

Revista Brasileira de Cartografia (2015) N^o 67/1 59-70
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

USO DE ISOLANTE ELETROMAGNETICO NA ATENUAÇÃO DO EFEITO MULTICAMINHO NO POSICIONAMENTO GPS DE PLATAFORMAS EULERIANAS EM MASSAS DE ÁGUA

*Use of Insulation in Electromagnetic Mitigation in Effect Multipath GPS
Positioning Platform Eulerian Masses in Water*

Anderson Renato Viski¹; Claudia Pereira Krueger¹ & Tobias Bleninger²

¹Universidade Federal do Paraná - UFPR

Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas

Caixa Postal 19001 -Centro Politécnico, Jardim das Américas - 81531-990 Curitiba/PR, Brasil.

anderviski@gmail.com, cpkrueger@ufpr.br

²Universidade Federal do Paraná - UFPR

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental

Caixa Postal 19011 – Jardim das Américas – 81531-990 – Curitiba/PR, Brasil.

bleninger@ufpr.br

Recebido em 13 de Abril, 2014/ Aceito em 23 de Maio, 2014

Received on April 13, 2014/ Accepted on May 23, 2014

RESUMO

O efeito multicaminho é um problema no posicionamento geodésico estático ou cinemático, ele pode causar erros na determinação de coordenadas geodésicas que podem variar de poucos milímetros até metros. Entre as várias técnicas existentes para atenuar este efeito foi desenvolvido, para este fim, um protótipo de um material denominado AEM (Atenuador do Efeito de Multicaminho). Ele visa absorver ondas atenuadas. Nesta pesquisa verificou-se a influência do efeito multicaminho no posicionamento estático e cinemático sobre massas de água doce empregando-se dois métodos para análise da redução deste efeito. Utilizaram-se materiais isolantes eletromagnéticos e antena do tipo Choke Ring, os quais foram acoplados sobre plataformas do tipo Eulerianas.

Palavras chaves: Plataforma Euleriana, GPS, Efeito Multicaminho.

ABSTRACT

The multipath effect is a problem in static or kinematic geodetic positioning; it may cause errors in determining geodetic coordinates which may vary from a few millimeters to meters. Among the various existing techniques to mitigate this effect was developed to this end, a prototype of a material called AEM (Attenuator multipath effect). It aims to absorb waves attenuated. This study verified the influence of the multipath effect on the static and kinematic positioning in freshwater bodies employing two methods for analysis of reducing this effect was used insulating materials and electromagnetic type choke ring antenna, which were coupled to platform the type Eulerian.

Keywords: Eulerian platform, GPS, multipath effect.

1. INTRODUÇÃO

A fim de obter mais informações sobre grandes massas de água, cientistas e pesquisadores vêm aperfeiçoando técnicas e estruturas flutuantes destinados a pesquisas de meio ambiente. Dentre os últimos citam-se plataformas (Bóias ou Flutuadores), as quais permitem a aquisição de dados sobre o meio em estudo conduzindo a análise das mudanças físicas neste meio.

Estas plataformas podem, por exemplo, carregar em sua estrutura instrumentos capazes de determinar a sua trajetória espacial, visando contribuir na obtenção de dados de velocidade e direção de correntes em corpos de água.

Em oceanografia ou em dinâmica de fluidos, observações e coleta de dados por bóias, podem ser feitas de forma Euleriana. Nelas são realizadas medições de um local de observação fixa, por exemplo, uma bóia ancorada no oceano, sendo conhecidas como medidas de Euler ou Euleriana (BARBOSA, 2010).

Quando se utiliza antenas GPS sobre plataformas, instaladas próximas a massas de água pode haver dificuldades na obtenção de coordenadas geodésicas acuradas obtidas pela fase da onda portadora ou pelo código, devido ao erro causado pelo efeito do multicaminho. Ele é um fenômeno pelo qual os sinais emitidos dos satélites podem chegar à antena do receptor via múltiplos caminhos, atribuídos à reflexão de objetos próximos a esta antena e a difração (KRUEGER, 1996).

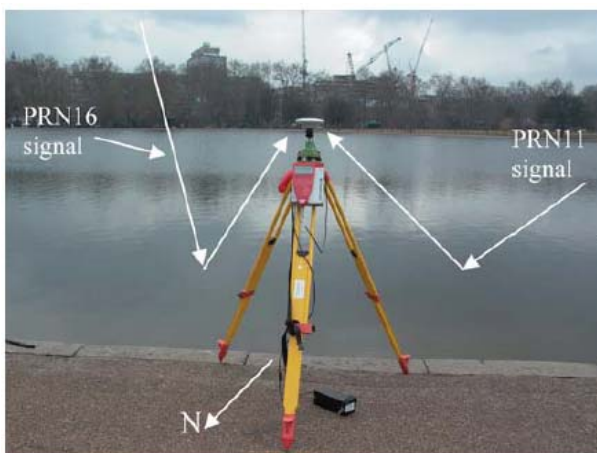


Fig. 1 - Sinal GPS advindo após reflexão pela água.

Fonte: Cross e Lau (2007)

Segundo Ray (1999), o erro decorrente do efeito multicaminho pode variar desde poucos centímetros até metros, dependendo da quantidade de obstruções presentes na área de levantamento e da refratividade da superfície do material que reflete o sinal incidido. Para o caso de massas líquidas o sinal refletido (FIGURA 1) apresenta comportamento semelhante ao de superfícies polidas. Ele sofre uma variação do ângulo de incidência, ou seja, a reflexão do sinal depende da natureza física do meio.

Devido à dimensão dos erros causados pelo efeito de multicaminho, muitos estudos têm sido direcionados para desenvolver técnicas capazes de minimizá-lo.

Sistemas de posicionamento espaciais que trabalham na Banda L, geralmente usam polarização circular (CP – Circular Polarization) de sinais transmitidos e recebidos.

Em razão da estrutura do sinal GPS é necessário considerar a polarização deste sinal. Toda antena GPS deve ser polarizada circularmente à direita (RHCP - *Right –Hand Circularly Polarised*).

Quando um sinal GPS sofre reflexão especular proveniente de uma colisão com uma superfície horizontal, por exemplo: solo ou parede de concreto há uma inversão no sentido do sinal representada pela regra da mão esquerda para a polarização circular (LHCP: *Lefth–Hand Circularly Polarised*).

Ocorre uma mudança de fase de 180 graus induzida pela reflexão (CONSTANTINE, 1988).

Em geral o sinal resultante LHCP atinge a antena abaixo de sua linha de horizonte com uma amplitude superior ao sinal direto RHCP (KUNYSZ, 2013).

Para o caso de superfícies líquidas o sinal GPS pode sofrer reflexão do tipo especular dependendo do ângulo incidente conhecido como ângulo de Brewster (ângulo de coeficiente de reflexão igual à zero) faz com que o sinal GPS sofra uma mudança de polarização.

O ângulo de Brewster é diferente para cada material e é dado por:

$$\theta_b = \tan^{-1} \left(\frac{\delta 1}{\delta 2} \right) = \theta_b = \tan^{-1} \left(\frac{\epsilon 1}{\epsilon 2} \right) \quad (1)$$

Onde:

$\delta 1$ e $\delta 2$: são os índices de refração e,
 $\epsilon 1$ e $\epsilon 2$: correspondem à permissibilidade elétrica dos meios.

Com relação ao vetor campo elétrico em uma polarização circular o mesmo pode ser decomposto em duas componentes (Vertical e Horizontal), equações (2) e (3), respectivamente (GONÇALVES e WALTER, 2005):

- Componente Vertical:

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

Componente Horizontal:

$$\Omega H = \frac{\sin \theta - \sqrt{\epsilon - \cos^2 \theta}}{\sin \theta + \sqrt{\epsilon - \cos^2 \theta}} \quad (3)$$

$$\epsilon = \epsilon_r - j \cdot 60 \cdot \lambda \cdot \sigma$$

Onde:

- ϵ : Permissividade elétrica do material sobre o qual o sinal GPS foi refletido;
- ϵ_r : Permissividade relativa;
- λ : Comprimento de onda;
- θ : Ângulo de incidência;
- σ : Condutividade;
- j : $\sqrt{-1}$

Segundo Seeber (2003), as técnicas mais comuns para minimização são: planejamento das observações em torno do local de estudo, emprego de antenas especiais com abas, coleta de dados por longo intervalo de tempo e utilização de materiais capazes de absorver este efeito, sendo este ultimo um dos objetivos deste trabalho.

Nos últimos anos diversas universidades e centros de pesquisa têm tentado desenvolver técnicas ou materiais capazes de eliminar ou atenuar o efeito do multicaminho.

Neste contexto destaca-se o centro pesquisa aplicada da Universidade de Austin no Texas, o qual mantém em parceria com a Agência Nacional de Inteligência Geoespacial (NGA)

que mantém uma rede mundial de 11 estações de referência, conhecidas como *Monitor Station Network* (MSN).

Dados destas estações são utilizados para vários fins, incluindo o controle da qualidade de observáveis dos satélites GPS, geração e transmissão de efeméride precisas.

Uma recente abordagem para a minimização do efeito de multicaminhamento nas estações MSN consiste em colocar um material isolante eletromagnético de origem americana denominado C-RAM sob a antena da estação (FIGURA 2), de modo que o mesmo possa atenuar os sinais refletidos do tipo LCHP antes que eles atinjam a antena.



Fig. 2 - Atenuador a C-RAM sob uma estação MSN. Fonte Kerkhoff (2010).

Segundo Kerkhoff (2010), o uso do isolante eletromagnético C-RAM nas estações MSN, mostrou ser eficiente atenuando aproximadamente 30% do multicaminho na fase da onda portadora contra 6 % quando se utilizou um plano terra sob a antena.

Com base neste contexto o Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH) do

departamento de Geomática da UFPR, o qual tem desenvolvido pesquisas aplicadas aos setores que se utilizam dos sistemas de navegação e de posicionamento por satélite.

Desde 2006 o LAGEH tem desenvolvido projetos de inovação tecnológica e dentre eles tem se o desenvolvimento de um protótipo isolante eletromagnético denominado AEM-LAGEH.

Para que a condução dos experimentos tivesse as mesmas condicionantes o material AEM-LAGEH foi projetado com as mesmas dimensões do material isolante eletromagnético C-RAM.

Na figura 3, podem ser observados os materiais isolantes eletromagnéticos, à esquerda o material AEM-LAGEH e à direita o C-RAM. Ambas as placas apresentam as mesmas dimensões, ou seja, de 60x60x6 centímetros.



Fig. 3 - Vista em perspectiva dos materiais isolantes AEM-LAGEH à esquerda e o material importado C-RAM à direita. Fonte: VISKI (2010)

2. DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA EULERIANA PARA O ESTUDO DO EFEITO MULTICAMINHO EM MASSAS DE ÁGUA

Para a realização dos experimentos visando estudar o efeito do multicaminho em massas de água foi utilizada a Plataforma Automatizada Euleriana (PAE).

Esta plataforma conta com um controle automatizado do eixo vertical, o qual é realizado através de um motor elétrico que varia de 0 a 1,20 m de curso no sentido do eixo Z (FIGURA 4).



Fig. 4 - Plataforma PAE.

3. DISPOSITIVO DE REGULAGEM ANGULAR (DRA)

O suporte denominado de DRA é um mecanismo que possui um movimento específico de inclinação o qual permite que as placas dos materiais isolantes mantenham-se em uma posição dita normal (parte plana da placa), ou seja, formando 90° com o zênite da antena (FIGURA 5). A partir desta posição, é possível regular a inclinação do material de 0° até aproximadamente 30°, com relação ao horizonte da antena que coleta os sinais dos satélites.



Fig. 5 - aem-lageh apoiado pelo suporte DRA.

4. ÁREA DE ESTUDO

Visando testar a eficiência dos materiais atenuadores do efeito multicaminho foram realizados levantamentos em duas áreas distintas:

a primeira na Base de Calibração de Antenas GNSS, da Universidade Federal do Paraná (BCAL/UFPR) e a segunda área no reservatório de Vossoroca.

A BCAL/UFPR esta localizada no Campus do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, na laje do antigo observatório Astronômico Camil Gemael, composta por três pilares de calibração (FIGURA 06). Esta edificação encontra-se ao lado do Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH).



Fig. 6 - BCAL/UFPR. Fonte: Huinca (2009)

À segunda área teste (FIGURA 7) é no reservatório de Vossoroca, situado no município de Tijucas do Sul, onde foram realizados os experimentos visando determinar o efeito do multicaminho sobre a superfície de massas de água.



Fig. 7- Reservatório Vossoroca.
Fonte: Google (2011)

O AEM-LAGEH se comporta de forma semelhante quanto ao plano de terra, nas áreas teste, o qual não impede o efeito de multicaminho de objetos localizados acima do horizonte da antena.

Portanto, esta pesquisa tem como objetivo minimizar o efeito de multicaminhamento gerado próximo à antena, o qual não pode ser

removido por softwares de processamento em vista da largura de banda finita do sinal GPS (KUNYSZ, 2013).

5. INVESTIGAÇÃO DO MULTICAMINHO NA BCAL/UFPR

Os primeiros experimentos visando testar a eficiência do AEM-LAGEH a fim de minimizar a influência proveniente do multicaminho causado pela incidência de reflexões do tipo LHCP, foram realizados sobre o Pilar 3000 Sul, localizado na BCAL/UFPR (FIGURA 6). Foram efetuadas 3 sessões de rastreamento GPS com duração de 6 horas para cada experimento, com intervalo de gravação dos dados de 15 segundos e se aplicou o Método de Posicionamento Absoluto Estático.

Com relação à altura das antenas dos experimentos com e sem material isolante a mesma ficou estabelecida em 1,80m. Distância esta contada da laje (base do pilar), até o ARP das antenas.

Cada experimento foi conduzido de forma a obter o efeito do multicaminho em um ambiente estático, as quais podem ser classificadas em:

- Experimento 01 (sem material), ou seja, a coleta de dados brutos foi realizada apenas com a utilização da antena GPS, sem que tivesse sido empregado algum tipo de material isolante eletromagnético ou técnica para minimizar o efeito do multicaminho;
- Experimento 02 (com o AEM-LAGEH) a coleta dos dados brutos foi realizada com auxílio do suporte DRA, com variação de ângulo das bordas dos materiais isolantes eletromagnéticos;
- Experimento 03 (com o C-RAM) realizado com auxílio do suporte DRA com variação de ângulo das bordas dos materiais isolantes eletromagnéticos;
- Experimento 04 (com antena *Choke Ring Modelo AT 504 LEICA*) sem nenhum material isolante ou suporte de regulagem.

Nos experimentos realizados na BCAL/UFPR e no reservatório Vossoroca foram empregadas técnicas de diferenciação para a modelagem da medida da fase da portadora denominada Dupla Diferença de Fase (DDF) para análise do efeito de multicaminho atuante nas antenas GNSS nos experimentos realizados nos dois locais anteriormente descritos.

Os experimentos realizados formam linhas de bases curtas (<10 km) desta forma os efeitos atmosféricos poderão ser admitidos praticamente idênticos em condições ionosféricas e troposféricas normais, bem como, o erro de efemérides.

Com relação ao erro proveniente do centro de fase da antena o mesmo foi contornado com o uso de antenas calibradas. Desta forma espera-se que apenas o erro advindo do efeito de multicaminho permaneça, possibilitando a sua análise.

Para cada experimento desta pesquisa é importante à correção horária do início de cada experimento em dias sucessivos, pois existem diferenças na incidência do sinal, provenientes de alterações no ruído não correlacionadas de dia para dia, bem como, alterações causadas pela diferença de tempo entre os períodos do dia sideral órbita do satélite GPS em relação ao dia solar médio. Em média, o deslocamento do tempo de revoluções completas de um satélite a partir de um dia solar médio é igual a 240 segundos (WANNINGER, 2000).

A redução correta do deslocamento do tempo do satélite em todos os dias permite a obtenção de uma escala de tempo comum para a representação do multicaminho na pseudodistância de um dia para outro.

6. USO DO PROGRAMA TEQC

Na análise dos dados coletados com estes experimentos foi empregado o programa TEQC (*Translate Edit Quality Check*), o qual proporciona uma série de rotinas que podem ser utilizadas na análise do efeito de multicaminho. O resultado do processamento com o programa TEQC é uma série de arquivos, nos quais se pode verificar: razão sinal e analisar o nível de multicaminho em uma estação utilizando os valores de MP1 e MP2, os quais se referem ao multicaminho nas portadoras L1 e L2 (ESTEY E MEERTENS, 1999).

Desta forma os valores de MP1 e MP2 foram utilizados como indicadores de qualidade na redução do multicaminho mediante repetitividade, visto que cada um desses parâmetros foi analisado em dias consecutivos mantendo a geometria do levantamento inalterada. Assim o efeito do multicaminho deve apresentar o mesmo padrão (Souza, 2004).

7. USO DO DRA NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NA BCAL/UFPR

Conforme exposto na figura 8, foram conduzidos dois testes sobre o Pilar 3000 da BCAL/UFPR, visto que ele é o que sofre maior influência do efeito de multicaminho segundo Huinca (2009). O primeiro teste foi efetuado com o emprego do suporte DRA, propiciando uma elevação de 12 graus para o material isolante eletromagnético posicionado abaixo da antena GPS e para o segundo teste a elevação empregada foi igual a 0 grau.

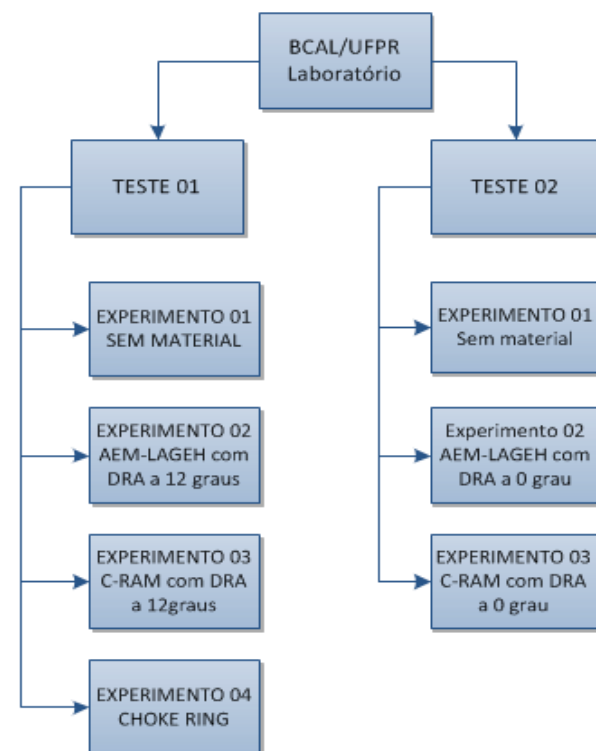


Fig. 8 - Esquema dos testes realizados na BCAL/UFPR com suporte DRA.

8 INVESTIGAÇÕES COM PLATAFORMAS EULERIANAS NO RESERVATÓRIO VOSSOROCA

Para as investigações do multicaminho na represa Vossoroca foram utilizadas duas plataformas PAE as quais foram fixadas no solo submerso do reservatório, possibilitando a investigação do efeito do multicaminho no seu posicionamento advindo, principalmente, da superfície de massa de água localizada no seu entorno.

Na figura 9 visualiza-se esta plataforma instalada no reservatório de Vossoroca. Este equipamento permite que sua base formada

por um tripé topográfico seja instalada de forma fixa no solo submerso de massas de água, formando desta maneira um sistema de centragem forçada para o conjunto tripé/motor. As coordenadas geodésicas desta plataforma podem ser determinadas uma vez que ela está fixa ao solo.

Conforme exposto na seção 2, o protótipo desenvolvido possibilita que a altura da antena possa ser modificada em relação ao nível de água (PAE-02-1).



Fig. 9 - AEM-LAGEH sobre a Plataforma PAE-02-1.

As investigações com as plataformas PAE realizadas na represa Vossoroca foram divididas em dois grupos: teste PAE-02-1 e teste PAE-02-2, cujas variantes a serem empregadas nas investigações se encontram indicadas no Quadro 1.

Para o teste PAE-02-1 o mesmo foi subdividido em quatro experimentos (I a IV) indicados no Quadro 2.

Eles foram realizados ao longo de um dia e repetidos por mais 2 dias (Dia GPS 58, 59 e 60) consecutivos. Para a execução destes experimentos foi empregado o método de posicionamento relativo estático na coleta dos dados GPS, com um intervalo de gravação de dados igual a 1 segundo e duração de cerca de 2 horas.

Para este experimento a altura das antenas durante os três dias de coleta de dados foi fixada em 0,8m a partir do nível de água do reservatório e a antena GPS.

Quadro 1: Variante dos experimentos PAE

Teste	Antena	Atenuador	Uso do DRA	Altura da antena com relação à superfície da água
PAE 02-1	Leica LEIAX 1202GG	Sem Material	Não	0,8m
		AEM LAGEH	Sim	
		C-RAM	Sim	
PAE 02-1	Choke Ring AT 504	Sem Material	Não	0,8m
PAE 02-2	Leica LEIAX 1203GG	AEM LAGEH	Sim	0,8m
PAE 02-2	Leica LEIAX 1203GG	AEM LAGEH	Sim	1,8m

Quadro 2: Experimentos realizados para o teste PAE-02-1

TESTE PAE-02-1	
Experimento	Dia GPS 58 a 60
I	Sem material
II	AEM-LAGEH com antena LEIAX 1203GG
III	C-RAM /com antena LEIAX 1203GG
IV	Somente antena Choque Ring

Para o teste PAE-02-2, realizaram-se duas sessões de duas horas, empregando a antena LEIAX 1203GG e o AEM-LAGEH. Estas sessões diferem quanto à altura da antena empregada com relação ao solo submerso, empregou-se na primeira sessão uma altura de antena igual a 0,8 m (FIGURA 9) e para a segunda sessão a altura do bastão foi modificada por meio do mecanismo eletromecânico da plataforma PAE-02, tendo-se uma altura de antena igual a 1,8 m. Este teste

possibilitou a análise da influência do efeito do multicaminho para um mesmo ponto geográfico variando a altura na antena do receptor GPS.

9. RESULTADOS

Neste item são apresentados os resultados obtidos com o processamento dos dados coletados nos experimentos BCAL/UFPR e Experimentos no reservatório Vossoroca.

9.1 Resultados dos experimentos realizados na BCAL/UFPR com o DRA

Nas figuras 10 e 11 são apresentados os resultados advindos do programa TEQC (Sessão 6), com o emprego de uma máscara de elevação igual de 0 grau para os experimentos realizados na BCAL/UFPR.

Para os valores indicadores de multicaminho sem o emprego de qualquer material atenuador do efeito de multicaminho se comparado aos dois outros experimentos, que utilizaram materiais atenuadores (AEM-LAGEH e C-RAM) estes valores são praticamente duas vezes maiores.

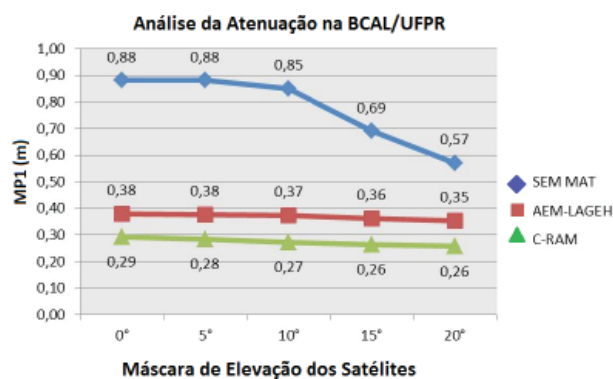


Fig. 10 - Variação do multicaminho na portadora L1 com o uso do DRA a 12 graus.

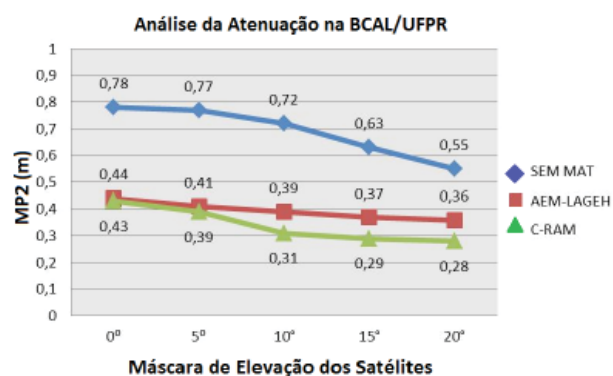


Fig. 11 - Variação do multicaminho na portadora L2 com o uso do DRA a 12 graus.

Percebe-se na figura 10 que para a onda portadora L1 os materiais isolantes se mantem num valor estável quanto ao efeito do multicaminho para os diferentes ângulos de elevação (0 a 20 graus). Já para a onda portadora L2 esta estabilidade é alcançada a partir dos 10 graus de elevação.

Verifica-se que com o emprego dos materiais atenuadores, inclinados a 12 graus com o auxílio do DRA para o dia GPS 98, os resultados alcançados para a onda portadora L1, atingiram uma eficiência de atenuação de 57% com o emprego do AEM-LAGEH, e para onda portadora L2 ela foi de 43%.

Na tabela 01 estão dispostos os valores médios de cada primeiro dia das três sessões dos testes 01 e 02, (FIGURA 8) realizados na BCAL/UFPR. Eles foram obtidos pelo TEQC para um default de 0° com relação ao ganho em porcentagem na minimização do efeito multicaminho com o uso dos materiais atenuadores apoiados pelo suporte DRA e a antena *Choke Ring*.

Tabela 1: Quantificação do ganho com o uso do DRA

Uso dos materiais atenuadores para os testes 01 e 02 realizados na BCAL/UFPR (laboratório)

	L1 com DRA a 12°	L2 com DRA a 12°	L1 com DRA a 0°	L2 com DRA a 0°
AEM LAGEH	57,04%	43,40%	28,03%	19,26%
C-RAM	68,02%	45,09%	38,41%	29,38%

Uso de antena *Choke Ring* para os testes 01 realizados na BCAL/UFPR (Laboratório)

	L1 teste 01	L2 teste 01	L1 teste 02	L1 teste 02
CHOKE RING	78,26%	58,01%	-	-

Desta forma foi possível verificar que o uso do suporte DRA, com uma inclinação de 12 graus, foi mais eficaz do que quando foi utilizado a 0 grau para qualquer um dos materiais atenuadores empregados. Também mediante uma análise dos valores obtidos constata-se que o material AEM-LAGEH, foi eficaz na minimização do efeito multicaminho aproximando-se da eficiência obtida com o material atenuador C-RAM.

9.2 Análises dos resíduos da dupla diferença fase para os experimentos realizados no pilar 3000 da BCAL/UFPR

Visando avaliar o efeito de multicaminho quanto ao emprego ou não de materiais atenuadores optou-se por analisar as componentes da fase das ondas portadoras L1 e L2 de todos os satélites que estavam presente durante os levantamentos dos primeiros experimentos de cada sessão realizados no Pilar 3000 da BCAL/UFPR (Seção 5).

Na Figura 12 visualizam-se as amplitudes máximas e mínimas em metros dos resíduos da Dupla Diferença (DDF), para a onda portadora L1 para todos os satélites observados sem o emprego do material atenuador (SEM MAT) e com o emprego do AEM-LAGEH. Para a onda portadora L2, obteve-se os valores indicados na Figura 13, as maiores amplitudes ocorreram para o satélite G10, com resíduo de aproximadamente 0,3 m sem o uso de atenuador reduzindo este valor para 0,1 m com o emprego do AEM-LAGEH.

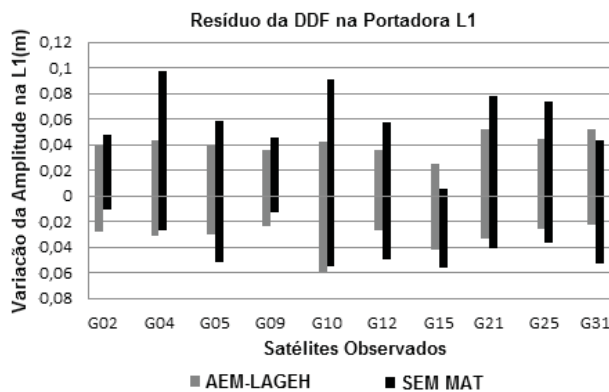


Fig. 12 - Análise da amplitude dos resíduos da DDF para a portadora L1.

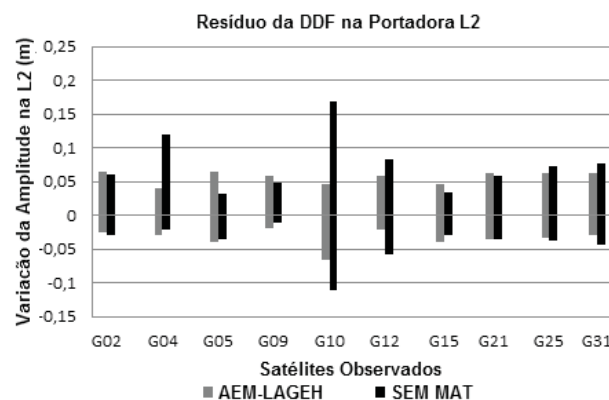


Fig. 13 - Análise da amplitude dos resíduos da DDF para a portadora L2.

9.3 Análises das coordenadas geodésicas do pilar 3000 da BCAL/UFPR

Após análise dos dados pós-processamento referente ao (Experimento 01) realizado na BCAL/UFPR procedeu-se a uma comparação quanto às coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude elipsoidal), as distâncias planimétricas e tridimensionais dos pontos quando do emprego dos materiais atenuadores.

Para se verificar a acurácia das coordenadas horizontais alcançadas foram efetuadas as correções do cálculo do arco de deslocamento infinitesimal em latitude e longitude geodésicas, segundo as equações de cálculo da excentricidade, raio de curvatura da seção transversal e meridiana, achatamento, semi-eixo maior e os respectivos valores dos parâmetros definidores do RINEX.

As comparações são efetuadas para as coordenadas do Pilar 3000, admitindo-se como referencia as coordenadas geodésicas advindas do processamento dos dados coletados sem nenhum material isolante (Experimento 01).

Na tabela 02 apresentam-se as diferenças obtidas entre as coordenadas do Pilar 3000 advindas do Experimento 01(seção 5) com aquelas obtidas com o Experimento 03, ou seja, quando se empregou nas observações o material isolante AEM-LAGEH. Percebe-se que as diferenças entre latitudes e longitudes foram da ordem de milímetros e que para as altitudes elipsoidais foi de 1,67 cm.

No caso em que se compara as coordenadas do Pilar 3000 advindas do experimento 01 com as obtidas com o experimento 03, ou seja, quando se empregou nas observações o material isolante C-RAM (Tabela 03) as diferenças entre latitudes e longitudes foram da ordem de milímetros e praticamente iguais as obtidas anteriormente. Contudo percebe-se um aumento na diferença para as altitudes elipsoidais de 1,739 cm.

Tabela 2: Diferenças de coordenadas e distâncias em (metros) após o uso do AEM-LAGEH

Fator Analisado	Valores em Metros
Distância em latitude	0,0012
Distância em longitude	0,0019
Diferença em altitude elipsoidal	0.0167

Tabela 3: Diferenças de coordenadas e distâncias em (metros) após o uso do C-RAM

Fator Analisado	Valores em Metros
Distância em latitude	0,0012
Distância em longitude	0,0017
Diferença em altitude elipsoidal	0,0173

9.4 Resultados dos experimentos PAE-01-1 Vossoroça

Para os experimentos PAE-02-1 realizados na represa Vossoroça entre os dias GPS (58 a 60) a variação média do multicaminho foi estabelecida uma média do percentual de minimização do efeito multicaminho com o uso dos materiais atenuadores e da antena Choke Ring conforme demonstrado nas tabelas 04 e 05.

Tabela 4 - Quantificação do ganho pelo uso dos materiais atenuadores e antena *Choke Ring* para a portadora L1

	Dia GPS 58	Dia GPS 59	Dia GPS 60	MÉDIA
AEM LAGEH	26,10%	32,92%	21,15%	26,72%
C-RAM	35,23%	44,02%	30,76%	35,76%
CHOKE RING	30,23%	41,38%	29,97%	33,86%

Tabela 5: Quantificação do ganho pelo uso dos materiais atenuadores e antena *Choke Ring* para a portadora L2

	Dia GPS 58	Dia GPS 59	Dia GPS 60	MÉDIA
AEM LAGEH	21,53%	23,87%	20,83%	22,08%
C-RAM	23,50%	34,95%	32,65%	30,37%
CHOKE RING	23,48%	45,06%	43,80%	37,45%

Para os experimentos PAE-02-2 onde foi empregada uma diferença de 1,0 metro na altura de antena os valores referentes ao multicaminho para ambas às sessões (tabela 06), foram expressivos. Constata-se que os resultados com

a antena elevada de 1,8 m acima do espelho d'água são discrepantes em média 1,6m para a portadora L1 e 0,6m para a L2.

Tabela 6: Valores do multicaminho para os experimentos PAE-02-2

Sessão	MP1(m) para a altura de 0,8m	MP2(m) para a altura de 0,8m	MP1(m) para a altura de 1,8m	MP2(m) para a altura de 1,8m
1 ^o	0,162	0,208	1,811	0,808
2 ^o	0,169	0,195	1,783	0,793

10. CONCLUSÃO

Inicialmente conclui-se que o material atenuador foi capaz de contribuir com a minimização do efeito do multicaminho (proveniente de reflexões do tipo LHCP) atuante sobre pontos situados em grandes massas. Ele proporcionou a redução deste efeito tanto nos experimentos realizados no reservatório Vossoroça ou na BCAL/UFPR (laboratório).

No caso da atenuação do efeito multicaminho no posicionamento relativo estático, para os testes realizados na BCAL/UFPR, pode-se concluir que para o Teste 01, aquele em que se emprega o dispositivo DRA com inclinação de 12 graus (Experimento 02, AEM-LAGEH) houve uma redução do efeito médio do multicaminho atingindo melhorias de 57,04% na onda portadora L1 e 43,33% na onda portadora L2. Já para o Teste 02, no qual se emprega o dispositivo DRA com 0 grau de inclinação houve uma melhora de 28,03% na onda portadora L1 e 19,26 % na onda portadora L2.

Para os experimentos PAE-02-1 (Represa Vossoroça), o ganho de eficiência foi analisado apenas utilizando DRA a 12 graus sendo obtida uma melhora de 26,72% na onda portadora L1 e 22,08% na L2 quando se utilizou o AEM-LAGEH.

Com isso fica explícito que com a utilização do AEM-LAGEH apoiado pelo mecanismo DRA com ângulo superior a 0 grau o mesmo propicia bons resultados quanto à minimização do efeito do multicaminho.

Dentro do contexto de técnica de minimização de efeito multicaminho a antena *Choke Ring*, foi a solução mais eficiente para

atenuação deste efeito na maioria dos casos. É importante salientar que o emprego deste tipo de antena não é viável em diversas aplicações e que o seu custo de aquisição é elevado, o que inviabiliza o seu emprego em muitos casos. Com relação à diferença de valor, o custo de aquisição do AEM-LAGEH é cerca de 5% do valor de uma antena do tipo *Choke Ring*.

Mediante as análises efetuadas nos experimentos PAE (PAE-02-1 e PAE-02-2), utilizando-se o espelho de água da represa como meio de reflexão do sinal GPS, concluiu-se que o efeito do multicaminho foi atuante sobre massas de água sendo que sua magnitude cresceu com o aumento da altura da antena. Verificou-se que quando a altura da antena foi elevada de 1 metro o valor do efeito do multicaminho acresceu em 11 vezes, ou seja, para a onda portadora L1 este valor era 0,1657m (antena a 0,8m) e passou a 1,7975m (antena a 1,8m) e para a onda portadora L2 o valor do efeito do multicaminho foi 4 vezes maior passando de 0,2019m para 0,8008m. .

Esta pesquisa proporcionou além do conhecimento da influência do efeito multicaminho sobre massas de água o desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas a geodésia espacial e a hidrografia introduzindo o LAGEH como um dos contribuidores para a inovação tecnológica brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, M.P. **Técnicas de Medição em Calor e Fluidos**: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Minas Gerais, 2010, 23 p.

KUNYSZ, W. Antennas and site considerations for precise applications. In: RAO, B.R.; KUNYSZ, W.; FANTE, R.; McDONALD K. **GPS/GNSS Antennas**. London: Artech House, 2013. p. 361-386.

CONSTANTINE A. BALANIS. **Advanced Engineering Electromagnetics**. John Wiley & Sons, New York, 1988.

CROSS, P.; LAU, L. **Development and testing of a new ray-tracing approach to GNSS carrier-phase multipath modelling**. In: Department of Geomatic Engineering, University College London, Gower Street, London, 2007, p.712-732.

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.

GOOGLE EARTH (2012). Disponível em < <http://googleearth.com> >. Acesso em: 10 de setembro de 2012.

HUINCA, S.C.M. **Calibração Relativa de antenas GNSS na BCAL/UFPR**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009, 130 p.

KERKHOFF, A., HARRIS, R.B., PETERSEN, C.P., PICKARD, A. **Modifications to GPS Reference Station Antennas to Reduce Multipath**. Applied Research Laboratories, The University of Texas at Austin, 2010, p.866-878.

KRUEGER, C.P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Universidade Federal do Paraná. Tese de Doutorado em Ciências Geodésicas. Curitiba, 1996, 267 p.

RAY, J.K.; Use of Multiple Antennas to Mitigate Carrier Phase Multipath in Reference Stations. **In: International Technical Meeting**, 12, Nashville, 1999.

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, UNESP, Presidente Prudente. 2004. 144p.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Berlin, New York: Walter de Gruyter. p.612. 2003.

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.

VISKI, A.R. **Investigação de Material Isolante para Dissipação de Efeito de Multicaminho em Antenas GNSS**. Universidade Federal do Paraná. **Trabalho apresentado no 3º EINTE**. Curitiba, 2010.

WANNINGER, L.; MAY, M. **Carrier phase multipath calibration of GPS reference stations. Proceedings of the 13th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GPS 2000**, Salt Lake City, UT, USA, September 19-22, 2000.