

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**ANDERSON RENATO VISKI**

**ANÁLISE DA ATENUAÇÃO DO EFEITO MULTICAMINHO NO  
POSICIONAMENTO GPS DE PLATAFORMAS LAGRANGEANAS E  
EULERIANAS EM MASSAS DE ÁGUA**

**CURITIBA  
2012**

**ANDERSON RENATO VISKI**

**ANÁLISE DA ATENUAÇÃO DO EFEITO MULTICAMINHO NO  
POSICIONAMENTO GPS DE PLATAFORMAS LAGRANGEANAS E  
EULERIANAS EM MASSAS DE ÁGUA**

Dissertação apresentada como requisito parcial á obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, como requisito final para cumprimento dos créditos em disciplina.

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Claudia Pereira  
Krueger.**

**Coorientador: Prof. Dr.-Ing. Tobias  
Bleninger.**

**CURITIBA  
2012**

Viski, Anderson Renato

Análise da atenuação do efeito multicaminho no posicionamento GPS de plataformas Lagrangeanas e Eulerianas em massas de água / Anderson Renato Viski. – Curitiba, 2012.

123 f.: il., tab.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.

Orientador: Cláudia Pereira Krueger

Coorientador: Tobias Bleninger

1. Sistema de Posicionamento Global - Massas de água. I. Krueger, Cláudia Pereira. II. Bleninger, Tobias. III. Universidade Federal do Paraná. IV. Título.

CDD: 526.982


**TERMO DE APROVAÇÃO**

ANDERSON RENATO VISKI

*"ANÁLISE DA ATENUAÇÃO DO EFEITO MULTICAMINHO  
NO POSICIONAMENTO GPS DE PLATAFORMAS LAGRANGEANAS E  
EULERIANAS EM MASSAS DE ÁGUA"*

Dissertação nº 257 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora:

  
Profª. Drª. Claudia Pereira Krueger  
Departamento de Geomática, UFPR

  
Prof. Dr. Hélio Koiti Kuga  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE

  
Prof. Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira  
Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 10 de agosto de 2012.

## **AGRADECIMENTOS**

Meus sinceros agradecimentos a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa. Agradeço em especial:

A Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas pela oportunidade concedida para a realização deste trabalho.

Em especial a minha família: Lucas André Viski, Maria Haluch Viski, Adriana Viski pelo apoio e compreensão.

A minha orientadora Professora Dra. Claudia Pereira Krueger pela orientação, amizade verdadeira, ensinamentos e incentivo no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira pelo incentivo na realização deste trabalho.

Ao meu Coorientador Professor. Dr.-Ing. Tobias Bleninger pelos ensinamentos no âmbito da hidrodinâmica.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo fomento.

Aos colegas e professores do programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, pela companhia e contribuições ao longo desta jornada.

Aos amigos: Renata Werlich, Suelen Huinca, Diuliana Leandro, Nassau Nardez, Adeilton Fonseca. Aos colegas do Laboratório de Geodésia Espacial da Universidade Federal do Paraná (LAGEH): Carolina Paese, Ricardo Scuciato.

Aos Laboratórios: LAGEH, LAIG (Laboratório de Instrumentação Geodésica), LABTOPO (Laboratório de Topografia) - pelo empréstimo dos equipamentos.

## RESUMO

O efeito multicaminho é um problema no posicionamento geodésico estático ou cinemático de precisão, 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), o qual 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 do efeito multicaminho sendo elas, uso de materiais isolantes eletromagnéticos e antena do tipo *Choke Ring* os quais foram acoplados sobre plataformas Eulerianas e Lagrangeanas. Com o emprego dos materiais atenuadores do efeito multicaminho como técnica minimizadora em nível de tecnologia de antena, foi possível reduzir o multicaminho em experimentos realizados em dois campos de provas distintos BCAL/UFPR e reservatório Vossoroca, aumentando com isso a acuracidade do posicionamento geodésico de precisão.

Palavras-chave: Multicaminho, AEM, Plataformas Eulerianas e Lagrangeanas.

## **ABSTRACT**

The multipath effect is a problem in static or kinematic, high precision, geodetic position measurements. It can cause errors in determining geodetic coordinates that can be of the order of a few millimeters up to several meters. Among the various existing techniques for mitigating this effect, a special attenuation material has been developed. The prototype is called AEM (Attenuator multipath effect), which is intended to absorb attenuated waves. The present project investigated the influence of the material on the multipath effect for static and kinematic position measurements in freshwater bodies using two methods for the analysis. One is the use of insulating materials, such as the AEM, the other was an electromagnetic shock ring type antenna, both of them mounted on Eulerian and Lagrangian measurement systems. The developed material was able to reduce the multipath effect, as shown in field experiments conducted at two distinct locations. The BCAL / UFPR laboratory site and the Vossoroça reservoir, in both cases increasing the accuracy of the geodetic positioning.

Keywords: Multipath, AEM, Eulerian and Lagrangian platforms

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- SINAL GPS ADVINDO APÓS REFLEXÃO PELA ÁGUA .....	13
FIGURA 2- CENTROS DE FASE.....	22
FIGURA 3- ANTENA TRM22020.00+GP .....	23
FIGURA 4- ANTENA <i>CHOKE RING</i> (3D) .....	24
FIGURA 5- ERROS SISTEMÁTICOS .....	27
FIGURA 6- EFEITO DE MULTICAMINHO.....	29
FIGURA 7- REFLEXÃO ESPECULAR, REFLEXÃO DIFUSA E DIFRAÇÃO.....	30
FIGURA 8- REFLEXÃO ESPECULAR .....	31
FIGURA 9- REFLEXÃO DIFUSA .....	31
FIGURA 10- DIFRAÇÃO .....	32
FIGURA 11- VISTA DE TOPO DOS MATERIAIS ISOLANTES AEM-LAGE À ESQUERDA E O MATERIAL IMPORTADO C-RAM .....	35
FIGURA 12- VISTA EM PERSPECTIVA DOS MATERIAIS ISOLANTES AEM-LAGE À ESQUERDA E O MATERIAL IMPORTADO C-RAM.....	35
FIGURA 13- VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L1.....	36
FIGURA 14- VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L2.....	37
FIGURA 15- PLATAFORMA PL-01.....	41
FIGURA 16- PLATAFORMA PAE-01.....	42
FIGURA 17- EXTENSÃO 0 CENTÍMETROS.....	43
FIGURA 18- EXTENSÃO 20 CENTÍMETROS.....	43
FIGURA 19- UNIDADE DE CONTROLE DA PLATAFORMA PAE. ....	43
FIGURA 20- BÓIA DE DERIVA BRIGHTWATERS MODELO 115.....	45
FIGURA 21- PROTÓTIPO (PL-02). ....	46
FIGURA 22- PLATAFORMA PL-02 TESTE DAS CAPSULAS DE FLUTUAÇÃO .....	46
FIGURA 23- TESTE DE TOLERÂNCIA DE CARGA DA PL-02. ....	47
FIGURA 24- AEM-LAGEH 02 SOB A ANTENA.....	48
FIGURA 25- SUPORTE DRA SOBRE O PILAR 3000.....	49
FIGURA 26- SISTEMAS DE REGULAGENS DO DRA. ....	49
FIGURA 27- REGULAGEM DE ÂNGULO .....	50
FIGURA 28- AEM-LAGEH 02 APOIADO PELO SUPORTE DRA. ....	51
FIGURA 29- BCAL/UFPR .....	52
FIGURA 30- RESERVATÓRIO VOSSOROCA.....	53
FIGURA 31- RECEPTOR LEICA GPS1200. ....	57
FIGURA 32- ANTENA LEIAX1203GG.....	57
FIGURA 33- ANTENA LEICA AT504.....	57
FIGURA 34- ESQUEMA DOS TESTES REALIZADOS NA BCAL/UFPR COM SUPORTE DRA... 60	
FIGURA 35- AEM-LAGEH 02 ELEVADO A 12 GRAUS.....	61
FIGURA 36- C-RAM ELEVADO A 12 GRAUS .....	61
FIGURA 37- ESQUEMA DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NA BCAL/UFPR COM SUPORTE DRA COM 12 GRAUS DE INCLINAÇÃO. ....	61
FIGURA 38- AEM-LAGEH 02 A ZERO GRAU DE INCLINAÇÃO .....	62
FIGURA 39- C-RAM A ZERO GRAU DE INCLINAÇÃO.....	62
FIGURA 40- ESQUEMA DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NA BCAL/UFPR COM SUPORTE.....	63
FIGURA 41- AEM-LAGEH 02 SOBRE A PLATAFORMA PAE-02-1 .....	64
FIGURA 42- EXPERIMENTO I .....	67
FIGURA 43- EXPERIMENTO II .....	67
FIGURA 44- EXPERIMENTO III .....	67
FIGURA 45- EXPERIMENTO IV .....	67
FIGURA 46- EXPERIMENTO PAE-02-2 COM ALTURA DE 1,5M.....	68
FIGURA 47- EXPERIMENTO PAE-02-2 COM ALTURA DE 2,5M.....	68
FIGURA 48- PLATAFORMAS LAGRANGEANAS.....	70
FIGURA 49- RECEPTOR PROMARK II .....	70



FIGURA 50- VARIANTES DAS PLATAFORMAS EULERIANAS.....	71
FIGURA 51- DISPONIBILIDADE DOS SATÉLITES NA BCAL/UFPR DURANTE O EXPERIMENTO (DIA GPS 91).....	74
FIGURA 52- ÂNGULO DE ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES DURANTE O EXPERIMENTO (DIA GPS 94) .....	75
FIGURA 53- SKYPLOT DA DISPONIBILIDADE DOS SATÉLITES SOBRE A BCAL/UFPR PARA O DIA GPS 91.....	75
FIGURA 54- DIAGRAMA DE OBSTRUÇÃO DO PILAR 3000 .....	76
FIGURA 55- ANÁLISE GRÁFICA DA PORTADORA MP1 PARA O SATÉLITE 25 SEM O USO DE MATERIAIS ISOLANTE.....	78
FIGURA 56- ANÁLISE GRÁFICA DA PORTADORA MP1 PARA O SATÉLITE 21 SEM O USO DE MATERIAL ISOLANTE.....	78
FIGURA 57- VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L1 COM O USO DO DRA COM 12 GRAUS DE ELEVAÇÃO .....	81
FIGURA 58- VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L2 COM O USO DO DRA COM 12 GRAUS DE ELEVAÇÃO .....	81
FIGURA 59- ANÁLISE DA VARIAÇÃO OCORRIDA NO CÓDIGO GERADO PELO SATÉLITE 21 SEM O USO DE MATERIAIS ISOLANTES ELETROMAGNÉTICOS.....	83
FIGURA 60- ANÁLISE DA VARIAÇÃO OCORRIDA NO CÓDIGO GERADO PELO SATÉLITE 21 COM O USO DO AEM-LAGEH 02 .....	83
FIGURA 61- ANÁLISE DA VARIAÇÃO OCORRIDA NO CÓDIGO GERADO PELO SATÉLITE 21 COM O USO DO C-RAM.....	84
FIGURA 62- ANÁLISE DA AMPLITUDE DOS RESÍDUOS DA DDF PARA A PORTADORA L1. ...	85
FIGURA 63- ANÁLISE DA AMPLITUDE DOS RESÍDUOS DA DDF PARA A PORTADORA L2. ...	86
FIGURA 64- MÉDIA DO SINAL RUÍDO DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NO PILAR 3000 DA BCAL/UFPR.....	87
FIGURA 65- ÁREAS DE ESTUDO ONDE ESTÃO LOCALIZADAS OS PONTOS PAE.....	90
FIGURA 66- DIAGRAMA DE OBSTRUÇÃO DO VOSSOROCA.....	90
FIGURA 67- DIREÇÃO DO SINAL DA PSEUDODISTÂNCIA DO SATÉLITE 21. ....	91
FIGURA 68- SKYPLOT DA DISPONIBILIDADE DOS SATÉLITES SOBRE A REPRESA VOSSOROCA.....	92
FIGURA 69- RESÍDUOS DA DDF DO CÓDIGO C/A PARA OS SATÉLITES ANALISADOS NOS EXPERIMENTOS PL-02-1 E PL-02-2. ....	93
FIGURA 70- RESÍDUOS DA DDF PARA A PORTADORA L1 PARA OS SATÉLITES ANALISADOS NOS EXPERIMENTOS PL-02-1 E PL-02-2 .....	94
FIGURA 71- AMPLITUDE DOS SINAIS PARA O EXPERIMENTO PL-02-1 .....	95
FIGURA 72- ANÁLISE DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L1 PARA O DIA 58 .....	100
FIGURA 73- ANÁLISE DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L2 PARA O DIA GPS 58.....	101
FIGURA 74- ANÁLISE DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L1 PARA O DIA 59 .....	102
FIGURA 75 - ANÁLISE DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L2 PARA O DIA 59 .....	102
FIGURA 76- ANÁLISE DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L1 PARA O DIA 60 .....	103
FIGURA 77- ANÁLISE DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L2 PARA O DIA 60 .....	103
FIGURA 78- ANÁLISE DO RESÍDUO DO CÓDIGO DO PRN 15 COM ALTURA DE 0,80 METROS UTILIZANDO O AEM-LAGEH 02.....	106
FIGURA 79- ANÁLISE DO RESÍDUO DO CÓDIGO DO PRN 15 COM ALTURA DE 1,80 METROS UTILIZANDO O AEM-LAGEH 02.....	106
FIGURA 80- DIFERENÇAS NOS RESÍDUOS DO CÓDIGO PARA TODOS OS SATÉLITES PROCESSADOS NO EXPERIMENTO PAE-02-2.....	107

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- ERROS SISTEMÁTICOS NO POSICIONAMENTO GNSS.....	26
QUADRO 2- VALOR APROXIMADO DOS ERROS GERADOS PELO EFEITO DO MULTICAMINHO PARA AS ONDAS PORTADORAS .....	34
QUADRO 3- VARIANTES DOS EXPERIMENTOS PAE .....	65
QUADRO 4- EXPERIMENTOS REALIZADOS PARA O TESTE PAE-02-1.....	66
QUADRO 5- EXPERIMENTOS DE CADA PRIMEIRA SESSÃO REALIZADOS NA BCAL/UFPR. 73	
QUADRO 6- ESTATÍSTICA DA AMPLITUDE DOS GRÁFICOS 54,55 E 56. ....	84
QUADRO 7- DIFERENÇAS EM ALTITUDES DAS PLATAFORMAS PL E PAE-02-1 .....	96

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1- EXPERIMENTOS BCAL/UFPR. ....	40
TABELA 2- EXPERIMENTOS RESERVATÓRIO VOSSOROCA.....	40
TABELA 3 -ANÁLISE DO MULTICAMINHO COM AEM-LAGEH 02 .....	80
TABELA 4- ANÁLISE DO MULTICAMINHO COM C-RAM.....	80
TABELA 5- ANÁLISE DO MULTICAMINHO SEM MATERIAL .....	80
TABELA 6- VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO COM O USO DO DRA COM ANGULOS DE 0 E 12 GRAUS .....	88
TABELA 7- QUANTIFICAÇÃO DO GANHO COM O USO DO DRA.....	89
TABELA 8- ANÁLISE DO EFEITO MULTICAMINHO SOMENTE COM O USO DA ANTENA LEIAX 1203 GG .....	97
TABELA 9- RESULTADO DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS COM O USO DO AEM- LAGEH 02.....	98
TABELA 10- COMPARAÇÃO DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS COM O USO DO C-RAM ...	98
TABELA 11- RESULTADO DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS COM O USO DA ANTENA <i>CHOKE RING</i> .....	99
TABELA 12- QUANTIFICAÇÃO DO GANHO NA L1 .....	104
TABELA 13- QUANTIFICAÇÃO DO GANHO NA L2 .....	104
TABELA 14- VARIAÇÃO DA AMPLITUDE DO CÓDIGO .....	107
TABELA 15- VALORES DO MULTICAMINHO PARA OS EXPERIMENTOS PAE-02-2 .....	108
TABELA 16- DIFERENÇAS DE COORDENAS E DISTÂNCIAS EM (M) APÓS O USO DO AEM-LAGEH 02.....	109
TABELA 17- DIFERENÇAS DE COORDENAS E DISTÂNCIAS EM (M) APÓS O USO DO C-RAM .....	109
TABELA 18- ANÁLISE DO MULTICAMINHO COM O AEM-LAGEH 02 .....	118
TABELA 19- ANÁLISE DO MULTICAMINHO COM C-RAM .....	118
TABELA 20- ANÁLISE DO MULTICAMINHO SEM MATERIAL .....	119

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AEM-LAGEH	-	Atenuador do efeito multicaminho - LAGEH
ARP	-	ingl. <i>Antenna Reference Point</i>
BCAL/UFPR	-	Base de Calibração Da UFPR
C-RAM	-	ingl. <i>radar-absorbent material</i>
C/A	-	ingl. <i>clear/acquisition</i>
dB-Hz	-	decibels por Hertz
DDF	-	Dupla diferença de fase
GNSS	-	Ingl. <i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	-	Ingl. <i>Global Position System</i>
GPRS	-	Ingl. <i>General Packet Radio Service</i>
ICAO	-	Ingl. <i>International Civil Aviation Organization</i>
ingl	-	Inglês
LAGE	-	Laboratório de Geodésia Espacial
LAGEH	-	Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia
LCHP	-	ingl. <i>left-Hand Circularly Polarised</i>
MARE	-	Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética
MHZ	-	Megahertz
NAVSTAR	-	ingl. <i>NAVigation System with Time And Ranging</i>
NOAA	-	Ingl. <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
PRN	-	Ingl. <i>Pseudo Random Noise</i>
RHCP	-	ingl. <i>Right -Hand Circularly Polarised</i>
RINEX	-	ingl. <i>Receiver Independent Exchange Format</i>
SNR	-	ingl. <i>Signal to Noise Ratio</i>
TEQC	-	ingl. <i>Translate Edit Quality Check</i>
UHF	-	ingl. <i>Ultra High Frequency</i>
UNAVACO	-	ingl. <i>University NAVSTAR Consortiun</i>
USAF	-	ingl. <i>United States Air Force</i>
WGS-84	-	ingl. <i>World Geodetic System</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 OBJETIVOS .....	16
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
2.1 PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES.....	17
2.2 NAVSTAR-GPS .....	17
2.3 OBSERVÁVEIS GPS.....	18
2.3.1 Pseudodistância .....	18
2.3.2 Fases da onda portadora.....	19
2.3.3 Técnicas de diferenciação .....	20
2.4 CARACTERÍSTICAS DAS ANTENAS GNSS.....	21
2.4.1 Antena tipo <i>Microstrip</i> .....	22
2.4.2 Antena do tipo <i>Choke Ring</i> .....	23
2.5 POLARIZAÇÃO DO SINAL GPS.....	24
2.6 ERROS SISTEMÁTICOS ENVOLVIDOS NAS OBSERVÁVEIS.....	26
2.6.1 Atraso Troposférico .....	27
2.6.2 Atraso ionosférico .....	27
2.6.3 Sinal-ruído .....	28
2.6.4 Multicaminho.....	28
2.6.5 Efeitos Multicaminho na Pseudodistância.....	32
2.6.6 Multicaminho no Posicionamento Estático.....	33
2.6.7 Efeito Multicaminho na Fase da Onda Portadora .....	33
2.7 MATERIAL ISOLANTE MAGNÉTICO.....	34
2.8 PLATAFORMAS .....	37
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>39</b>
3.1 DESENVOLVIMENTOS DE PROTÓTIPOS .....	41
3.1.1 Plataforma Automatizada Euleriana (PAE).....	42
3.1.2 Plataforma Lagrangeanas (PL).....	44
3.1.3 Material Atenuador de Efeito de Multicaminho (AEM-LAGEH).....	47
3.1.4 Suporte para o AEM-LAGEH.....	48
3.2 INVESTIGAÇÕES REALIZADAS .....	51
3.2.1 Áreas em estudo.....	52
3.2.2 Aplicação de técnicas e parâmetros nos experimentos BCAL/UFPR e Reservatório Vossoroca.....	53
3.2.2.1 Aplicação da DDF para os experimentos BCAL/UFPR e Vossoroca.....	54
3.2.2.2 Aplicação de parâmetros de controle para BCAL/UFPR e Vossoroca .....	54
3.2.3 Investigação do multicaminho na BCAL/UFPR.....	55
3.2.3.1 Equipamentos utilizados.....	56
3.2.3.2 Programas utilizados .....	57
3.2.3.3 Experimentos na BCAL/UFPR.....	59
3.2.4 Investigações em massas de água: estudo de caso reservatório de Vossoroca .....	63
3.2.4.1 Investigações com plataformas Eulerianas .....	64

3.2.4.2 Investigações com plataformas Lagrangeanas .....	69
<b>4 RESULTADO E ANÁLISES .....</b>	<b>72</b>
4.1 fatores de análise do multicaminho na BCAL/UFPR.....	73
4.1.1 Análise da contribuição do efeito multicaminho para os satélites G21 e G25.....	77
4.1.2 Análise do efeito do multicaminho no Pilar 3000 da BCAL/UFPR utilizando o suporte DRA com ângulo de elevação das bordas dos materiais a 12 graus. ....	79
4.1.3 Análise dos resíduos da dupla diferença do código nos experimentos realizados no Pilar 3000 da BCAL/UFPR.....	82
4.1.4 Análise dos resíduos da dupla diferença fase para os experimentos realizados no Pilar 3000 da BCAL/UFPR.....	85
4.1.5 Análise do Sinal Ruído para o Pilar 3000 da BCAL/UFPR. ....	86
4.2 análise do efeito multicaminho com o uso do suporte D.R.A. com ângulo de elevação das bordas DOS MATERIAIS A 0 grau.....	87
4.3 Avaliação do efeito multicaminho no reservatório Vossoroca .....	89
4.3.1 Análise das obstruções.....	89
4.3.2 Análise dos experimentos com a Plataforma Lagrangeana (PL 01) .....	92
4.3.2.1 Análise do Código e Fase da onda Portadora para as Plataformas PL.....	93
4.3.3 Análise dos experimentos PAE-02-01 .....	96
4.3.4 Experimento ( I ) com PAE-02-1 sem material Isolante .....	96
4.3.5 Experimento (II) com PAE-02-1 uso do AEM-LAGE 02.....	97
4.3.6 Experimento (III), com PAE-02-1 uso do C-RAM.....	98
4.3.7 Experimento (IV) com PAE-02-1 uso de antena <i>Choke Ring</i> .....	99
4.4 Análise do percentual de redução do efeito multicaminho para o experimento PAE-02-1 .....	100
4.4.1 Comparação do AEM-LAGEH 02 com a antena <i>Choke Ring</i> .....	104
4.4.2 Análise da plataforma Euleriana PAE-02-2.....	105
4.5 CÁLCULO DAS DISTÂNCIAS PLANIMÉTRICAS ATRAVÉS DAS COORDENADAS GEODÉSICAS.....	108
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>110</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>114</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>118</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A fim de obter mais informações sobre grandes massas de água, cientistas e pesquisadores vêm aperfeiçoando técnicas e instrumentos 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. Cada um desses equipamentos é elaborado e construído com características individuais para cada pesquisa a que se destina. Salienta-se que a forma de construção depende dos fenômenos físicos ambientais que se almejam estudar. 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 duas formas: a saber, medições Lagrangeana e Euleriana. São definidas como observação Lagrangeana as medidas que envolvem uma parcela de fluido que se move, por exemplo, medidas de certas temperaturas a partir de um balão meteorológico ou determinadas trajetórias a partir de uma plataforma de flutuação a deriva sendo que o movimento deste tipo de plataforma é descrito, em função do tempo, de sua trajetória. Para o sistema de Lagrange as principais variáveis são as componentes do vetor de posição.

A outra maneira de fazer medições é ter um local de observação fixa, por exemplo, uma bóia ancorada no oceano, onde medições feitas desta maneira são conhecidas como medidas de Euler ou Euleriana. Para este caso a taxa de variação das plataformas é determinada através dos pontos fixos do espaço (Barbosa, 2010).

Atualmente os estudos sobre campos de velocidade em massas de água utilizando bóias oceânicas, são feitas através do lançamento destas estruturas à deriva em mar aberto, onde é realizado o acompanhamento do deslocamento das correntes marítimas por meio de rastreadores via satélite.

Quando se trata da determinação de trajetórias por bóias, deve-se incluir na pesquisa além dos dados provenientes da direção das correntes, obtidos por métodos de posicionamento por satélites, também os efeitos externos causados pela

ação dos ventos que dependendo da sua velocidade podem causar um desvio na rota da plataforma com relação à trajetória original. Quanto à definição da velocidade e posição dos vetores gerados pelo caminhar das bóias, é necessário o conhecimento inerente da hidrodinâmica da massa de água, no local.

Quando se trata com fluidos em movimento em massas de água, esta se trabalhando com a descrição de um campo de velocidade. (FOX et al., 1998).

Para um dado instante, o campo de velocidade, é uma função que pode ser expressa através de coordenadas espaciais tridimensional (Equação 1.1). A velocidade em qualquer ponto do campo de escoamento pode variar de um instante a outro dependendo de condições ambientais ou meio físico. Então, a representação completa da velocidade determinada por uma plataforma Euleriana pode ser definida por meio de métodos de posicionamento por satélites.

$$\vec{V} = \vec{V}(x, y, z, t). \quad (1.1)$$

Sendo:

$x = (\phi)$ : latitude geodésica

$y = (\lambda)$ : longitude geodésica

$z = (h)$ : altitude elipsoidal

$t$ : intervalo de gravação das observações.

Ao se determinar um campo de velocidade é necessário que seja admitida uma precisão inerente ao método de posicionamento por satélites, empregado na determinação de trajetórias Lagrangeanas. Segundo NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, 2010), as pesquisas nesta área usam modelos simplificados de sistemas dinâmicos, ou seja, modelos que introduzem pequenas correções inerentes, por exemplo, à superfície da água e o efeito de multicaminho.

Uma das dificuldades encontradas na obtenção de coordenadas geodésicas com precisão advém de erros sistemáticos, dentre eles tem-se o erro causado pelo efeito do multicaminho. Ele é um fenômeno pelo qual os sinais emitidos dos satélites podem chegar à antena do receptor instalado na superfície terrestre via múltiplos caminhos, atribuídos à reflexão de objetos próximos a esta antena e a difração (KRUEGER, 1996).

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.

Este efeito pode ser decorrente de três tipos de reflexão: especular, difusa e difração. Dependendo da superfície, cada tipo de reflexão tem um comportamento e uma influência no sinal que irá se propagar até a antena do receptor (MONICO, 2000).

Quando o receptor encontra-se em movimento o efeito de multicaminho mostra-se aleatório, não se repetindo devido à mudança rápida do entorno da trajetória percorrida e ao longo do tempo ocorre ainda a mudança da geometria dos satélites. Segundo Farret (2000), tal característica torna difícil à modelagem ou previsão do comportamento desse efeito. Esse é um dos maiores implicadores nos posicionamentos cinemáticos de aviões, embarcações e veículos.

Para o caso de massas líquidas o sinal refletido (FIGURA 1), apresenta comportamento semelhante ao de superfícies polidas, sofrendo uma variação do ângulo de incidência, ou seja, a reflexão do sinal depende da natureza física do meio.

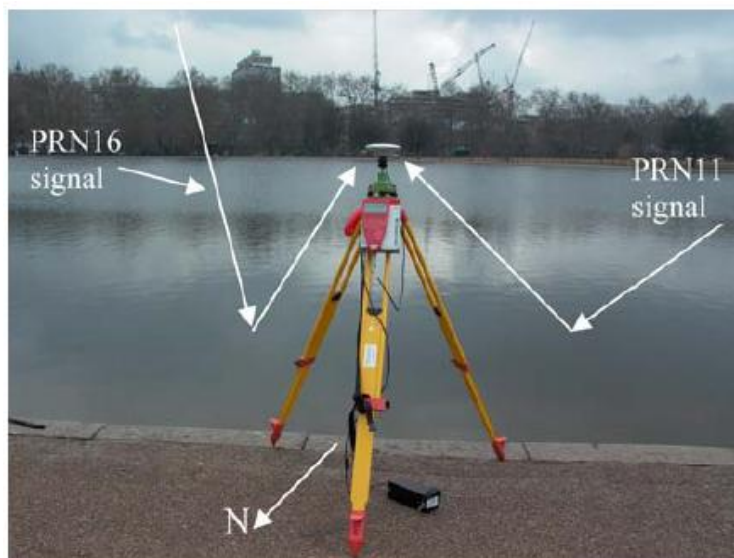


FIGURA 1- SINAL GPS ADVINDO APÓS REFLEXÃO PELA ÁGUA  
FONTE: CROSS ET AL., (2007).

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

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. Entre os materiais utilizados para atenuar sinais indiretos que chegam as antenas dos receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*), pode-se citar o AEM-LAGE (Atenuador do Efeito do Multicaminho).

O AEM-LAGE foi desenvolvido pelo Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH), da Universidade Federal do Paraná, com base no princípio da tecnologia MARE (Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética) empregado no uso civil como isolante de sinais eletromagnéticos ou uso militar *Stealth*<sup>1</sup>, a qual é empregada em aviões, submarinos e helicópteros de combate, tornando esses aparelhos imperceptíveis aos radares e sonares (USAF, 1996). Este material tem a propriedade de refletir ou absorver ondas eletromagnéticas, transformando essas ondas em calor. Os primeiros experimentos visando testar a eficiência do AEM-LAGE no processo de minimização do efeito multicaminho foram realizados no posicionamento de precisão na base de calibração BCAL/UFPR (VISKI, 2010). Com esse experimento verificou-se que esse material atenuou o efeito multicaminho no posicionamento geodésico reduzindo-o nas ondas portadoras L1 e L2.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Com o avanço da tecnologia GNSS o monitoramento por meio de sistemas de posicionamento por satélites tem se tornado uma opção mais atraente ao país, para proporcionar um melhor controle de sua extensão territorial e recursos hidrológicos.

A pesquisa na área de hidrodinâmica foi impulsionada nas últimas décadas, devido à mudança climática global crescente, trazendo com isso a necessidade de registros de variabilidade das águas mediante o monitoramento via métodos de posicionamento por satélites.

Para melhorar o posicionamento geodésico de alta precisão de corpos que estejam sobre a superfície de massas de água é necessário reduzir os efeitos que degradam o sinal dos satélites GNSS, dentre eles destaca-se o efeito de multicaminho. Durante muito tempo, pesquisadores vêm desenvolvendo métodos e

---

<sup>1</sup> Termo em inglês para escondido ou furtivo.

materiais para contornar este efeito atuante na medida da fase da onda portadora empregada no posicionamento geodésico terrestre ou marítimo.

Quando se trabalha com corpos hídricos pode-se imaginar que haja pouca influência de obstáculos atuando no posicionamento, visto que, há praticamente pouca chance de reflexão do sinal devido à presença de prédios ou árvores no entorno que ocorre nos posicionamentos realizados sobre o terreno. No entanto, os resultados são particularmente afetados pela presença do multicaminho tanto pela superfície de massa líquida quanto pela estrutura da própria plataforma na qual se encontra instalada uma antena GNSS. Para dificultar ainda mais, enquanto um mar calmo é um refletor extremamente eficiente para os sinais advindos de satélites com baixa elevação em relação ao plano do horizonte, uma superfície rugosa ou irregular produz uma reflexão difusa ainda mais complexa no que se refere a este efeito.

Parte desta pesquisa visa desenvolver um material com tecnologia nacional, de custo reduzido e com capacidade de atenuar a parte incidente do sinal GNSS refletido pela água, antes que os mesmos alcancem a antena GNSS.

O material denominado AEM-LAGE será empregado como técnica minimizadora do efeito de multicaminho. Ele poderá ser instalado rapidamente sob a antena GNSS (reduzindo este efeito quando não for possível realizar métodos adicionais no pós-processamento de dados).

Com a atenuação do efeito de multicaminho, será possível aumentar a acurácia na determinação das coordenadas geodésicas de uma trajetória descrita por um objeto sobre a superfície de massa de água.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar materiais atenuadores do efeito de multicaminho, visando melhorar o posicionamento geodésico de objetos sobre superfícies de grandes massas de água, contribuindo na determinação de um posicionamento mais acurado.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Aprimorar o AEM-LAGE desenvolvido em 2010 e avaliar o seu desempenho;
- b) Avaliar o efeito de multicaminho no posicionamento por satélites da plataforma Euleriana, sobre diferentes condições, Por exemplo: variar a altura da antena instalada nesta plataforma, empregar diferentes antenas receptoras e utilizar ou não os materiais atenuadores deste efeito.
- c) Avaliar a influência do efeito multicaminho nas trajetórias descritas pelas plataformas Lagrangeanas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção serão descritos alguns tópicos importantes para o desenvolvimento e compreensão da metodologia a ser aplicada. Será feita referência quanto ao GPS e suas observáveis, bem como, as características do efeito de multicaminho e como ele afeta as observáveis GPS.

### 2.1 PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES

O princípio básico de navegação por satélites (por exemplo: GPS, GLONASS e GALILEO) consiste em medidas de pseudodistância, distância entre a antena do usuário (receptor) e a antena do satélite eivada de erros, de pelo menos quatro satélites visíveis acima do horizonte do observador. Conhecidas as coordenadas dos satélites, relativas ao sistema geocêntrico terrestre, é possível determinar as coordenadas geodésicas de um ponto na superfície terrestre (SEEBER, 2003).

O posicionamento por satélites pode ser relativo ou absoluto. Segundo Krueger (1996) o posicionamento relativo caracteriza-se pela observação simultânea dos satélites em no mínimo duas estações distintas, sendo que uma delas deve ter a sua coordenada geodésica conhecida e será denominada como ponto ou estação base. As observáveis básicas empregadas na determinação da posição de objetos na superfície terrestre podem ser a fase da onda portadora, e o código.

### 2.2 NAVSTAR-GPS

O sistema NAVSTAR-GPS (*NAVigation System with Time And Ranging – Global Positioning System*) foi desenvolvido na década de 70, para atender aos interesses militares dos americanos. Entretanto, pelo seu grande potencial,

estendeu-se a setores não militares. Atualmente, é um dos sistemas mais precisos na determinação da posição tridimensional, na navegação e em informações sobre o tempo (SEEBER, 2003). Ele é um sistema de abrangência global, permitindo que o usuário em qualquer local da superfície terrestre tenha à sua disposição para a observação no mínimo quatro satélites da sua constelação (KRUEGER. 1996).

## 2.3 OBSERVÁVEIS GPS.

As observáveis GPS, as quais permitem a determinação da posição, tempo e velocidade podem ser definidas pela pseudodistância e pela fase da onda portadora.

### 2.3.1 Pseudodistância

A pseudodistância a partir da medição do código é obtida pela multiplicação do tempo de propagação do sinal pela velocidade da luz no vácuo.

Esta observável se baseia nos códigos gerados no receptor o qual gera uma réplica do código gerado no satélite (MONICO, 2007). A comparação entre um determinado intervalo de código, gerado no satélite, e sua réplica gerado no receptor, fornece o tempo de propagação do sinal entre o satélite e o receptor.

Esta medida é denominada de pseudodistância pelo fato de não haver o sincronismo entre o relógio do satélite com precisão atômica de Césio e Rubídio e o relógio do receptor do usuário com precisão na maioria tem a precisão atômica do Quartzo.

A equação fundamental (Equação 2.1) de observação para uma pseudodistância para uma época genérica (t) é dado por (SEEBER, 2003):

$$PD_{CD} = c(t_r - T_t) = D(t) + cdt_u(t) + cdt_{Tro}(t) + cdt_{Ion}(t) + cdt_s(t) + \varepsilon_D \quad (2.1)$$

Onde:

- $c$  – velocidade de propagação da luz no vácuo;
- $t_r$  – tempo no receptor referente ao sinal recebido;
- $T_t$  – tempo no satélite referente ao sinal transmitido;
- $D$  – distância geométrica entre a antena do satélite e a antena do receptor;
- $cdt_u$  – erro de sincronismo entre o relógio do receptor e o tempo GPS;
- $cdt_{Tro}$  – atraso na propagação do sinal GPS devido à troposfera;
- $cdt_{Ion}$  – atraso na propagação do sinal GPS devido à ionosfera;
- $cdt_s$  – erro de sincronismo entre o relógio do satélite e o tempo GPS; e
- $\varepsilon_D$  – demais erros sistemáticos (Ruído do receptor, efeito de multicaminho, centro de fase das antenas, etc.).

### 2.3.2 Fases da onda portadora

A observável GPS mais precisa que a pseudodistância é a fase da onda portadora. Essa observável é igual à diferença entre a fase do sinal do satélite, recebido no receptor, e a fase do sinal gerado no receptor, ambas no instante de recepção  $t$ .

Cada satélite de posicionamento GPS transmite duas ondas portadoras que são geradas pela frequência fundamental de 10,23 MHz, as quais são multiplicadas pelos coeficientes, 154 para a portadora L1 e 120 para a onda portadora L2. No caso da portadora L5 a frequência fundamental está sendo multiplicada pelo coeficiente 115.

A portadora L1 é modulada pelos códigos P e C/A, tem uma frequência de 1.575,42 MHz e um comprimento de onda de aproximadamente 19,05 cm. Quanto à portadora L2 ela é modulada pelo código P, tem uma frequência de 1.227,60 MHz, e possui um comprimento de onda de 24,45cm. A portadora L5 apresenta uma

frequência de 1.176,45 MHz e um comprimento de onda aproximadamente igual a 25,5 cm.

Segundo Seeber (2003), a equação de observação básica da pseudodistância por meio da medida da fase da onda portadora para uma época genérica (t) pode ser descrita por (Equação 2.2).

$$PD_{\Phi} = D(t) + cdt_u(t) + cdt_{Tro}(t) - cdt_{Ion}(t) + cdt_s(t) + c\left(\frac{N}{f_{\Phi}}\right)(t) + \varepsilon_D \quad (2.2)$$

onde:

$f_{\Phi}$  – frequência da onda portadora; e

$N$  – ambiguidade<sup>2</sup>.

### 2.3.3 Técnicas de diferenciação

Segundo Krueger (2007), uma forma de eliminar ou minimizar os erros presentes em observações originais consiste em empregar diferentes técnicas para a modelagem da fase das portadoras as quais são, simples diferença de fase, a dupla diferença de fase e a tripla diferença de fase.

A dupla diferença de fase (DDF) resulta de duas simples diferenças de fase (SDF), podendo esta última ser formada pela diferença entre as fases da onda portadora geradas por dois receptores (A, B), sintonizando um único satélite j no mesmo instante de tempo t. A DDF consiste em se realizar a diferença entre as fases da portadora geradas por duas estações A e B, para dois satélites i e j, num mesmo instante t.

Uma das principais características da diferenciação entre as observações simultâneas coletadas em duas estações diferentes (A e B) utilizando a dupla diferença é a eliminação e redução de alguns erros inerentes às observáveis originais (SILVA, 2005). Segundo Souza (2005), o multicaminho não é eliminado na DDF, pois depende da geometria entre receptor, satélite e refletor, ou seja, das

---

<sup>2</sup> É uma incógnita que corresponde ao número inteiro de ciclos, decorrido entre o instante de transmissão e da recepção do sinal.

condições espaciais de reflexão do sinal na região onde está instalada a antena do receptor.

## 2.4 CARACTERÍSTICAS DAS ANTENAS GNSS

A antena de um receptor GPS é a principal porta de entrada dos sinais eletromagnéticos emitidos pelos satélites. Este dispositivo é equipado com sistema de filtro e amplificador, o qual tem por objetivo transformar a energia da onda eletromagnética em corrente elétrica. Posteriormente ela é enviada para o receptor, o qual interpreta o sinal fornecendo dados posicionais de navegação (WEILL, 1997).

Quando se trabalha com receptores GNSS, a escolha da antena deve merecer atenção especial por parte do usuário, pois a mesma tem grande importância quanto ao resultado final das observações por ela coletada.

Quanto à capacidade da antena de receber sinais, a mesma deve garantir recepção do sinal advindo dos satélites para todos os ângulos de elevação e azimutes visíveis do hemisfério de observação.

Os sinais recebidos dos satélites GPS são notoriamente fracos. E eles podem chegar simultaneamente de qualquer direção emitidos por diferentes satélites. As seguintes considerações quanto à interpretação do sinal são esperadas de uma antena:

- ✓ Cobertura de Frequência;
- ✓ Polarização Circular;
- ✓ Supressão do Efeito Multicaminho;
- ✓ Centro de Fase.

Existem diversos tipos de antenas, sendo que cada uma delas é desenvolvida com características próprias para atender a cada receptor, visto que há o problema da não coincidência do centro geométrico da antena com o seu centro de fase. Conforme Seeber (2003), os centros de fase médios ( $cf_{L1}$  e  $cf_{L2}$ ) das portadoras L1 e L2 podem estar deslocados poucos milímetros do centro mecânico da antena, onde se situa o ARP (*Antenna Reference Point.*), figura 2.



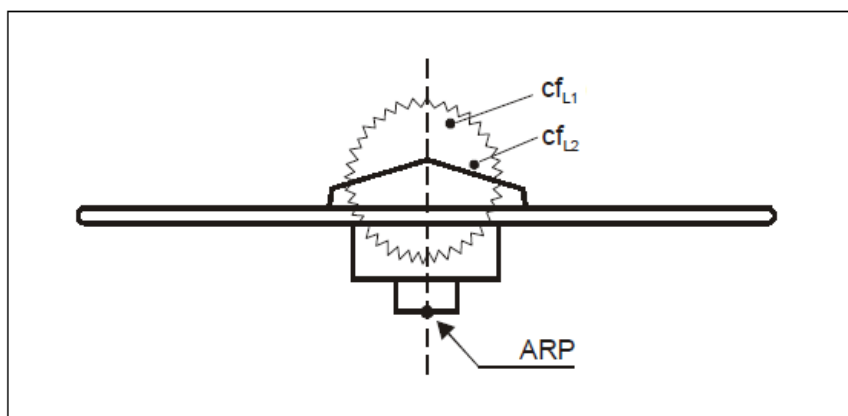


FIGURA 2- CENTROS DE FASE  
 FONTE: DICK, G. (2002)

Segundo Gemael e Andrade, (2004), para contornar esse problema é possível realizar a orientação da antena para o norte, desta maneira o erro devido à falta de centragem dos centros de fase são minimizados. Outro meio eficiente de minimizar o erro advindo da não coincidência do centro de fase eletrônico com o centro de fase geométrico é conhecer os parâmetros de calibração das antenas. Esses parâmetros de calibração determinam a posição em que a antena vai receber o sinal GNSS, isso é, a posição do centro de fase eletrônico da antena. Uma forma de determinar o centro de fase das antenas consiste em realizar a calibração das mesmas. Segundo Huinca (2009), os principais métodos de calibração existentes são: calibração relativa em campo, calibração em ambientes controlados e calibração absoluta em campo.

#### 2.4.1 Antena tipo *Microstrip*

Na figura 3 observa-se uma antena geodésica do tipo *Microstrip* com abas largas. Ela apresenta um plano de terra, o qual é composto por um disco de metal em geral de alumínio, sob a base inferior da antena.





FIGURA 4- ANTENA *CHOKE RING* (3D)  
 FONTE: BCAL-UFPR (2011)

A maioria dos receptores GPS usam antenas *microstrip* circularmente polarizadas a direita. Elas possuem um tamanho compacto e um baixo custo quando comparada a antena *Choke Ring*. A desvantagem de uma antena *microstrip* é que ela não rejeita sinais do efeito de multicaminho mesmo tendo sido projetada para fazê-lo (WEILL; 1997).

## 2.5 POLARIZAÇÃO DO SINAL GPS.

Sistemas 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 do sinal. Toda antena 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: *Left-Hand Circularly Polarised*). Ocorre uma mudança de fase de 180 graus induzida pela reflexão (CONSTANTINE, 1988). Um sinal após

ser refletido por uma superfície pode mudar ou não a sua polarização. Este mesmo sinal refletido novamente em outra superfície volta a ter a polarização inicial, entretanto tornando-se mais fraco após cada reflexão.

O vetor campo elétrico em uma polarização circular pode ser decomposto em duas componentes (horizontal e vertical), equações (2.3) e (2.4), mediante a seguinte formulação (GONÇALVES E WALTER; 2005):

- Componente Vertical

$$\Omega_V = \frac{\varepsilon \sin \theta - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \theta}}{\varepsilon \sin \theta + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \theta}} \quad (2.3)$$

- Componente Horizontal

$$\Omega_H = \frac{\sin \theta - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \theta}}{\sin \theta + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \theta}} \quad (2.4)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_r - j \cdot 60 \cdot \lambda \cdot \sigma$$

Onde:

$\varepsilon$  : permissividade elétrica<sup>3</sup> do material sobre o qual o sinal foi refletido;

$\varepsilon_r$  : permissividade relativa;

$\lambda$  : comprimento de onda;

$\theta$  : ângulo de incidência;

$\sigma$  : condutividade;

$j$ :  $\sqrt{-1}$

---

<sup>3</sup> Permissividade: É determinada pela capacidade de um material existente polarizar-se em resposta a um campo elétrico aplicado e, dessa forma, cancelar parcialmente o campo dentro do material.

## 2.6 ERROS SISTEMÁTICOS ENVOLVIDOS NAS OBSERVÁVEIS

A precisão do posicionamento utilizando observáveis GPS depende da minimização ou eliminação de erros sistemáticos, ruídos e de interferências que afetam as medidas de pseudodistância baseadas no código e na fase da onda portadora.

No QUADRO 1 estão dispostos os principais erros sistemáticos e suas dimensões (ou grandezas) para o posicionamento absoluto e relativo.

Efeito sobre a determinação da posição	Absoluto	Relativo
<b>• Órbita</b>		
Efemérides transmitidas	2...10 m	0,1... 0,5 ppm
Efemérides precisas	0,1... 1 m	0,005... 0,05 ppm
<b>• Ionosfera</b>		
Receptor com simples frequência	2...150 m	0,1... 5 ppm
Receptor com dupla frequência	-	mm. cm
<b>• Troposfera</b>		
Zênite	2 m	mm..dm
Horizontal	25m	mm.. 2m
<b>• Centro de fase</b>		
Diferentes tipos de antena	mm..cm	mm..cm
<b>• Ruído</b>		
Código C/A	1...3m	1,4... 4,2 m
Fase	3mm	4 mm
<b>• Multicaminho</b>		
Código C/A	5m	Influência ampliada
Fase	-	5 cm

QUADRO 1- ERROS SISTEMÁTICOS NO POSICIONAMENTO GNSS.

FONTE: SEEGER; (2000)

Na figura 5, estão representados os principais erros sistemáticos que podem influenciar o sinal emitido de um satélite GPS para um receptor qualquer.

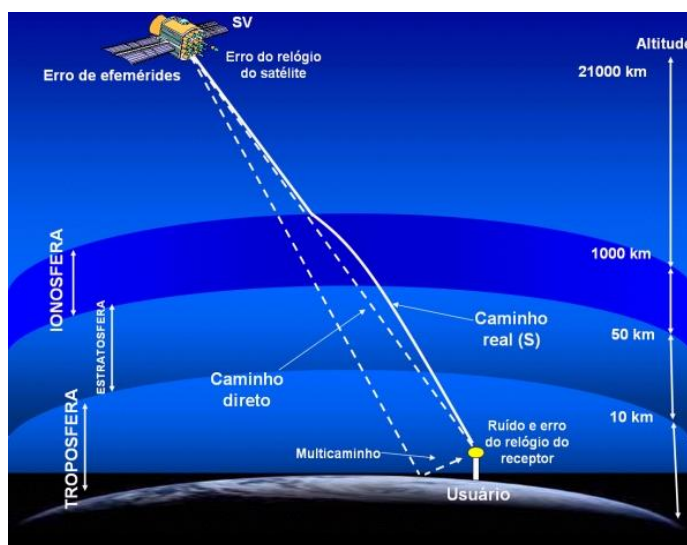


FIGURA 5- ERROS SISTEMÁTICOS  
 FONTE: ITA - INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

### 2.6.1 Atraso Troposférico

Atrasos ocorridos na propagação do sinal nas camadas mais baixas da atmosfera conhecido como atraso zenital que ocorre devido à variação do índice de refração dos gases atmosféricos em relação ao espaço livre. Esse efeito causa uma leve curvatura no sinal de GPS, quando comparado o mesmo sinal de trajetória no vácuo (SAPUCCI *et al.*, 2005). Na figura 5 percebe-se esta camada para uma altitude de até 10 km.

### 2.6.2 Atraso ionosférico

A ionosfera, segunda camada, apresenta uma espessura de 50 a 1000 km (FIGURA 5), nessa camada há a ionização dos gases devido a atividade solar, resultando em um meio ionizado, o qual provoca atrasos na propagação do sinal (KRUEGER, 2007).

Este efeito está ligado a variação da densidade de elétrons na ionosfera e pode provocar atrasos de propagação do sinal GPS de até 100 metros, em períodos de intensa atividade solar, permanecendo, na maior parte do tempo, entre 20 e 30 metros, durante o dia, e de 3 a 6 metros durante a noite. Como estes atrasos variam em função da frequência, é possível remover até 90% destes erros empregando receptores de dupla frequência (LEICK, 2004).

### 2.6.3 Sinal-ruído

Os receptores e antenas GPS podem gerar, a partir de um campo elétrico existente, um sinal denominado relação sinal-ruído (SNR), a qual é medida a partir do quociente entre a energia do sinal e a energia do ruído. Segundo Ray (2000), o efeito do multicaminho não afeta somente o código e a fase da portadora, mas também a relação sinal ruído.

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).

Este efeito tem origem em locais próximos a estações de transmissão de micro-ondas, radar, antenas rádio repetidoras e linhas de transmissão de alta tensão, visto que, elas representam fontes de interferência para os sinais e equipamentos GPS.

### 2.6.4 Multicaminho

O efeito de multicaminho fica caracterizado quando antenas GPS recebem além dos sinais diretos do satélite, sinais oriundos de reflexões de superfícies (FIGURA 6) próximas (sinais indiretos), os quais sofrem um retardo com relação aos primeiros (POLEZEL et al., 2004). E nos levantamentos GPS esse efeito pode

impedir que as ambiguidades sejam resolvidas ou até propiciar uma solução errônea.

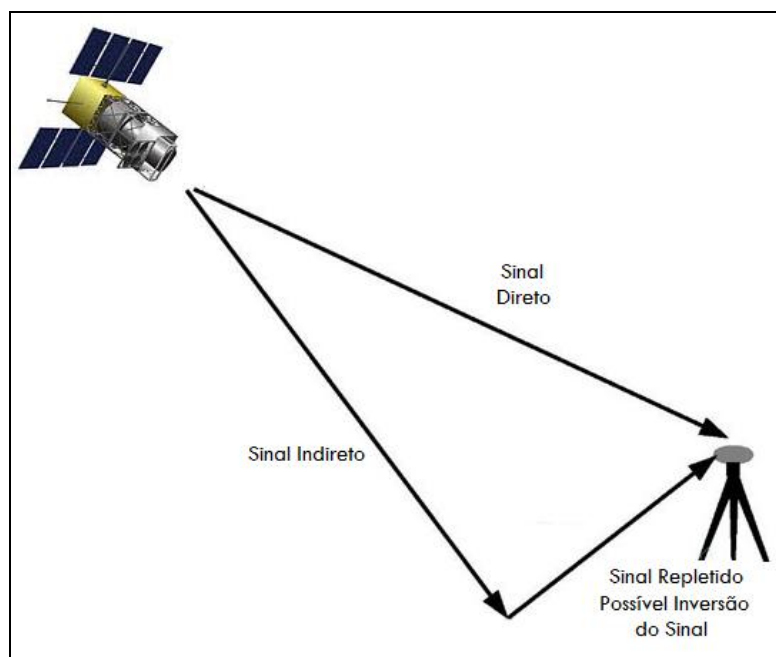


FIGURA 6- EFEITO DE MULTICAMINHO  
 FONTE: O autor (2012)

O efeito de multicaminho pode afetar tanto o posicionamento estático quanto o posicionamento cinemático. Para observação estática, a geometria de propagação de sinal muda lentamente, fazendo com que os parâmetros de multicaminho sejam os mesmos por vários minutos. Já para o caso cinemático, o efeito do multicaminho é mais difícil ser modelado ou atenuado, pois a posição de incidência do sinal GPS muda rapidamente devido à alteração na geometria entre a antena e os objetos refletoras existentes nos arredores (SOUZA *et al.*, 2006).

De acordo com Leick (2004), satélites em baixos ângulos de elevação (menores que  $20^\circ$ ) geram fortes incidências de multicaminho.

Segundo Moelker (1997), as técnicas que procuram atenuar o multicaminho podem ser divididas em:

- Nível de Antena: são aquelas técnicas que atenuam em nível de tecnologia de antena, por exemplo, antenas *Choke Ring*;
- Nível de Receptor: as que executam correções a nível de receptor, por exemplo, tecnologia *narrow correlator* (Novatel); e



- As que processam os dados pós-recepção com rastreamento de múltiplas antenas de referência (FARRET, 2000).

O multicaminho é altamente depende das propriedades físicas do entorno da antena. Pode-se classificar o multicaminho em duas categorias: reflexão especular e difusa (FIGURA 7).

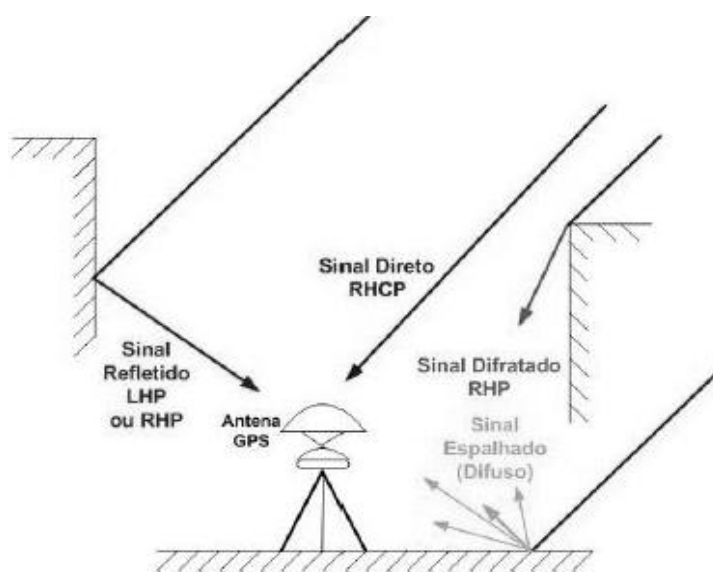


FIGURA 7- REFLEXÃO ESPECULAR, REFLEXÃO DIFUSA E DIFRAÇÃO.  
 FONTE: GONÇALVES E WATER (2005)

- Reflexão Especular

A reflexão conhecida como especular (FIGURA 8), ocorre quando o sinal GPS incide sobre uma determinada superfície, geralmente, planam e retornam para o meio no qual ocorreu à incidência, com o mesmo ângulo de incidência. Na maioria das vezes esse tipo de reflexão ocorre em superfícies polidas, tais como: espelhos e metais. Segundo Comp e Axelrad (1996), o multicaminho especular é o que mais afeta a maioria das aplicações que utilizam as medidas da fase das ondas portadoras e suas diferenças sendo responsável por, pelo menos, 90% dos erros nas medidas de diferença de fase, e dominante em aplicações de alta precisão.

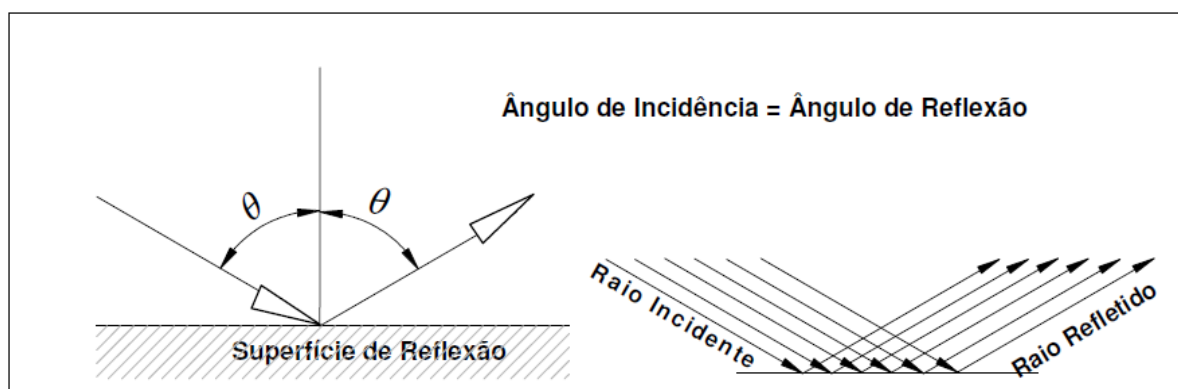


FIGURA 8- REFLEXÃO ESPECULAR  
FONTE: LEANDRO (2009).

- Reflexão Difusa

A reflexão difusa (FIGURA 9) ocorre em superfícies rugosas, na qual os raios incidentes são refletidos em todas as direções. Devido ao comportamento desta reflexão ela se torna mais difícil de ser modelada por não seguir uma ordem geométrica de incidência. Na Geodésia quando este efeito é esperado na reflexão do sinal decorrente do efeito de multicaminho é necessário utilizar materiais capazes de absorver este efeito antes dele chegar à antena.

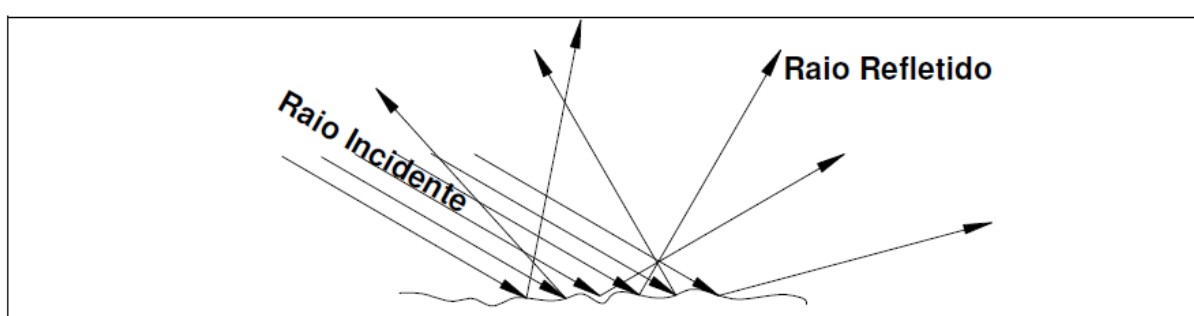


FIGURA 9- REFLEXÃO DIFUSA  
FONTE: LEANDRO (2009)

- Reflexão Difrata

A difração é proveniente da reflexão do sinal emitido pelos satélites em bordas de objetos refletoras (FIGURA 10).

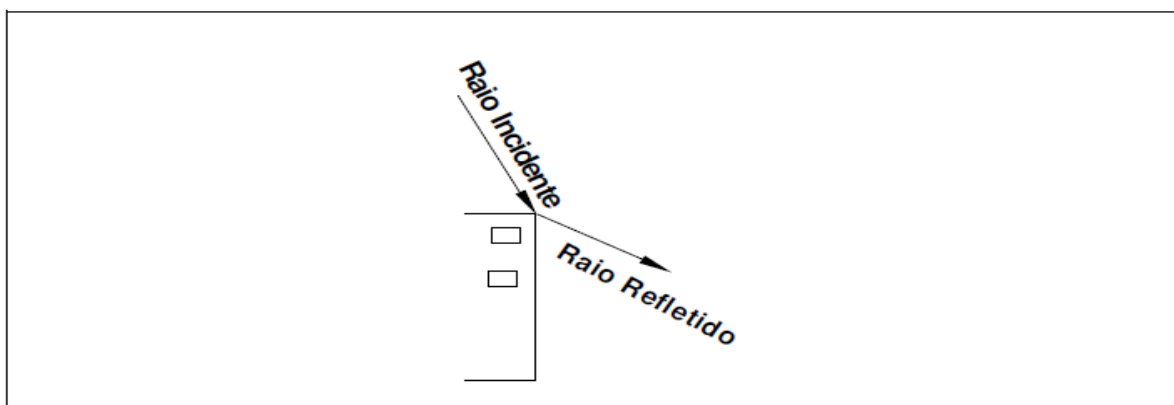


FIGURA 10- DIFRAÇÃO  
FONTE: LEANDRO (2009).

Para estudos em massas de água espera-se que o comportamento do sinal advindo dos satélites quanto suas reflexões sejam semelhantes aos detectados em superfícies sólidas polidas devido ao fato de a água ter a capacidade de refletir uma onda que nela incide.

#### 2.6.5 Efeitos Multicaminho na Pseudodistância

O efeito de multicaminho na pseudodistância é muitas vezes maior do que aquele que ocorre para a onda portadora. As observações do código P são afetadas duas vezes mais do que as da fase da onda portadora (SEEBER, 2003). Salienta-se que o erro máximo é proporcional ao comprimento da onda que, no caso da pseudodistância, está relacionada com a razão de transmissão dos códigos C/A.

Quanto maior for à frequência do sinal, menor será o erro máximo, ou seja, é esperado um menor erro para a portadora L1 se comparada com a portadora L2.

#### 2.6.6 Multicaminho no Posicionamento Estático

Para o efeito do multicaminho proveniente do posicionamento estático espera-se que haja apenas mudanças em face da variação da elevação e azimute dos satélites observados, ao longo do tempo, visto que o entorno do receptor permanece inalterado e propenso apenas ao movimento dos satélites em suas órbitas. A coleta de dados num ponto por um tempo prolongado possibilita, através do processamento dos dados, a detecção dos erros advindos do efeito de multicaminho.

Este tempo de observação deve ser suficiente para que haja repetição da geometria dos satélites, o ideal é que seja por um período de 24 horas.

Verifica-se na literatura que há diversos trabalhos no que tange a influência do efeito de multicaminho nos posicionamentos estáticos, contudo, nos posicionamentos cinemáticos estas análises são minoria.

#### 2.6.7 Efeito Multicaminho na Fase da Onda Portadora

O erro proveniente do efeito de multicaminho tem alta dependência dos objetos próximos à antena, ou seja, de obstáculos ou superfícies que possam refletir o sinal de incidência direta entre antena e satélite. Segundo Seeber (1993) e Souza (2004), o atraso na fase da onda portadora devido ao multicaminho acarreta erros de no máximo  $\frac{1}{4}$  de ciclo de onda que corresponde a alguns centímetros QUADRO 2.

FASE DA ONDA PORTADORA	COMPRIMENTO DE ONDA	ERRO APROXIMADO PARA $\frac{1}{4}$ DA ONDA
L1	19,05 cm	4,8 cm
L2	24,5 cm	6,1 cm
L5	25,5 cm	6,4 cm

QUADRO 2- VALOR APROXIMADO DOS ERROS GERADOS PELO EFEITO DO MULTICAMINHO PARA AS ONDAS PORTADORAS

## 2.7 MATERIAL ISOLANTE MAGNÉTICO

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 cita-se o Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH) o qual tem desenvolvido pesquisas aplicadas aos setores que se utilizam dos sistemas de navegação e de posicionamento por satélite, e que visam contribuir para a sociedade e o bem comum.

Entre os projetos desenvolvidos detecta-se a pesquisa que busca desenvolver métodos e materiais capazes de atenuar o efeito proveniente do multicaminho nos posicionamentos GNSS de alta precisão. Dentre esses materiais destaca-se o protótipo do isolante eletromagnético denominado AEM-LAGE. Ele é desenvolvido com base em tecnologia MARE (Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética) empregado no uso civil como isolante de sinais eletromagnéticos ou uso militar *Stealth*, a qual é empregada em aviões, submarinos e helicópteros de combate, tornando esses aparelhos invisíveis aos radares e sonares. Esta tecnologia consiste em um material que tem a propriedade de refletir ou absorver ondas eletromagnéticas, transformando essas ondas em calor. A mesma linha de pesquisa pode ser empregada para atenuar o chamado efeito multicaminho.

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

Nas figuras (11 e 12), podem ser observados os materiais isolantes eletromagnéticos, à esquerda o material AEM-LAGE e a direita o C-RAM. Ambas as placas apresentam as mesmas dimensões de 60x60x6 centímetros o que não

acarretará em subsídios na dimensão dos materiais para as investigações quanto às análises dos resultados a serem alcançados.



FIGURA 11- VISTA DE TOPO DOS MATERIAIS ISOLANTES AEM-LAGE À ESQUERDA E O MATERIAL IMPORTADO C-RAM  
FONTE: VISKI (2010)



FIGURA 12- VISTA EM PERSPECTIVA DOS MATERIAIS ISOLANTES AEM-LAGE À ESQUERDA E O MATERIAL IMPORTADO C-RAM  
FONTE: VISKI (2010)

Os primeiros experimentos visando testar a eficiência do protótipo AEM-LAGE 01 foram realizados no primeiro semestre de 2010, sobre o Pilar 3000 Sul, localizados na BCAL/UFPR.

Foram coletadas observações advindas dos satélites GPS com o método de posicionamento absoluto estático visando uma posterior comparação entre os dados

coletados com os dois materiais, o C-RAM, o qual já se conhecia sua eficiência, e o material isolante AEM-LAGE. Inicialmente foram realizados 3 experimentos, sendo o primeiro sem nenhum material isolante, segundo com AEM-LAGEH 02, terceiro com C-RAM. Os três experimentos foram analisados através do programa TEQC, (*Translate Edit Quality Check*), que indica o nível de variação média do efeito do multicaminho numa estação de observação para a fase da portadora L1 e L2. Observou-se que a variação média do efeito do multicaminho para a onda portadora L1, do experimento (FIGURA 13), quando não se utilizou nenhum método ou técnica de minimização foi de aproximadamente 0,45 metros.

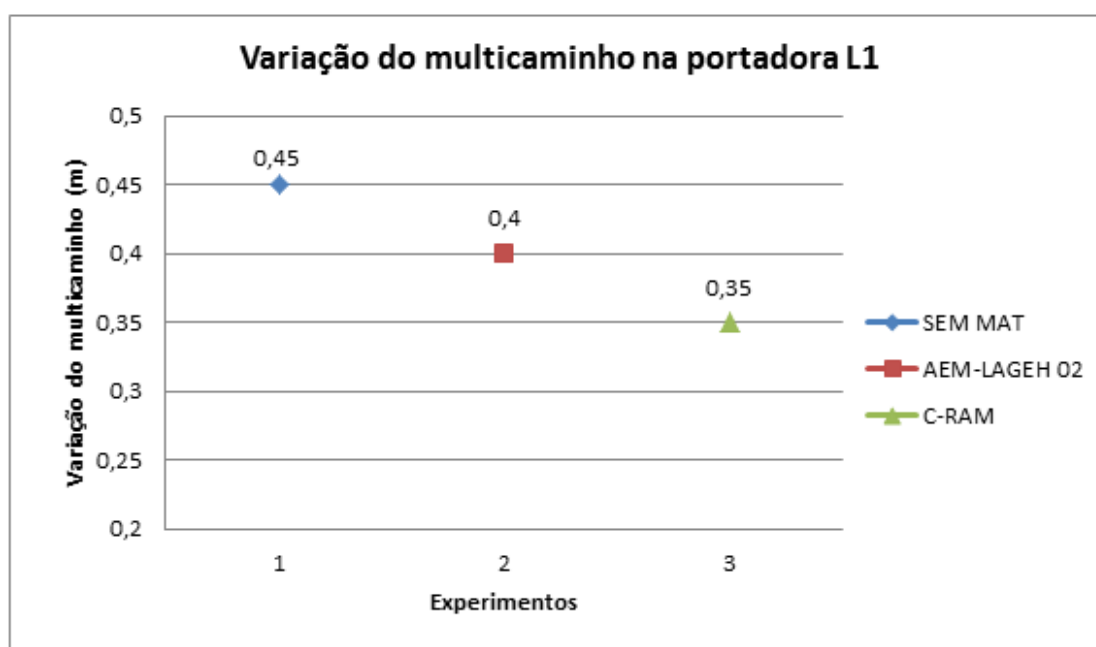


FIGURA 13- VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L1  
FONTE: VISKI (2010)

Para a portadora L2, sem o uso material isolante (FIGURA 14), obteve-se uma variação média de aproximadamente 1,3 metros. Ao se comparar a variação média entre o primeiro e terceiro experimento o resultado foi de aproximadamente 0,20 metros, Entre o segundo e terceiro experimento o resultado foi praticamente igual. Com os resultados expostos do primeiro protótipo AEM-LAGE o qual produziram resultados significativos, atenuando o efeito do multicaminho, pois a variação média desse efeito foi menor quando se utilizou o material atenuador

produzido pelo LAGEH, foi dada sequência no aprimoramento deste material, maiores informações sobre os experimentos podem ser obtidas em Viski (2010).

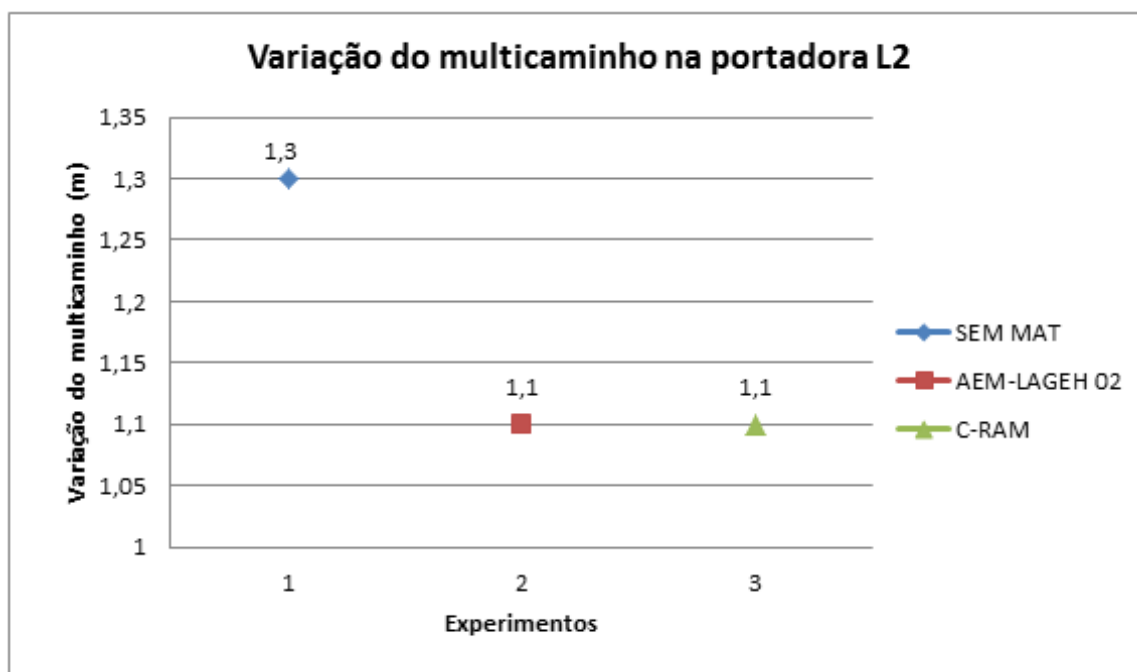


FIGURA 14- VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L2  
FONTE: VISKI (2010)

## 2.8 PLATAFORMAS

O desenvolvimento de plataformas, bóias de superfície é uma tarefa extremamente difícil, devido ao efeito do seu movimento sobre a superfície da água.

Desde 1960, cientistas e engenheiros têm pesquisado a melhor forma de utilização destes equipamentos na coleta de dados.

Cada plataforma é desenvolvida para fins específicos, podendo ser:

- ✓ Observar as correntes de rios e oceanos seja por posicionamento GNSS ou Sensoriamento Remoto,
- ✓ Temperatura da água,
- ✓ Salinidade,
- ✓ Velocidade e direção das correntes.
- ✓ Velocidade e direção do vento,



- ✓ Umidade relativa do ar,
- ✓ Temperatura do ar,
- ✓ Pressão barométrica e precipitação.

Plataformas são concebidas fixas por amarração ou flutuação, ambas podem medir mudanças atmosféricas ou oceânicas tão frequentemente quanto uma vez por minuto e podem tomar medidas oceanográficas metro a metro.

Estas estruturas flutuantes, na sua maioria, são apoiadas por um sistema GPS a bordo, o qual se destina à coleta de dados proveniente da sua trajetória descrita. Estas bóias são projetadas para serem lançadas em corpos de água e se movem sobre a ação de correntes ao longo de um período de dias ou meses. Verifica-se ainda a bordo delas uma serie de sensores destinados a registrar posições com GPS para aplicação por serie temporal de posicionamento.

Atualmente os estudos sobre campos de velocidade em massas de água por meio de bóias oceânicas são feitas através do lançamento destas estruturas a deriva, em mar aberto, onde é realizado o acompanhamento do seu deslocamento das correntes. Igualmente importante é o monitoramento da posição de bóias oceanográficas ancoradas por meio de transmissores, equipamento este destinado a emitir dados posicionais visando viabilizar seu resgate caso se desprenda de sua amarração (KUGA e SOUZA, 2003).

### 3 METODOLOGIA

Nesta seção apresenta-se a metodologia empregada neste trabalho de pesquisa. Descreve-se o desenvolvimento de plataformas Lagrangeanas (PL) e Eulerianas (PAE) empregadas na pesquisa do efeito multicaminho sobre corpos hídricos.

Também se encontra indicado o desenvolvimento de novas matrizes do material isolante eletromagnético AEM-LAGEH-02 e a construção de um suporte DRA (Dispositivo de Regulagem Angular), que possibilita a regulagem da inclinação do material AEM-LAGEH-02 instalado sob a antena GPS.

Indicam-se os experimentos que foram realizados na BCAL/UFPR (tabela 1) considerados um campo estático e no reservatório de Vossoroca (tabela 2), considerado um campo estático e cinemático, bem como, os equipamentos empregados e as análises realizadas.

Na Tabela 1 indicam-se dois grupos de experimentos realizados na BCAL/UFPR (laboratório) denominados de Teste 01 e Teste 02. O primeiro refere-se ao emprego do suporte DRA possibilitando que o material isolante eletromagnético posicionado abaixo da antena GPS seja inclinado de 12 graus e no segundo teste a inclinação é igual a 0 grau.

Os experimentos realizados no reservatório de Vossoroca foram organizados em dois grandes grupos o campo estático e o cinemático. O primeiro emprega as plataformas automatizadas Eulerianas (PAE) e o segundo as plataformas Lagrangeanas (PL).

TABELA 1- EXPERIMENTOS BCAL/UFPR.

CONDICIONANTES	Laboratório BCAL/UFPR Campo Estático						
	Teste 01				Teste 02		
	Exp1	Exp2	Exp3	Exp4	Exp1	Exp2	Exp3
SEM MATERIAL	x				x		
AEM-LAGEH 02		x				x	
C-RAM			x				x
DRA 0 graus					x	x	x
DRA 12 graus		x	x				
Receptor 1200	x	x	x	x	x	x	x
Antena LEIAX 1203	x	x	x		x	x	x
Antena <i>Choke Ring</i>				x			
Análise por Leica Geoffice	x	x	x	x	x	x	x
Programa TEQC	x	x	x	x	x	x	x

TABELA 2- EXPERIMENTOS RESERVATÓRIO VOSSOROCA.

CONDICIONANTES	Reservatório Vossoroça							
	Campo Estático						Campo Cinemático	
	PAE 02-1				PAE 02-2		PL- 02-1	PL-02 2
	Exp1	Exp2	Exp3	Exp4	Exp1	Exp2	Exp1	Exp3
Sem material	x						x	
AEM-LAGEH 02		x			x	x		x
C-RAM			x					
DRA 0graus								
DRA 12 graus		x	x		x	x		x
Receptor 1200	x	x	x	x	x	x		
Antena LEIAX 1203	x	x	x		x	x		
Antena <i>Choke Ring</i>				x				
Antena ASHTECH							x	x
Receptor Promark 2							x	x
Análise por Leica Geoffice	x	x	x	x	x	x	x	x
Programa TEQC	x	x	x	x	x	x		

Diversos experimentos foram realizados sendo que eles diferem no que tange os condicionantes empregados as quais estão indicados nas tabelas 1 e 2. Elas referem-se ao emprego de diferentes materiais atenuadores e ao não emprego deles, a inclinação destes materiais posicionados abaixo da antena por meio do DRA, o emprego de antenas e receptores, bem como, os programas empregados visando à análise dos dados.

### 3.1 DESENVOLVIMENTOS DE PROTÓTIPOS

Para a realização dos experimentos visando estudar o efeito do multicaminho em massas de água utilizaram-se diversos equipamentos (protótipos) desenvolvidos e em desenvolvimento pelo LAGEH, que nos últimos anos tem realizado pesquisas empregando tecnologia nacional e de baixo custo, aplicados às Ciências Geodésicas e hidrografia.

Dentre estes equipamentos cita-se:

- ✓ Bóia de deriva: Equipamento desenvolvido para a determinação de trajetórias descritas por correntes ou campos de velocidade. A primeira geração de plataformas foi construída utilizando em sua estrutura metal (FIGURA15) e como estrutura flutuante foi utilizado câmaras de ar, denominada de PL-01. A sua segunda geração levou em consideração os termos da literatura especializada passando a ser denominada plataforma Lagrangeana (PL-02).



FIGURA 15- PLATAFORMA PL-01  
FONTE: VISKI (2010)

- ✓ Plataforma automatizada PAE-01: Este equipamento foi desenvolvido com a finalidade de realizar pesquisas com relação à variação do nível de massas de água que sofrem com o processo de estiagem ou que tem variações bruscas no seu nível (FIGURA 16).



FIGURA 16- PLATAFORMA PAE-01.  
FONTE: O autor 2012

### 3.1.1 Plataforma Automatizada Euleriana (PAE).

O 1º protótipo desenvolvido desta plataforma (PAE-01) conta com um controle automatizado do eixo vertical, o qual é realizado através de um motor elétrico que varia de 0 a 20 cm de curso no sentido do eixo Z (FIGURAS 17 e 18). Quanto ao movimento dos eixos X e Y, por não ter nenhuma folga axial são considerados nulos, ou seja, existe apenas um grau de liberdade do eixo Z.



FIGURA 17- EXTENSÃO 0 CENTÍMETROS.  
FONTE: O autor (2012)



FIGURA 18- EXTENSÃO 20 CENTÍMETROS.  
FONTE: O autor (2012)

A base automatizada conta com um dispositivo elétrico que por meio de uma unidade de controle (FIGURA 19) tem a sua haste estendida ou recolhida.



FIGURA 19- UNIDADE DE CONTROLE DA PLATAFORMA PAE.  
FONTE: O autor (2012)

Para esta pesquisa foi desenvolvido o 2º protótipo da plataforma automatizada Euleriana, o qual propícia a tomada de observações GPS em diferentes alturas com relação ao espelho de água. Desta forma o dispositivo recebeu modificações quanto sua capacidade de estender sua haste de 0,20 m (FIGURA 18), para 1,0 m. Esta mudança ocorreu em seu mecanismo de cremalheira<sup>4</sup>, recebendo então a denominação de Plataforma Automatizada Euleriana 02 (PAE-02).

Uma das vantagens desta plataforma é que o conjunto tripé/motor forma uma estrutura rígida, e é fixada no solo submerso.

### 3.1.2 Plataforma Lagrangeanas (PL)

A segunda geração da plataforma (bóia) Lagrangeana (PL-02) foi projetada seguindo um modelo de bóia de deriva adotado pelo NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), sendo esta plataforma a bóia de deriva *Brightwaters* Modelo 115 (FIGURA 20). Este protótipo permite a obtenção da trajetória percorrida pela bóia ao ser lançada em uma massa de água.

O modelo *Brightwaters* foi escolhido como padrão para a construção desta plataforma (PL-02), devido ao fato de ser uma bóia compacta e requerer um baixo investimento na sua construção, sendo ainda de fácil lançamento em massas de água.

---

<sup>4</sup> Cremalheira; é uma peça mecânica que consiste numa barra ou trilho dentado que em conjunto com uma engrenagem a ele ajustada, converte movimento retilíneo em rotacional e vice-versa.



FIGURA 20- BÓIA DE DERIVA BRIGHTWATERS MODELO 115.  
FONTE: BRIGHTWATERS (2010).

A bóia denominada PL-02, (FIGURA 21) é composta por quatro cápsulas de flutuação, ligadas por hastes ao seu habitáculo<sup>5</sup>, dimensionado para comportar um receptor GPS. A antena do receptor é acoplada a uma haste, com possibilidade de erigir até 40 cm acima do nível de água, fixada ao habitáculo. Ele possui um sistema de rastreamento GPRS, (*General Packet Radio Service*), informando à sua posição por meio de telemetria propiciando desta forma a sua localização e resgate.

---

<sup>5</sup> Habitáculo: corpo central da plataforma composta por uma estrutura tubular onde são alocados os rastreadores GPS, e suas baterias.





FIGURA 21- PROTÓTIPO (PL-02).  
FONTE: O autor (2012)

As dimensões das cápsulas de flutuação quem compõem a plataforma (FIGURA 22) foram devidamente analisadas visando que a parte flutuante de preferência não contribua para a geração de efeito de multicaminho sobre as observações GPS coletadas durante a trajetória descrita.

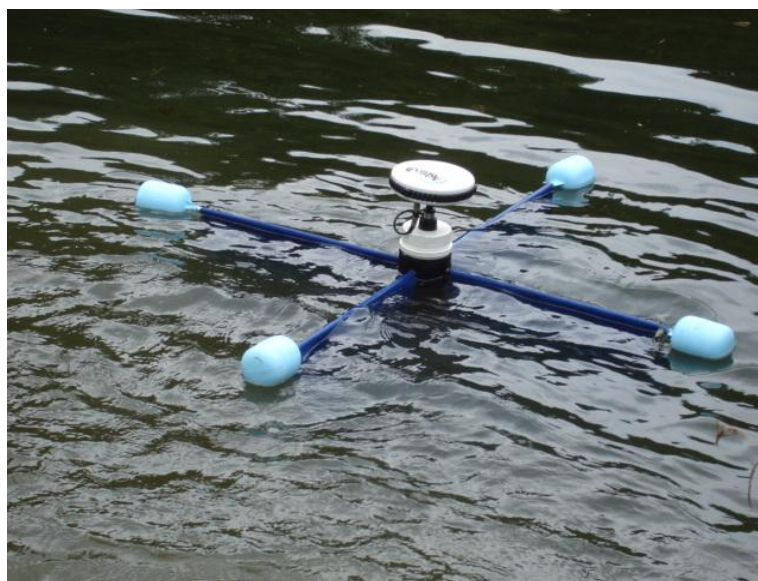


FIGURA 22- PLATAFORMA PL-02 TESTE DAS CAPSULAS DE FLUTUAÇÃO  
FONTE: O autor (2012)

Os primeiros testes quanto à capacidade da plataforma em transportar o peso dos equipamentos (receptor GPS com sua respectiva antena, sistema de rastreamentos GPRS e AEM-LAGEH) foram realizados na represa Vossoroça (FIGURA 23). Com este teste foi possível estabelecer um peso máximo para transportar com segurança os equipamentos incorporados à plataforma.



FIGURA 23- TESTE DE TOLERÂNCIA DE CARGA DA PL-02.  
FONTE: O autor (2012)

### 3.1.3 Material Atenuador de Efeito de Multicaminho (AEM-LAGEH)

O 2º protótipo do material atenuador do efeito de multicaminho (AEM-LAGEH 02) recebeu em sua estrutura elementos químicos mais concentrados. Busca-se desta forma torná-lo mais eficiente que o primeiro protótipo desenvolvido pelo LAGE no ano de 2010 (AEM-LAGE, seção 2.7).

Os primeiros testes realizados indicaram que a matriz do protótipo AEM-LAGEH 02 apresentou um ganho na qualidade de 21% para onda portadora L1 e de 17% para a onda portadora L2 quando comparado ao primeiro protótipo.

Na FIGURA 24 percebe-se o AEM-02-LAGEH posicionado sob a antena Trimble TRM22020.00+GP.

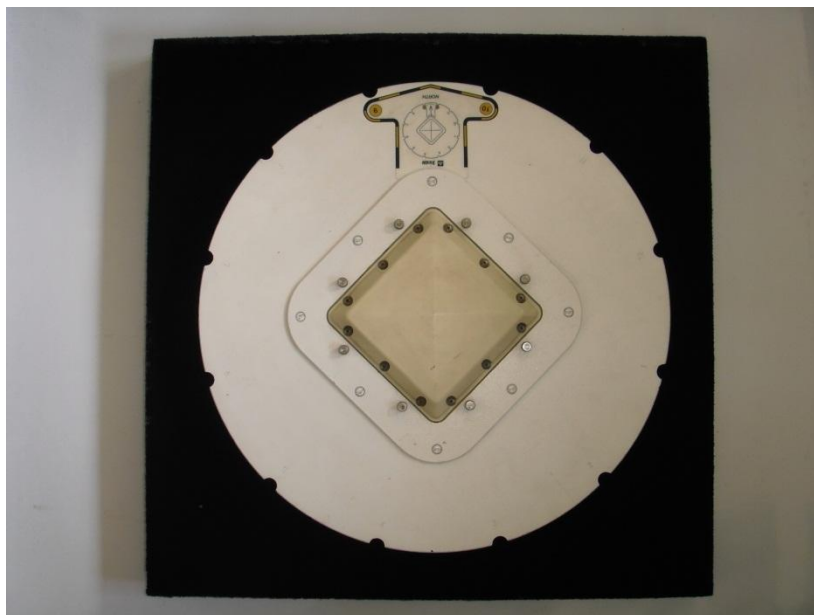


FIGURA 24- AEM-LAGEH 02 SOB A ANTENA.  
FONTE: O autor (2012)

#### 3.1.4 Suporte para o AEM-LAGEH

Nesta seção é descrito o dispositivo desenvolvido visando acomodar e sustentar os materiais isolantes eletromagnéticos abaixo da antena GPS (seção 3.13).

Este equipamento mecânico foi denominado DRA (Dispositivo de Regulagem e Ângulo). Ele pode ser acoplado em uma base nivelante ou a qualquer tipo de pilar ou tripé geodésico com parafuso padrão de 5/8 (FIGURA 25), sendo este mecanismo formado por quatro hastes. O dispositivo DRA possibilita dois tipos de regulagens (FIGURA 26):

A primeira (regulador 01) com relação ao ângulo das bordas do material, quanto à segunda (regulador 02) refere-se à acomodação da antena sobre os materiais isolantes AEM-LAGEH 02 e C-RAM.



FIGURA 25- SUPORTE DRA SOBRE O PILAR 3000.  
FONTE: O autor (2012)

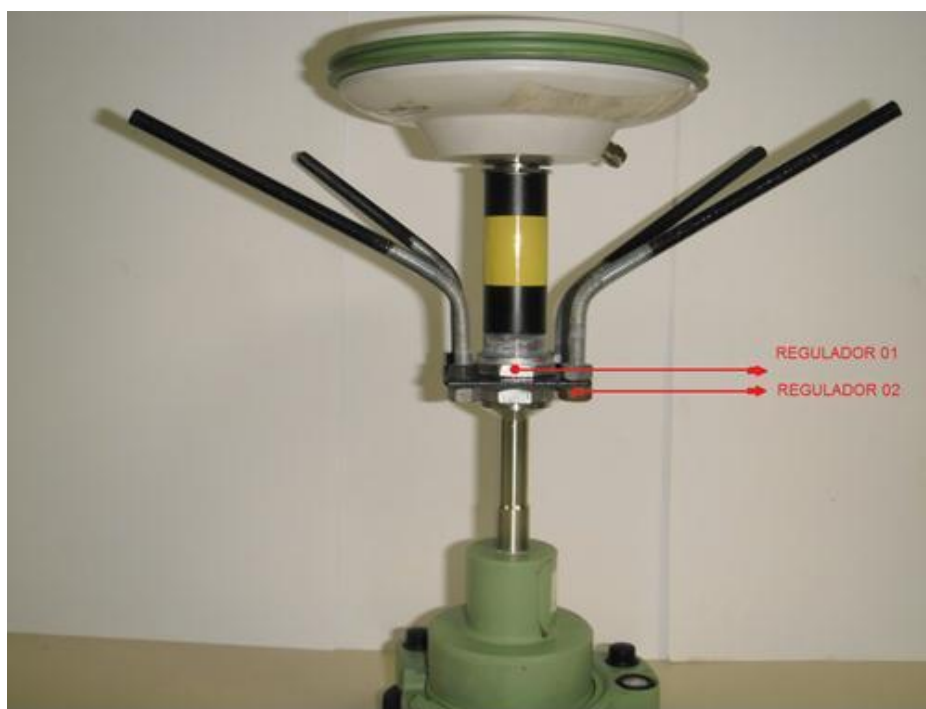


FIGURA 26- SISTEMAS DE REGULAGENS DO DRA.  
FONTE: O autor (2012)

O suporte DRA 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  $90^\circ$  com o zênite da antena (FIGURA 27).

A partir desta posição é possível regular a inclinação do material de  $0^\circ$  até  $30^\circ$  com relação ao plano terra da antena que coletará os sinais dos satélites. Esta regulagem tem a intenção de protegê-la do efeito do multicaminho que poderá advir das reflexões causadas pelo entorno.

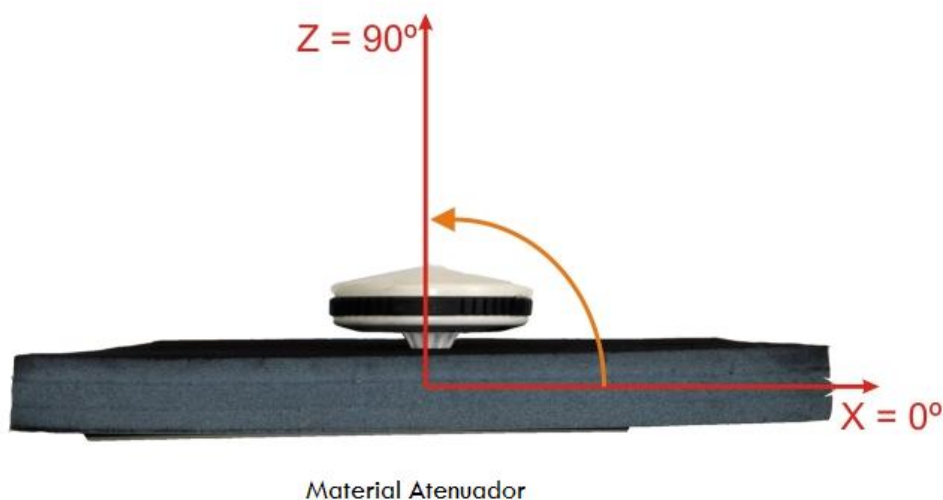


FIGURA 27- REGULAGEM DE ÂNGULO.  
FONTE: O autor (2012)

A decisão quanto à regulagem do ângulo (de  $0^\circ$  até  $30^\circ$ ) pode ser feita de forma estimada ou de forma visual. Após uma análise das obstruções existentes no entorno da área em estudo é possível elevar, se necessário apenas um das bordas a fim de isolar a antena de um objeto ou de estruturas específicas que possa contribuir com o efeito do multicaminho.



FIGURA 28- AEM-LAGEH 02 APOIADO PELO SUPORTE DRA.  
FONTE: O autor (2012)

Na figura 28 e visualiza-se o material AEM LAGE acoplado ao suporte empregado no testes realizados na BCAL/UFPR. Após uma análise das obstruções existentes no local foi atribuído uma elevação das bordas do material de aproximadamente 12 graus com relação ao plano terra da antena LEIAX 1203 GNSS. Com isso pretende-se minimizar a influência do multicaminho gerado pela reflexão de obstáculos existentes abaixo do ângulo descrito.

### 3.2 INVESTIGAÇÕES REALIZADAS

As investigações foram realizadas em duas áreas distintas as quais estão expostas na seção 3.2.1.

### 3.2.1 Áreas em estudo

Os levantamentos foram realizados em duas áreas distintas: na Base de Calibração de Antenas GNSS, da Universidade Federal do Paraná (BCAL/UFPR) e 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 29). Esta edificação encontra-se ao lado do Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH).



FIGURA 29- BCAL/UFPR  
FONTE: HUINCA (2009)

Quanto à segunda área de teste denominado reservatório de Vossoroca situa-se no município de Tijucas do Sul ( $25^{\circ}55'40''S$  e  $49^{\circ}11'56''W$ , Sistema de Referência WGS-84), a 40 km de distância da capital do estado do Paraná, Curitiba, com acesso pela rodovia BR 376.

O reservatório (FIGURA 30) faz parte da bacia hidrográfica do rio São João, e seus principais rios e afluentes são: São Joãozinho e Vossoroca. A maior parte do reservatório pertence à Área de Proteção Ambiental Estadual de Guaratuba, exceto o extremo sul próximo à rodovia.

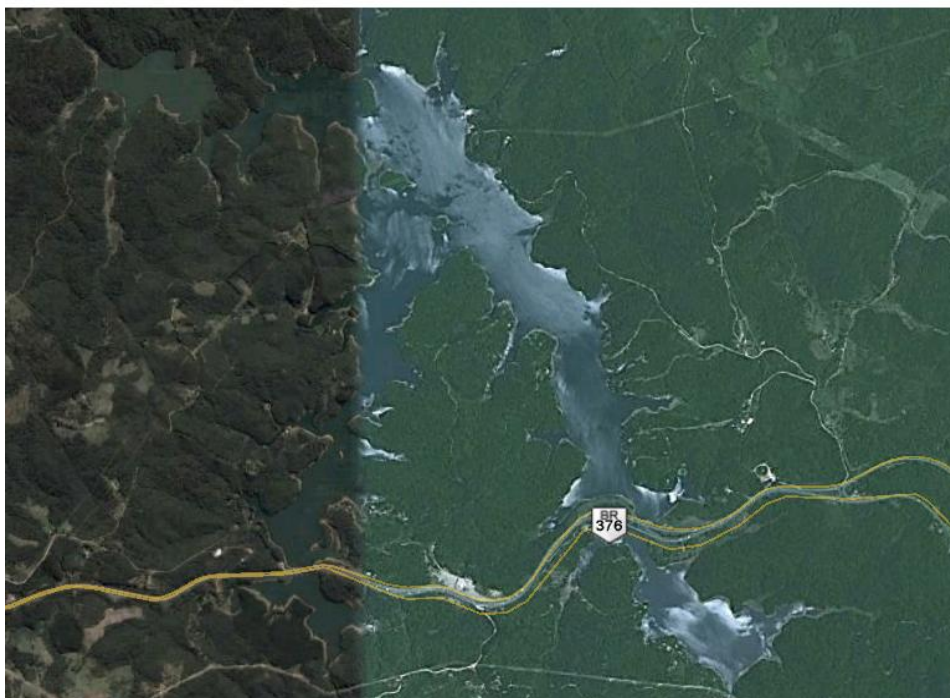


FIGURA 30- RESERVATÓRIO VOSSOROCA  
FONTE: GOOGLE (2011)

O reservatório foi formado em 1946 e tem em sua área total de 330 hectares cerca de 38 milhões de m<sup>3</sup> de água, e tem como função à regularização da vazão para a Usina Hidrelétrica de Chaminé.

### 3.2.2 Aplicação de técnicas e parâmetros nos experimentos BCAL/UFPR e Reservatório Vossoroça.

Nos experimentos realizados na BCAL/UFPR e no reservatório Vossoroça foram empregadas técnicas de dupla diferença de fase e parâmetros de controle para que os resultados obtidos fossem analisados sobre as mesmas condições.



### 3.2.2.1 Aplicação da DDF para os experimentos BCAL/UFPR e Vossoroça

Por meio do emprego da técnica de diferenciação para a modelagem da medida da fase da portadora denominada Dupla Diferença de Fase (seção 2.3.2) analisou-se o efeito de multicaminho atuante nas antenas GNSS nos experimentos realizados na BCAL/UFPR e Vossoroça.

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

O centro de fase da antena poderá ser 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. Segundo Souza (2004), o multicaminho não é eliminado na DDF, pois depende da geometria entre receptor, satélite e refletor, ou seja, das condições espaciais de reflexão do sinal na região onde está localizada a antena do receptor.

### 3.2.2.2 Aplicação de parâmetros de controle para BCAL/UFPR e Vossoroça

Para a realização dos experimentos na BCAL/UFPR e Vossoroça (seção 3.2.1), foram estabelecido parâmetros de controle visando que cada experimento pudesse ser reproduzido em dias sucessivos sob as mesmas condições. Dentre eles cita-se:

- ✓ A realização de cada experimento pré-determinado no mesmo período de hora;
- ✓ Mesmo ponto geográfico determinado para cada um dos experimentos realizados pelas duas plataformas PAE, de forma a garantir o mesmo entorno;

- ✓ Pesos semelhantes de cada uma das plataformas lagrangeanas, para que os regimes de carga transportados pelas correntes sejam o mesmo, e por consequência realizem o mesmo percurso;
- ✓ Mesmo equipamento receptor utilizado na repetitividade para cada experimento proposto;
- ✓ Coleta de informações ambientais como temperatura e pressão.

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<sup>6</sup> de 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

### 3.2.3 Investigação do multicaminho na BCAL/UFPR

Conforme descrito na seção 2.7 os primeiros experimentos (Tabela 1) visando testar a eficiência do AEM-LAGE foram realizados sobre o Pilar 3000 Sul, localizado na BCAL/UFPR (FIGURA 29). Posteriormente outro experimento foi realizado nesta base. Quanto à investigação do efeito do multicaminho atuante. Foram efetuadas seis sessões de rastreamento GPS de 24 horas, intervalo de gravação dos dados de 15 segundos e se aplicou o Método de Posicionamento Absoluto Estático.

---

<sup>6</sup> Dia sideral: tempo que a Terra leva para completar uma rotação com relação a uma determinada estrela. O dia sideral médio tem 23 horas, 56 minutos e 4,06 segundos.

Três sessões foram realizadas com receptores da Leica e em três sessões com o receptor da Trimble. Este experimento teve como meta determinar uma variação média para o efeito do multicaminho por meio do software TEQC (HUINCA, 2009).

Nesta dissertação outras investigações foram realizadas, 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 02) 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*) sem nenhum material isolante ou suporte de regulagem.

### 3.2.3.1 Equipamentos utilizados

Para a aquisição das observações GPS, a serem empregadas na análise do efeito de multicaminho, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- ✓ Receptor geodésico de dupla frequência: Leica GPS1200, (FIGURA 31);
- ✓ Antena LEIAX1203GG calibrada relativamente em nível absoluto (FIGURA 32) na BCAL/UFPR;
- ✓ Antena Leica AT504 *Choke Ring* (FIGURA 33);
- ✓ AEM-LAGEH 02 (seção 3.1.3)
- ✓ Suporte DRA (seção 3.1.4)



FIGURA 31- RECEPTOR LEICA GPS1200.  
FONTE: LEICA (2011).



FIGURA 32- ANTENA LEIAX1203GG.  
FONTE: O autor (2012)



FIGURA 33- ANTENA LEICA AT504.  
FONTE: O autor (2012)

### 3.2.3.2 Programas utilizados

Na análise dos dados coletados com estes experimentos foram empregados os programas TEQC (*Translate Edit Quality Check*) e o Leica Geo Office 7.0.

O programa denominado TEQC, desenvolvido pela Universidade NAVSTAR Consortium (UNAVCO, 2010), proporciona uma série de rotinas que podem ser utilizadas na análise do efeito de multicaminho. Esse programa realiza o processamento dos dados de um posicionamento, coletado com um único receptor

GPS de dupla frequência, através dos arquivos RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) de observação e de navegação. O resultado do processamento com o programa TEQC é uma série de arquivos, nos quais se pode verificar: razão sinal/ruído, efeito do multicaminho para as portadoras (MP1 e MP2), atraso do sinal causado pela ionosfera, deriva do relógio do receptor, ângulo de elevação dos satélites e ângulos do azimute do satélite, indicando a direção do maior índice de reflexão do multicaminho.

Esse software verifica os dados de uma estação isolada, não havendo necessidade de combiná-los com os de outra estação.

Os valores de MP1 e MP2 proporcionam uma indicação do nível de variação do multicaminho numa estação. As combinações lineares para MP1 e MP2 são dadas por (FORTES ET AL, 1997, APUD SOUZA ET AL, 2005):

$$MP1 = PD_{L1} - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right)\phi_{L1} + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right)\phi_{L2} = M_{PD1} + B_1 - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right)M_{\phi1} + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right)M_{\phi2} \quad (3.1)$$

$$MP2 = PD_{L2} - \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right)\phi_{L1} + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1\right)\phi_{L2} = M_{PD2} + B_2 - \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right)M_{\phi1} + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1\right)M_{\phi2} \quad (3.2)$$

Onde as tendências (*bias terms*)  $B_1$  equação (3.3) e  $B_2$  equação (3.4), resultam das ambiguidades da fase da onda portadora e são dados por:

$$B_1 = -\left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right)n_1\lambda_1 + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right)n_2\lambda_2 \quad (3.3)$$

$$B_2 = -\left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right)n_1\lambda_1 + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1\right)n_2\lambda_2 \quad (3.4)$$

Sendo:

$PD_{L1}$ ,  $PD_{L2}$  medidas simultâneas de pseudodistância, para cada onda portadora (L1 e L2) respectivamente;

$\alpha = \left(\frac{f_{L1}^2}{f_{L2}^2}\right)$ , sendo  $f_{L1}$  a frequência na onda portadora L1 e  $f_{L2}$  a frequência na onda portadora L2;

$\lambda_1$  e  $\lambda_2$  comprimento das ondas portadoras L1 e L2 respectivamente;

$\phi_{L1}$  e  $\phi_{L2}$  são as medidas da fase da onda portadora 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 (3.1) e (3.2), nota-se que no segundo membro das mesmas os  $MP_S$ , podem ser calculados exclusivamente a partir das observações de pseudodistância e da fase da onda portadora. Por outro lado, analisando o terceiro membro dessas equações, verifica-se que o MP depende do efeito do multicaminho na pseudodistância ( $M_{PD}$ ) e da fase  $M_{\phi}$  e das tendências  $B$  originadas das ambiguidades (desconhecidas) da fase (SOUZA et al, 2005).

Para o processamento dos dados coletados com o receptor Leica GPS1200 foi utilizado programa comercial *LEICA Geo Office 7.0 - LGO*, desenvolvido pela empresa Leica *Geosystems*, para o sistema operacional Windows.

Com este software é possível obter a relação dos gráficos para posterior análise pós-processada de dados das portadoras L1 e L2, levando em consideração o número de satélites e suas elevações bem como os resíduos da dupla diferença de fase, relação sinal ruído e perda de ciclos.

### 3.2.3.3 Experimentos na BCAL/UFPR

Conforme descrito na seção (3.1.3), um novo protótipo foi desenvolvido visando atenuar o efeito do multicaminho. Segundo Huinca (2009), o Pilar 3000 da BCAL/UFPR (seção 3.2.1) é o que sofre maior influência do efeito multicaminho, quando se compara com os dois outros pilares que compõem esta base de calibração de antenas GNSS.

Com base em experimentos realizados (seção 2.7) foram conduzidos dois testes sobre o pilar 3000 (FIGURA 34). 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.

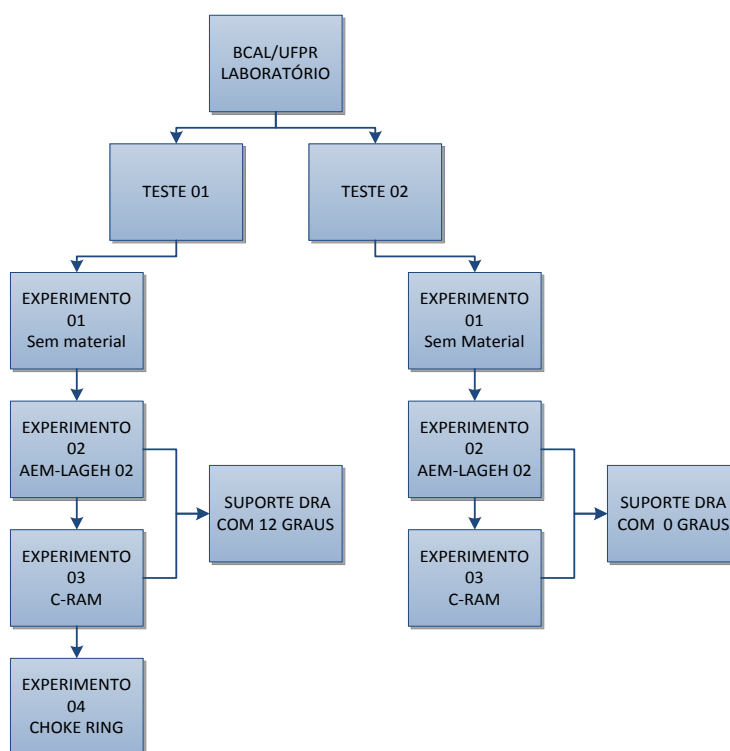


FIGURA 34- ESQUEMA DOS TESTES REALIZADOS NA BCAL/UFPR COM SUPORTE DRA.  
 FONTE: O autor (2012)

Na execução do primeiro teste realizaram-se quatro experimentos (Experimento 01, 02, 03 e 04) sendo que cada um deles é composto de três sessões com duração de 6 horas de coleta de dados GPS e com intervalo de gravação dos dados igual a 15 segundos.

Para a coleta de dados empregou-se o Método de Posicionamento Absoluto Estático utilizando-se o receptor Leica 1200 (FIGURA 31) e antena LEIAX 1203GG (FIGURA 32). Para os experimentos 02 e 03 (FIGURAS 35 e 36), foi empregado o suporte DRA, (FIGURAS 25 e 26), com um ângulo de elevação de 12 graus com relação ao plano da antena.

No experimento 04 foi utilizada, uma antena do tipo *Choke Ring* AT 504 (FIGURA 33, seção 3.2.3.1). A realização de um experimento com a antena *Choke Ring* AT 504 tem como meta principal verificar os resultados quanto a sua capacidade de atenuar o efeito multicaminho quando comparada com os experimentos em que se aplicam os materiais isolantes eletromagnéticos (AEM-LAGEH 02 e o C-RAM).



FIGURA 35- AEM-LAGEH 02 ELEVADO A 12 GRAUS  
 FONTE: O autor (2012)



FIGURA 36- C-RAM ELEVADO A 12 GRAUS  
 FONTE: O autor (2012)

Na figura 37 apresenta-se um esquema dos experimentos realizados visando à coleta de dados GPS, os quais serão verificados e analisados com o programa TEQC (seção 3 2.2.2).

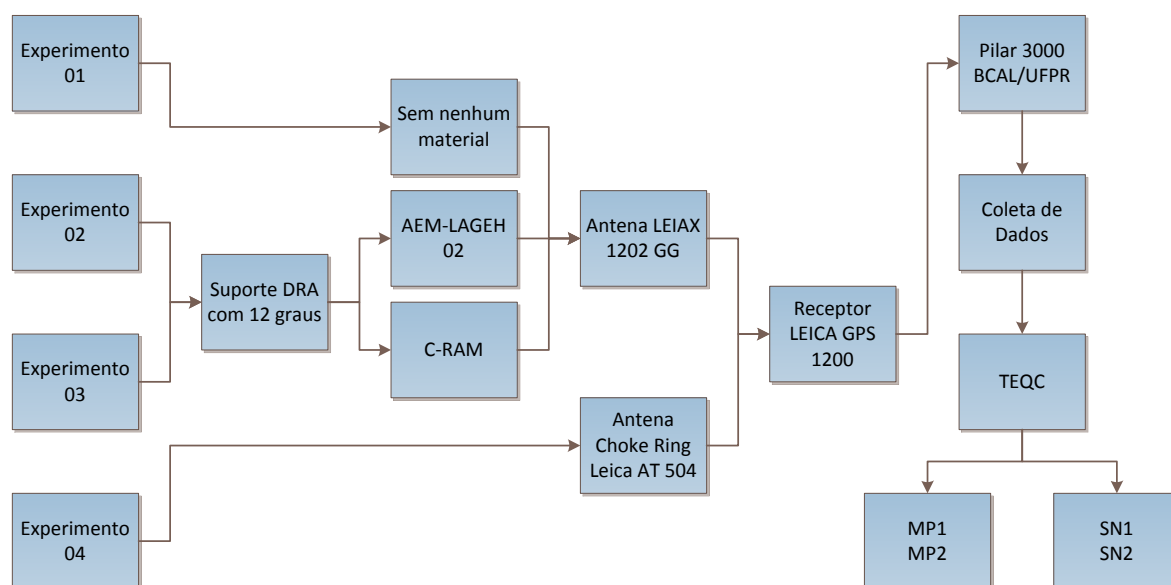


FIGURA 37- ESQUEMA DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NA BCAL/UFPR COM SUPORTE DRA COM 12 GRAUS DE INCLINAÇÃO.  
 FONTE: O autor (2012)



Para o segundo teste (FIGURA 34) foi realizado três experimentos (Experimento 01, 02 e 03) com duas sessões de 6 horas de coleta de dados GPS para cada um deles. Utilizou-se nesta etapa o receptor Leica 1200 (FIGURA 31), e a antena LEIAX 1203GG (FIGURA 32), sendo que para os experimentos 02 e 03 empregou-se os materiais atenuadores AEM-LAGEH 02 e C-RAM, respectivamente.

Eles foram apoiados pelo suporte DRA, com um ângulo de elevação de zero grau com relação ao plano terra da antena (FIGURAS 38 e 39). Este experimento foi realizado com o intuito de se verificar a eficiência do AEM-LAGEH 02 com suporte quando se eleva o material acima das bordas da antena se comparado com o mesmo material apenas plano embaixo da antena (FIGURA 40).



FIGURA 38- AEM-LAGEH 02 A ZERO GRAU DE INCLINAÇÃO.  
FONTE: O autor (2012)



FIGURA 39- C-RAM A ZERO GRAU DE INCLINAÇÃO.  
FONTE: O autor (2012)

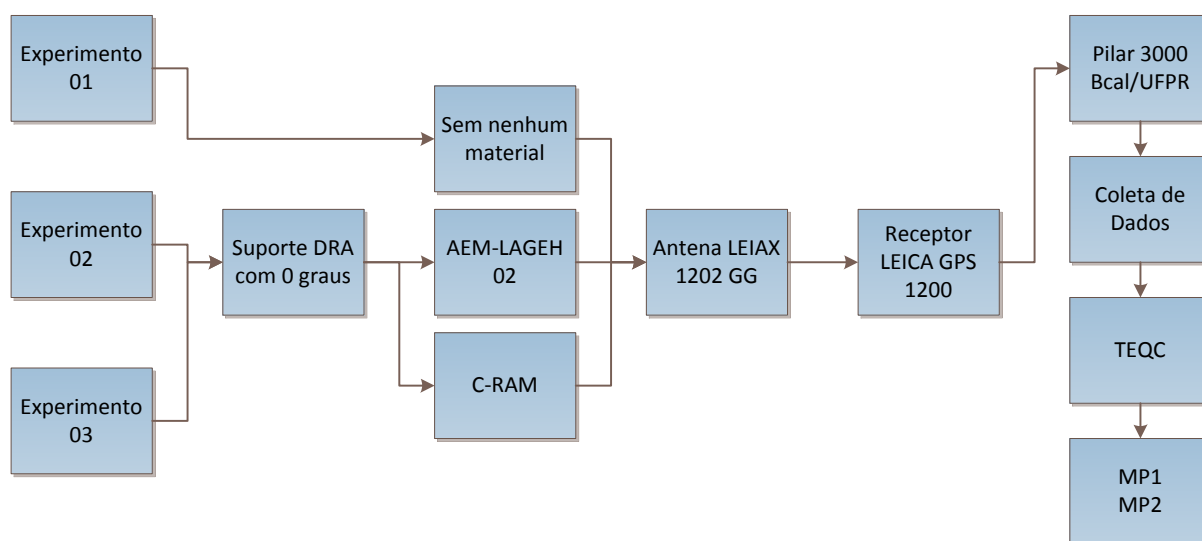


FIGURA 40- ESQUEMA DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NA BCAL/UFPR COM SUPORTE DRA COM 0 GRAU DE ELEVAÇÃO.  
 FONTE: O autor (2012)

O experimento 01( testes 1 e 2 ) consiste na coleta dos dados sem o emprego de qualquer material isolante eletromagnético). Ele ira servir de base de comparação para os demais experimentos realizados nestes testes visto que eles irão receber o efeito de multicaminho provocado pelo entorno da antena, possibilitando quantificar uma média deste efeito sobre o Pilar 3000.

A eficiência do DRA acoplada ao AEM-LAGEH 02 será comprovada mediante uma análise dos experimentos 02 e 03 dos testes 01 e 02.

#### 3.2.4 Investigações em massas de água: estudo de caso reservatório de Vossoroca

Na Seção 3.2.1 foi apresentada a área em estudo. Nela serão realizadas investigações quanto à influência do efeito do multicaminho na determinação das coordenadas geodésicas das plataformas Eulerianas (seção 3.1.1) e Lagrangeanas (seção 3.1.2).

### 3.2.4.1 Investigações com plataformas Eulerianas

Conforme exposto na seção 3.1.1 estas plataformas foram fixadas no solo submerso, possibilitando a investigação do efeito do multicaminho no seu posicionamento advindo, principalmente, da superfície de massa de água localizada no seu entorno.

Na figura 41 visualiza-se esta plataforma instalada no reservatório de Vossoroca (FIGURA 30). 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 podem ser determinadas com precisão satisfatória para o propósito do trabalho uma vez que ela está fixa ao solo.

Conforme exposto na seção 3.1.1 o protótipo desenvolvido possibilita que a altura da antena possa ser modificada em relação ao nível de água (PAE-02-1).



FIGURA 41- AEM-LAGEH 02 SOBRE A PLATAFORMA PAE-02-1  
FONTE: O autor (2012)

Na sequência apresentam-se os equipamentos que foram empregados na realização dos experimentos, com esta plataforma.

- ✓ 02 Receptores geodésicos de dupla frequência Leica GPS1200; (FIGURA 31);
- ✓ Antena LEIAX1203GG calibrada relativamente em nível absoluto e o receptor geodésico de dupla frequência Leica 1200. Como forma de eliminar o erro de centro de fase da antena; (FIGURA 32);
- ✓ Antena *Choke Ring* Leica; (FIGURA 33);
- ✓ AEM-LAGEH 02; (seção 3.1.3);
- ✓ Dispositivo DRA; (seção 3.1.4).

Estas investigações podem ser 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 3.

TESTES	ANTENAS CALIBRADAS NA BCAL/UFPR	ATENUADOR	SUPORTE DRA	ALTURA DA ANTENA (METROS) COM RELAÇÃO AO ESPELHO D'ÁGUA
PAE-02-1	Leica LEIAX1202GG	SEM MATERIAL AEM-LAGEH 02 C-RAM	NÃO SIM SIM	0,80
PAE-02-1	<i>Choke Ring</i> AT 504	SEM MATERIAL	NÃO	0,80
PAE-02-2	Leica LEIAX 1203GG	AEM-LAGEH 02	SIM	0,80
PAE-02-2	Leica LEIAX 1203GG	AEM-LAGEH 02	SIM	1,80

QUADRO 3- VARIANTES DOS EXPERIMENTOS PAE

O teste PAE-02-1 foi subdividido em quatro experimentos (I a IV) indicados no QUADRO 4. 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.

Quanto ao processamento das observações das plataformas PAE, as mesmas foram processadas com a estação de referência situada a 0,3 km dos experimentos.

Para este experimento a altura total das antenas durante os três dias de coleta de dados foi fixada em 1,50m a partir do solo submerso. Esta medida é composta da distância do solo submerso ao nível de água do reservatório igual a 0,70m e da distância entre esse nível e a antena GPS sendo igual a 0,80 m.

<b>TESTE PAE-02-1</b>			
<b>Experimentos</b>	<b>Dia GPS 58</b>	<b>Dia GPS 59</b>	<b>Dia GPS 60</b>
<b>I</b>	SEM MATERIAL	SEM MATERIAL	SEM MATERIAL
<b>II</b>	AEM-LAGE/ com antena LEIAX 1203GG	AEM-LAGE/ com antena LEIAX 1203GG	AEM-LAGE/ com antena LEIAX 1203GG
<b>III</b>	C-RAM /com antena LEIAX 1203GG	C-RAM /com antena LEIAX 1203GG	C-RAM /com antena LEIAX 1203GG
<b>IV</b>	Somente antena <i>Choke Ring</i>	Somente antena <i>Choke Ring</i>	Somente antena <i>Choke Ring</i>

QUADRO 4- EXPERIMENTOS REALIZADOS PARA O TESTE PAE-02-1

Os experimentos indicados no QUADRO 4, foram repetidos em dias consecutivos buscando-se garantir a mesma distribuição de satélites para o ponto observado, avaliando-se um padrão de multicaminho repetido a cada dia sideral (EVEN-TZUR ET AL, 2007). Nas Figuras 42 a 45 observam-se os equipamentos instalados durante o desenvolvimento dos experimentos I a IV para o teste 1 (PAE-02-1) a serem realizados no reservatório do Vossoroca.



FIGURA 42- EXPERIMENTO I  
FONTE: O autor (2012)



FIGURA 43- EXPERIMENTO II  
FONTE: O autor (2012)



FIGURA 44- EXPERIMENTO III  
FONTE: O autor (2012)



FIGURA 45- EXPERIMENTO IV  
FONTE: O autor (2012)

Para o teste PAE-02-2, realizaram-se duas sessões de duas horas, empregando a antena LEIAX 1203GG e o AEM-LAGEH 02. Estas sessões diferem quanto à altura da antena empregada com relação ao solo submerso. Empregou-se na primeira uma altura igual a 1,5 m (FIGURA 46) e para a segunda sessão a altura do bastão foi modificada por meio do mecanismo eletromecânico da plataforma PAE-02 para 2,50m (FIGURA 47). Este teste possibilitou a análise da influência do efeito do multicaminho para um mesmo ponto geográfico variando apenas a altura na antena.



FIGURA 46- EXPERIMENTO PAE-02-2  
COM ALTURA DE 1,5M.  
FONTE: O autor (2012)



FIGURA 47- EXPERIMENTO PAE-02-2  
COM ALTURA DE 2,5M.  
FONTE: O autor (2012)

Para a realização destes experimentos (teste PAE-02-2) os dados brutos foram coletados pelo método de posicionamento relativo estático com intervalo de gravação de 1 segundo. Espera-se que os resíduos da Dupla Diferença de Fase e do Código (seção 2.3.2) sejam menores para aquele em que a antena se encontra, próxima do nível de água do reservatório atendendo o que é exposto por Even-Tzur e Shaked (2007).

As plataformas empregadas para os testes PAE-02-1 e PAE-02-2 foram instaladas cada uma sobre um ponto materializado por meio de um piquete de aço fixado no solo submerso do reservatório. Estes pontos localizam-se a 0,70 metros abaixo do espelho d'água. As duas plataformas automatizadas Eulerianas distavam entre si de 7 metros.

### 3.2.4.2 Investigações com plataformas Lagrangeanas

Nesta seção busca-se desenvolver experimentos (Tabela 2, campo cinemático) visando contribuir na análise do efeito de multicaminho em posicionamentos relativos cinemáticos.

Foram projetadas duas bóias (PL-02, seção 3.1.2) com as mesmas dimensões e pesos. Elas foram lançadas no reservatório de Vossoroca (FIGURA 30), distantes entre si de 5 metros (FIGURA 48), e aproximadamente a 10 metros da margem, visando minimizar o efeito de multicaminho, visto que ele pode advir do entorno do reservatório.

Esta investigação foi realizada em duas sessões de duas horas cada em apenas um dia, Foi empregado o método de posicionamento relativo cinemático na coleta dos dados GPS e um intervalo de gravação de dados igual a 1segundo.

Para este experimento a altura total das antenas das plataformas foi de 0,40 m com relação ao nível de água do reservatório e uma linha de base formada entre as plataformas e o receptor de aproximadamente 0,3km.

Como forma de determinar se as plataformas sobre a ação das correntes teriam o mesmo comportamento de trajetória foi colocado um pequeno cabo composto de nylon com ruptura estimada em 0,1kg, o qual foi denominado cabo testemunha ligando as duas plataformas, desta forma como não houve esta ruptura conclui-se que as plataformas tiveram o mesmo comportamento de trajetória a qual foram distanciadas.





FIGURA 48- PLATAFORMAS LAGRANGEANAS.  
FONTE: O autor (2012)

Para esta investigação foram utilizados os seguintes equipamentos:

- ✓ 02 Receptores GPS de uma frequência Promark 2 (FIGURA 49);
- ✓ 02 Plataformas PL-02 (FIGURA 21);
- ✓ AEM-LAGEH 02 (seção 3.1.3);
- ✓ Suporte DRA (seção 3.1.4).



FIGURA 49- RECEPTOR PROMARK II  
FONTE: O autor (2012)

Os dados GPS foram coletados a cada 1 segundo. Foram realizados dois experimentos denominados de experimento PL-02-1 e experimento PL-02-2, cujas variantes a serem empregadas nas investigações encontram-se indicadas na figura 50.

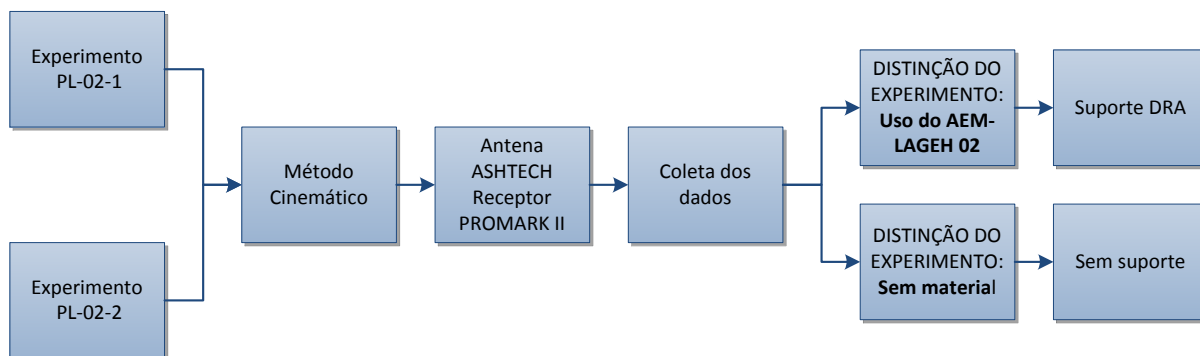


FIGURA 50- VARIANTES DAS PLATAFORMAS EULERIANAS.  
FONTE: O autor (2012)

Percebe-se na Figura 50 que estes experimentos diferem no que tange ao emprego ou não do material atenuador do efeito do multicaminho. Como as plataformas serão posicionadas, uma próxima a outra, admite-se que elas sejam afetadas pelos mesmos erros inerentes ao posicionamento como, por exemplo: erro dos relógios dos receptores e dos satélites, erro das órbitas dos satélites, erros ionosféricos, e troposférico, e centro de fase da antena. Desta forma o multicaminho torna-se o efeito mais evidente na comparação entre as duas trajetórias descritas.

Durante a coleta dos dados GPS foi realizada a coleta de dados ambientais de temperatura e pressão. Também os experimentos citados na figura 50, foram realizados na mesma hora do dia visando que a influência dos sinais provenientes do efeito do multicaminho seja a mesma, bem como se observe a mesma constelação de satélites durante os experimentos.

## 4 RESULTADO E ANÁLISES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com o processamento dos dados coletados nos experimentos descritos nas seções 3.2.3.3 (Experimentos BCAL/UFPR), 3.2.4.1 (Experimentos no reservatório Vossoroca com a plataforma Euleriana) e 3.2.4.2 (Experimentos no reservatório Vossoroca com a plataforma Lagrangeana). Também são demonstradas as análises realizadas para os resultados alcançados. Emprega-se como ferramenta de análise o programa TEQC (seção 3.2.3.2), o qual propiciou detectar a variação média do efeito do multicaminho para o código e a fase da onda portadora da pseudodistância. Nele foram processados os dados coletados nos posicionamentos estático e cinemático adquiridos por um receptor GNSS de dupla frequência instalado nas plataformas (seções 3.1.1 e 3.1.2) utilizadas neste trabalho. Ele forneceu dados que foram relacionados ao efeito de multicaminho, discriminando e quantificando esse valor para cada satélite observado e devidamente analisado.

No presente trabalho de pesquisa são ainda analisados a relação do sinal ruído (seção 2.6.3), o qual é afetado pelo efeito do multicaminho, e a repetitividade deste efeito em dias consecutivos, considerando fatores como correção do dia solar médio<sup>7</sup> e posicionamento de cada uma dos experimentos para que a geometria dos levantamentos permaneça inalterada, possibilitando obter o mesmo padrão de erro do efeito do multicaminho.

Conforme exposto na seção 2.6.4, outros fatores importantes para quantificar e determinar o efeito multicaminho são o ângulo de elevação e o azimute de cada satélite.

---

<sup>7</sup> Dia solar médio representa como o nome indica a média anual de duração do *dia solar verdadeiro* e dura 24 horas; é a ele que normalmente nos referimos quando dizemos apenas dia.

#### 4.1 FATORES DE ANÁLISE DO MULTICAMINHO NA BCAL/UFPR.

Para a análise do efeito multicaminho na BCAL/UFPR, conforme exposto na seção 3.2.3.3, dois testes foram realizados. No primeiro teste realizaram-se 4 experimentos com 3 sessões de 6 horas de duração cada, e no segundo teste realizaram-se três experimentos com 3 sessões de 6 horas de duração cada.

Nesta seção são realizadas as análises com relação ao primeiro dia GPS (QUADRO 5) de cada sessão seguindo a ordem de coleta em campo.

<b>Dia GPS</b>	<b>Variável de Análise / Antena</b>
91	Sem Nenhum Material / <i>Choke Ring</i>
94	AEM-LAGEH 02 / Antena LEIAX1203 GG
97	C-RAM / Antena LEIAX 1203 GG
100	Sem Material / LEIAX 1203 GG

QUADRO 5- EXPERIMENTOS DE CADA PRIMEIRA SESSÃO REALIZADOS NA BCAL/UFPR.  
 FONTE: O autor (2012)

Cada experimento foi realizado com base na hora sideral com a finalidade de obter as mesmas condições de análise para cada satélite com relação ao ângulo de elevação e azimute. Na figura 51, visualizam-se os períodos de visibilidade de cada satélite durante o desenvolvimento dos experimentos no Pilar 3000 da BCAL/UFPR. Percebe-se a presença de 16 satélites das 08h 22m 15s às 13h 39m 01s.

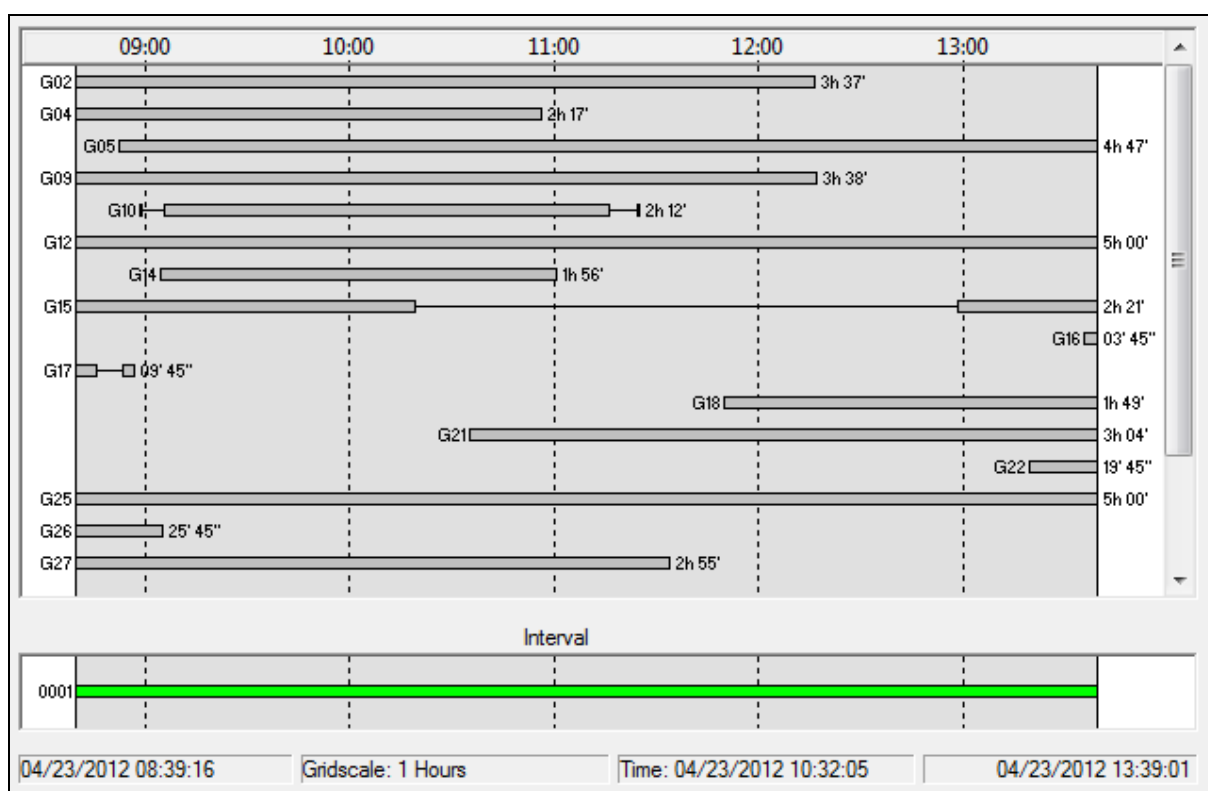


FIGURA 51- DISPONIBILIDADE DOS SATÉLITES NA BCAL/UFPR DURANTE O EXPERIMENTO (DIA GPS 100).  
 FONTE: O autor (2012)

Para os dados coletados no Pilar 3000 gerou-se ainda um gráfico com a elevação dos satélites (FIGURA 52). Nele verifica-se que o satélite 21 (G21) apresenta um ângulo de elevação de  $5^{\circ}$  a  $36^{\circ}$  durante o período de observação, encontrando-se numa órbita ascendente. Consta-se ainda que o satélite 25 (G25) esta com elevação inicial de  $45^{\circ}$  chegando a  $80^{\circ}$  durante este intervalo de tempo e, também em órbita ascendente.

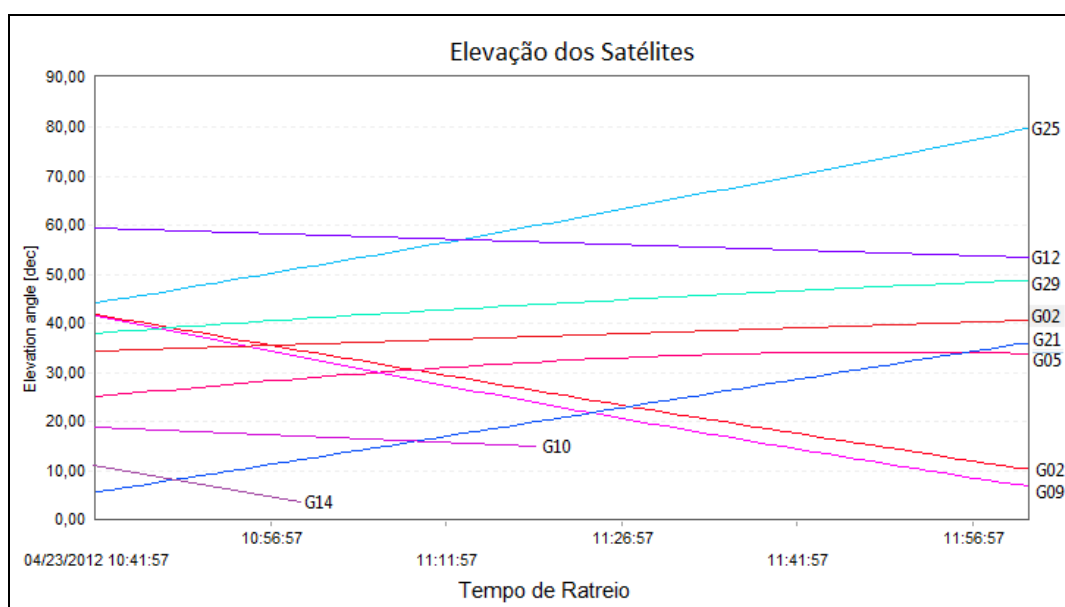


FIGURA 52- ÂNGULO DE ELEVAÇÃO DOS SATÉLITES DURANTE O EXPERIMENTO (DIA GPS 100).

FONTE: O autor (2012)

Por meio do programa Leica GeoOffice, desenvolvido pela empresa Leica para o sistema operacional *Windows*, permitiu através do módulo Skyplot (figura 53) visualizar a disponibilidade e geometria da constelação GPS para os dias de coleta de dados realizados na BCAL/UFPR.

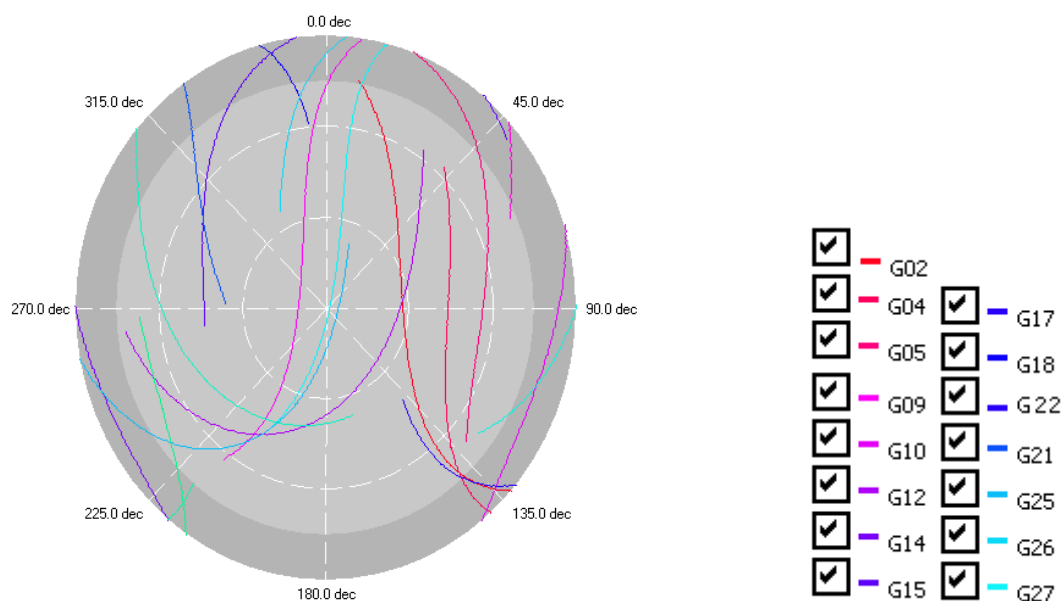


FIGURA 53- SKYPLOT DA DISPONIBILIDADE DOS SATÉLITES SOBRE A BCAL/UFPR PARA O DIA GPS 100.

FONTE: O autor (2012)

Com a finalidade de analisar o efeito do multicaminho proveniente dos satélites de baixa elevação foi elaborado um diagrama de obstruções do Pilar 3000, (Figura 54). Verifica-se na figura que entre os azimutes  $15^{\circ}$  a  $98^{\circ}$  há a presença de uma estrutura metálica (telhado) a qual deve estar contribuindo para uma elevação do efeito de multicaminho sobre o Pilar 3000 da BCAL/UFPR.

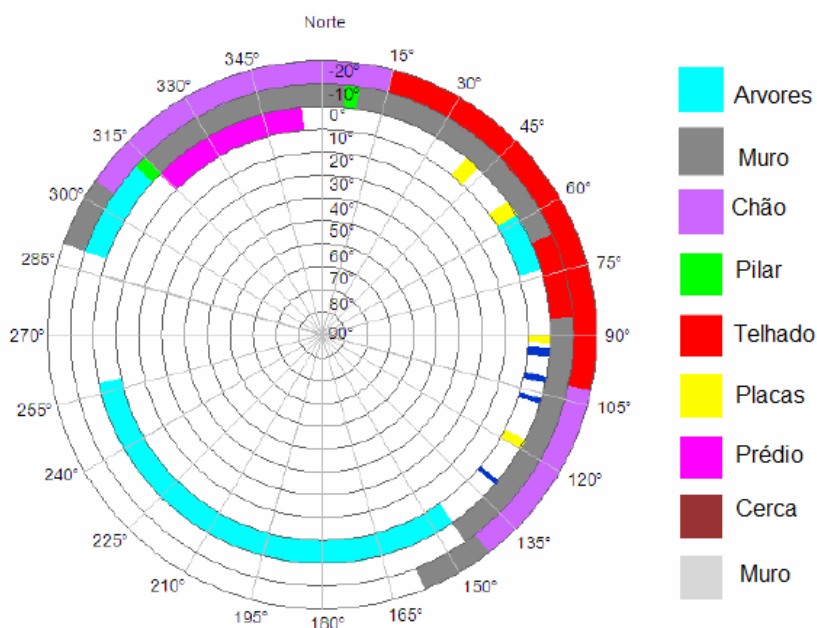


FIGURA 54- DIAGRAMA DE OBSTRUÇÃO DO PILAR 3000  
FONTE HUINCA (2009).

Mediante uma observação completa do diagrama de obstruções do Pilar 3000 percebe-se que um ângulo máximo de 12 graus para o suporte que irá servir de apoio aos materiais AEM-LAGEH 02 e C-RAM (Figuras 25 e 26) é satisfatório.

Para análise dos resíduos das duplas diferenças de fase (DDF) foram selecionados os satélites PRN21 e PRN25. Fixou-se o segundo (PRN25) como satélite de referência para a formação das DDF (seção 2.3.2) e o satélite PRN21 selecionado para a análise do efeito do multicaminho em face do seu ângulo de elevação ( $5^{\circ}$  a  $36^{\circ}$ ) e azimute ( $32^{\circ}$  a  $49^{\circ}$ ). Mediante uma análise do TEQC comprovou-se que em face de sua baixa elevação este satélite está mais sujeito a contribuir para o efeito do multicaminho para a sessão processada das (10h41min às 12h04min) (Figura 52).

Por sua vez o PRN25 que descreve a sua órbita no azimute  $200^{\circ}$  a  $180^{\circ}$  esta menos propício a causar reflexões pouco contribuindo para o efeito do multicaminho, sendo então selecionado como satélite de referência no processamento dos dados.

Na sequência apresentam-se as análises para o Pilar 3000 da BCAL/UFPR.

#### 4.1.1 Análise da contribuição do efeito multicaminho para os satélites G21 e G25

Conforme exposto anteriormente empregou-se à ferramenta gráfica do TEQC com o aplicativo denominado QCVIEW 32 para analisar a existência do efeito multicaminho originada pelos satélites PRN 21 e PRN 25 escolhidos na formação das duplas diferenças de fase.

A figura 55 ilustra o efeito do multicaminho atuante sobre a onda portadora L1 para o satélite 25. Este resultado origina-se dos dados brutos coletados pela antena sem o emprego de qualquer material isolante. Percebem-se valores inferiores a 1 metro nas primeiras 200 épocas de observação, posteriormente este valor reduz significativamente permanecendo próximo de zero. Pela figura 52 verificou-se que este é o satélite que apresenta a maior elevação durante o período de observação, tendo sido adotado como satélite de referência durante a realização DDFs pelo software de processamento. O efeito de multicaminho presente nas observações é menor se comparado aos outros satélites observados dentro do intervalo de tempo analisado.



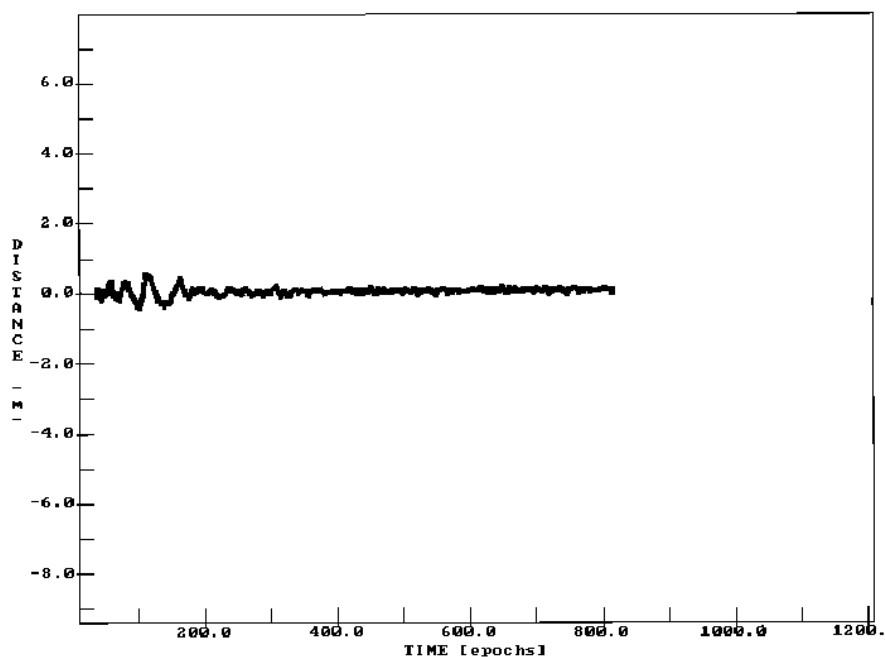


FIGURA 55- ANÁLISE GRÁFICA DA PORTADORA MP1 PARA O SATÉLITE 25 SEM O USO DE MATERIAIS ISOLANTE.  
 FONTE: O autor (2012)

Na Figura 56 visualiza-se o efeito do multicaminho para o satélite 21 (G21). Percebe-se que este efeito para as 300 épocas iniciais variou de 3 metros a -6 metros e posteriormente houve uma redução do valor permanecendo com variações em torno de um 1 metro. Este fator corrobora para o fato dele ter sido escolhido na análise deste efeito para área de estudo.

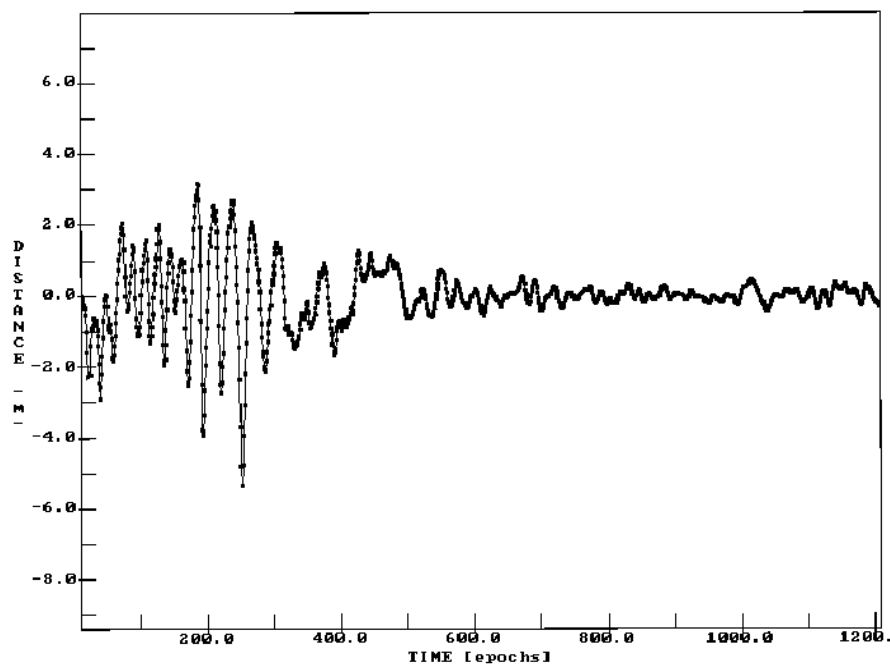


FIGURA 56- ANÁLISE GRÁFICA DA PORTADORA MP1 PARA O SATÉLITE 21 SEM O USO DE MATERIAL ISOLANTE.

Constata-se que os satélites G25 (Figura 55) e G21 (Figura 56) apresentam resultados distintos no que tange ao efeito de multicaminho atuante na onda portadora L1. Tal fato confirma a importância em se analisar o ângulo de elevação e o azimute de cada satélite quando se almeja avaliar o efeito do multicaminho.

#### 4.1.2 Análise do efeito do multicaminho no Pilar 3000 da BCAL/UFPR utilizando o suporte DRA com ângulo de elevação das bordas dos materiais a 12 graus.

Mediante os experimentos realizados na BCAL/UFPR na forma estática, com o emprego do suporte DRA a 12 graus e dos materiais atenuadores AEM-LAGEH 02 e C-RAM procede-se as análises.

Empregou-se uma rotina específica do TEQC para análise do efeito do multicaminho empregando-se diferentes máscaras de elevação dos satélites, ou seja, procedem-se as análises a cada 5 graus, desde o plano do horizonte (0 graus) até 20 graus para as ondas portadoras L1 e L2.

Nas Tabelas 3 e 4 apresentam-se os valores obtidos para as ondas portadoras L1 e L2, para três dias de observações e com o emprego do material atenuador AEM-LAGEH 02 e C-RAM, respectivamente. Os valores obtidos para este pilar sem o emprego de qualquer material atenuador encontram-se indicados na Tabela 05.

Mediante uma análise destas tabelas percebe-se que para os valores de multicaminho determinados pelo TEQC com máscara de elevação igual a 0 grau nos experimentos realizados sem o emprego de qualquer material atenuador do efeito de multicaminho, sendo que estes valores são praticamente duas vezes maiores. Este fator corrobora para mostrar que estes materiais são importantes na atenuação deste efeito. .

TABELA 3 - ANÁLISE DO EFEITO MULTICAMINHO COM AEM-LAGEH 02

<b>EXPERIMENTO 01 BCAL/UFPR: VALOR DO EFEITO MULTICAMINHO EM METROS COM O USO DO AEM-LAGE 02 COM INCLINAÇÃO DE 12 GRAUS</b>			
	VARIAÇÃO EM METROS DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L1		
Máscara de Elevação	Dia GPS 94	Dia GPS 95	Dia GPS 96
0°	0,379091	0,396882	0,382361
	VARIAÇÃO EM METROS DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L2		
Máscara de Elevação	Dia GPS 94	Dia GPS 95	Dia GPS 96
0°	0,443962	0,479745	0,422549

TABELA 4- ANÁLISE DO EFEITO MULTICAMINHO COM C-RAM

<b>EXPERIMENTO 01 BCAL/UFPR: VALOR DO EFEITO MULTICAMINHO EM METROS COM O USO DO C-RAM COM INCLINAÇÃO DE 12 GRAUS</b>			
	VARIAÇÃO EM METROS DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L1		
Máscara de Elevação	Dia GPS 97	Dia GPS 98	Dia GPS 99
0°	0,282189	0,292296	0,294677
	VARIAÇÃO EM METROS DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L2		
Máscara de Elevação	Dia GPS 97	Dia GPS 98	Dia GPS 99
0°	0,430207	0,444566	0,469669

TABELA 5- ANÁLISE DO EFEITO MULTICAMINHO SEM MATERIAL

<b>EXPERIMENTO 03 BCAL/UFPR: VALOR DO EFEITO MULTICAMINHO EM METROS SEM O USO DE NENHUM ISOLANTE ELETROMAGNETICO OU SUPORTE</b>			
	VARIAÇÃO EM METROS DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L1		
Máscara de Elevação	Dia GPS 100	Dia GPS 101	Dia GPS 102
0°	0,882484	1,196349	1,174058
	VARIAÇÃO EM METROS DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L2		
Máscara de Elevação	Dia GPS 100	Dia GPS 101	Dia GPS 102
0°	0,783454	0,970765	0,930415

Nas figuras 57 e 58 verifica-se que com o emprego dos materiais atenuadores, inclinados a 12 graus com o auxílio do DRA para os dias GPS 99, 97 e 100, houve uma eficiência de atenuação de 57% com o emprego do AEM-LAGEH 02 para a onda portadora L1 e de 43% para onda portadora L2.

Percebe-se na figura 57 que para a onda portadora L1 os materiais isolantes se mantém 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.

Observa-se que o material atenuador desenvolvido pelo LAGEH tem comportamento similar ao material importado (C-RAM) mediante uma avaliação das figuras 57 e 58.

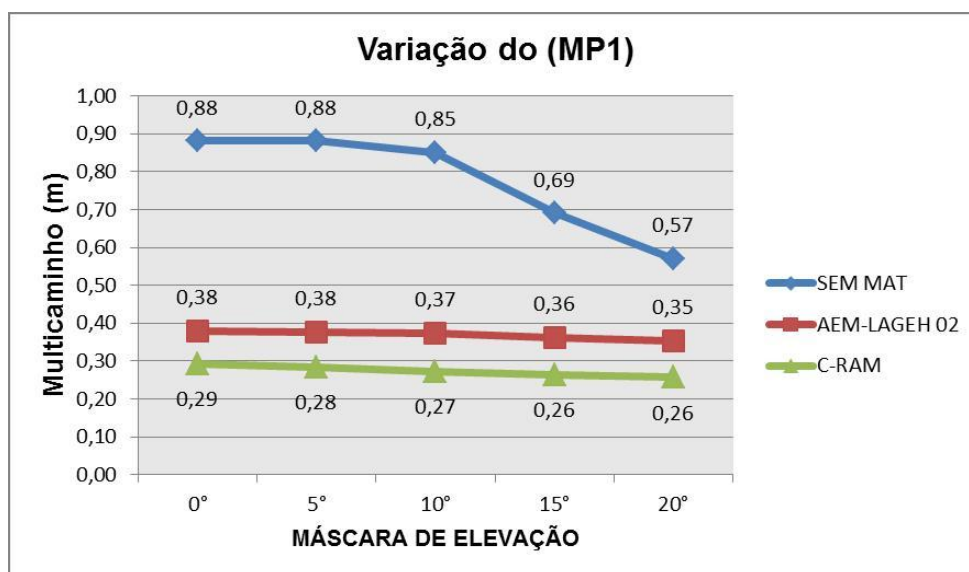


FIGURA 57- VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L1 COM O USO DO DRA COM 12 GRAUS DE ELEVAÇÃO.  
FONTE: O autor (2012)

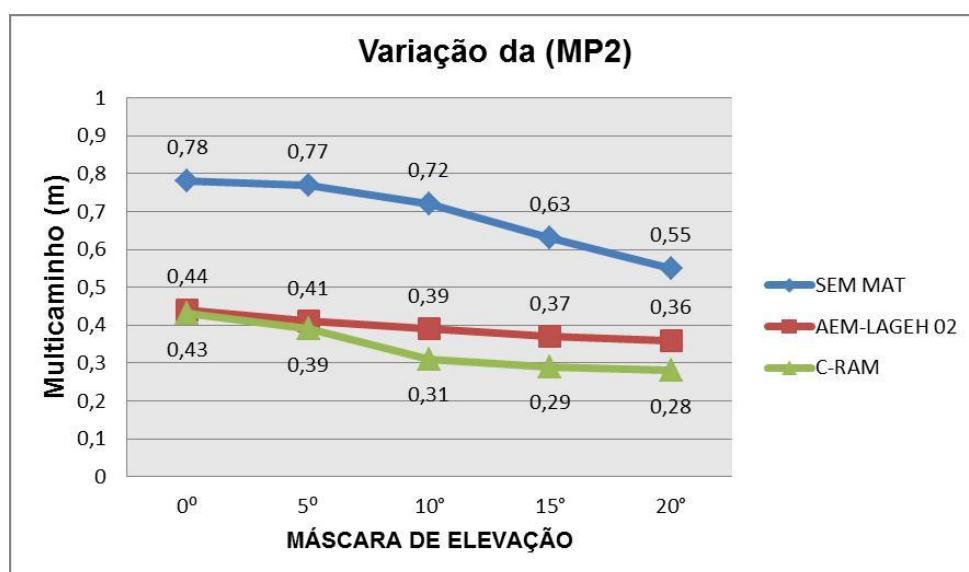


FIGURA 58- VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L2 COM O USO DO DRA COM 12 GRAUS DE ELEVAÇÃO.  
FONTE: O autor (2012)

#### 4.1.3 Análise dos resíduos da dupla diferença do código nos experimentos realizados no Pilar 3000 da BCAL/UFPR.

Na busca de uma análise consistente quanto à existência de redução do efeito de multicaminho quando do emprego dos materiais atenuadores (AEM-LAGEH 02 e C-RAM) decidiu-se proceder a uma comparação entre os resíduos advindos da dupla diferença dos sinais. Empregaram-se as pseudodistâncias de cada primeira sessão dos experimentos 01, 02 e 03, que compõem o primeiro teste (sessão 3.2.3.3). Uma análise dos gráficos advindos do software Leica GeoOffice permitiram a obtenção da estatística da amplitude em metros dos sinais gerados individualmente pelos satélites 21 e 25.

Na Figura 58 apresentam-se os resíduos da dupla diferença de fase para o código C/A tendo como satélite de referência o PRN25 e o satélite analisado o PRN21. Estes resultados advêm da coleta de dados efetuada com a antena LEIAX 1203 GG e sem o emprego de qualquer material isolante eletromagnético acoplado a antena. Admite-se este como sendo o valor máximo do efeito de multicaminho a ser obtido no Pilar 3000 no dia da observação.

As Figuras 60 e 61 ilustram os resíduos da dupla diferença para o código C/A entre os satélites PRN25 e PRN21, no Pilar 3000, empregando-se a antena LEIAX 1203 GG e com o material atenuador AEM-LAGEH 02 e o C-RAM, respectivamente.

Comparando-se as figuras 59 a 61 visualmente percebe-se que houve uma atenuação na amplitude dos resíduos da dupla diferença para o código C/A entre os satélites PRN25 e PRN21, sendo este um indicativo de que houve uma minimização do efeito do multicaminho atuante no pilar 3000 da BCAL/UFPR.

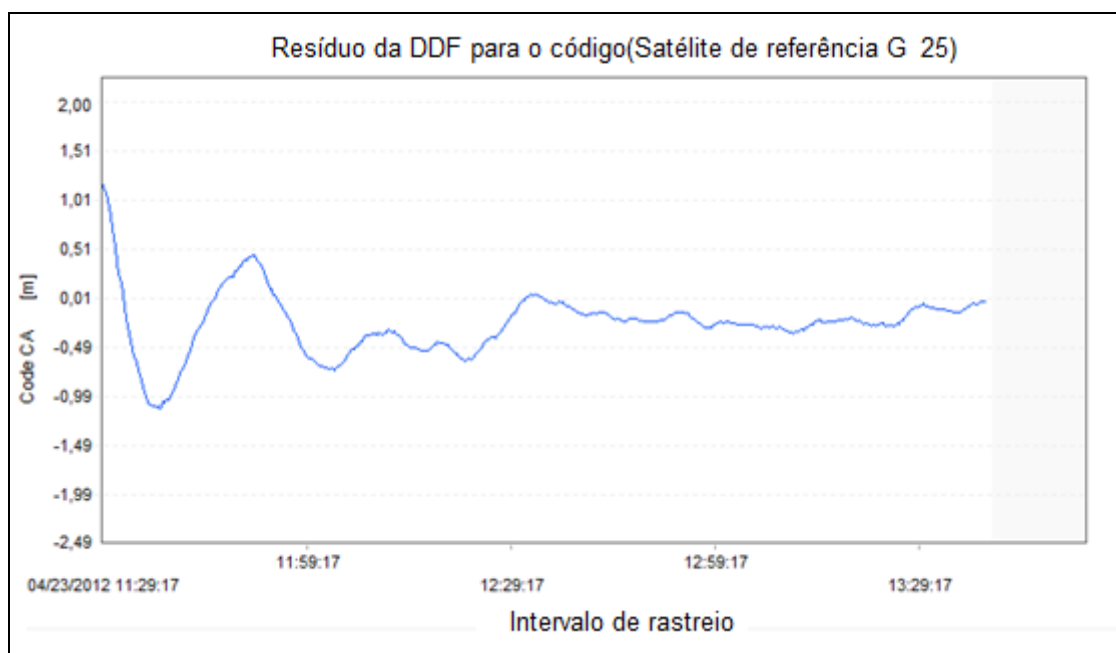


FIGURA 59- ANÁLISE DA VARIAÇÃO OCORRIDA NO CÓDIGO GERADO PELO SATÉLITE 21 SEM O USO DE MATERIAIS ISOLANTES ELETROMAGNÉTICOS.  
 FONTE: O autor (2012)

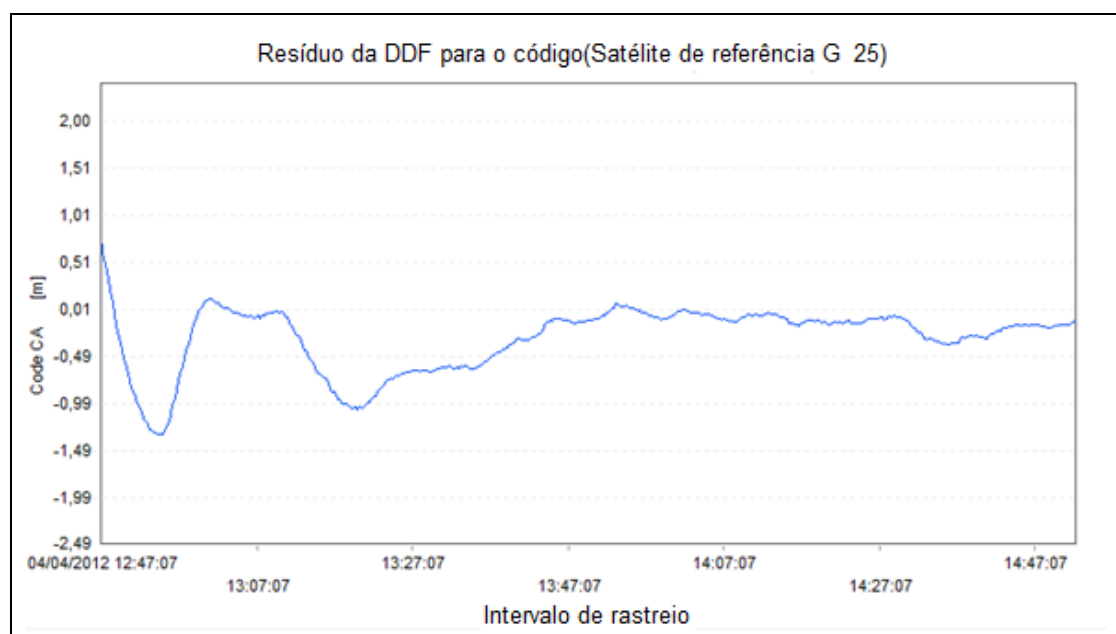


FIGURA 60- ANÁLISE DA VARIAÇÃO OCORRIDA NO CÓDIGO GERADO PELO SATÉLITE 21 COM O USO DO AEM-LAGEH 02.  
 FONTE: O autor (2012)

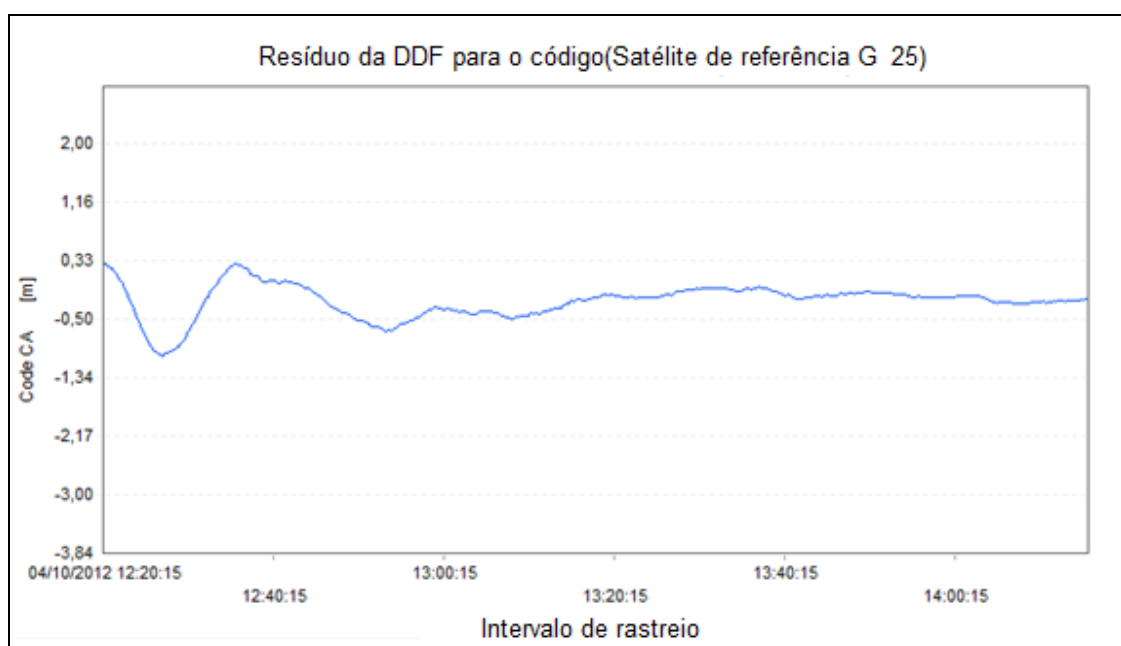


FIGURA 61- ANÁLISE DA VARIAÇÃO OCORRIDA NO CÓDIGO GERADO PELO SATÉLITE 21 COM O USO DO C-RAM.  
 FONTE: O autor (2012)

No QUADRO 6 apresenta-se uma análise estatística no que tange a amplitude do resíduo da dupla diferença do código C/A para os satélites PRN25 e PRN21. Constata-se que o desvio padrão mais elevado ocorre para o caso em que não se emprega qualquer material isolante. Contudo para os casos em que se empregaram os materiais atenuadores houve uma atenuação desta amplitude e consequentemente do desvio padrão.

Estatística referente à amplitude (m) do sinal código C/A do satélite PRN 21			
Fatores	Sem material	AEM-LAGEH 02	C-RAM
Amplitude Max. (m)	1,222	0,631	0,335
Amplitude Min.(m)	-1,104	-1,320	-1,011
Média (m)	-0,238	-0,275	-0,216
Desvio padrão (m)	0,326	0,297	0,206

QUADRO 6- ESTATÍSTICA DA AMPLITUDE DOS GRÁFICOS 58,59,60.

Observando os resíduos da DDF quando do emprego do código C/A, figuras (59,60 e 61) verifica-se que as amplitudes dos resíduos são decrescentes, pelo fato do satélite PRN 21 estar descrevendo uma órbita ascendente (FIGURA 52).

#### 4.1.4 Análise 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.

Na Figura 62 visualizam-se as amplitudes máximas e mínimas em metros dos resíduos da dupla diferença 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 02. Para a onda portadora L2 obteve-se os valores indicados na Figura 63. Verifica-se que as maiores amplitudes ocorrem para a onda portadora L2.

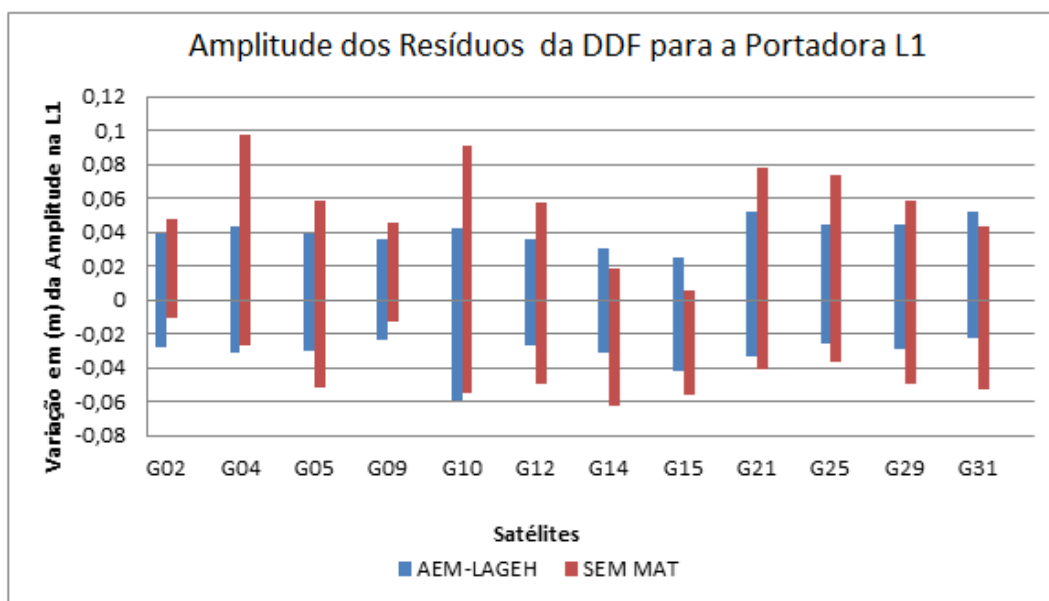


FIGURA 62- ANÁLISE DA AMPLITUDE DOS RESÍDUOS DA DDF PARA A PORTADORA L1.  
FONTE: O autor (2012)



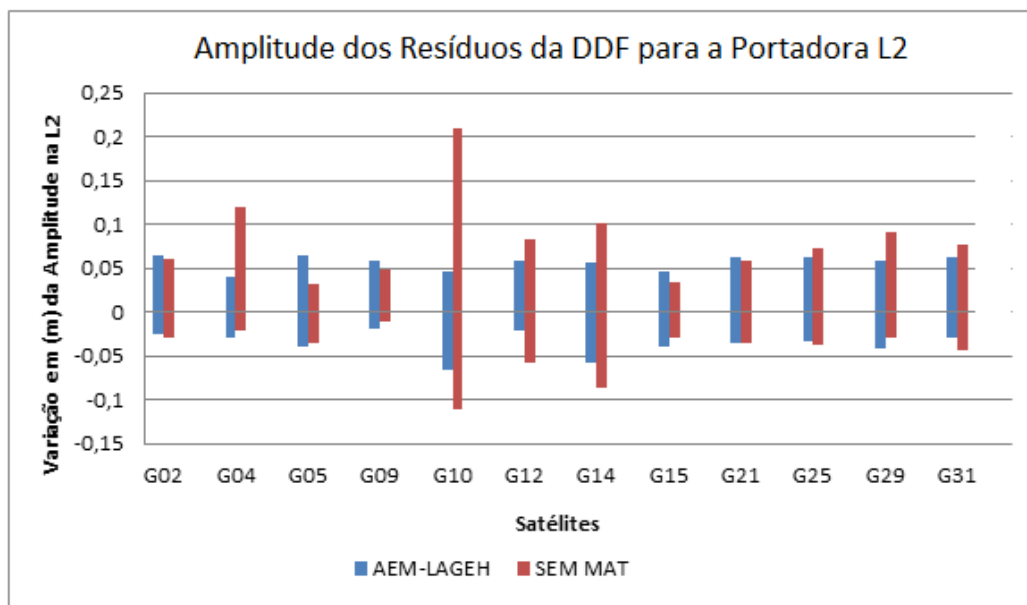


FIGURA 63- ANÁLISE DA AMPLITUDE DOS RESIDUOS DA DDF PARA APORTADORA L2.  
 FONTE: O autor (2012)

#### 4.1.5 Análise do Sinal Ruído para o Pilar 3000 da BCAL/UFPR.

Na figura 64 apresenta-se a relação Sinal ruído de cada primeira sessão para os experimentos realizados no dia GPS 94, 97e 100. De acordo com o exposto na seção 2.6.3, um valor típico de sinal ruído é igual a 45 dB-Hz. Verifica-se que houve uma variação deste sinal independente do emprego ou não do material atenuador.

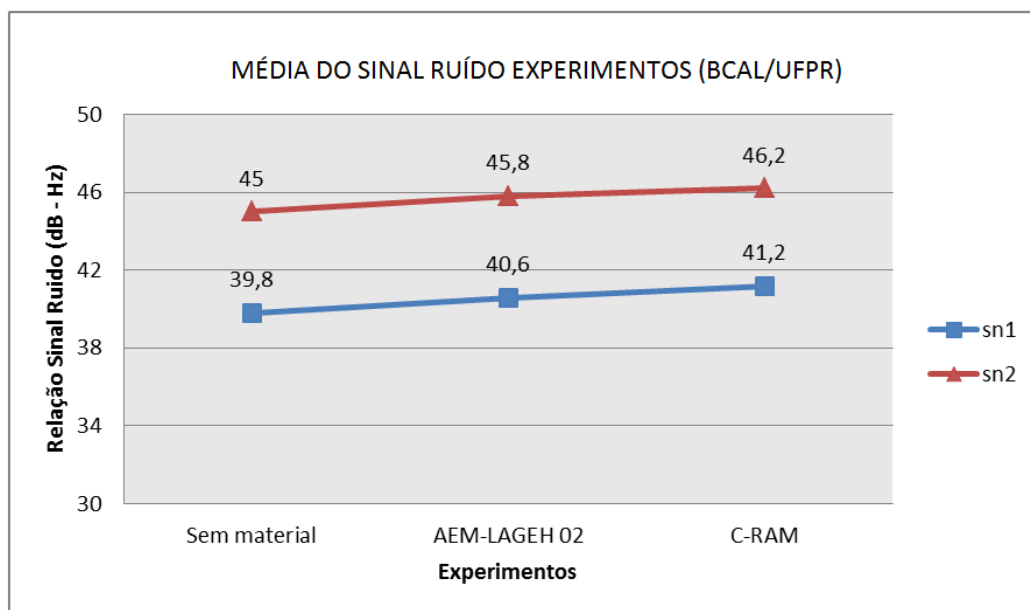


FIGURA 64- MÉDIA DO SINAL RUÍDO DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NO PILAR 3000 DA BCAL/UFPR  
 FONTE: O autor (2012)

Percebe-se que para a onda portadora L1 o SNR1 variou, de 45 a 46,2 dB e para onda portadora L2 de 39,8 a 41,2 dB. Com esta análise verificou-se que a comportamento do sinal ruído manteve-se inversamente proporcional ao efeito multicaminho, ficando na média estabelecida de 45 dB, sem que tivesse resultado em valores com comportamento discrepantes de sinal ruído quando se utilizou os materiais atenuadores.

Para a onda portadora L2 apresenta-se a menor influência do efeito do multicaminho e conseqüentemente maiores influências do sinal ruído.

#### 4.2 ANÁLISE DO EFEITO MULTICAMINHO COM O USO DO SUPORTE D.R.A. COM ÂNGULO DE ELEVAÇÃO DAS BORDAS DOS MATERIAIS A 0 GRAU.

Nesta seção se procede à análise do efeito do multicaminho com o emprego do suporte DRA com um ângulo de elevação das bordas dos materiais isolantes igual a zero grau (Figura 27, seção 3.1.4).

Para tal foram realizados três experimentos (sessão 3.2.3.3), alternando-se o uso de materiais atenuadores deste efeito (AEM-LAGEH 02 e C-RAM) sobre este

suporte DRA com zero graus. Os valores resultantes do efeito do multicaminho foram comparados com os valores obtidos somente com o uso da antena Leica 1203 GNSS.

Na Tabela 6 apresentam-se os valores da variação em metros do efeito do multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2, empregando-se o suporte DRA a 0 e a 12 graus e com a variante do emprego ou não dos diferentes materiais isolantes eletromagnéticos.

TABELA 6- VARIAÇÃO DO MULTICAMINHO COM O USO DO DRA COM ANGULOS ELEVAÇÃO DE 0 E 12 GRAUS

Variantes do teste sobre o pilar 3000	Teste da variação em metros do efeito multicaminho com o uso do suporte DRA com ângulo fixo de 0 grau		Teste da variação em metros do efeito multicaminho com o uso do suporte DRA com ângulo fixo de 12 graus	
	Mp1	Mp2	Mp1	Mp2
SEM MATERIAL	0,882484	0,784354	0,882484	0,784354
AEM-LAGEH	0,635086	0,633271	0,379091	0,4439620
C-RAM	0,543481	0,553883	0,282189	0,430207

O uso do suporte DRA (seção 3.1.4) com uma inclinação de 12 graus foi mais eficaz do que quando se utilizou um ângulo de elevação de zero grau para qualquer um dos materiais atenuadores empregados. Mediante uma análise dos valores obtidos constata-se que o material AEM-LAGEH 02 foi eficaz no que tange a minimização do efeito do multicaminho tanto quanto com o emprego do material atenuador C-RAM.

Na tabela 7 estão dispostos os valores médios de cada primeiro dia das três sessões dos testes 01 e 02 realizados na BCAL/UFPR obtidos pelo TEQC para uma máscara de elevação 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 7- QUANTIFICAÇÃO DO GANHO COM O USO DO DRA

<b>USO DOS MATERIAIS ATENUADORES PARA OS TESTES 01 E 02 REALIZADOS NA BCAL/UFPR (LABORATÓRIO)</b>				
	L1 COM DRA A 12 GRAUS	L2 COM DRA A 12 GRAUS	L1 COM DRA A 0 GRAU	L2 COM DRA A 0 GRAU
<b>AEM-LAGEH 02</b>	57,04%	43,40%	28,03%	19,26%
<b>C-RAM</b>	68,02%	45,09%	38,41%	29,38%
<b>USO DE ANTENA <i>CHOKE RING</i> PARA O TESTES 02 REALIZADOS NA BCAL/UFPR (LABORATÓRIO)</b>				
	L1 /teste 01	L2 /teste 01	L1 /teste 02	L1/ teste 02
<b><i>CHOKE RING</i></b>	78,26%	58,01%	-	-

Após a realização dos testes na BCAL/UFPR verificou-se que para o teste 01 (dispositivo DRA com inclinação de 12 graus com o uso do AEM-LAGEH 02) houve uma redução do efeito médio do multicaminho para as portadoras de aproximadamente 50% se comparado com os valores de multicaminho advindos do uso do dispositivo DRA com 0 grau de inclinação.

#### 4.3 AVALIAÇÃO DO EFEITO MULTICAMINHO NO RESERVATÓRIO VOSSOROCA

Na sequência serão mostradas as análises para os resultados alcançados com os experimentos PL 01 (seção 3.1.2), PAE-02-01 e PAE-02-02 (seção 3.1.1) realizados no reservatório Vossoroca visando o estudo do efeito de multicaminho sobre massas de água. Inicialmente procede-se a uma análise das obstruções existentes no entorno dos pontos posicionados.

##### 4.3.1 Análise das obstruções

Na Figura 65 percebe-se a região do reservatório de Vossoroca em que os estudos das plataformas foram conduzidos.

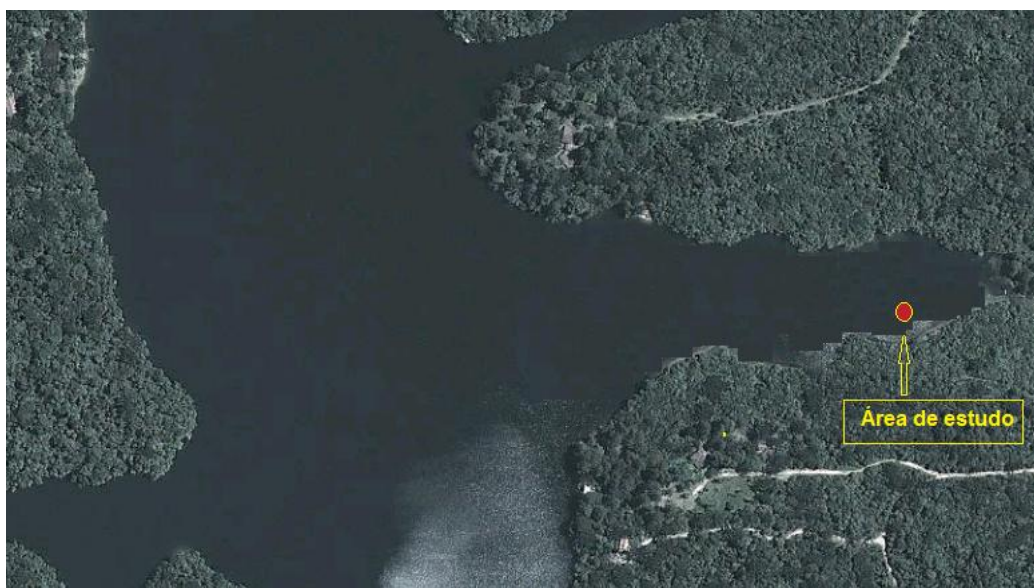


FIGURA 65- ÁREAS DE ESTUDO ONDE ESTÃO LOCALIZADAS OS PONTOS PAE.  
 FONTE: O autor (2012)

Foi realizado um mapeamento das obstruções existentes no entorno da área em estudo estando representadas na Figura 66. Na Figura 67 tem-se uma imagem que espelha a situação real existente no entorno, percebe-se que as obstruções existentes referem-se à vegetação.

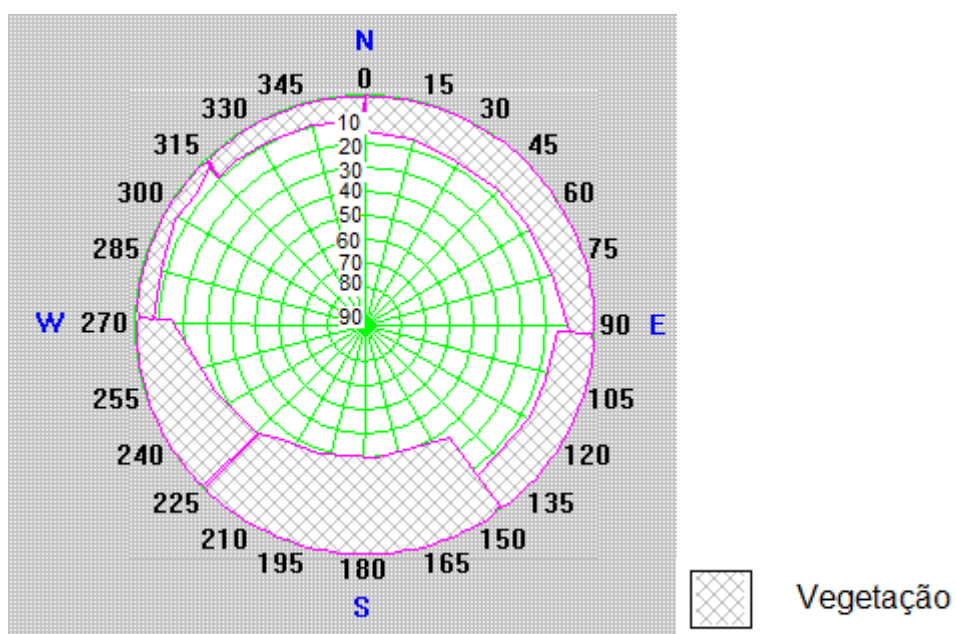


FIGURA 66- DIAGRAMA DE OBSTRUÇÃO DO VOSSOROCA.  
 FONTE: O autor (2012).

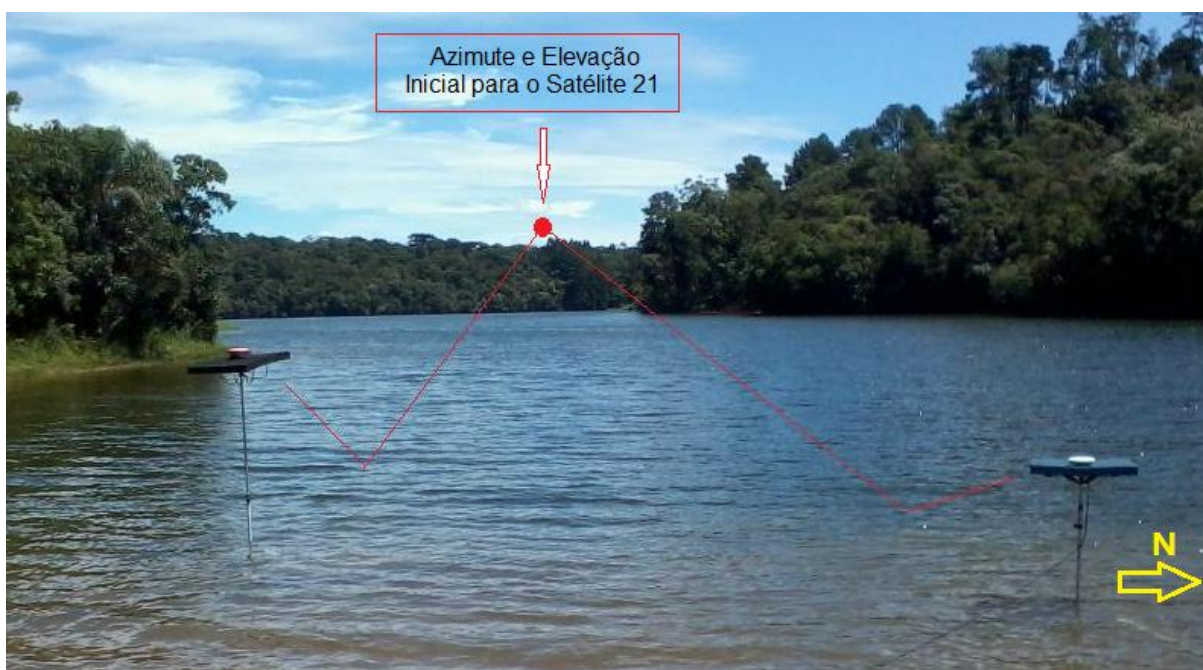


FIGURA 67- DIREÇÃO DO SINAL DA PSEUDODISTÂNCIA DO SATÉLITE 21.  
FONTE: O autor (2012)

Na figura 68 apresenta-se a distribuições dos satélites em suas órbitas durante o período de realização dos experimentos na área do reservatório (Figura 65). Associando-se as Figuras 66 e 68 decide-se por realizar análises para o satélite 21 (G21). Percebe-se que em face da órbita descrita pelo satélite (Figura 68) e de seu azimute há possibilidades de reflexão do sinal advindo deste satélite sobre o espelho d'água conforme se ilustra na figura (FIGURA 67). Na figura 66 percebe-se que entre os azimutes  $274^{\circ}$  a  $315^{\circ}$  a vegetação existente tem uma elevação de  $4^{\circ}$  em relação do plano do horizonte de coleta dos dados contribuindo para uma maior área de exposição dos sinais advindos dos satélites (G21) quando os mesmos são refletidos sobre a água.

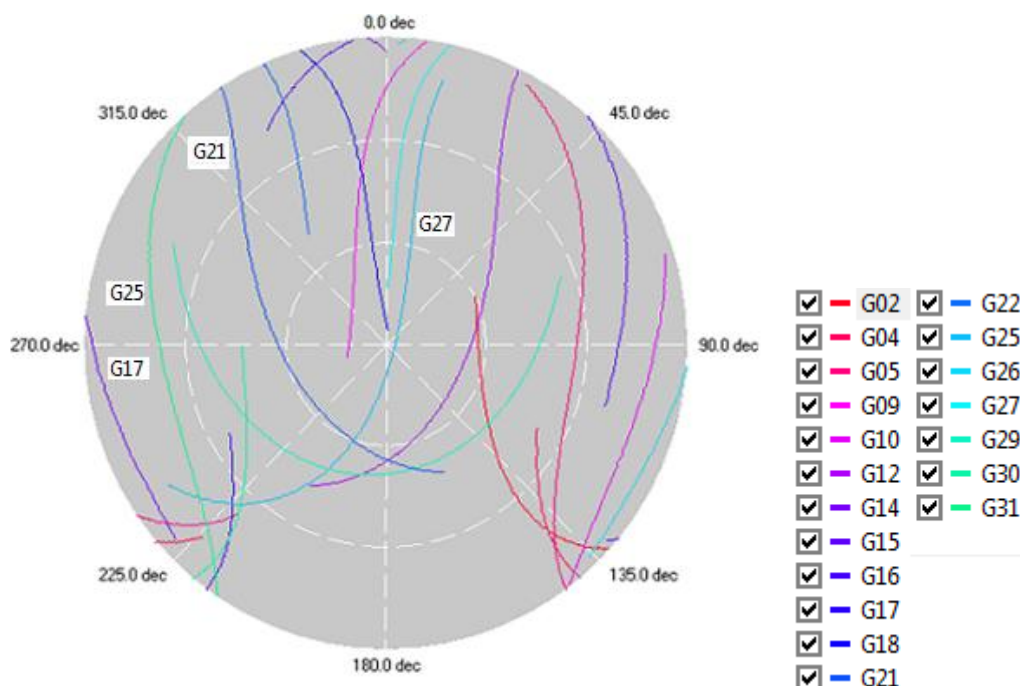


FIGURA 68- SKYPLLOT DA DISPONIBILIDADE DOS SATÉLITES SOBRE A REPRESA VOSSOROCA.  
 FONTE: O autor (2012)

Desta forma opta-se pela análise dos resíduos da dupla diferença de fase gerados tendo-se com satélite de referência o satélite 25 (PRN25) com uma elevação de 51 a 67 graus e o satélite a ser analisado (PRN21) com elevação entre 5 a 19 graus, ou seja, com baixa elevação.

#### 4.3.2 Análise dos experimentos com a Plataforma Lagrangeana (PL 01)

Nesta seção apresentam-se as análises dos dados coletados com as plataformas Lagrangeanas (seção 3.1.2) cujos dados foram coletados nos experimentos PL-02-1 e PL-02-2 (seção 3.2.4.2) realizados na represa Vossoroca.

#### 4.3.2.1 Análise do Código e Fase da onda Portadora para as Plataformas PL.

Percebe-se (FIGURAS 69 e 70) que os resíduos da dupla diferença do código e da fase da onda portadora foram atenuados quando se empregou o material AEM-LAGEH 02. Mediante uma análise conjunta das figuras 69 e 70 constatou-se que os maiores picos de amplitude ocorreram para os satélites com elevação inferior a 25 graus e os menores valores de amplitude resultam dos satélites com elevações superiores a 40 graus

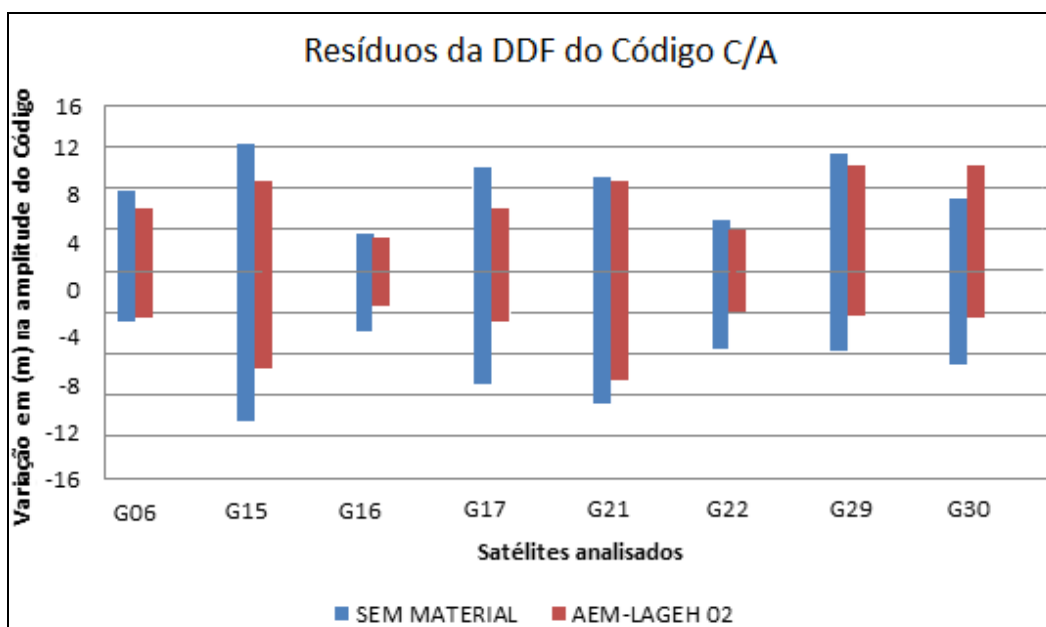


FIGURA 69- RESIDUOS DA DDF DO CÓDIGO C/A PARA OS SATÉLITES ANALISADOS NOS EXPERIMENTOS PL-02-1 E PL-02-2.  
 FONTE: O autor (2012)



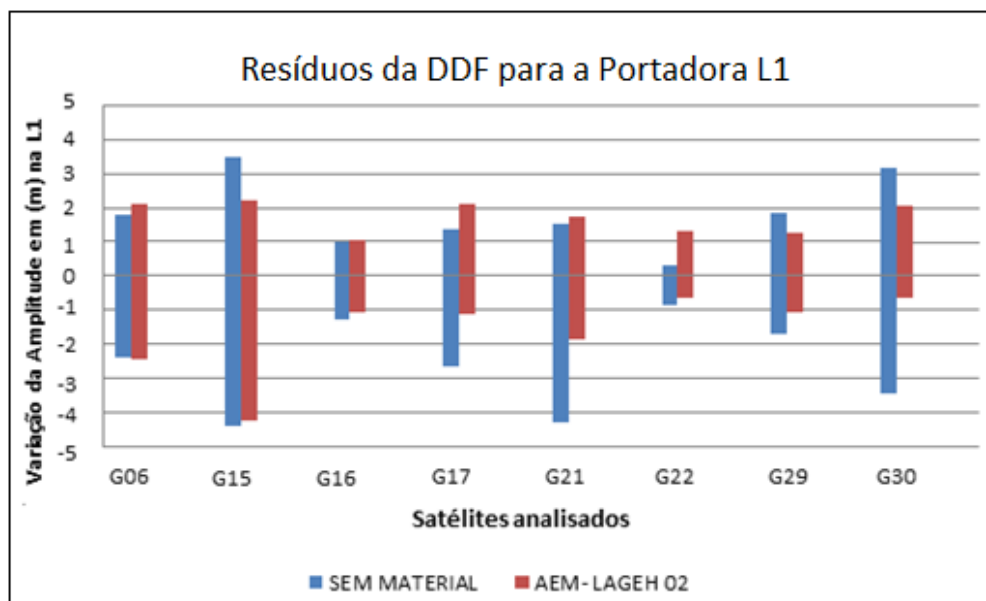


FIGURA 70- RESIDUOS DA DDF PARA A PORTADORA L1 PARA OS SATÉLITES ANALISADOS NOS EXPERIMENTOS PL-02-1 E PL-02-2.  
 FONTE: O autor (2012)

Para os experimentos realizados com o emprego das plataformas PL, o valor médio dos resíduos da dupla diferença do código e da fase da onda portadora foram em média 10 e 5 metros.

Percebe-se na Figura 71 que houve poucas perdas de ciclo (indicadas por X) advindas da dinâmica das plataformas devido as correntes do reservatório Vossoroca e das frequentes obstruções (vegetação) existentes no entorno. Contudo houve uma contribuição para que os resíduos da DD para o código fossem elevados (metros).

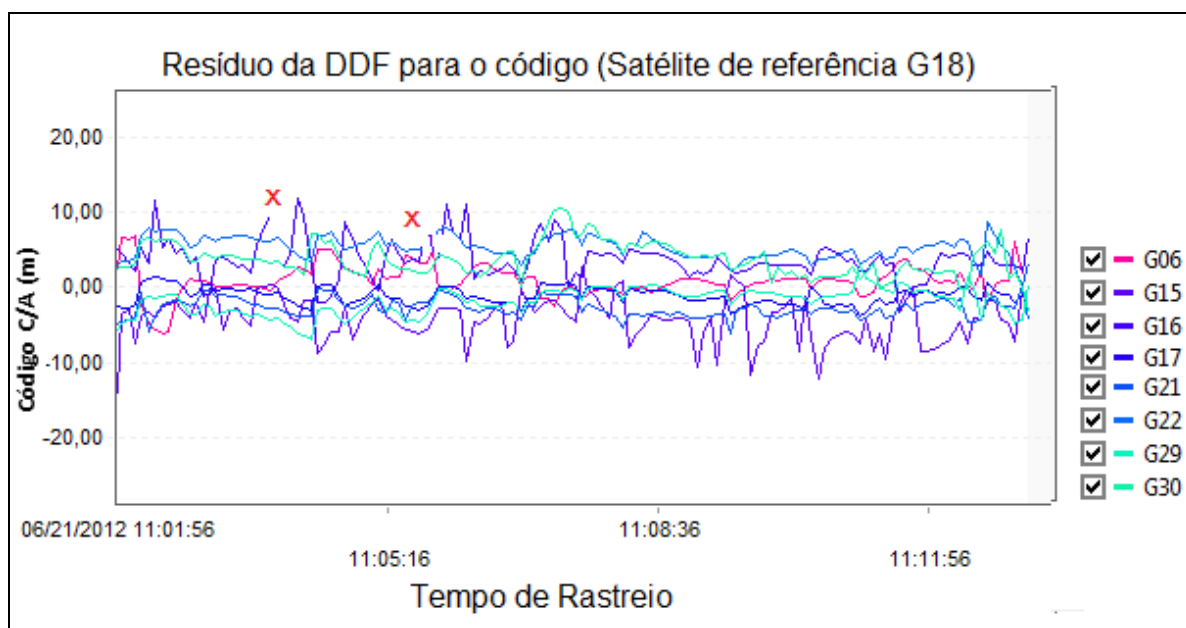


FIGURA 71- AMPLITUDE DOS SINAIS PARA O EXPERIMENTO PL-02-1.  
 FONTE: O autor (2012)

Após o processamento dos dados coletados pelas duas plataformas Lagrangeanas realizou-se uma análise da altitude elipsoidal obtida. Elas foram comparadas com a altitude elipsoidal da plataforma PAE-02-1 possibilitando detectar-se se houve mudança significativa nesta coordenada. Estas altitudes foram reduzidas ao nível do espelho d'água do reservatório, ou seja, foram deduzidos os correspondentes valores das alturas das antenas sendo 0,80m da PAE e 0,40m das PL. No QUADRO 7, encontram-se os respectivos valores.

Neste experimento, após o processamento dos dados, constatou-se a presença de perdas de ciclos em alguns satélites o que prejudicou a qualidade dos resultados. Vale ressaltar que os valores das altitudes advindas das plataformas Lagrangeanas, foram obtidas com solução parcial para as ambiguidades e os dados foram coletados com um equipamento monofrequência (onda portadora L1).

	ALTITUDE ELIPSOIDAL EM METROS		
	PAE 01	PL-02-1	PL-02-2
Valor da altitude pós-processadas.	833.3097	833.3982	833.8847
Valor da altitude reduzida ao espelho d'água corrigido das alturas das antenas	832,5097	832.9982	833.4850
Diferenças entre as altitudes das plataformas PL com relação a PAE-02-1		0,4885	0,9753

QUADRO 7- DIFERENCAS EM ALTITUDES DAS PLATAFORMAS PL E PAE-02-1

Analisando-se os valores obtidos para as altitudes elipsoidais advindas das duas Plataformas Lagrangeanas percebe-se que a diferença foi de 0,4866m, o que indica que o emprego do AEM-LAGEH 02 é válido. Ressalta-se que estes experimentos diferem apenas no que tange ao emprego ou não material atenuador para a PL.

Adotando-se a altitude elipsoidal advinda da plataforma PAE-02-1 (experimento 04 uso da *Choke Ring*), como referência calculou-se a diferença entre essa altitude e aquelas advindas das plataformas Lagrangeanas. Verifica-se que as diferenças foram iguais a 0,4885m (PL-02-1) e a 0,9753m (PL-02-2). Este resultado confirma a importância do emprego do material atenuador dos sinais eletromagnéticos no posicionamento cinemático.

#### 4.3.3 Análise dos experimentos PAE-02-01

Os resultados alcançados com os experimentos PAE-02-1 e PAE-02-2 (seção 3.2.4.1) realizados na represa Vossoroca são apresentados por meio de tabelas e gráficos.

#### 4.3.4 Experimento ( I ) com PAE-02-1 sem material Isolante

Os experimentos a seguir foram realizados de acordo com o descrito na seção 3.2.4.1. As coletas realizadas entre os dias GPS 58 a 60 foram efetuadas com

o emprego da antena LEIAX 1203 GNSS e sem o uso de qualquer material isolante ou técnica que se visasse à minimização do efeito multicaminho sofrido pela antena decorrente da reflexão do sinal pelo espelho d'água. Este experimento será adotado como referência para as análises a serem efetuadas para os demais experimentos da série PAE-02-1 (seções 4.3.5 e 4.3.6).

Na Tabela 8 estão indicados os valores obtidos para a variação média do efeito de multicaminho para esta situação (sem material isolante). Foram obtidos valores médios iguais a 0,206323 m para a onda portadora L1 e de 0,374299 m para a onda portadora L2. Percebe-se que os valores mínimos e máximos para esta última onda portadora são superiores aqueles obtidos para a onda portadora L1.

TABELA 8- ANÁLISE DO EFEITO MULTICAMINHO SOMENTE COM O USO DA ANTENA LEIAX 1203 GG

Variação média do efeito do multicaminho em metros sem o uso de material isolante		
Experimentos I		
Dia GPS	Variação MP1	Variação MP2
58	0,165885	0,258984
59	0,261555	0,462980
60	0,191530	0,400933
<b>Valor médio</b>	0,206323	0,374299

#### 4.3.5 Experimento (II) com PAE-02-1 uso do AEM-LAGE 02

Conforme exposto na seção 3.2.4.1 no Quadro 4 este experimento (Experimento II) foi realizado com os dados coletados com o material AEM-LAGEH 02, sendo que as bordas do material foram elevadas de 12 graus em relação ao plano terra da antena. A elevação do material foi realizada entre os azimutes 274° a 315° (Figura 65) de modo a minimizar as reflexões do sinal GPS que podem chegar à antena instalada. Os resultados obtidos encontram-se indicados na Tabela 9, nela percebe-se que o valor médio alcançado para a onda portadora L1 foi igual a 0,149671 m e para a onda portadora L2 igual a 0,306611 m. Os valores mínimo e

máximo para esta última onda portadora continuam a serem superiores aqueles obtidos para a onda portadora L1.

TABELA 9- RESULTADO DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS COM O USO DO AEM-LAGEH 02  
Variação média do efeito do multicaminho em metros com o uso do AEM-LAGEH 02

<b>Experimentos II</b>		
<b>Dia GPS</b>	<b>Variação MP1</b>	<b>Variação MP2</b>
<b>58</b>	0,122595	0,203230
<b>59</b>	0,175407	0,352395
<b>60</b>	0,151011	0,317432
<b>Valor médio</b>	0,149671	0,306611

#### 4.3.6 Experimento (III), com PAE-02-1 uso do C-RAM.

Na Tabela 10 observam-se os valores para a variação média do efeito do multicaminho para o experimento (IV). Conforme exposto na seção 3.2.4.1 no Quadro 4 este experimento (Experimento III) foi realizado com os dados coletados com o emprego do material atenuador do efeito do multicaminho C-RAM com 12 graus de inclinação apoiado pelo DRA. Os valores médios deste efeito para as ondas portadoras L1 e L2 foram iguais a 0,128516 m e 0,246989 m, respectivamente.

Mediante uma comparação entre os resultados indicados nas tabelas 9 e 10 percebe-se que o material atenuador C-RAM teve um melhor desempenho do que o AEM-LAGEH 02. Contudo este último também mostrou ser eficiente para o fim a que se destina e apresenta um custo de aquisição menor.

TABELA 10- COMPARAÇÃO DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS COM O USO DO C-RAM  
Variação média do efeito do multicaminho em metros uso do C-RAM

<b>Experimentos III</b>		
<b>Dia GPS</b>	<b>Variação MP1</b>	<b>Variação MP2</b>
<b>58</b>	0,107445	0,178293
<b>59</b>	0,146480	0,301129
<b>60</b>	0,131625	0,270005
<b>Valor médio</b>	0,128516	0,246989

#### 4.3.7 Experimento (IV) com PAE-02-1 uso de antena *Choke Ring*

Dentre as técnicas existentes para se minimizar o efeito de multicaminho a mais conhecida é aquela em que se emprega de antenas do tipo *Choke Ring* (seção 2.4.2).

Desta forma optou-se por realizar o experimento IV, utilizando a antena do tipo *Choke Ring* modelo AT 504 Leica (seção 3.2.4.1, Quadro 4). Os resultados aqui alcançados possibilitaram a comparação com os demais experimentos efetuados com a PAE-02-1.

Na Tabela 11 apresentam-se os resultados alcançados. O valor médio do efeito do multicaminho na portadora L1 foi igual a 0,134388 m e para a onda portadora L2 foi de 0,219371m.

TABELA 11- RESULTADO DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS COM O USO DA ANTENA *CHOKE RING*

Variação média do efeito do multicaminho em metros com o uso de antena <i>Choke Ring</i>		
Experimentos IV		
Dia GPS	Variação MP1	Variação MP2
58	0,115739	0,198137
59	0,153307	0,254361
60	0,134119	0,225299
<b>Valor médio</b>	0,134388	0,219317

Analisando-se as variações dos valores médios do efeito do multicaminho para o experimento PAE-02-1 (Tabelas 8 a 11) constata-se que para a onda portadora L1, o material C-RAM obteve o melhor resultado com uma variação de 0,128 m e para a onda portadora L2 o melhor resultado foi observado com a antena *Choke Ring* com uma variação de 0,219m.

Observa-se nesta seção que mesmo com a utilização dos parâmetros de controle (seção 3.3.2), houve uma variação do efeito multicaminho para os três dias de coleta de dados no reservatório Vossoroca.

#### 4.4 ANÁLISE DO PERCENTUAL DE REDUÇÃO DO EFEITO MULTICAMINHO PARA O EXPERIMENTO PAE-02-1

Conforme exposto na seção 3.2.4.1 no Quadro 4 foram realizados 4 experimentos para as plataforma Eulerianas. Com a realização destes experimentos pode-se quantificar a redução do efeito de multicaminho quando se empregou os materiais atenuadores (AEM-LAGEH, C-RAM) frente aos valores advindos quando do emprego da antena *Choke Ring* AT 504, a qual já esta preparada para este fim. Os valores aqui analisados advêm do software TEQC (seção 3.2.3.2).

O valor máximo para o efeito do multicaminho será aquele advindo do experimento I (para os dias GPS 58 a 60) e ele será comparado com os demais valores obtidos com os dados coletados nos experimentos II, III e IV. Nas Figuras 72 e 73 apresentam-se as variações do efeito de multicaminho para o dia GPS 58 para as ondas portadoras L1 e L2, respectivamente.

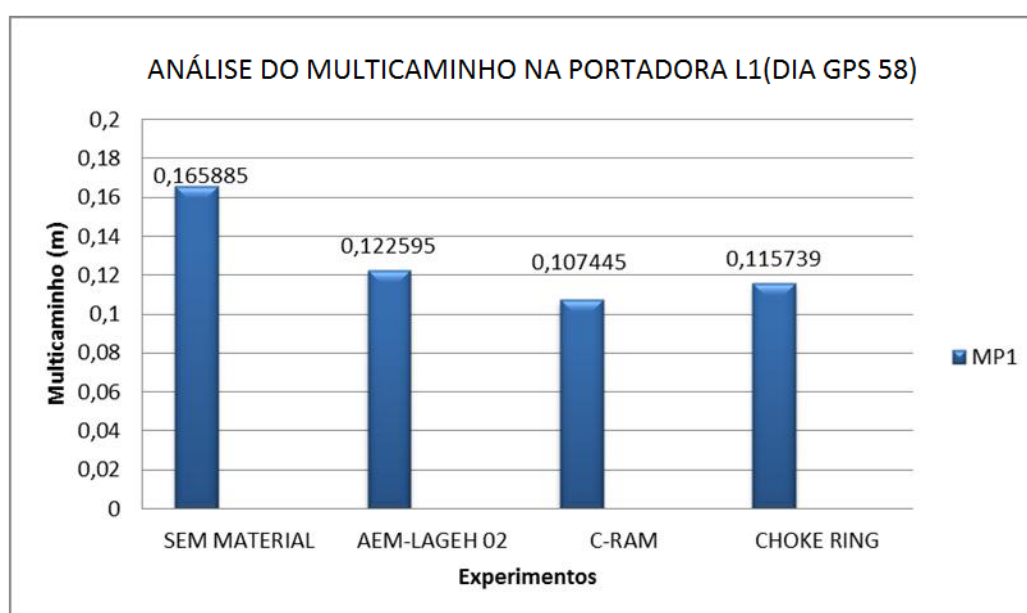


FIGURA 72- ANÁLISE DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L1 PARA O DIA 58.  
FONTE: O autor (2012)

Mediante uma análise dos resultados indicados na Figura 72 (para a onda portadora L1) verifica-se que com o emprego de materiais atenuadores do efeito foi

possível uma redução de 26,10% com o uso do AEM-LAGEH 02, 35,23% com o uso do C-RAM e 30,23% com o uso de uma antena *Choke Ring*.

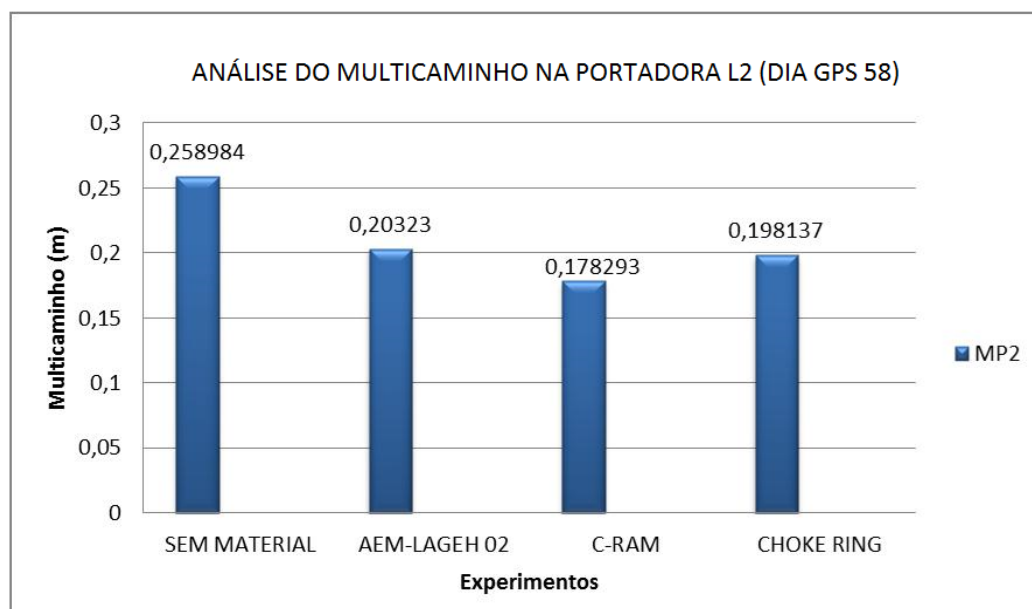


FIGURA 73- ANÁLISE DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L2 PARA O DIA GPS 58.  
 FONTE: O autor (2012)

Para a portadora L2 (Figura 73) percebe-se que com o uso de material AEM-LAGEH 02 houve, uma redução média no efeito de multicaminho de 21,53% ao se comparar com aquele em que não se empregou qualquer material isolante. Para os casos em que se compara os valores advindos do emprego do C-RAM com aquele em que não se empregou qualquer material isolante o ganho ficou estimado em 31,15% e com o uso da *Choke Ring* a redução foi de 23,50%.

Nas figuras 74 e 75 visualizam-se os valores médios do efeito do multicaminho para os experimentos realizados na represa Vossoroca para o dia GPS 59.

Estes valores obtidos sob as mesmas condições do dia GPS 60 podem ser observados nas figuras 76 e 77, sendo para a onda portadora L1 e para a onda portadora L2, respectivamente.



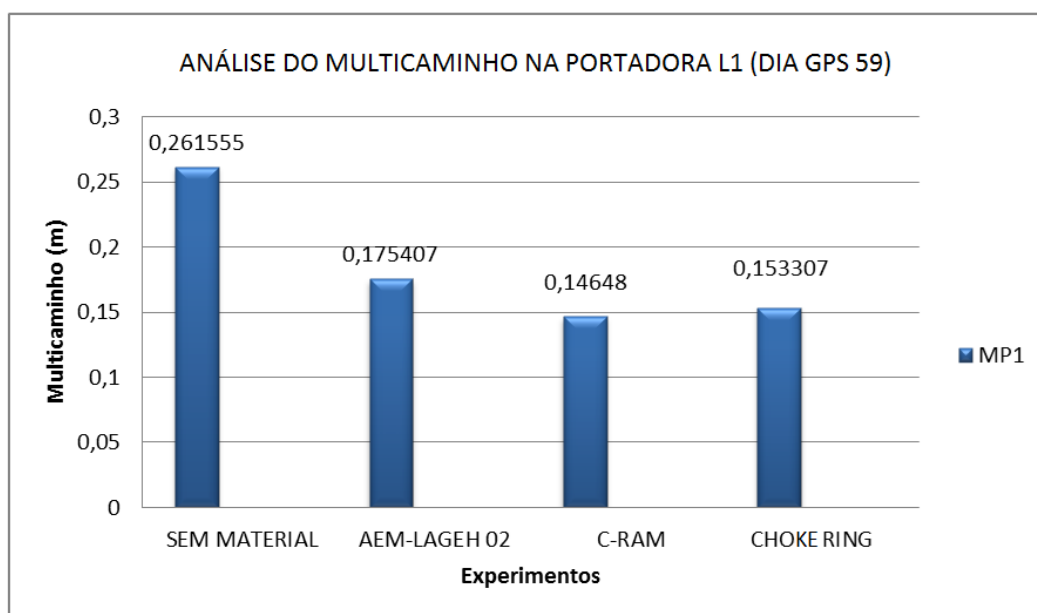


FIGURA 74- ANÁLISE DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L1 PARA O DIA 59.  
FONTE: O autor (2012)

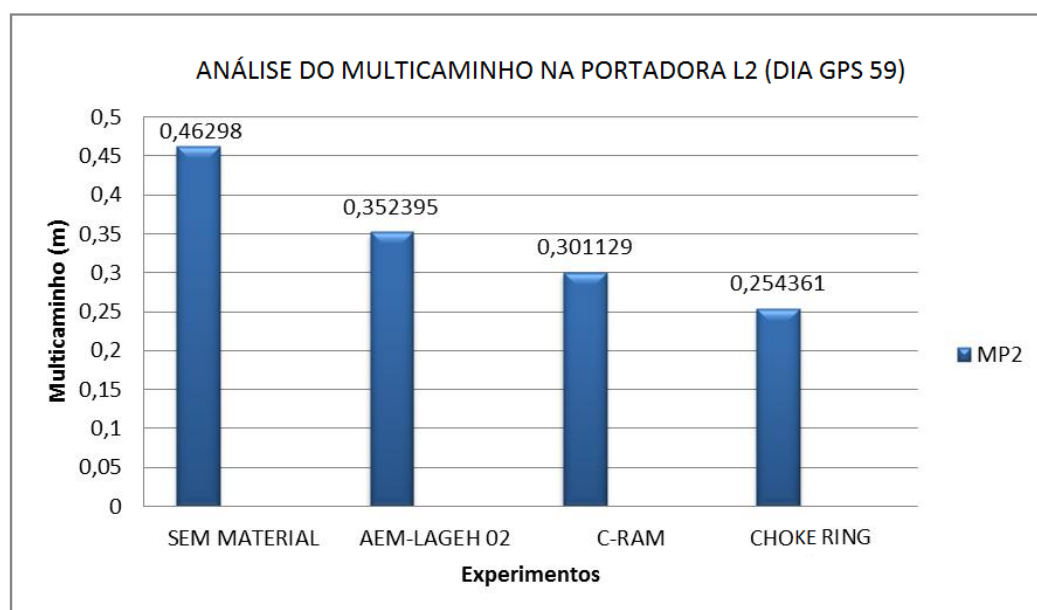


FIGURA 75 - ANÁLISE DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L2 PARA O DIA 59.  
FONTE: O autor (2012)

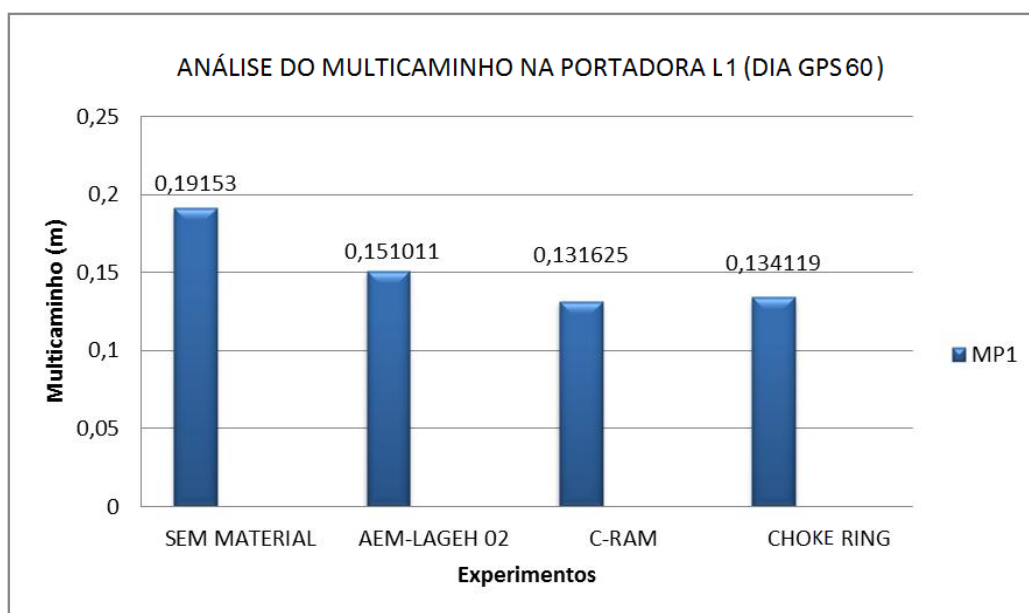


Figura 76- ANÁLISE DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L1 PARA O DIA 60.  
 FONTE: O autor (2012)

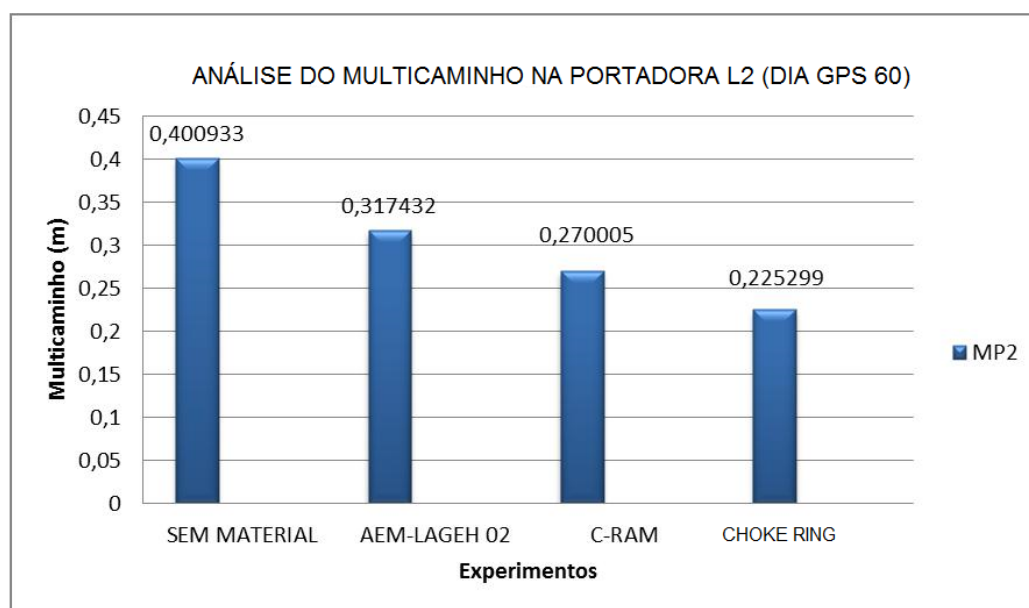


FIGURA 77- ANÁLISE DO MULTICAMINHO NA PORTADORA L2 PARA O DIA 60.  
 FONTE: O autor (2012)

Mediante uma análise dos resultados alcançados para os demais dias (Dia GPS 59 e 60) para as ondas portadoras L1 e L2 optou-se por elaborar as tabelas 12 e 13. Na primeira estão expostos os ganhos obtidos com o emprego dos materiais atenuadores e da antena *Choke Ring* para a onda portadora L1 e na segunda tabela

(Tabela 13) para a onda portadora L2. Percebe-se que para todos os casos houve um ganho superior a 20%. Observa-se que para a onda portadora L1 os melhores ganhos ocorreram quando do emprego do material atenuador C-RAM e que para a onda portadora L2 quando do emprego da antena *Choke Ring*.

TABELA 12- QUANTIFICAÇÃO DO GANHO NA L1

**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
<b>AEM-LAGEH 02</b>	26,10%	32,92%	21,15%	26,72%
<b>C-RAM</b>	35,23%	44,02%	30,76%	35,76%
<b>CHOKE RING</b>	30,23%	41,38%	29,97%	33,86%

TABELA 13- QUANTIFICAÇÃO DO GANHO NA L2

**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
<b>AEM - LAGEH 02</b>	21,53%	23,87%	20,83%	22,08%
<b>C-RAM</b>	23,50%	34,95%	32,65%	30,37%
<b>CHOKE RING</b>	23,48%	45,06%	43,80%	37,45%

#### 4.4.1 Comparação do AEM-LAGEH 02 com a antena *Choke Ring*

Ao comparar os experimentos PAE-02-1 realizados na represa Vossoroca observou-se que a utilização do AEM-LAGEH 02 juntamente com DRA proporcionou uma minimização média do efeito do multicaminho para o experimento igual a 26,72% (onda portadora L1) e quando do uso da antena *Choke Ring* obteve-se um ganho de 33,86%, (onda portadora L1). Para a onda portadora L2 verificou-se uma minimização média de 22,08% e de 37,45%, com o uso do AEM-LAGEH 02 e DRA e a antena *Choke Ring*, respectivamente.

Com esses experimentos testou-se a qualidade do AEM-LAGEH. Comprovou-se que esse material apresenta um ganho real quando utilizado em ambientes propícios ao efeito do multicaminho.

#### 4.4.2 Análise da plataforma Euleriana PAE-02-2

De acordo com o exposto na seção 3.2.4.1 os experimentos foram realizados empregando-se diferentes alturas de antena. A análise dos dados é efetuada pelos resíduos da Dupla Diferença (DD) (seção 2.3.2) tendo-se como satélite de referência o PRN27 e o satélite observado PRN15. Conforme exposto na seção 4.1 este último satélite apresenta a menor elevação e o PRN27 tem a maior elevação durante o período de observação investigado.

Inicialmente analisam-se os resíduos da dupla diferença do código quando se empregou na coleta dos dados uma antena de altura igual a 0,80 metros (Figura 78) e igual a 1,8 metros (Figura 79) acima do espelho d'água do reservatório vossoroca.

Comparando-se as figuras verifica-se que quando a antena foi elevada em 1 metro, houve um aumento dos resíduos. Os valores de amplitudes máxima, média e mínima estão indicados na Tabela 14. Percebe-se que quando a antena passou de 0,80m para 1,8 m a amplitude máxima elevou de 30%.

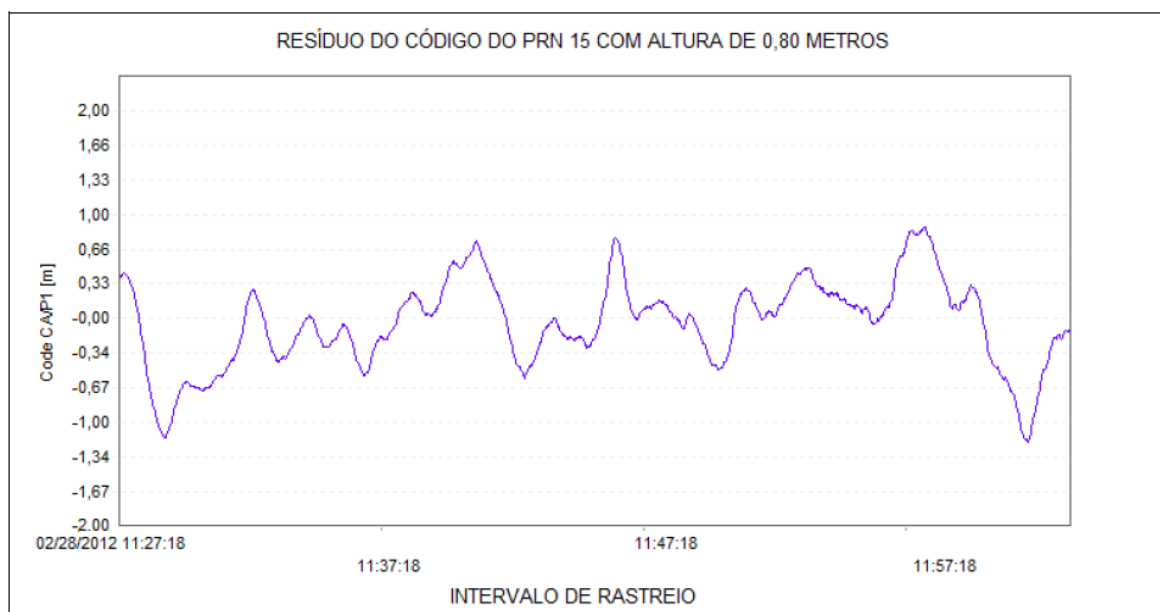


FIGURA 78- ANÁLISE DO RESÍDUO DO CÓDIGO DO PRN 15 COM ALTURA DE 0,80 METROS UTILIZANDO O AEM-LAGEH 02.  
FONTE: O autor (2012)

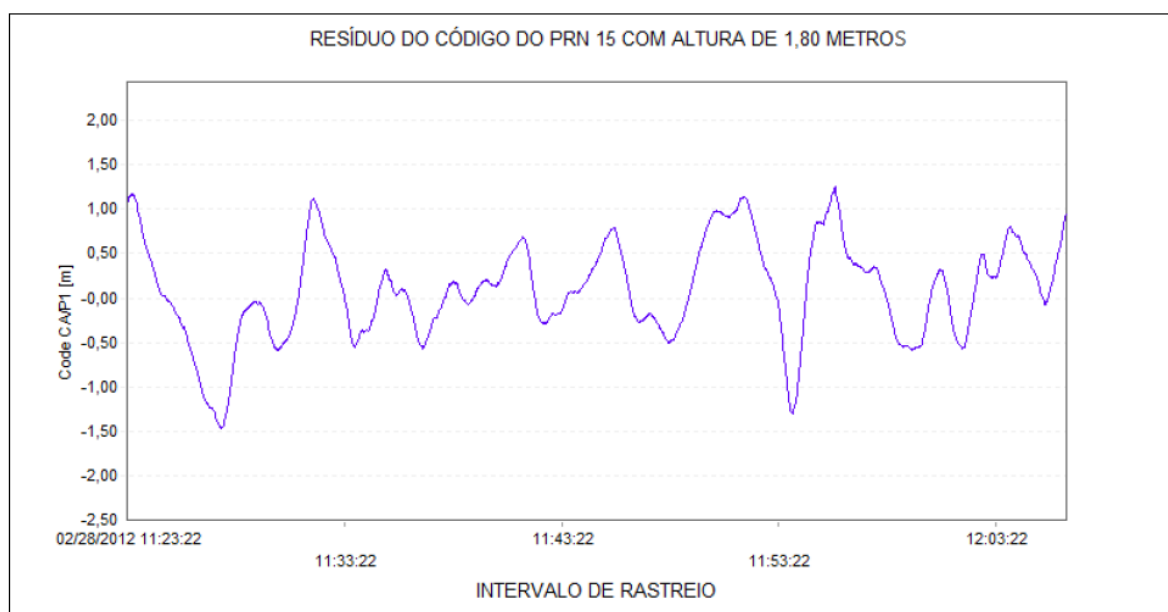


FIGURA 79- ANÁLISE DO RESÍDUO DO CÓDIGO DO PRN 15 COM ALTURA DE 1,80 METROS UTILIZANDO O AEM-LAGEH 02.  
FONTE: O autor (2012)

TABELA 14- VARIAÇÃO DA AMPLITUDE DO CÓDIGO C/A

Valor em amplitude	Varição da amplitude do código em metros para a Altura de 1,80m	Varição da amplitude do código em metros para a Altura de 0,80m
<b>Amplitude média</b>	0,0850	0,0530
<b>Amplitude máxima</b>	0,5515	0,4217
<b>Amplitude mínima</b>	-1,475	-1,118
<b>Desvio padrão</b>	1,473	0,875

Com a verificação dos resíduos do multicaminho no código, foi constatado que este efeito é menor quando a altura da antena também é menor, neste caso, as antenas devem estar mais próximas ao nível d'água.

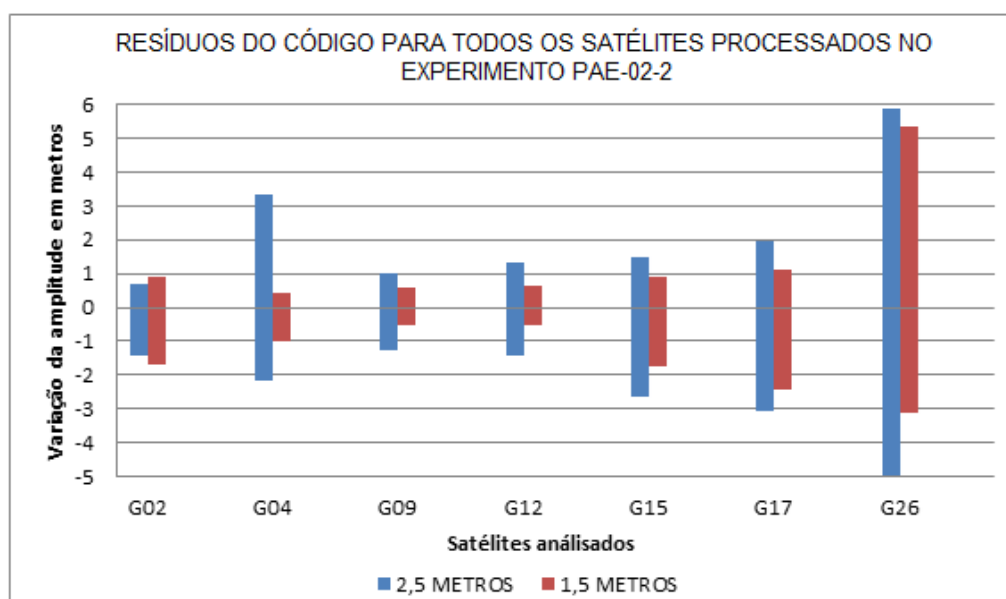


FIGURA 80- DIFERENÇAS NOS RESÍDUOS DO CÓDIGO PARA TODOS OS SATÉLITES PROCESSADOS NO EXPERIMENTO PAE-02-2.  
 FONTE: O autor (2012)

Na figura 80 apresentam-se os resíduos do código obtidos pela dupla diferença de fase (DDF) entre o satélite 27 e os demais satélites que foram processados neste experimento. Constata-se que a variação do resíduo foi menor em todos eles exceto em um dos satélites observados no experimento em que a antena estava a 0,8m acima do espelho d'água.

Com a modificação da altura da antena os valores referentes ao multicaminho para ambas às sessões (tabela 15) também se modificaram de forma expressiva. Constata-se que os resultados para a altura da antena elevada de 1,80 m acima do espelho d'água são discrepantes, em média 1,6m para a onda portadora L1 e 0,6m para a onda portadora L2.

TABELA 15- VALORES DO MULTICAMINHO PARA OS EXPERIMENTOS PAE-02-2

	MP1 em metros para a altura de 0,80 metros	MP2 em metros para a altura de 0,80 metros	MP1 em metros para a altura de 1,80 metros	MP2 em metros para a altura de 1,80 metros
1 <sup>o</sup> sessão	0,1621	0,2084	1.8119	0,8082
2 <sup>o</sup> sessão	0,1693	0,1954	1,7831	0,7934

#### 4.5 CÁLCULO DAS DISTÂNCIAS PLANIMÉTRICAS ATRAVÉS DAS COORDENADAS GEODÉSICAS.

Após análise dos dados pós-processamento referente ao teste 01 realizado na BCAL/UFPR procedeu-se a uma comparação quanto às coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude elipsoidal), as distancias 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 16 apresentam-se as diferenças obtidas entre as coordenadas do Pilar 3000 advindas do experimento 1 com aquelas obtidas com o experimento 2, 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 27,69 centímetros. Verifica-se então diferenças planimétricas de 2,3mm e tridimensionais de 11,69 cm.

No caso em que se compara as coordenadas do Pilar 3000 advindas do experimento 1 com as obtidas com o experimento 3, ou seja, quando se empregou nas observações o material isolante C-RAM (Tabela 17) as diferenças entre latitudes e longitudes foram da ordem de milímetros e praticamente iguais as obtidas anteriormente. Contudo percebe-se um aumento na diferença obtida para as altitudes elipsoidais. Nesse caso obteve-se um valor de 1,739 cm, representando um aumento de cerca 48% na diferença obtida com o AEM-LAGEH.

TABELA 16- DIFERENÇAS DE COORDENADAS E DISTÂNCIAS EM (METROS) APÓS O USO DO AEM-LAGEH 02

<b>USO DO AEM-LAGEH 02</b>	
<b>Fator Analisado</b>	<b>Valores em Metros</b>
Distância em latitude	0,0012
Distância em longitude	0,0019
Diferença em altitude elipsoidal	0,0116
Distância planimétrica	0,0023
Distância 3D	0,2769

TABELA 17- DIFERENÇAS DE COORDENADAS E DISTÂNCIAS EM (METROS) APÓS O USO DO C-RAM

<b>USO DO C-RAM</b>	
<b>Fator Analisado</b>	<b>Valores em Metros</b>
Distância em latitude	0,0012
Distância em longitude	0,0017
Diferença em altitude elipsoidal	0,0173
Distância planimétrica	0,0021
Distância 3D	0,3339



## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.

Inicialmente conclui-se que o objetivo geral foi atingido com êxito. O material atenuador capaz de contribuir com a minimização do efeito do multicaminho atuante sobre pontos localizados em grandes massas de água foi desenvolvido e propiciou um posicionamento mais acurado. Ele proporcionou a redução deste efeito tanto nos experimentos realizados no reservatório Vossoroca quanto naqueles efetuados 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 (dispositivo DRA com inclinação de 12 graus, experimento 02, AEM-LAGEH 02) 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 (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 Vossoroca), o ganho de eficiência foi analisado apenas utilizando DRA a 12 graus conduzindo a uma melhora de 26,72% na onda portadora L1 e 22,08% na onda portadora L2 quando se utilizou o AEM-LAGEH 02. Quando do emprego do C-RAM os valores foram de 35,76% para a onda portadora L1 e de 30,37% para a onda portadora L2.

Os resultados até aqui obtidos indicam que com a utilização do AEM-LAGEH 02 apoiado pelo mecanismo DRA com ângulo superior a 0 grau possibilita melhores resultados quanto à minimização do efeito do multicaminho.

No que tange a influência do efeito do multicaminho nas coordenadas geodésicas obtidas após o uso dos materiais atenuadores para o Pilar 3000 verificou-se que houve uma diferença na distância planimétrica de 2,3mm, quando se utilizou o AEM-LAGEH 02. Contudo quando foi empregado o C-RAM (experimento 03) esta diferença foi de 2,1mm.

Analisando a precisão vertical detectaram-se diferenças de 0,17 m quando se empregou o material atenuador C-RAM e de 0,12 m com o uso do material atenuador AEM-LAGE 02, (Tabela 16 e 17) sendo estes resultados fortes indícios de que este efeito atua diretamente na altitude elipsoidal.

Mediante uma análise dos experimentos realizados na represa de Vossoroça com o emprego das plataformas Eulerianas da série PAE-02-1 verificou-se que o AEM-LAGEH 02 teve uma melhora de aproximadamente 27% para a onda portadora L1 e 22% para a onda portadora L2. O mesmo fato ocorreu para o C-RAM o qual proporcionou uma melhora de 35% para a onda portadora L1 e 31% na onda portadora L2. Percebe-se aqui que os valores da atenuação do efeito multicaminho na plataforma Euleriana da série PAE-02-1, com altura de antena de 1,5 metros, foram inferiores aos valores obtidos na BCAL/UFPR.

Constatou-se que o emprego da antena *Choke Ring* é a solução mais eficiente para se atenuar o efeito do multicaminho, na maioria dos casos. Houve uma atenuação máxima do efeito de multicaminho de 33,86 % na onda portadora L1 e 37,45% na onda portadora L2, para os testes realizados no Vossoroça. A exceção ocorreu para o experimento PAE-02-1 tendo-se obtido para a onda portadora L1 um valor médio de atenuação de 33,86%. Esse valor foi inferior ao valor obtido com o C-RAM, o qual teve um valor médio de 35,76%. 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.

Analisando-se custos pode-se indicar que o custo de aquisição do AEM-LAGEH é cerca de 5% do valor de aquisição uma antena do tipo *Choke Ring*.

Tendo em vista os aspectos observados nos resultados dos experimentos PAE02-1 detectou-se uma discrepância significativa nos valores do efeito de multicaminho nas ondas portadoras L1 e L2 para os experimentos realizados no reservatório. A maior discrepância foi observada no segundo dia (Dia GPS 59) em relação ao primeiro (Dia GPS 58) que pode ser atribuída, após uma análise de sinais dos satélites, ruído, temperatura e pressão, ao fato de que no Dia GPS 59 houve a incidência de ventos fortes no local do experimento. Tal fator provocou uma maior perturbação do espelho d'água tornando a superfície da mesma irregular com o aparecimento de pequenas ondas, favorecendo a reflexão especular do sinal GPS incidente sobre a água.

Este fator ambiental não é de fácil mensuração e desta forma torna-se difícil ser incorporado, na prática, à modelagem do efeito de multicaminho. Os resultados, no entanto, dão uma boa indicação do impacto das reflexões de superfícies de água causando uma incerteza quanto à variação do ângulo de reflexão dos satélites

sendo o efeito de multicaminho advindo de várias direções. Desta forma o emprego de um material atenuador nas observações realizadas sobre o espelho d'água é de fundamental importância. Também se constata que a variação do nível de multicaminho é dependente dos aspectos físicos do material incidido e não só do entorno da superfície física de reflexão do sinal.

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 da pseudodistância, 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 empregada. 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 0,80m) e passou a 1,7975m (antena a 1,80m) e para a onda portadora L2 o valor do efeito do multicaminho foi 4 vezes maior passando de 0,2019m para 0,8008m.

Para a variação da altitude elipsoidal entre os experimentos PL-02-1 (utilizando o AEM-LAGEH) e PL-02-2 (sem material) determinada pelo sistema de posicionamento global (GPS), essa variação chegou a 0,4866m entre as plataformas. A altitude elipsoidal da PL-02-1 ao ser comparado com a altitude do experimento 01 (teste PAE-02-1 plataforma estática) foi discrepante em 0,4885 m.

Conclui-se que a variação da altitude elipsoidal na PL-02-2 quando não se utilizou o AEM-LAGEH 02 foi de aproximadamente 0,9753m.

Os materiais atenuadores na forma estática (experimentos PAE) devem ser empregados quando se almeja obter coordenadas geodésicas precisas. No que tange a aplicação cinemática PL (Vossoroca) o emprego dos materiais atenuadores é recomendado principalmente quando se almeja obter coordenadas próximas ao espelho d'água como, por exemplo, em levantamentos batimétricos.

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.

As recomendações deste trabalho para futuras pesquisas são:

- a) Desenvolver uma terceira matriz do AEM-LAGEH, visto que com o acréscimo dos componentes que o compõem foi possível aumentar a eficiência do segundo protótipo em relação ao primeiro;
- b) Realizar novas sessões de rastreamento de 24 horas com o AEM-LAGEH 02 e C-RAM na BCAL/UFPR visando atestarem-se as diferenças centimétricas obtida na altitude elipsoidal com e sem o emprego de materiais atenuadores;
- c) Realizar novos testes com o uso do AEM-LAGEH 02 em massas de água posicionando a antena em altura superior a 3 metros do espelho d'água, visto que, no experimento PAE-02-2 o acréscimo de um metro com relação à na altura da antena produziu valores discrepantes de mais de 1,5 m no efeito multicaminho;
- d) Realizar novos testes com as plataformas Lagrangeanas com o uso do AEM-LAGEH 02 em massas de água utilizando receptores de dupla frequência como forma de contornar a perda de ciclos e buscar a solução das ambiguidades inteiras;
- e) Analisar o efeito multicaminho utilizando os materiais atenuadores e antena *Choke Ring* com o posicionamento pelas constelações GPS e GLONASS, visto que, em testes preliminares obtiveram-se valores discrepantes quando do emprego dos sistemas de posicionamento por satélites;
- f) Calcular o tamanho da região das superfícies refletoras a partir das zonas de Fresnel, que podem causar as reflexões com valores mais significativos do efeito do multicaminho na BCAL/UFPR;
- g) Desenvolver e testar um plano terra metálico, revestido com o material que compõem o AEM-LAGEH 02.

## 6 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.

Brightwaters Instrument Corporation Disponível em < <http://www.brightwaters.com/> >. Acesso em: 12 de setembro de 2011

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).

COMP, C. J.; AXELRAD, P. **An Adaptative SNR-Based Carrier Phase Multipath Mitigation Technique**.In: 9th International Technical Meeting, 1996,Kansas City. Proceedings. Kansas City, Missouri: TheSatellite Division of the Institute of Navigation, 1996.

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

DICK, G. (2002). **Verwendung von GPS-Antennen im SAPOS - Baden-Württemberg**. Landesvermessungsamt Baden-Württemberg. Disponível em <<http://sapos.bayern.de/infoHTML/antennen.htm>>. Acesso em 11 de outubro de 2011.

EVEN-TZUR.GILAD; SHAKED DORON , **GPS Antenna Height and Its Influence on Pseudorange, Multipath**. Disponível em<[http://www.fig.net/.../ts05g\\_03\\_eventzur\\_shaked\\_281](http://www.fig.net/.../ts05g_03_eventzur_shaked_281)>. Acesso em 05 de outubro de 2011.

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

FOX, Robert W; MCDONALD, Alan T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, c1998.

GEMAEL. C ANDRADE, J.B.; **Geodésia Celeste**. Livro. Curitiba 2004.

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 (2011). Disponível em < <http://googleearth.com> >. Acesso em: 10 de setembro de 2011.

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.

ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Disponível em < <http://www.ele.ita.br/htm> >. Acesso em: 22 de junho de 2012.

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.

KRUEGER, C. P. **Relatório apresentado a CAPES: “Investigação de Fontes de Erros no posicionamento GPS e modelagem dos erros”**. Curitiba, 2007.

KUGA, K.H; SOUZA, C.T. **Posicionamento de Bóias Oceanográficas Através de Localização Geográficas Utilizando Satélites** - série em ciências geodésicas - vol 3 ano 2003.

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

LEICA GEOSYSTEMS. Disponível em <<http://www.leica-geosystems.com>>. Acesso em: 13 maio de 2011.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.

MOELKER, D-J. **MULTIPLE Antennas For Advanced Gns Multipath Mitigation And Multipath Direction Finding.** In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 10., 1997, Kansas City. **PROCEEDINGS**... Kansas City: THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 1997.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS. Descrição, fundamentos e aplicações.** 2.<sup>a</sup> edição. Editora UNESP. Presidente Prudente, 2007.

**National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)** Disponível em < <http://www.noaa.gov/wx.html/>> Acesso realizado em 09 de maio de 2011.

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

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

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

SEEBER, G. **Real-Time Satellite Positioning on the Centimeter Level in the 21st Century using Permanent Reference Stations** 1 Institut für Erdmessung University Hannover , 2000.

SILVA, A. L. **Estudo da distribuição da autocorrelação das observações GPS.** Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação. Recife, 2005.

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.

SOUZA, E. M. de; POLEZEL, W. G. C.; MONICO, J. F. G. **Avaliação do Nível de Multicaminho no Posicionamento Relativo GPS e Sua Atenuação Através da Análise de Multiresolução.** In: Boletim de Ciências Geodésicas, sec. Artigos, Curitiba, v., jul.-dez, 2005.

United States Air Force (USAF) Disponível em < <http://www.airforce.com> /> Acesso realizado em 20 de maio de 2011.

UNAVCO (2010). University NAVSTAR Consortium. TEQC – Tutorial. Disponível em <<http://www.unavco.org>>. Acesso realizado em 21 de maio de 2011.

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

WEILL, L.R. **GPS Multipath mitigation by means of correlator reference waveform design**. In: NTM, Santa Monica, California. **Proceedings**.. p. 197-206, 1997..



## APÊNDICE

No apêndice são apresentadas as tabelas com a variação do efeito multicaminho em metros com o uso do DRA 12 graus obtidos com o TEQC para os experimentos realizados na BCAL/UFPR.

TABELA 18- ANÁLISE DO MULTICAMINHO COM O AEM-LAGEH 02

EXPERIMENTO 01 BCAL/UFPR: VALOR DO EFEITO MULTICAMINHO EM METROS COM O USO DO AEM LAGE 02 COM INCLINAÇÃO DE 12 GRAUS PARA A PORTADORA L1			
Elevação	Dia GPS 94	Dia GPS 95	Dia GPS 96
0°	0,379091	0,396882	0,382361
5°	0,376822	0,392156	0,381416
10°	0,373130	0,388597	0,377805
15°	0,363151	0,384850	0,377249
20°	0,352994	0,376395	0,363791
EXPERIMENTO 01 BCAL/UFPR: VALOR DO EFEITO MULTICAMINHO EM METROS COM O USO DO AEM-LAGE 02 COM INCLINAÇÃO DE 12 GRAUS PARA A PORTADORA L2			
Elevação	Dia GPS 94	Dia GPS 95	Dia GPS 96
0°	0,443962	0,479745	0,422549
5°	0,406464	0,448585	0,391600
10°	0,381461	0,388083	0,367333
15°	0,372240	0,379337	0,366605
20	0,364768	0,371415	0,361424

TABELA 19- ANÁLISE DO MULTICAMINHO COM C-RAM

EXPERIMENTO 02 BCAL/UFPR: VALOR DO EFEITO MULTICAMINHO EM METROS COM O USO DO C-RAM COM INCLINAÇÃO DE 12 GRAUS PARA A PORTADORA L1			
Elevação	Dia GPS 97	Dia GPS 98	Dia GPS 99
0°	0,282189	0,292296	0,294677
5°	0,271740	0,284257	0,290674
10°	0,249330	0,271889	0,259808
15°	0,240383	0,264421	0,251710
20°	0,233410	0,256982	0,245684

EXPERIMENTO 02 BCAL/UFPR: VALOR DO EFEITO MULTICAMINHO EM METROS  
COM O USO DO C-RAM COM INCLINAÇÃO DE 12 GRAUS PARA A  
PORTADORA L2

Elevação	Dia GPS 97	Dia GPS 98	Dia GPS 99
0°	0,430207	0,444566	0,469669
5°	0,391169	0,382802	0,430932
10°	0,306798	0,326501	0,337377
15°	0,288149	0,307542	0,318103
20°	0,277781	0,297402	0,309224

TABELA 20 - ANÁLISE DO MULTICAMINHO SEM MATERIAL

EXPERIMENTO 03 BCAL/UFPR: VALOR DO EFEITO MULTICAMINHO EM METROS  
SEM O USO DE NENHUM ISOLANTE ELETROMAGNETICO OU SUPORTE PARA A  
PORTADORA L1

Elevação	Dia GPS 100	Dia GPS 101	Dia GPS 102
0°	0,882484	1,196349	1,174058
5°	0,882733	1,183980	1,170360
10°	0,844940	1,176853	1,167982
15°	0,688259	1,122401	1,136021
20°	0,571876	1,088930	1,111336

EXPERIMENTO 03 BCAL/UFPR: VALOR DO EFEITO MULTICAMINHO EM METROS  
SEM O USO DE NENHUM ISOLANTE ELETROMAGNÉTICO OU SUPORTE PARA A  
PORTADORA L2

Elevação	Dia GPS 100	Dia GPS 101	Dia GPS 102
0°	0,783454	0,970765	0,930415
5°	0,769333	0,951475	0,907079
10°	0,720189	0,923285	0,892421
15°	0,634224	0,862159	0,847135
20°	0,535656	0,847368	0,834447