Phase Multipath Mitigation Technique. In 9th **International Technical Meeting**, Kansas, 1996.

GEGE (Página on-line do Grupo de Estudo em Geodésia Espacial). Disponível em: <<http://www.gege.fct.unesp.br>>. Acesso em: 05 de maio de 2012.

GONÇALVES, A. S.; WALTER, F. **Análise da Reflexão Especular do Sinal do Multicaminho**. Artigo. Divisão de Engenharia Eletrônica - Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA. São José dos Campos, SP - Brasil, 2005.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Último acesso em: 05 de maio de 2012.

LEANDRO, D. **Investigação do Posicionamento GPS em Ambientes Internos com o Auxílio do Efeito de Multicaminho**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

MAREL, H. van der. Virtual GPS Reference Stations in the Netherlands. In: ION GPS 1998, Nashville, Tennessee. **Proceedings**... 1998.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS. Descrição, Fundamentos e Aplicações**. São Paulo, Editora UNESP, 2008.

POLEZEL, W. G. C.; SOUZA, E. M.; MONICO, J. F. G. Análise dos fatores que influenciam o Multicaminho. In: **COBRAC 2004. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**, UFSC, Florianópolis-SC. Outubro, 2004, 10 f.

RAY, J. K. **Use of Multiple Antennas to Mitigate Carrier Phase Multipath in Reference Stations**. In: International Technical Meeting, 12, 1999, Nashville. Proceedings. Kansas City: The satellite Division of the Institute of Navigation, 1999. p. 269-280.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 586 páginas, 2003.

SOUZA, E. M. **Efeito de Multicaminho de Alta Frequência no posicionamento Relativo GPS Estático: Detecção e atenuação utilizando Wavelets**. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, 2004.

UNAVCO (2010). University NAVSTAR Consortium. TEQC – **Tutorial**. Disponível em <<http://www.unavco.org>>. Último acesso em: 25 de abril de 2012.