

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SUELEN CRISTINA MOVIO HUINCA

CALIBRAÇÃO RELATIVA DE ANTENAS GNSS NA BCAL/UFPR.

Curitiba

2009

SUELEN CRISTINA MOVIO HUINCA

CALIBRAÇÃO RELATIVA DE ANTENAS GNSS NA BCAL/UFPR.

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre em Ciências
Geodésicas, Setor de Ciências da Terra,
Universidade Federal do Paraná.

**Orientadora: Prof^a. Dr^a. Claudia Pereira
Krueger**

**CURITIBA
2009**

Huinca, Suelen Cristina Movio
Calibração Relativa de Antenas GNSS na BCAL – UFPR / Suelen
Cristina Movio Huinca. – Curitiba, 2009.
130 f. : il., tabs, grafs.

Orientadora: Claudia Pereira Krueger
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências da terra, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.
Inclui Bibliografia.

1. Calibração. 2. Antenas (Eletrônica). 3. Sistema de posicionamento
global. 3. Termo livre: Calibração de antenas GNSS. I. Krueger, Claudia
Pereira. II. Título. III Universidade Federal do Paraná.

CDD 526.982

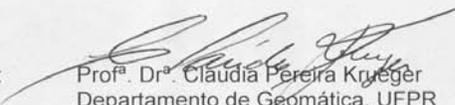
TERMO DE APROVAÇÃO

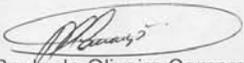
SUELEN CRISTINA MOVIO HUINCA

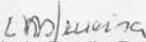
"CALIBRAÇÃO RELATIVA DE ANTENAS GNSS NA BCAL/UFPR"

Dissertação nº 229 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:


Prof.ª Dr.ª Cláudia Pereira Krueger
Departamento de Geomática, UFPR


Prof. Dr. Paulo de Oliveira Camargo
Universidade Estadual Paulista, UNESP


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

Curitiba, 31 de julho de 2009.

Dedico esta pesquisa primeiramente a Deus, pela graça de ter me permitido concluí-la.

Aos meus pais Aparecida e Julio, pelo amor, esforço, dedicação e compreensão, em todos os momentos desta e de outras caminhadas.

Ao amor demonstrado por meus irmãos Hugo e Diego.

Ao meu marido Valdecir, por tanto amor a mim dedicado, atenção, torcida e companheirismo.

Ao meu filho Pedro Henrique pela compreensão e paciência.

AGRADECIMENTOS

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

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

À minha orientadora Professora Dra. Claudia Pereira Krueger pela orientação, amizade, ensinamentos e incentivo na realização deste trabalho.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo fomento.

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

Em especial aos meus amigos: Anna Carolina Cavalheiro, Diuliana Leandro, André Luiz Alencar de Mendonça, Fabiani Miranda, Karoline P. Jamur, Alessandro Salles Carvalho, Mauricio Sejas, Renan Martins Pombo, Nassau Nardez, Ângela Carraro.

Aos Colegas do Laboratório de Geodésia Espacial da Universidade Federal do Paraná (LAGE): Silvio, Daffyne, Anderson, Rodrigo e Renata.

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

Agradeço também: Andreas Knöpfler e Michael Mayer pelos ensinamentos no âmbito de calibração de antenas e o professor Doutor Lambert Wanninger pela concessão de licença de alguns programas que foram utilizados durante essa pesquisa.

Ao CNPq pela concessão de recursos dentro do projeto de pesquisa apresentado ao edital Universal, intitulado "Posicionamentos GPS de Alta Precisão: Investigações de Fontes de Erros e suas Modelagens que possibilitou principalmente a aquisição do equipamento DRB e do programa de processamento de dados".

À minha linda família (Pais, Irmão, Marido, Filho e Sogra) que sempre me acompanham e me amparam nas horas mais difíceis, pessoas que eu considero como meu porto seguro.

RESUMO

Quando se almeja precisão na determinação de coordenadas geodésicas é de suma importância o conhecimento do centro de fase das antenas envolvidas no processamento. O centro de fase é o ponto de recepção do sinal vindo do satélite e pode variar conforme a característica individual de cada antena e com a alteração da direção do sinal proveniente de um satélite. Esta variação do centro de fase afeta os “offsets” da antena que são valores necessários para conectar as medidas para a determinação das coordenadas precisas de um ponto. O *offset* do centro de fase médio pode ser dividido em dois elementos o PCO (*Phase Center Offset*) e o PCV (*Phase Center Variation*). O PCO é um vetor de deslocamento entre o centro de fase médio e o ARP (*Antenna Reference Point*) e o PCV consiste de um deslocamento adicional do centro de fase, de caráter sistemático, que é função do ângulo de incidência do sinal GPS. A determinação do PCO e do PCV é realizada através de calibração. O objetivo dessa pesquisa é implantar o método de calibração relativa em campo na BCAL/UFPR, no Brasil. Para poder determinar parâmetros de calibração em campo de uma antena é necessário que o efeito do multicaminho seja mínimo nessa estação de calibração, visando essa verificação fez-se uma análise onde se pode verificar e quantificar a influência desse efeito nos pilares que compõem a BCAL/UFPR. Também se determinou as coordenadas geodésicas precisas dos pilares. Realizaram-se experimentos aplicando o método de calibração relativa em campo onde foi possível determinar e comparar os diferentes parâmetros de calibração da antena TRM 22020.00+GP. Realizaram-se processamentos para determinar as coordenadas geodésicas do marco RM03 onde se variou os parâmetros da antena e estação de referência (UFPR, NEIA, POLI e PPTTE), visando verificar se existiam alguma diferença entre as coordenadas. As maiores diferenças encontrada foram para a altitude elipsoidal. Fez-se uma análise estatística onde se pode comprovar que os dois conjuntos de dados, altitudes elipsoidais (RM03-UFPR) e (RM03-NEIA), obtidas com diferentes parâmetros de calibração são estatisticamente diferentes.

Palavras Chaves: PCO, PCV, Calibração Relativa de antenas, GNSS.

ABSTRACT

The phase centers of the antennas involved in the processing procedure are primary data to get good precision results when acquiring geodetic coordinates. Phase center is the reception point from the satellite signal. Its value varies according to individual antenna features and satellite signal direction. This change-over affects the antenna offsets, values for connecting measures needed to get precise coordinate results. The central mean phase offset can be divided into two elements: the PCO (Phase Center offset) and PCV (Phase Center Variations). PCO is a displacement vector from central mean phase and ARP (Antenna Reference Point). PCV is a additional displacement from the phase center, which is systematic, defined by the angle of incidence of the GPS signal. Calibration is the method used to determine PCO and PCV. This research main objective is to employ a relative calibration method on a field work at BCAL/UFPR (Universidade Federal do Paraná) in (Brazil). To calculate antenna calibration parameters, the multipath effect must be minimized at the calibration station and to verify this condition the influence of this effect on BCAL/UFPR pillars was measured. The geodetic coordinates were also determined. Experiments were taken, applying relative calibration method in order to acquire and compare different calibration parameters for TRM 22020.00+GP antenna. Processing procedures were carried out to determine RM03 mark geodetic coordinates, where antenna parameters and reference station – UFPR, NEIA, POLI and PPTE – varied, in order to detect differences among the coordinates. Bigger differences were found at ellipsoid height values. Also a statistical analysis was carried out to prove that both ellipsoid height data sets (RM03 – UFPR and RM03 – NEIA), obtained with different calibration parameters, are significantly different.

Keywords: PCO, PCV, Relative Antenna Calibration, GNSS.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - GEOMETRIA DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITE POR PONTO.....	24
FIGURA 2 - EFEITO DE MULTICAMINHO.....	29
FIGURA 3- DIAGRAMA BIDIMENSIONAL DE IRRADIAÇÃO DE UMA ANTENA DIPOLO	32
FIGURA 4 - DIAGRAMA TRIDIMENSIONAL DE IRRADIAÇÃO DE UMA ANTENA DIPOLO.....	32
FIGURA 5 - DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO.....	33
FIGURA 6 - ANTENAS DISPONÍVEIS PARA O EMPREGO NA RECEPÇÃO DOS SINAIS GNSS. 34	
FIGURA 7 - ESTRUTURA EXTERNA INTERNA DE UMA ANTENA HELICOIDAL	35
FIGURA 8 - ESTRUTURA INTERNA DE UMA ANTENA HELICOIDAL	35
FIGURA 9 - ANTENA HELICOIDAL ESPIRAL	35
FIGURA 10 - ANTENA PATCH E ESTRUTURA INTERNA	36
FIGURA 11 - ANTENA CHOKE RING (2D).....	37
FIGURA 12 - ANTENA CHOKE RING (3D).....	37
FIGURA 13 - ARP, CENTRO MECÂNICO, TGP	38
FIGURA 14 - VARIAÇÕES DO CENTRO DE FASE MÉDIO	39
FIGURA 15 - DEDUÇÃO DAS VARIAÇÕES DO CENTRO DE FASE.....	40
FIGURA 16 - INTERPLETAÇÃO DO PCV EM FUNÇÃO DO PCO.....	41
FIGURA 17 - DETERMINAÇÃO DO PCO PELA ROTAÇÃO DE ANTENAS.....	43
FIGURA 18 - CALIBRAÇÃO ABSOLUTA EM CÂMARA ANECÓICA	44
FIGURA 19 - CALIBRAÇÃO ABSOLUTA EM CAMPO DE FORMA MANUAL(A)	45
FIGURA 20 - CALIBRAÇÃO ABSOLUTA EM CAMPO DE FORMA MANUAL (B)	45
FIGURA 21 - CALIBRAÇÃO ABSOLUTA EM CAMPO DE FORMA AUTOMATIZADA.....	46
FIGURA 22 - CALIBRAÇÃO RELATIVA EM CAMPO	47
FIGURA 23 - ANTENA AOAD/M-T	47
FIGURA 24 - PROCEDIMENTO DE CAMPO PARA REALIZAÇÃO DA CALIBRAÇÃO RELATIVA DE ANTENAS NO NGS	50
FIGURA 25 - BCAL/UFPR	51
FIGURA 26 - BASE DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GPS-PILARES	52
FIGURA 27 - MODELOS DOS PILARES	52
FIGURA 28 - GPS 1200	55
FIGURA 29 - ANTENA LEICA AT504.....	55
FIGURA 30 - RECEPTOR TRIMBLE 4000 SSI	56
FIGURA 31 - ANTENA TRM22020.00+GP.....	56
FIGURA 32 - ESTAÇÃO CURITIBA UFPR.....	60
FIGURA 33 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA ESTAÇÃO UFPR	60
FIGURA 34 - MECANISMO DRB 2.0.....	62
FIGURA 35 - ESQUEMA DE MEDIDAS GPS COM O MECANISMO DRB	62
FIGURA 36 - ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA UTILIZADAS NO PROCESSAMENTO	68
FIGURA 37 - LEVANTAMENTO DE OBSTRUÇÃO PILAR 1000 (OESTE) E PILAR 2000 (NORTE). 73	
FIGURA 38 - PILAR 1000 (OESTE) - ANTENA AT 504 - DIA GPS 319-08.....	77
FIGURA 39 - PILAR 1000 (OESTE) - ANTENA TRM22020.00+GP- DIA GPS 323-08	77
FIGURA 40 - PILAR 1000 (OESTE) - ANTENA AT 504 - DIA GPS 320-08.....	77
FIGURA 41- PILAR 1000 (OESTE) - ANTENA TRM22020.00+GP - DIA GPS 325-08	77
FIGURA 42 - PILAR 1000 (OESTE) - ANTENA AT 504 - DIA GPS 322-08.....	77
FIGURA 43 - PILAR 1000 (OESTE) - ANTENA TRM22020.00+GP - DIA GPS 326-08	77
FIGURA 44 - PILAR 2000 (NORTE) - ANTENA AT 504 - DIA GPS 323-08	78
FIGURA 45 - PILAR 2000 (NORTE) - ANTENA TRM22020.00+GP - DIA GPS 329-08.....	78
FIGURA 46 - PILAR 2000(NORTE) - ANTENA AT 504- DIA GPS 325-08	78
FIGURA 47 - PILAR 2000(NORTE) - ANTENA TRM22020.00+GP - DIA GPS 330-08.....	78
FIGURA 48 - PILAR 2000(NORTE) - ANTENA AT 504 - DIA GPS 326-08	79
FIGURA 49 - PILAR 2000 (NORTE) - ANTENA TRM22020.00+GP - DIA GPS 331-08.....	79
FIGURA 50 - PILAR 3000 (SUL) - ANTENA AT 504 - DIA GPS 329-08	79
FIGURA 51 - PILAR 3000 (SUL) - ANTENA TRM22020.00+GP - DIA GPS 319-08	79
FIGURA 52 - PILAR 3000 (SUL) - ANTENA AT 504 - DIA GPS 330-08	80
FIGURA 53 - PILAR 3000 (SUL) - ANTENA TRM22020.00+GP - DIA GPS 320-08	80
FIGURA 54 - PILAR 3000 (SUL) - ANTENA AT 504 - DIA GPS 331-08	80

FIGURA 55 - PILAR 3000 (SUL) - ANTENA TRM22020.00+GP - DIA GPS 322-08	80
FIGURA 56 - PILAR 1000(OESTE)- ANTENA AT 504 - DIA GPS 322-08.....	81
FIGURA 57 - DIAGRAMA DE OBSTRUÇÃO PILAR 1000 (OESTE)	81
FIGURA 58 - PILAR 2000 (NORTE) – ANTENA AT 504 - DIA GPS 326-08	81
FIGURA 59 - DIAGRAMA DE OBSTRUÇÃO PILAR 2000 (NORTE).....	81
FIGURA 60 - PILAR 3000 (SUL) - ANTENA.....	82
FIGURA 61 - DIAGRAMA DE OBSTRUÇÃO PILAR 3000 (SUL)	82
FIGURA 62 - COMPONENTE NORTE E LESTE (L1).....	86
FIGURA 63 - COMPONENTE NORTE E LESTE (L2).....	88
FIGURA 64 - COMPONENTE VERTICAL (L1 E L2).....	89
FIGURA 65 - PCV (mm) – DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO PARA A PORTADORA L1 (TRM22020.00+GP)	91
FIGURA 66 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO PARA A PORTADORA L2 (TRM22020.00+GP)	92
FIGURA 67 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L1, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 245	93
FIGURA 68 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L1, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 247	93
FIGURA 69 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L1, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 248	93
FIGURA 70 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L2, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 245	94
FIGURA 71 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L2, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 247	94
FIGURA 72 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L2, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 248.	94
FIGURA 73 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L1 ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 79.....	95
FIGURA 74 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L2, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 79	95
FIGURA 75 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L1, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 107	95
FIGURA 76 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L1, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 108	95
FIGURA 77 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L1, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 112	96
FIGURA 78 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L2, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 107	96
FIGURA 79 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L2, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 108	96
FIGURA 80 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L2, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 112	97
FIGURA 81 - DIFERENÇAS CALCULADAS PELO PROGRAMA CCANTEX PARA L1	99
FIGURA 82 - DIFERENÇAS CALCULADAS PELO PROGRAMA CCANTEX PARA L2	99
FIGURA 83 - DIFERENÇAS CALCULADAS PELO PROGRAMA CCANTEX PARA A ONDA PORTADORA L1 E L2	100
FIGURA 84 - VALORES DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIIS EM METROS (RM03-UFPR).....	104
FIGURA 85 - VALORES DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIIS EM METROS (RM03-NEIA)	106
FIGURA 86 - VALORES DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIIS EM METROS (RM03-PPTE)	108
FIGURA 87 - VALORES DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIIS EM METROS (RM03-POLI)	110
FIGURA 88 - ALTITUDES ELIPSOIDAIIS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO-PCV (RM03-UFPR, RM03-NEIA, RM03-PPTE E RM03-POLI)	112

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DOS SISTEMAS GPS, GLONASS E GALILEO...	20
QUADRO 2 - ERROS SISTEMÁTICOS PRESENTES NAS OBSERVÁVEIS GPS.....	28
QUADRO 3 - DADOS DO LEVANTAMENTO DE CAMPO PARA REALIZAÇÃO DA CALIBRAÇÃO	64
QUADRO 4 - FLUXOGRAMA-ETAPAS DE PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	66
QUADRO 5 - ESTAÇÕES DE REFERÊNCIAS UTILIZADAS (RBMC).....	69
QUADRO 6 - APLICAÇÃO DOS VALORES DO PCO E PCO-PCV OBTIDOS DA CALIBRAÇÃO RELATIVA EM CAMPO EM DIFERENTES DIAS GPS.....	69
QUADRO 7 - INTENSIDADE DO EFEITO DO MULTICAMINHO	76
QUADRO 8 - INTENSIDADE DO EFEITO DO MULTICAMINHO	84
QUADRO 9 - PCO DE REFERÊNCIA	84
QUADRO 10 - RESUMO DO PROCESSAMENTO.....	101

LISTA DE TABELAS

TABELA 1-	COORDENADAS PRECISAS DA ESTAÇÃO REFERÊNCIA UFPR-CURITIBA.....	60
TABELA 2-	PCO ANTENAS ENVOLVIDAS NO PROCESSAMENTO DAS COORDENADAS PRECISAS DOS PILARES DE CALIBRAÇÃO.....	60
TABELA 3-	VARIAÇÃO DO EFEITO DO MULTICAMINHO PARA O PILAR 1000 (OESTE)....	73
TABELA 4-	VARIAÇÃO DO EFEITO DO MULTICAMINHO PARA O PILAR 1000 (OESTE) ANTES E DEPOIS DO CORTE DAS ÁRVORES.....	74
TABELA 5-	VARIAÇÃO DO EFEITO DO MULTICAMINHO PARA O PILAR 2000 (NORTE)....	74
TABELA 6-	VARIAÇÃO DO EFEITO DO MULTICAMINHO PARA O PILAR 3000 (SUL).....	75
TABELA 7-	VARIAÇÃO MÉDIA DO EFEITO DO MULTICAMINHO DOS PILARES DA BCAL/UFPR.....	75
TABELA 8-	COORDENADAS PRECISAS DOS PILARES DE CALIBRAÇÃO.....	83
TABELA 9-	PCO DA ANTENA TRM22020.00+GP (NÚMERO DE SÉRIE 12347).....	85
TABELA 10-	COMPONENTES NORTE E LESTE NA ONDA PORTADOR L1 - VALOR MÉDIO, MAIOR VALOR E MENOR VALOR.....	86
TABELA 11-	COMPONENTES NORTE E LESTE NA ONDA PORTADOR L2-VALOR MÉDIO, MAIOR VALOR E MENOR VALOR.....	87
TABELA 12-	COMPONENTES VERTICAL NA ONDA PORTADOR L1 E L2-VALOR MÉDIO, MAIOR VALOR E MENOR VALOR.....	88
TABELA 13-	PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO PARA A PORTADORA L1, ANTENA TRM22020.00+GP.....	90
TABELA 14-	PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO PARA A PORTADORA L2, ANTENA TRM22020.00+GP PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO PARA A PORTADORA L2, A ANTENA TRM22020.00+GP.....	91
TABELA 15-	DIFERENÇAS ENTRE UM VALOR MÉDIO E CADA EXPERIMENTO L1 e L2	98
TABELA 16-	DIFERENÇAS ENTRE UM VALOR MÉDIO E CADA EXPERIMENTO L1/L2	100
TABELA 17-	COORDENADAS GEODÉSICAS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-UFPR).....	102
TABELA 18-	ALTITUDES ELIPSOIDAIIS OBTIDAS COM OS DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-UFPR).....	103
TABELA 19-	COORDENADAS GEODÉSICAS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-NEIA).....	104
TABELA 20-	ALTITUDES ELIPSOIDAIIS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-NEIA).....	106
TABELA 21-	COORDENADAS GEODÉSICAS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-PPTE)	107
TABELA 22-	ALTITUDES ELIPSOIDAIIS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-PPTE)	108
TABELA 23-	COORDENADAS GEODÉSICAS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-POLI)	109
TABELA 24-	ALTITUDES ELIPSOIDAIIS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-POLI)	110
TABELA 25-	ALTITUDES ELIPSOIDAIIS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-UFPR, RM03-NEIA, RM03-PPTE E RM03-POLI).....	111
TABELA 26-	PARÂMETROS PARA A ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS AMOSTRAS.....	113

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

al.	–	Alemão
AMR	–	Análise de Multiresolução
ANTEX	–	ingl. <i>Antenna Exchange Format</i>
AOAD/M_T	–	Allen Osborne Associates Dorne Margolin Model T
ARP	–	ingl. <i>Antenna Reference Point</i> (Ponto de Referência da Antena)
AS	–	ingl. <i>Anti-Spoofing</i>
CTS	–	ingl. <i>Conventional Terrestrial System</i>
BCAL/UFPR	–	Base de Calibração de Antenas GNSS na UFPR
C/A	–	ingl. <i>Clear/Acquisition</i>
CAPES	–	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal a nível superior
CF	–	Centro de Fase
DAAD	–	Intercâmbio Acadêmico Brasil-Alemanha
Db	–	Decibel
DD	–	Dupla Diferença
EU		União Européia
ESA		ingl. <i>European Space Agency</i>
DoD	–	ingl. <i>Department of Defense</i>
DRB	–	al. <i>Drehrumbum</i> (sem significado no idioma português)
GEO++	–	al. <i>Gesellschaft für satellitengestützte und navigatorische Technologien mbH</i>
GIK	–	al. <i>Geodätisches Institut Karlsruhe</i>
GNSS	–	ingl. <i>Global Navigation Satellite System</i>
GLONASS	–	ingl. <i>Global Orbiting Navigation Satellite System</i>
GPS	–	ingl. <i>Global Positioning System</i>
IAP	–	Instituto Ambiental do Paraná
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAO		ingl. <i>International Civil Aviation Organization</i>

IfE	–	al. <i>Institut für Erdmessung</i>
ingl.	–	Inglês
IGS	–	ingl. <i>International GNSS Service</i> .
ITRF	–	ingl. <i>International Terrestrial Reference Frame</i>
JPL	–	ingl. <i>Jet Propulsion Laboratory</i>
LGN	–	al. <i>Landesvermessung+Geobasisinformation Niedersachsen</i>
LGO	–	Leica Geo Office
MCS	–	Estação de controle central
MP	–	Variação do efeito do multicaminho
NGS	–	ingl. <i>National Geographic Service</i>
NIMA	–	ingl. <i>National Imagery and Mapping Agency</i>
PCO	–	ingl. <i>Phase Center Offset</i>
PCV	–	ingl. <i>Phase Center Variation</i>
PRN	–	Número de identificação dos satélites
PPP	–	Posicionamento por ponto preciso
PD	–	Pseudodistância
PROBRAL		Processo de Colaboração Internacional Brasil-Alemanha
RBMC	–	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RHCP	–	ingl. <i>Right Hand Circularly Polarized</i>
RiBaC		Rede INCRA de Bases Comunitárias do GPS
RINEX	–	ingl. <i>Receiver Independent Exchange Format</i>
S/A	–	ingl. <i>Selective Availability</i> (disponibilidade seletiva)
SBAS	–	Ingl. <i>Satellite Based Augmentation Systems</i>
SN	–	al. <i>Seriennummer</i> (número de série)
TEQC	–	ingl. <i>Translate Edit Quality Check</i>
TU	–	Tempo Universal
TGP	–	ingl. <i>Top Of Ground Plane</i>
UNAVCO	–	ingl. <i>University NAVSTAR Consortium</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	JUSTIFICATIVA.....	17
1.2	OBJETIVOS.....	18
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1	GNSS.....	19
2.2	NAVSTAR-GPS	20
2.2.1	Sinais GPS.....	22
2.3	PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES.....	23
2.4	OBSERVÁVEIS GPS.....	24
2.4.1	Pseudodistância.....	24
2.4.2	Fase da onda portadora.....	26
2.5	MODERNIZAÇÃO DO GPS.....	26
2.6	ERROS SISTEMÁTICOS ENVOLVIDOS NAS OBSERVÁVEIS.....	27
2.6.1	ERROS RELACIONADOS AOS SATÉLITES.....	28
2.6.2	Erros Relacionados com o Meio de Propagação do Sinal.....	28
2.6.2.1	O Efeito do Multicaminho.....	29
2.6.3	Erros Relacionados ao Receptor e a Antena GNSS.....	31
2.7	CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ANTENAS.....	31
2.8	TIPOS DE ANTENAS GNSS.....	34
2.9	CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DA ANTENA GPS.....	37
2.9.1	Centro de Fase da Antena GNSS.....	38
2.10	CALIBRAÇÃO DE ANTENAS DE RECEPTORES GNSS.....	41
2.10.1	Determinação da Coordenada do Centro de Fase.....	42
2.10.2	Calibração Absoluta em Ambientes Controlados.....	43
2.10.3	Calibração Absoluta em Campo.....	44
2.10.4	Calibração Relativa em Campo	47
2.10.5	Considerações Sobre Níveis de Calibração de Antenas GNSS.....	48
2.10.6	Considerações Sobre Formatos de Armazenamento de Valores do PCO e PCV Obtidos da Calibração de Antenas GNSS.....	49
2.11	PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS NO IGS/NGS.....	49
2.12	BASE DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GNSS NA UFPR (BCAL/UFPR).....	51
3.	METODOLOGIA.....	53
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	54
3.2	EFEITO DO MULTICAMINHO NA BCAL/UFPR	54
3.2.1	Equipamentos Utilizados Para a Análise do Efeito do Multicaminho.....	55
3.2.1.1	TEQC	56
3.2.1.2	Wasoft/Multipath	58
3.3	DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS PRECISAS DOS PILARES QUE COMPÕEM A BCAL/UFPR.....	58
3.3.1	Processamentos dos Dados.....	59
3.4	IMPLANTAÇÃO DO MÉTODO DE CALIBRAÇÃO RELATIVO EM CAMPO	61
3.4.1	Programas Utilizados.....	63
3.4.2	Levantamentos de Campo.....	64
3.4.2.1	Nivelamento das Estações.....	65

3.4.3	Medições GPS e Processamento de Dados.....	65
3.5	COORDENADAS GEODÉSICAS PRECISAS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV EM DIFERENTES LINHAS DE BASE.....	68
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIAS OBTIDAS COM DIFERENTES PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO E DIFERENTES LINHAS DE BASE.....	70
4.	RESULTADOS E ANÁLISES.....	72
4.1	EFEITO DO MULTICAMINHO.....	72
4.1.1	Análise do Efeito do Multicaminho na BCAL/UFPR com o Programa TEQC.....	72
4.1.2	Análise do Efeito do multicaminho na BCAL/UFPR com o Programa Wasoft/Multipath.....	76
4.2	COORDENADAS PRECISAS DOS PILARES DE CALIBRAÇÃO.....	83
4.3	PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO OBTIDOS NOS EXPERIMENTO DE CALIBRAÇÃO RELATIVA EM CAMPO.....	84
4.3.1	Comparação dos Valores do PCO.....	85
4.3.2	PCV Dependentes de Elevação.....	89
4.3.3	PCV Dependente de Azimute e Elevação.....	93
4.3.4	Análise dos Experimentos de Calibração pelo Programa CCANTEX....	97
4.4	COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS PRECISAS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO EM PCV E DIFERENTES LINHAS DE BASE.....	101
4.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIAS OBTIDAS COM DIFERENTES PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO EM DIFERENTES LINHAS DE BASE.....	113
5.	CONSIDERAÇÕES, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	114
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118
	APÊNDICES.....	124
	APÊNDICE 1 – EXEMPLO DE ARQUIVO DE CALIBRAÇÃO (ANTEX).....	125

1. INTRODUÇÃO

O sistema GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) viabiliza o conhecimento da localização de qualquer objeto sobre a superfície terrestre através das informações de posição e tempo. Essas informações podem ser aplicadas na determinação de coordenadas tridimensionais precisas de pontos ao nível do milímetro, porém para atender essa precisão devem-se levar em conta alguns erros sistemáticos. Nas medições GNSS, a antena é uma fonte de erros sistemáticos, devido ao centro de fase (CF) da antena. O centro de fase eletrônico é o ponto de recepção do sinal vindo do satélite, esse ponto não se situa exatamente no eixo central do sistema e não coincide necessariamente com o centro geométrico da antena.

O centro de fase eletrônico pode variar de acordo com as características individuais de cada antena e com a alteração da direção do sinal proveniente do satélite. Esta variação afeta os “*offsets*”¹ da antena que são valores necessários para conectar as medidas para a determinação das coordenadas precisas de um ponto.

O *offset* do centro de fase pode ser dividido em dois elementos o PCO e o PCV. O primeiro, denominada *offset* do centro de fase médio (PCO- ingl. *Phase Center Offset*), consiste no vetor de deslocamento entre o centro de fase médio e o ARP (ingl. *Antenna Reference Point*); o segundo denomina-se variações do centro de fase (PCV- ingl. *Phase Center Variations*), consiste de um deslocamento adicional do centro de fase, de caráter sistemático, que é função do ângulo de incidência do sinal GPS (Global Positioning System) (FREIBERGER JUNIOR, 2007).

A determinação das variações do centro de fase das antenas GNSS (PCO e PCV) é realizada através de calibração. Os estudos no âmbito de calibração de antenas GNSS foram iniciados em 1987 em ambientes controlados. Esses ambientes controlado são denominado de câmaras anecóicas (SCHUPLER e CLARK, 2000).

¹ Emprega-se *offset* na conotação inglesa para designar os deslocamento característico do centro de fase da antena GPS.

Os primeiros experimentos em câmaras anecóicas foram realizados por técnicas radiométricas para a detecção e medição da energia do centro de fase e a determinação da amplitude e polarização de antenas GPS geodésicas (FREIBERGER JUNIOR, 2007).

Em seqüência no ano de 1990 iniciou-se o desenvolvimento do Método de Calibração Relativo de antenas onde determinou-se o diagrama de fase de antenas GNSS a partir de características de uma antena de referência (BREUER et al., 2001 apud FREIBERGER JUNIOR, 2007).

Em 1996 foram obtidos os primeiros resultados utilizando o Método de Calibração Absoluto em Campo, pelo *Institut für Erdmessung* (IfE) da Universidade de Hannover. Esse método foi aprimorado no ano de 2000, onde se desenvolveu um mecanismo automatizado (WÜBBENA et al., 2000). Esse mecanismo permite rotações e inclinações automáticas da antena a ser calibrada.

Segundo Freiburger Junior (2007), a Alemanha é o principal país que vem investigando o tema: calibração de antenas GNSS. As principais instituições alemãs que trabalham nesse âmbito são: GEO++ (al. *Gesellschaft für satellitengestützte und navigatorische Technologien mbH*), a Universidade de Hannover/ *Institut für Erdmessung* (IfE), a Universidade de Karlsruhe (GIK), LGN (al. *Landesvermessung+Geobasisinformation Niedersachsen*), Universidade de Dresden e Universidade de Bonn. As Universidades de Karlsruhe, Dresden, Bonn e o LGN, realizam pesquisas com o método de calibração Relativo e a instituição GEO++ e a Universidade de Hannover (IfE) trabalham com o método de calibração Absoluto com robô (GÖRRES et al., 2006).

Os principais trabalhos divulgados no âmbito de calibração de antenas GNSS são: Estudos sobre a influência do entorno das estações na posição do centro de fase de antenas geodésicas (SCHMITZ e WUBBENA, 2001); Bányai (2005) apresentou uma estratégia de rotação de antena para a determinação das coordenadas do deslocamento do centro de fase médio; Görres et al. (2006), realizaram comparações entre resultados de calibração em câmaras anecóicas e calibração absoluta em campo; Rózsa et al. (2005), aplicaram correções absolutas do Centro de Fase no processamento de dados GPS para monitoração de deslocamentos em áreas sísmicas; e Freiburger Junior et al. (2005) apresentam a calibração de antenas GPS em diferentes estações e os aspectos da calibração relativa de antenas de receptores GNSS.

No Brasil as primeiras investigações sobre o tema calibração de antenas GNSS foram realizadas por Jaime Freiburger Junior em sua tese de Doutorado. Ele se baseou na experiência adquirida na Alemanha para auxiliar na implantação de dos pilares de calibração que compõem a primeira Base de Calibração de Antenas GNSS na UFPR (BCAL/UFPR).

Neste trabalho almeja-se introduzir a calibração relativa em campo de antenas GNSS. Essa pesquisa traz como contribuição científica ao país a introdução da metodologia de calibração relativa em campo de antenas, onde será possível determinar seus parâmetros de calibração a nível absoluto. Esses parâmetros são de fundamental importância quando se deseja precisão nos posicionamentos geodésicos. Vislumbra-se ainda como contribuição à possibilidade de uma futura calibração de antenas que compõe a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), Rede INCRA de Bases Comunitárias do GPS (RIBaC) e Rede Manfra de Estações de Monitoramento Contínuo de GPS.

Este trabalho está subdividido em 6 capítulos. No capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica de temas necessários a calibração de antenas. A metodologia aplicada visando a: análise do efeito do multicaminho, determinação das coordenadas precisas dos pilares que compõe a base de calibração, experimentos no âmbito de calibração relativa em campo de antenas GPS, aplicação desses parâmetros para a determinação de coordenadas geodésicas de um marco e análise estatística das altitudes elipsoidais obtidas com diferentes parâmetros de calibração e em diferentes linhas de base estão sendo relatados no capítulo 3. No capítulo 4 têm-se os resultados e as análises. As considerações, conclusões e recomendações serão abordadas no capítulo 5.

1.1 JUSTIFICATIVA

Para obter alta precisão em um posicionamento com GNSS sobre a superfície terrestre é de suma importância o conhecimento do centro de fase (PCO e PCV) das antenas envolvidas. O comportamento eletromagnético de antenas não é homogêneo. As chamadas variações do centro de fase (PCV) descrevem a recepção do sinal das antenas GPS e têm sido um importante campo de investigações para a comunidade GPS (WÜBENA et al., 2000).

Negligenciar os valores dos PCVs na determinação de coordenadas geodésicas precisas de um ponto pode conduzir a erros na coordenada vertical de até 10 cm (MADER, 1999).

A fim de alcançar acurácia milimétrica em redes GNSS especialmente na componente altimétrica o emprego do PCV é indispensável, principalmente se as estações envolvidas possuem diferentes tipos de antenas.

Outra aplicação geodésica onde é de suma importância o conhecimento do centro de fase das antenas é na determinação do PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), pois para se obter alto nível de acurácia todos os erros devem ser tratados ou modelados. Dentre esses erros pode-se citar o erro advindo de centro de fase das antenas GPS (MONICO, 2008 e LEICK, 2004).

Os valores do PCO e do PCV são obtidos através da calibração e existem órgãos como NGS (*National Geographic Service*) que fornecem valores médios de calibração, porém as antenas devem ser tratadas individualmente, pois cada uma possui uma característica individual. Essas devem ser calibradas de forma individual conduzindo a valores próprios de PCO e PCV.

Em vista da evolução dos processos de calibração de antenas de receptores GNSS e da inexistência deste serviço no Brasil, tornou-se imprescindível a implantação de um método de calibração relativo de antenas GNSS na BCAL/UFPR. Com os resultados obtidos por meio da calibração relativa em campo no Brasil, poderão ser investigadas as diferenças dos parâmetros de calibração obtidos aqui no Brasil e parâmetros obtidos nas calibrações realizadas na Alemanha, uma vez que a situação relativa dos satélites é distinta nos dois hemisférios.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral dessa pesquisa é implantar o método de calibração relativa em campo na BCAL/UFPR, no Brasil. E como objetivos específicos:

a) Realizar análises do efeito do multicaminho nos pilares que compõem a Base de Calibração de antenas GNSS na UFPR (BCAL/UFPR);

b) Determinar coordenadas geodésicas precisas (Latitude, Longitude e Altitude Elipsoidal) dos pilares 1000 (Oeste), 2000 (Norte) e 3000 (Sul) que compõem a BCAL/UFPR;

c) Determinar os parâmetros de calibração (PCO e PCV) de antenas GPS via procedimentos de calibração relativa em campo e processamento dos dados;

d) Reduzir valores dos PCVs obtidos através de calibrações distintas para um valor médio, e compará-los;

e) Analisar a obtenção de coordenadas geodésicas obtidas variando linha de base e as correções de calibração relativa (item c) obtidas na BCAL/UFPR;

f) Realizar um tratamento estatístico para validar os parâmetros de calibração (PCO e PCO-PCV) obtidos através do método de calibração relativo em campo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GNSS

O termo GNSS surgiu durante a 10^a Conferência de Navegação Aérea, em 1991, quando o ICAO (ingl. *International Civil Aviation Organization*) reconheceu que o sistema de navegação do século XXI proporcionaria um sistema global de navegação. As principais características deste sistema são: integridade, disponibilidade e fornecimento de um serviço contínuo aos usuários. Esse sistema se baseia em satélites artificiais que proporcionam dados de navegação em tempo real, bem como serviços de posicionamento em diversos níveis de precisão.

Dentro deste conceito de GNSS encontram-se duas gerações, o GNSS-1 e o GNSS-2. O GNSS-1 baseia-se no NAVSTAR-GPS (ingl. *NAVigation Satellite with Time And Ranging*), e GLONASS (ingl. *Global Orbiting Navigation Satellite System*), sendo aumentado por componentes civis e o GNSS-2, por sua vez, contará com os satélites do Bloco IIF do NAVSTAR-GPS e o GALILEO (KRUEGER, 2007).

O GLONASS é um sistema similar ao GPS e foi concebido na década de 1970, na antiga URSS e atualmente é desenvolvido e operado pela *Russian Federation Space Forces*. É um sistema militar que foi idealizado para proporcionar posicionamento 3D e velocidade, bem como informações de tempo, sob quaisquer condições climáticas, em nível local, regional e global (MONICO, 2008).

O GALILEO é um sistema de posicionamento global que envolve a União Européia (EU), a ESA (ingl. *European Space Agency*) e a indústria européia. Ele será controlado por autoridades civis e será compatível com o GPS e o GLONASS. Este sistema fornecerá diferentes serviços aos usuários, os quais irão apresentar diferentes níveis de precisão, entre eles pode-se citar: serviços de posição, velocidade e tempo. O funcionamento deste sistema está previsto para 2011 (COM, 2006 apud MONICO, 2008).

O NAVSTAR – GPS é um sistema de radionavegação administrado pela Força Aérea Americana. Esse sistema será detalhado a seguir, pois este foi utilizado para o desenvolvimento desta pesquisa.

No QUADRO 1 apresenta-se uma comparação das principais características entre os sistemas globais NAVSTAR-GPS, GLONASS e GALILEO.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS – GPS, GLONASS e GALILEO			
	NAVSTAR-GPS	GLONASS	GALILEO
Início de Desenvolvimento	1973	1972	2001
Altitude Orbital média	20.200 km	19.100 km	23.222 Km
Período Orbital (tempo sideral) aproximado	12 h siderais	11 h e 15 min siderais	14 h siderais
Planos Orbitais	6	3	3
Inclinação da órbita	55°	64,8°	56°
Freqüências	L1, L2, L5	L1, L2 (L5)	E _{5a} , E _{5b} , E ₆ , E ₂ -L1- E ₁
Constelação completa dos Satélites	21+3 reserva	21+3 reserva	27+3 reserva

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DOS SISTEMAS GPS, GLONASS E GALILEO
 FONTE: ADAPTADO DE SEEBER (2003)

2.2 NAVSTAR-GPS

O sistema NAVSTAR-GPS foi desenvolvido, em princípio, para atender aos interesses da força militar americana. Entretanto, pelo seu grande potencial, estendeu-se a setores não militares. Atualmente, é um dos sistemas mais preciso 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. Esse sistema foi declarado operacional em 27 de abril de 1995, com uma constelação de 24 satélites artificiais em órbita (MONICO, 2008).

Esse sistema é estruturado em três segmentos: Segmento Espacial, Segmento de Controle e Segmento do Usuário.

O Segmento Espacial é definido por uma constelação básica de 24 satélites que geram e transmitem sinais. Conforme indicados no Quadro 1 os satélites tem uma altura orbital média de 20.200 km de altitude, com período orbital de 12 horas siderais, distribuídas em 6 planos orbitais com 55° de inclinação com relação ao

equador. Cada plano contém quatro satélites equidistantes de 90°. Na concepção original, três gerações de satélites constituem a constelação GPS, denominados blocos I, II/IIA e IIR (SEEBER, 2003). A quarta geração de satélites, que substituirá os satélites do bloco IIR, denomina-se Bloco IIF, e será composta por 33 satélites. Trata-se dos satélites que deverão incorporar a modernização do GPS (MONICO, 2008).

As principais tarefas do segmento de controle são:

- ✓ Monitorar e controlar continuamente o sistema de satélites;
- ✓ Determinar o sistema de tempo GPS;
- ✓ Predizer as efemérides dos satélites;
- ✓ Calcular as correções dos relógios dos satélites; e
- ✓ Atualizar periodicamente as mensagens de navegação de cada satélite.

Para a realização das tarefas de controle atuante existem dezoito estações monitoras: Alaska, St. Louis, USNO, Equador, Tahiti, Argentina, África do Sul, Bahrain, Coreia do Sul, Austrália, Nova Zelândia, Hawaii, Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia, Colorado Spring, Maspalomas e Yakutsk (NIMA, 2003). Três delas são equipadas com antenas para transmitir os dados para os satélites (Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia), e uma estação de controle central (MCS) localizada em Colorado Spring (MONICO, 2008). As estações monitoras recebem sinais dos satélites GPS, determinam as pseudodistâncias² dos satélites visíveis, e transmitem uma série de dados juntamente com os dados meteorológicos locais através de link de dados para MCS. A partir destes dados, o MCS processa as efemérides dos satélites e o comportamento dos relógios dos satélites e gera os dados de navegação (mensagem) (SEEBER, 2003).

O segmento de usuário é constituído por todos aqueles que se utilizam do sistema, direta ou indiretamente, é composto por: receptores, algoritmos, programas, etc. Atualmente, o mercado oferece uma grande quantidade de receptores/antenas

² Pseudodistância - É a medida de distância percorrida pelo sinal GNSS entre o satélite e a antena do receptor. Ela é denominada de pseudodistância principalmente pela razão do não sincronismo entre os relógios (osciladores) responsáveis pela geração do código no satélite e sua réplica no receptor (MONICO, 2008).

GNSS e de diferentes fabricantes. Estes receptores apresentam os mais variados preços, configurações e podem ser empregados nas mais diversas aplicações. A função básica de um receptor é receber os sinais dos satélites que estiverem “visíveis” (isto é, sem nenhuma obstrução entre eles e o receptor), e, com as informações obtidas nesses sinais, calcular a sua posição (latitude, longitude e altitude elipsoidal).

2.2.1 Sinais GPS

A principal tarefa dos satélites é enviar sinais dos códigos C/A (ingl. *Clear/Acquisition*) e P (ingl. *Precise*) e das ondas portadoras L1 e L2, mensagens de navegação e número de identificação dos satélites (PRN) aos usuários, os quais serão decodificados pelos receptores GPS.

A onda portadora L1 é modulada pelos códigos P e C/A, tem uma frequência de 1.575,42 MHz e um comprimento de onda igual a 19,05 cm.

Já a onda portadora L2 é modulada pelo código P, tem uma frequência de 1.227,60 MHz e um comprimento de onda aproximado de 24,45 cm.

Ambas as ondas portadoras sofrem retardo na ionosfera. Os receptores modernos apresentam um nível de ruído para este sinal inferior a 0,2 mm. O emprego das duas ondas portadoras (L1 e L2) proporciona a minimização de determinadas fontes de erros, por exemplo, os efeitos ionosféricos.

Os códigos podem ser descritos como sinais retangulares que consistem numa seqüência binária (0 e 1 ou +1 ou -1) que parece ter característica aleatória e pode ser univocamente identificado.

O código C/A tem comprimento de onda de 293,26 m é transmitido a uma razão de 1,023 MHz com um período de 1 milissegundo. Apresenta um retardo na ionosfera e é um sinal não é ambíguo. Tem um nível de ruído para receptores modernos da ordem de decímetros. Ele é modulado apenas sobre a onda portadora L1 (MONICO, 2008).

O código P é reservado para uso dos militares norte-americanos e usuários autorizados, tem comprimento de onda de 29,33 m e é transmitido na razão de 10,23 MHz com um período de 266 dias. Cada satélite contém o correspondente a

sete dias deste código. A cada semana às 0 horas TU (Tempo Universal) do sábado para o domingo o seguimento do código atribuído a cada satélite é reiniciado. Esse código apresenta um retardo na ionosfera e é um sinal não-ambíguo. Tem um nível de ruído para receptores modernos da ordem de decímetros. Ele vem modelado sobre as ondas portadoras L1 e L2 (KRUEGER, 2007).

Segundo Monico (2008), embora o código P seja preciso, ele é criptografado, quando o sistema está operando no modo AS³ (*Anti-Spoofing*), passando a ser denominado código Y, e não está disponível para usuários civis pois trata-se de uma versão segura do código P.

2.3 PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES

O princípio de navegação pelo sistema de posicionamento por GNSS consiste da medida das pseudodistâncias, entre o usuário (receptor) e o satélite, de pelo menos quatro satélites acima do horizonte do observador. Conhecidas as coordenadas dos satélites, relativas ao sistema geocêntrico terrestre, é possível determinar as coordenadas de um ponto na superfície terrestre (SEEBER, 2003).

A apresentação geométrica do posicionamento de um ponto na superfície terrestre por meio de satélites pode-se observada na FIGURA 1. Verifica-se a posição do satélite (S) e de uma estação de observação (B), instalada sobre a superfície terrestre, ambas referidas ao centro de massa da Terra (CM). Do ponto de vista geométrico, apenas três distâncias, desde que não pertencentes ao mesmo plano, seriam suficientes. Neste caso o problema se reduziria à solução de um sistema de três equações com três incógnitas. A quarta medida é necessária devido ao não sincronismo entre os relógios dos satélites e do usuário, que adiciona uma incógnita no problema (MONICO, 2008).

³ AS (*Anti-Spoofing*)- É um processo de criptografia do código P.

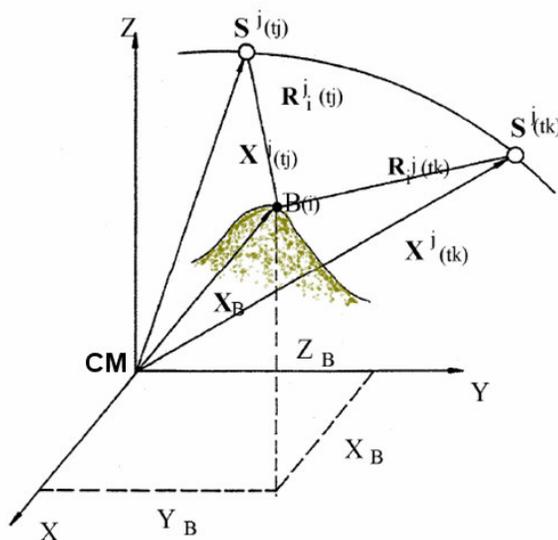


FIGURA 1 - GEOMETRIA DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITE POR PONTO
 FONTE: KRUEGER (2007)

2.4 OBSERVÁVEIS GPS

As observáveis básicas do GPS que permitem determinar a posição e tempo podem ser identificadas como:

- ✓ Pseudodistância a partir da medição do código;
- ✓ Fase da onda portadora ou diferença de fase da onda portadora;

2.4.1 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. As medidas de distância entre o satélite e a antena do receptor baseiam-se nos códigos gerados no receptor e os gerados nos satélites. Os receptores geram uma réplica do código produzido nos satélites. O retardo entre a chegada de uma transição particular do código, gerado no satélite, e a réplica do mesmo gerada no receptor, é o tempo de

propagação do sinal no trajeto ligando o satélite ao receptor. Ele realiza esta medida empregando a técnica de correlação cruzada⁴.

A equação fundamental de observação para uma pseudodistância é (SEEBER, 2003):

$$PR_i^j = |R_i^j| + c\delta t_i = c\tau_i^j \quad (2.1)$$

$$|R_j^i| = |X^j - X_B| = ((X^j - X_B)^2 + (Y^j - Y_B)^2 + (Z^j - Z_B)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

onde:

PR_i^j : pseudodistância (distância da antena do receptor i (em B ao satélite j(S^j)));

$|R_j^i|$: distância geométrica ou raio vetor entre a antena do satélite j e a antena do receptor posicionado em B;

X^j : vetor posição do satélite (X^j, Y^j, Z^j) ;

X_B : vetor posição da antena do receptor i posicionada em B (X_B, Y_B, Z_B) ;

c : velocidade de propagação da luz no vácuo;

δt_i : erro de sincronização entre o sistema de tempo GPS e o relógio do receptor i instalado em B;

τ_i^j : tempo de propagação do sinal entre a antena do satélite j e a antena do receptor (em B);

⁴ A correlação cruzada conduz à melhores resultados e baseia-se no fato de que os sinais das portadoras são modulados pelo mesmo código Y. Realiza-se uma correlação entre os sinais (L1 e L2), estando o sinal da portadora L1 com um retardo no tempo decorrido.

2.4.2 Fase da onda portadora

A fase da onda portadora é uma observável muito mais precisa que a pseudodistância, ela é utilizada para a maioria das atividades geodésicas (MONICO, 2008). 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 . Sua formulação segundo Seeber (2003), pode ser descrita por:

$$\Phi_B^i = \frac{2\pi}{\lambda} (|X_j - X_B| - N_B^i \lambda + c\delta t_B) \quad (2.3)$$

onde:

Φ_B^i : diferença de fase medida da onda portadora do receptor instalado em B a um satélite j ;

λ : comprimento da onda portadora;

N_B^j : número inteiro de ciclos de onda (ambiguidades);

2.5 MODERNIZAÇÃO DO GPS

A modernização do GPS não se atém em apenas substituir satélites antigos por satélites novos, mas também colocar em operação satélites com o código civil na L2 (L2C) e uma nova frequência denotada por L5 (POLEZEL, 2007). Essa modernização visa melhorar a quantidade e qualidade das observáveis, conseqüentemente, melhorar o posicionamento, trazendo maior precisão, melhor resistência às interferências e aumento de desempenho para os usuários.

Com o anúncio da modernização do GPS em 1998 pelo DoD (*Department of Defense*), entrou em cena o código civil L2C, a ser modulado na portadora L2, e também foi anunciada uma nova onda portadora, a L5. No início planejou-se que doze satélites do Bloco II-R seriam modernizados com o código L2C, com o primeiro lançamento previsto para 2003. No entanto o primeiro satélite modernizado refere-se ao 14º lançamento dos satélites do Bloco II-R, ocorrido em 26 de setembro de 2005.

Logo, em vez de doze, apenas nove satélites do II-R serão modernizados (IIR-M). A portadora L5, com frequência de 1176,45 MHz, será incorporada aos satélites do Bloco IIF.

Segundo Polezel (2007), o novo sinal L2C vem acrescentar robustez no posicionamento, melhorando a resistência às interferências, reduzindo ruídos e aumentando a acurácia. Logo, permitindo melhores acurácia nos posicionamentos dentro de construções e, principalmente, em áreas arborizadas. Algumas vantagens introduzidas pelo sinal L2C ao GPS:

- ✓ Melhor capacidade na transmissão dos sinais (SBAS - *Satellite Based Augmentation Systems, Pseudolites*);
- ✓ Maior tolerância às interferências;
- ✓ Os receptores podem receber mesmo os sinais fracos;
- ✓ Funcionamento em locais como florestas, regiões urbanas, com menor restrição que a L1;
- ✓ Melhor que a L1 em termos de correlação cruzada;
- ✓ Apresenta limiar de rastreamento e recuperação dos dados;

A portadora L5 eliminará a necessidade de utilizar as técnicas de correlação atualmente usadas pelos civis como as *squaring*, correlação-cruzada, dentre outras técnicas (LEICK, 2004).

Os benefícios que a L5 pode produzir são muitos, pode-se citar: atualização da constelação, a melhor precisão na navegação mundial (aumentar as operações de navegação de precisão em certas áreas do mundo), minimizar as interferências que ocorrem no GPS, como por exemplo, interferências atmosféricas (POLEZEL, 2007).

2.6 ERROS SISTEMÁTICOS ENVOLVIDOS NAS OBSERVÁVEIS

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

As fontes de erros podem ser classificadas em três grupos principais (QUADRO 2) : Satélite, Propagação do sinal, Receptor/Antena.

FONTE DE ERROS	ERRO ATUANTE
Satélite	Relógio do satélite Órbita
Propagação do Sinal	Ionosfera Troposfera Efeito de Multicaminho
Receptor/Antena	Relógio do receptor Variação do centro de fase da antena

QUADRO 2- ERROS SISTEMÁTICOS PRESENTES NAS OBSERVÁVEIS GPS
 FONTE: ADAPTADO DE SEEBER (2003)

2.6.1 Erros Relacionados aos Satélites

Os erros relacionados ao satélite são erros de relógio e erro orbital. O erro dos relógios dos satélites refere-se ao não sincronismo dos satélites com o sistema de tempo GPS, em que a diferença pode ser de no máximo 1 milissegundo (KRUEGER, 2007). Compreende-se por erro orbital o desvio existente entre a órbita verdadeira e a transmitida (*Broadcast Ephemerides*) para os satélites. Verifica-se que um erro nas efemérides acarretará em um erro orbital.

2.6.2 Erros Relacionados com o Meio de Propagação do Sinal

Os erros relacionados com o meio de propagação do sinal são: refração ionosférica; refração troposférica e multicaminho.

O sinal GNSS sofre a influência de duas camadas da atmosfera, a troposfera e a ionosfera, as quais perturbam a trajetória do sinal, acelerando-a ou retardando-a.

A troposfera possui uma espessura de 40 a 60 km e é eletricamente neutra; nela o índice de refração afasta-se muito pouco da unidade. O erro de atraso troposférico é função da elevação do satélite e das condições atmosféricas como temperatura, pressão e umidade relativa. Normalmente, ele é expresso por duas

componentes: uma composta de gases secos, e uma outra composta de vapor d'água, denominada componente úmida. Os atrasos da propagação do sinal na troposfera são críticos para o posicionamento de precisão e para a determinação de uma linha de base longa, principalmente para a altitude.

A ionosfera, segunda camada, apresenta espessura aproximada de 50 a 1000 km, 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).

O objetivo principal nessa pesquisa não é estudo dos erros sistemáticos envolvidos nas observáveis. Porém o efeito do multicaminho será mais explorado por ser uma fonte de erro muito importante para a determinação de coordenadas precisas de um ponto.

2.6.2.1 O Efeito do Multicaminho

O efeito do multicaminho (FIGURA 2) é caracterizado pela chegada de um ou mais sinais a antena do receptor GPS além do sinal direto do satélite devido às reflexões em superfícies refletoras próximas da antena e durante o percurso do sinal do satélite ao receptor (BAEBIERI et al., 2006).

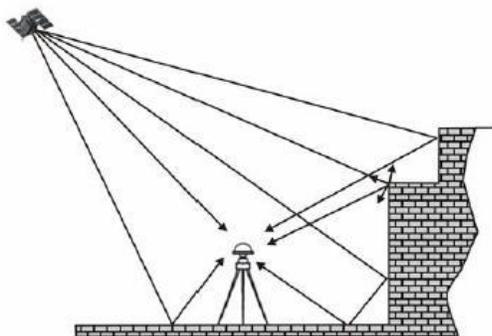


FIGURA 2 - EFEITO DE MULTICAMINHO
FONTE: SOUZA et al., (2006)

O multicaminho é provocado por diversos fatores tais como a geometria da constelação, superfícies refletoras, antena receptora, a potência do sinal, e depende

também do programa de processamento empregado na avaliação das observações (BECKER, 1994 apud FREIBERGER JUNIOR, 2007). Segundo Leick (2004), satélites em baixos ângulos de elevação (menores que 20°) geram fortes incidências de multicaminho.

Segundo Seeber (2003), o sinal do satélite, na sua propagação até atingir o receptor, sofre diferentes tipos de interferência, como conseqüência, o sinal sob a ação do efeito de multicaminho é sempre atrasado em relação ao sinal direto. A diferença entre o sinal direto e o sinal indireto é proporcional ao comprimento do caminho percorrido entre o satélite e o receptor.

O efeito de multicaminho pode ser dividido em duas classes: estática e cinemática. Em 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 muda rapidamente devido à alteração na geometria entre a antena e os objetos refletores existentes nos arredores (SOUZA et al., 2006).

Segundo Parkinson (1996), o efeito de multicaminho ocasiona erro nas medidas de código e fase. Ele acarreta um erro na medida da fase da onda portadora de um máximo de $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda, ou seja, aproximadamente 5 cm na L1. Na pseudodistância, o comportamento desse efeito é similar ao da fase, entretanto, apresenta mais variações e pode atingir até 150 metros (RAY, 1999).

O multicaminho pode ser atenuado por técnicas espaciais e de processamento de sinal. As técnicas espaciais baseiam-se na geometria de propagação. As técnicas de processamento do sinal são referentes ao “software” no receptor (WELL, 1997 apud BARBIERI et al., 2006).

Várias técnicas de redução do multicaminho usam como abordagem a geometria de propagação do sinal. Partindo desse pressuposto pode-se colocar algumas técnicas primárias de atenuação de multicaminho. Algumas valem do uso de antenas especiais, assim como um processamento espacial com formação de multiantenas, estratégia de locação de antenas e ainda um longo período de observação do sinal (a fim de inferir parâmetros de multicaminhamento) e ainda métodos de processamento de sinal no receptor (como o uso de “Narrow Correlators”) e a avaliação de multicaminho com o uso de múltiplos correlacionadores, filtragem por alisamento do código ajustado pela portadora, chamados de “*Code Smoothig*” (PALMA e FARRET, 2006).

Segundo Souza et al. (2005), para atenuar o efeito do multicaminho no posicionamento relativo, a Análise de Multiresolução (AMR) pode ser aplicada na dupla diferença (DD), tanto para a fase de batimento da onda portadora, como para a pseudodistância.

2.6.3 Erros Relacionados ao Receptor e a Antena GNSS

O erro do relógio dos receptores provém da deriva (marcha) dos osciladores internos desses relógios, que diferem do tempo GNSS. Estes erros são eliminados no posicionamento relativo com o emprego da fase da onda portadora (FREIBERGER JUNIOR, 2007).

A variação do centro de fase é um erro proveniente da não coincidência do centro de fase das antenas com o centro de fase eletrônico das mesmas (FREIBERGER JUNIOR, 2007). O centro de fase eletrônico da antena é um ponto virtual onde as medidas dos sinais são referenciadas (MONICO, 2008). Ele não é um ponto estável, varia conforme a direção (elevação e azimute) do satélite. Esse assunto será relatado em detalhes na seção 2.9.1. A variação do centro de fase de uma antena deve ser conhecida quando se almeja trabalhar com precisão milimétrica, o não conhecimento desses valores pode acarretar em erros na ordem de centímetros.

2.7 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ANTENAS

As primeiras antenas presumem-se que, foram criadas por Heinrich Hertz, em 1886, com a finalidade de auxiliar no estudo e desenvolvimento das teorias eletromagnéticas. Hertz pesquisou diversos dispositivos durante a realização de seus experimentos para testar e provar a teoria eletromagnética.

Antena é o dispositivo cuja função é transformar energia eletromagnética guiada pela linha de transmissão em energia eletromagnética irradiada, portanto, sua função é primordial em qualquer comunicação onde exista radiofreqüência.

As principais características de uma antena são: diagrama de irradiação, ganho, diretividade e eficiência na irradiação (BALANIS, 1998). Quanto maiores forem a diretividade e o ganho, maior é a intensidade de potência irradiada pela antena em uma determinada região.

Cada tipo de antena possui características de radiação diferentes, que usualmente são representadas graficamente através de um diagrama de radiação, no caso das antenas GNSS, esse diagrama mostra as direções angulares em que a antena melhor recebe as irradiações eletromagnéticas, ou seja, qual o local em que as radiações incidem com maior intensidade.

A distribuição de energia irradiada pode ser visualizada em um plano bidimensional (FIGURA 3) ou tridimensional (FIGURA 4), este segundo permite visualizar a distribuição espacial de toda a potência envolvida.

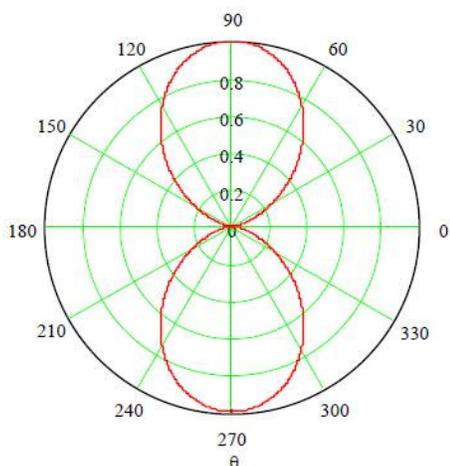


FIGURA 3- DIAGRAMA BIDIMENSIONAL DE IRRADIAÇÃO DE UMA ANTENA DIPOLO

FONTE: FERRANDO E VALERO (2007)

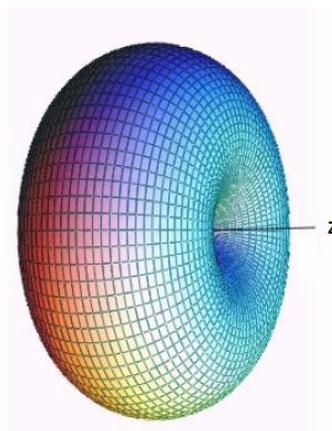


FIGURA 4 - DIAGRAMA TRIDIMENSIONAL DE IRRADIAÇÃO DE UMA ANTENA DIPOLO

FONTE: FERRANDO E VALERO (2007)

Os valores proporcionais às intensidades medidas são marcados sobre linhas radiais, correspondentes às direções consideradas. Observa-se como exemplo a FIGURA 5, no sentido indicado pela linha 4 (180°) existe um máximo, enquanto que nas linhas 0 e 8 (0° ou 360°) os valores são nulos. A parte do diagrama compreendida entre dois nulos de irradiação é denominada lóbulo. Se o diagrama de uma antena apresentar lóbulos desiguais, o maior é dito lóbulo principal e os demais são ditos lóbulos secundários (KRAUS et al., 2002, apud FREIBERGER JUNIOR, 2007).

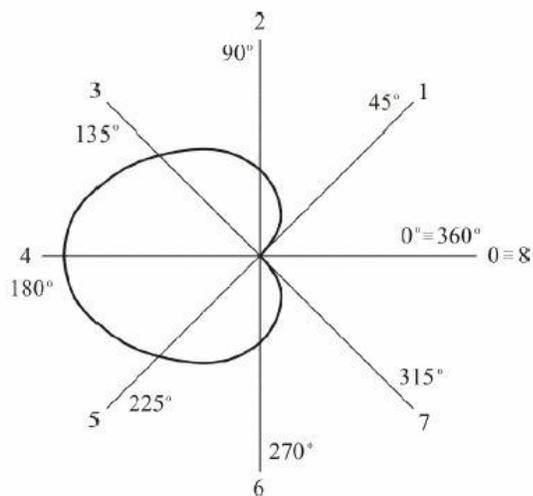


FIGURA 5 - DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO
 FONTE: FREIBERGER JUNIOR (2007)

O interesse na orientação de uma antena no espaço é que o ponto de recepção se situe na direção do máximo do lóbulo principal, por esse motivo o diagrama de irradiação é umas das principais características de uma antena.

A diretividade (D) de uma antena define sua capacidade de concentrar a energia irradiada numa determinada direção. É a relação entre o campo irradiado pela antena na direção de máxima irradiação e o campo que seria gerado por uma antena isotrópica que recebesse a mesma potência.

A relação entre a potência irradiada e a potência entregue pelo transmissor à antena é chamada de eficiência (η).

Ganho (G) é a capacidade da antena concentrar na direção de interesse a potência que está seria irradiada em outras direções. O ganho (G) pode ser entendido como o resultado da diretividade menos as perdas. Matematicamente, é o resultado do produto da eficiência pela diretividade.

$$G = \eta \cdot D \quad (2.4)$$

O diagrama do ganho da antena é a capacidade que tem a antena em compensar perdas de potência que a ela chegam em relação a um nível mínimo de referência. Em termos de visibilidade dos satélites, ela tem como objetivo uniformizar a intensidade do sinal para todos os satélites a partir de um ângulo de elevação especificado, ou ainda por um tempo indeterminado (BARBIERI et al., 2006).

2.8 TIPOS DE ANTENAS GNSS

A antena de receptores GNSS é constituída basicamente de componentes metálicos dispostos em variadas configurações cujas dimensões são dadas em função do comprimento de onda eletromagnética recebida. A antena GNSS recebe ondas eletromagnéticas emitidas pelos satélites, converte a energia da onda em corrente elétrica, amplifica o sinal e o envia para a parte eletrônica do receptor.

A estrutura do sinal do GPS requer que as antenas sejam circularmente polarizadas à direita (RHCP - *Right Hand Circularly Polarised*). A sensibilidade e o ganho da antena devem ser suficientes para permitir a recepção do sinal (fraco) em todas as elevações e azimutes visíveis (SOUZA, 2005).

Segundo Seeber (2003), os tipos de antenas disponíveis (FIGURA 6) para o emprego na recepção dos sinais são:

- Monopolo (*Monopole*) ou dipolo;
- Helicoidal (*Helix*);
- Helicoidal-espiral (*Spiral Helix*);
- Microstrip ou patch; e
- Choke Ring (2D e 3D).

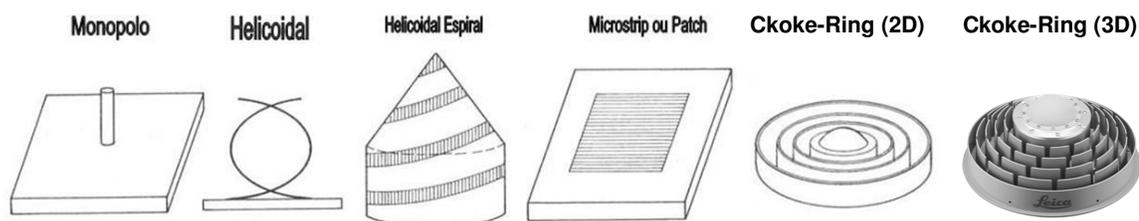


FIGURA 6 - ANTENAS DISPONÍVEIS PARA O EMPREGO NA RECEPÇÃO DOS SINAIS GNSS
 FONTE: ADAPTADO DE SEEBER (2003)

Antenas monopolo são antenas abertas que atuam como parte de uma antena dipolo. A mais conhecida é a antena monopolo de um quarto de onda, tem padrão de radiação omnidirecional, não precisa ser orientada para manter os sinais constantes quando há mudança de seu posicionamento.

As antenas dipolo são as mais comuns dentre as várias categorias de antenas (FREIBERGER JUNIOR, 2007). Ela é uma antena retilínea com a extensão de um comprimento de onda em geral.

A antena helicoidal é construída na forma espiral ou hélice a partir de um ou múltiplos condutores. Esse tipo de antena é naturalmente escolhido para produção de radiação polarizada de forma circular (FUSCO, 2006). Essa antena utiliza polarização circular, é bastante comum na comunicação de satélites, pois não precisam ajuste de polarização. Também é utilizada em receptores de navegação GPS, pois apresentam uma abertura compatível com o ângulo do sinal incidente dos satélites (FRANZ, 2007). Sua estrutura externa e interna pode ser observada na FIGURA 7 e FIGURA 8, consecutivamente.



FIGURA 7 - ESTRUTURA EXTERNA INTERNA DE UMA ANTENA HELICOIDAL
FONTE: FRANZ (2007)



FIGURA 8 - ESTRUTURA INTERNA DE UMA ANTENA HELICOIDAL
FONTE: FRANZ (2007)

A antena helicoidal espiral (FIGURA 9) é utilizada em países onde há presença de neve no inverno, pois evita o acúmulo de neve no topo da antena.



FIGURA 9-ANTENA HELICOIDAL ESPIRAL
FONTE: FRANZ (2007)

Antenas do tipo Microstrip ou Patch (FIGURA 10) são confeccionadas em placas de circuito impresso montadas sobre bases quadradas, isolados por um dielétrico, uma camada de ar ou no caso das antenas mais aprimoradas por uma porcelana. Estas antenas, segundo Freiburger Junior (2007), podem ser de construção simples, compacta, de baixo custo de fabricação e são empregadas em receptores GPS portáteis (receptores de navegação), em especial quando a antena é integrada ao corpo do receptor.



FIGURA 10 - ANTENA PATCH E ESTRUTURA INTERNA
FONTE: FRANZ (2007)

Para aplicações que exigem alta precisão (aplicações geodésicas) são requeridas antenas que apresentem maior estabilidade no centro de fase e proteção contra multicaminho como, por exemplo, a "Choke Ring" (YUNK et al., 1989 *apud* SOUZA, 2005).

As antenas Choke Ring (FIGURA 11 e FIGURA 12) possuem um plano de terra que contém uma série de círculos concêntricos com depressões de um quarto de onda. Estas depressões atuam como linhas de transmissão curtas e seus topos apresentam uma alta impedância (quociente entre a amplitude de uma tensão alternada e a amplitude da corrente que ela provoca em um circuito) na frequência do sinal GPS. Então, ondas de superfície não têm forma, assim a antena ganha uma importância na proteção de reflexões do solo e de sinais de multicaminho que chegam de direções aproximadamente horizontais. Porém, a antena Choke Ring possui algumas desvantagens: o tamanho avantajado, o peso e o custo (ISHIKAWA e ITAME, 2000).



FIGURA 11 - ANTENA CHOKE RING (2D)
FONTE: NGS (2009)



FIGURA 12 - ANTENA CHOKE RING (3D)
FONTE: NGS (2009)

A antena Choke Ring 3D (FIGURA 12) foi criada para receber sinais GNSS (GPS, GLONASS, GALILEO). Ela difere da antena Choke Ring 2D pois apresenta anéis em diferentes níveis, está preparada para receber sinais: GPS: L1, L2, L2c, L5, GLONASS: L1, L2, L5; Galileo: E2-L1-E1, E5a, E5b, E6, AltBOC e Compass: B1, B2, B3, L5. Esta antena 3D minimiza mais o efeito do multicaminho pela depressões que os anéis representam e o ganho dessa antena foi otimizado para se tornar padrão da indústria de alta precisão e desempenho (LEICA AR25, 2009).

As antenas GNSS têm diferentes características em função da construção das mesmas e dentre elas se tem dado maior importância ao centro de fase. A sua variação dessa causa um erro de caráter sistemático que afeta a precisão do posicionamento geodésico uma vez que se trabalha com valores na ordem do milímetro. Conforme Seeber (1993), a variação do centro de fase encontrada nas antenas GPS tipo microstrip pode variar de milímetros até alguns centímetros.

2.9 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DA ANTENA GPS

As características construtivas de uma antena GPS são: TGP (*Top of Ground Plane*), ARP (*Antenna Reference Point*) e Centro mecânico (FIGURA 13).

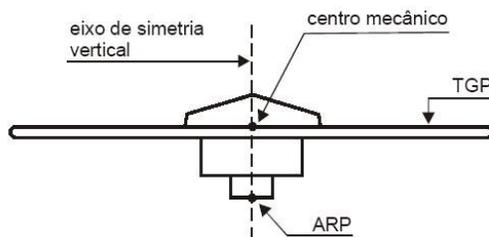


FIGURA 13-ARP, CENTRO MECÂNICO, TGP
 FONTE: FREIBERGER JUNIOR (2004)

O IGS (*International GNSS Service*) define ARP (*Antenna Reference Point*) como um ponto físico na antena localizada na parte inferior, materializado pela intersecção do centro da rosca de centragem com o eixo de simetria do instrumento. O ARP pode variar de posição de acordo com o modelo do instrumento. É definido mecanicamente, sendo normalmente a intersecção do eixo vertical de simetria com a superfície mais inferior do corpo da antena.

TGP é a superfície superior do disco de proteção contra o efeito multicaminho.

Segundo Seeber (2003), o centro mecânico de uma antena é definido com precisão submilimétrica, normalmente pela intersecção do eixo mecânico de simetria vertical com o TGP.

Pode-se citar ainda outra característica das antenas, o centro de fase dessa antena. O centro de fase de uma antena é o ponto de recepção do sinal vindo do satélite, o qual é detalhado na seção seguinte (2.9.1).

2.9.1 Centro de Fase da Antena GNSS

Chama-se centro de fase eletrônico (ou simplesmente centro de fase) ao ponto observado em uma antena GPS durante a recepção de um sinal vindo de um satélite (GEOSCIENCE AUSTRALIA, 2003 apud FREIBERGER JUNIOR, 2004).

Segundo Mader (1999), para toda a antena, o centro da fase mudará em função do sentido da mudança do sinal de um satélite. E em grande parte essa

variação depende da elevação do satélite. Essas variações do centro de fase da antena acabam afetando os *offsets* da antena, que são a conexão das medidas GNSS com os monumentos físicos. O fato de ignorar as variações do centro de fase pode conduzir a erros verticais de até 10 cm.

A variação do centro de fase com relação ao ARP é denominada de *offset* do centro de fase. As coordenadas tridimensionais dos *offsets* tanto para L1 e quanto para L2 em relação ao ARP são fornecidos pelos fabricantes, para a maioria dos modelos de antenas GPS.

Conforme Freiburger Junior (2004), o offset do centro de fase é condicionado por uma parte mecânica e outra parte eletrônica. A primeira, denominada *offset* do centro de fase (PCO) (FIGURA 14), consiste no vetor (\vec{P}) com origem no ARP e extremidade no centro de fase; a segunda distância, denominada variação do centro de fase (PCV) (FIGURA 14), consiste de um deslocamento adicional do centro de fase, de caráter sistemático, que se comporta conforme o ângulo de incidência do sinal na antena.

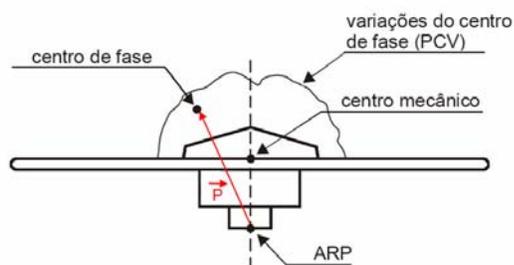


FIGURA 14-VARIAÇÕES DO CENTRO DE FASE MÉDIO
FONTE: ADAPTADO DE FREIBERGER JUNIOR (2004)

O PCO (\vec{P}) exprime as coordenadas cartesianas do centro de fase nas componentes horizontais: N (direção norte) e E (direção leste) e na componente vertical h (equação 2.5.)

$$\vec{P} = \begin{pmatrix} N \\ E \\ h \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

Visando a determinação dos valores do PCV é necessário conhecimento da direção do sinal proveniente do satélite, que é descrita em função do azimute (Az) e da elevação (e) deste satélite (FIGURA 15).

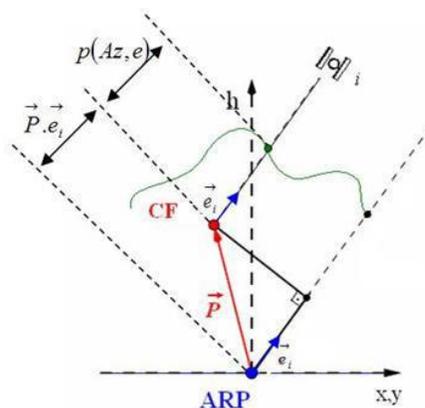


FIGURA 15 - DEDUÇÃO DAS VARIAÇÕES DO CENTRO DE FASE
 FONTE: ADAPTADO DE FREIBERGER JUNIOR (2007)

Determina-se o termo de correção dependente da direção do sinal $p(Az, e)$ através da equação:

$$dr(Az, e) = \vec{P} \cdot \vec{e}_i + p(Az, e). \quad (2.6)$$

Onde o termo $\vec{P} \cdot \vec{e}_i$ é a medida algébrica da projeção do vetor \vec{P} sobre a direção do vetor unitário \vec{e}_i na direção de um satélite i . A soma da medida da projeção $\vec{P} \cdot \vec{e}_i$ com as correções $p(Az, e)$ fornece a correção procurada $dr(Az, e)$ (VENTURI, 1990 apud FREIBERGER JUNIOR, 2007).

Conforme Menge (2003), os valores do PCV representam as distâncias entre o diagrama de fase efetivo (real) e o diagrama de fase médio (ideal) que mais se aproxima do comportamento real (FIGURA 16). Os valores do PCV descrevem o estado de retardo ou adiantamento da fase em relação ao diagrama de fase médio, o qual é vinculado ao Centro de Fase.

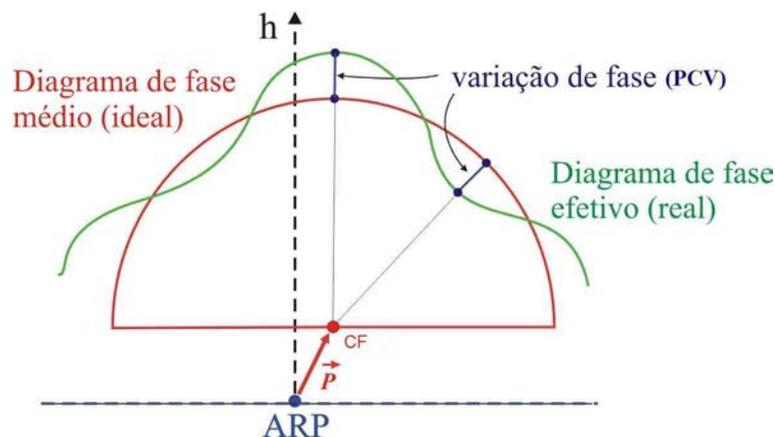


FIGURA 16-INTERPLETAÇÃO DO PCV EM FUNÇÃO DO PCO
 FONTE: ADAPTADO DE FREIBERGER JUNIOR (2007)

A determinação da variação do centro de fase (PCO e PCV) das antenas GPS refere-se à calibração destes instrumentos. Os principais métodos existentes de calibração serão abordados na próxima seção.

2.10 CALIBRAÇÃO DE ANTENAS DE RECEPTORES GNSS

Os parâmetros determinados com a calibração de antenas de receptores GNSS são essenciais para se obter precisão em levantamentos geodésicos. O principal objetivo da calibração de antenas de receptores é a determinação dos parâmetros definidores das coordenadas do Centro de Fase e dos correspondentes termos dos PCV dependentes de azimute e elevação.

Conforme MENGE (2003), os atuais métodos para estas determinações são:

- ✓ Determinação do PCO;
- ✓ Calibração absoluta em ambientes controlados (câmaras anecóicas);
- ✓ Calibração absoluta em campo;
- ✓ Calibração relativa em campo;

2.10.1 Determinação da Coordenada do Centro de Fase

As coordenadas do centro de fase, definidas pelo vetor PCO, com componentes norte, leste e vertical podem ser deduzidas por meio das seguintes combinações de dados vetoriais:

- ✓ PCO relativo (vinculado a uma antena de referência);
- ✓ Componentes norte e leste absolutas e componente vertical relativa; e
- ✓ PCO absoluto.

Segundo Menge (2003), são disponíveis três métodos fundamentais para estas determinações :

- ✓ Linha de base conhecida (base de calibração);
- ✓ Intercâmbio de antenas;
- ✓ Rotação horizontal da antena.

Neste trabalho irá se empregar o método de rotação horizontal da antena, o qual será descrito na seqüência. Sobre os demais métodos fundamentais indicados anteriormente consultar FREIBERGER JUNIOR (2007).

Segundo Freibergger Junior (2007), no método de rotação horizontal da antena a ser calibrada (equação 2.7), novas observações são realizadas após a rotação da antena, introduzindo uma segunda linha de base denominada \vec{L}_{ROT} .

$$\begin{aligned}
 \vec{L}_{CALC} - \vec{P}^C &= \vec{L}_{ROT} + \vec{P}^C \quad \therefore \\
 2\vec{P}^C &= \vec{L}_{CALC} - \vec{L}_{ROT} \quad \therefore \\
 \vec{P}^C &= \frac{1}{2}(\vec{L}_{CALC} - \vec{L}_{ROT}).
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

onde:

\vec{L}_{CALC} : Linha de base calculada

\vec{P}^C : PCO da antena a ser calibrada

\vec{L}_{ROT} : Segunda linha de base

No caso mais simples, são realizadas observações em duas direções (isto é norte e sul) conforme ilustra a FIGURA 17.

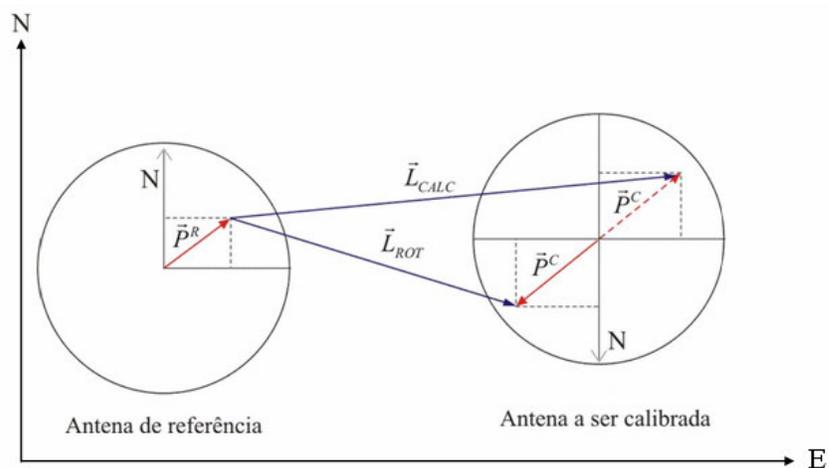


FIGURA 17 - DETERMINAÇÃO DO PCO PELA ROTAÇÃO DE ANTENAS
 FONTE: ADAPTADO DE FREIBERGER JUNIOR (2007)

2.10.2 Calibração Absoluta em Ambientes Controlados

Em 1987 foram iniciadas as experiências de calibração absoluta em ambientes controlados (SCHUPLER e CLARK, 2000). Os ambientes controlados referem-se a câmaras anecóicas, que são ambientes que minimizam a quantidade de reflexão ou reverberação de ondas de diferentes tipos. Suas paredes são feitas com um absorvedor de microondas piramidal composto por um material esponjoso (espuma) impregnado com partículas de carbono e grafite. Qualquer energia estranha, que entra em contato com este material é absorvido e convertido em calor, o qual é dissipado ao longo deste material (CANADIAN SPACE AGENCY, 2008).

A calibração absoluta de antenas GPS em câmaras anecóicas (FIGURA 18) emprega sinais GPS simulados, irradiados por uma fonte fixa (antena transmissora) que incide uniformemente sobre a antena a ser testada. Essa antena é fixada em um suporte capaz de realizar rotações e inclinações da antena em torno de um ponto referenciado ao ARP.

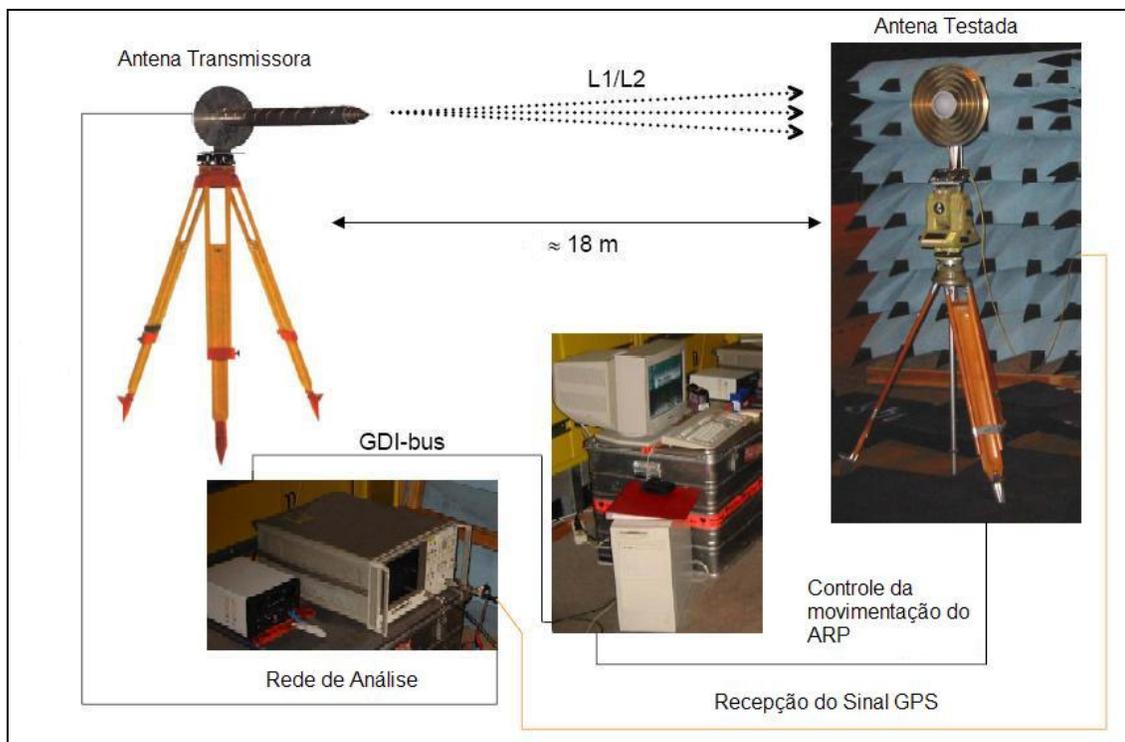


FIGURA 18 - CALIBRAÇÃO ABSOLUTA EM CÂMARA ANECÓICA
 FONTE: ADAPTADO DE GÖRRES ET AL., (2006)

Esse tipo de calibração fornece, entre outras informações, as coordenadas do centro de fase (PCO) para cada frequência e os correspondentes diagramas de fase da antena (SCHUPLER e CLARK, 2000).

2.10.3 Calibração Absoluta em Campo

O *Institut für Erdmessung (IfE)* da Universidade de Hannover foi o idealizador da Calibração absoluta em campo. Inicialmente de forma manual (WÜBBENA et al., 1996) (FIGURA 19 e 20) e posteriormente inaugurando a automação dos procedimentos (FIGURA 21).



FIGURA 19 - CALIBRAÇÃO ABSOLUTA EM CAMPO DE FORMA MANUAL(A)
FONTE: WÜBBENA et al., (1996)



FIGURA 20 - CALIBRAÇÃO ABSOLUTA EM CAMPO DE FORMA MANUAL (B)
FONTE: FREIBERGER JUNIOR (2007)

A idéia do desenvolvimento da calibração absoluta de campo foi devida, principalmente, ao fato de levantamentos de campo serem influenciados pelo efeito do multicaminho (ROTCHACHER et al.,1995a apud MENGE et al., 1998) uma vez que nenhuma estação de observação pode estar totalmente livre deste efeito.

Segundo Schmitz e Wübbena (2001), a descrição deste método consiste em realizar rastreios de satélites GPS em dois dias siderais médios consecutivos. Em um dos dois dias de rastreio (normalmente, no segundo dia), a antena a ser calibrada é submetida a movimentos de rotação e inclinação em torno de um ponto conhecido, de forma que os PCVs sejam recuperados como observáveis quando se compara os dois conjuntos de dados.

Pressupõe-se que, em condições invariáveis do entorno da estação, o multicaminho se repete em mesmos períodos, podendo ser detectados e minimizados pela comparação entre os resíduos da dupla-diferença de fase das observações dos dois dias siderais.

Atualmente, a calibração absoluta pode ser executada em tempo real com emprego de um mecanismo automatizado (FIGURA 21) que realiza rotações e inclinações automáticas na antena a ser calibrada (WÜBBENA et al., 2000). Esse mecanismo automatizado foi projetado pela Geo++(*Gesellschaft für satellitengestützte und navigatorische Technologien mbH*) e IfE. Ele realiza ainda movimentos

programados, posicionando a antena em ângulos e azimutes variados para simular alteração da geometria dos satélites. Com isso, é possível adquirir observações homogêneas ao longo do horizonte da antena incluindo ângulos de elevação abaixo de 0° (BÖDER et al., 2001), e o número muito grande de posições 6 a 8 mil (WÜBBENA et al., 2006a).



FIGURA 21 - CALIBRAÇÃO ABSOLUTA EM CAMPO DE FORMA AUTOMATIZADA
FONTE: FREIBERGER JUNIOR (2007)

Segundo Menge et al. (1998), as vantagens na calibração absoluta em campo de forma automatizada são:

- ✓ Calibração de uma antena sem a necessidade de uma antena de referência;
- ✓ Efeito do multicaminho é eliminado/reduzido, independente da estação de referência;
- ✓ Coordenadas precisas da estação não são necessárias;
- ✓ Os PCV calculados referem-se a um ponto de referência muito bem conhecido na antena, o *offset* é incorporado, e nenhum *offset* predeterminado é necessário;
- ✓ A antena tem boa cobertura com valores de correção em virtude das rotações e inclinações;
- ✓ É possível realizar medidas em diferentes azimutes e elevações, podendo observar elevações abaixo de 0° graus.

2.10.4 Calibração Relativa em Campo

A calibração relativa em campo consiste em posicionar duas antenas em linha de base curta (FIGURA 22) e com uma ação mínima do efeito de multicaminho. A linha de base curta, em geral de aproximadamente 5 metros, é o pressuposto para que as influências dos erros orbitais, da ionosfera e da troposfera se tornem ínfimas no processamento relativo (FREIBERGER JUNIOR, 2007).

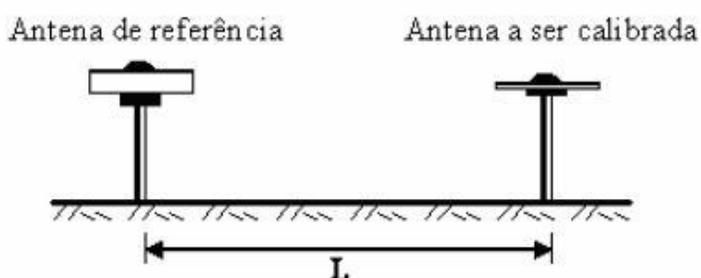


FIGURA 22 - CALIBRAÇÃO RELATIVA EM CAMPO
 FONTE: FREIBERGER JUNIOR (2007)

Nesta calibração utilizam-se duas antenas, uma antena referência, geralmente emprega-se a antena do tipo AOAD/M-T (FIGURA 23), e a outra a ser calibrada. Os "offsets" (PCO e PCV), da antena a ser calibrada serão obtidos com relação a antena de referência.

A antena AOAD/M_T possui valores pré-estabelecidos do PCO nas portadoras L1 e L2, é o modelo de antena adotada pelo IGS/NGS para a calibração relativa, sendo ainda a mais usada nas estações integrantes da rede global do IGS.

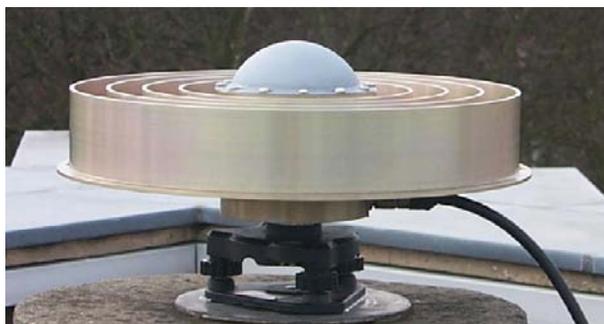


FIGURA 23 - ANTENA AOAD/M-T
 FONTE: GEOPP. DE (2008)

Para realizar a calibração relativa são necessárias observações de 24 horas a fim de proporcionar cobertura de dados de satélites no horizonte completo da antena e reduzir a influência do efeito de multicaminho (WANNINGER e MAY, 2000).

O método relativo de calibração de antenas pode ser aperfeiçoado por meio de rotações das antenas em torno de seu eixo mecânico, inclinações da antena sobre um ponto conhecido ou intercâmbio de antenas (WANNINGER e MAY, 2000). O rotacionamento da antena pode ser realizado de uma forma mais simples, manual ou da forma automatizada.

Na calibração relativa em campo há duas dificuldades principais que são: primeiramente há a necessidade de eliminar a variação do centro de fase da antena de referência e segundo, o erro do multicaminho deve ser separado das variações do centro de fase. Esse efeito deve ser especialmente considerado (WÜBBENA, 2000).

2.10.5 Considerações Sobre Níveis de Calibração de Antenas GNSS

O método de calibração de antenas de um receptor GNSS é denominado de absoluto ou relativo conforme exposto nas seções 2.10.2, 2.10.3, 2.10.4, porém encontra-se na literatura as denominações calibrações a “nível absoluto” e a “nível relativo”.

As calibrações denominadas de nível absoluto determinam as correções do centro de fase independente das características do centro de fase de uma antena de referência; no nível relativo às correções dependem, por definição, de uma antena de referência. (FREIBERGER JUNIOR, 2007).

O resultado das variações do centro de fase depende do método de calibração aplicado, bem como, da antena de referência. Por exemplo, no âmbito do método relativo de calibração com rotação da antena a ser calibrada, se for empregada antenas de referência calibradas pelo método absoluto, os valores da variação do centro de fase da antena podem ser obtidos no nível absoluto.

2.10.6 Considerações Sobre Formatos de Armazenamento de Valores do PCO e PCV Obtidos da Calibração de Antenas GNSS

As correções do centro de fase de antenas de receptores GNSS se resumem em variações do centro de fase (PCO e PCV); esses valores que são resultados do processo de calibração podem ser encontrados em arquivos em formatos diferentes. Os formatos existentes de arquivos que contém esses valores de PCO e PCV são: ANTEX, IGS/NGS, Geo++ e Bernese.

O formato ANTEX (Antenna Exchange Format) (extensão ATX) e o formato Geo++ (extensão ANT) armazenam valores de PCO, PCV dependente de elevação e PCV dependente de elevação e azimute, a nível absoluto. Já o IGS/NGS, (extensão APC) armazena valores de PCO, PCV dependente de elevação a nível relativo, também disponibiliza o formato ANTEX. E o formato Bernese (extensão BRN) fornece os parâmetros de PCO, PCV dependente de elevação e PCV dependente de elevação e azimute, a nível absoluto. Mais detalhes sobre os formatos de calibração de antenas encontram-se em FREIBERGER JUNIOR (2007).

2.11 PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS NO IGS/NGS

O processo de calibração de antenas no IGS/NGS consiste em medidas relativas entre a antena de referência e a antena a ser calibrada, para determinar a posição do centro de fase e a variação do centro de fase de uma série de antenas. A calibração relativa é usada atualmente, pois o processo dessa calibração é mais fácil do que o processo de calibração absoluto.

Um experimento do procedimento de campo para realizar a calibração de antena no NGS pode ser visualizado na FIGURA 24. Consistem de dois pilares de concreto com duas antenas, uma como referência e outra a ser calibrada, com 1,8m do solo. Os pilares são separados por uma linha de base de 5 metros, e estão locados em uma linha Norte-Sul. Os receptores utilizados neste experimento foram *Ashtech Z12* e um oscilador de rubídio, que foi utilizado como uma frequência

externa para ambos os receptores. No pilar denominado de Norte está a antena de referência e no pilar denominado Sul a antena a ser calibrada.

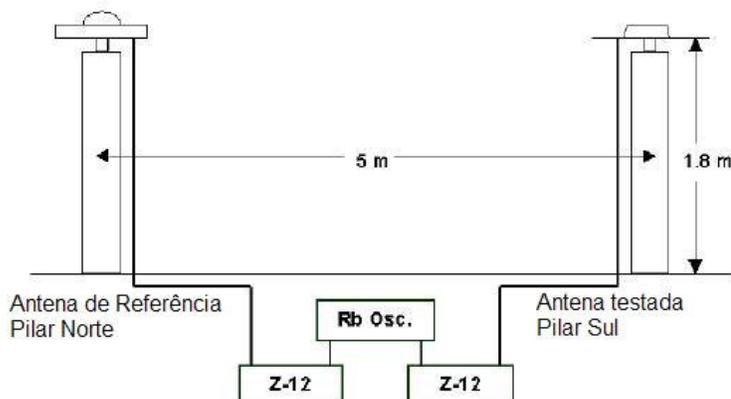


FIGURA 24 - PROCEDIMENTO DE CAMPO PARA REALIZAÇÃO DA CALIBRAÇÃO RELATIVA DE ANTENAS NO NGS
 FONTE: ADAPTADO DE MADER (1999)

A antena de referência utilizada pelo IGS/NGS para realizar calibração relativa é a *Dorne/Margolin choke ring*, tipo T, desenvolvida pelo JPL (*Jet Propulsion Laboratory*). Essa antena já foi utilizada várias vezes para determinar o centro de fase de antenas, diversas combinações foram realizadas, e sempre mostrou resultados satisfatórios, por esse motivo ela é usada como antena de referência.

No ano de 1996 os resultados das calibrações de antenas GPS eram dados apenas no formato IGS/NGS. Com a possibilidade de se determinar valores absolutos de calibração a partir de medições de campo, surgiu a necessidade de empregar não somente PCV dependentes de elevação mais também PCV dependente de azimute e elevação, foi então que em 2003 o NGS introduziu o formato ANTEX (ROTHACER e SCHMID, 2004 apud FREIBERGER JUNIOR, 2007).

Segundo Mader (1999), o IGS/NGS conta com um grupo para realizar calibração de antenas e melhoramento do programa de processamento. Atualmente, o IGS/NGS disponibiliza também valores absolutos além dos valores obtidos por método de calibração relativa. O site do NGS está disponível a todas as pessoas que buscam informações sobre antenas, nesse site pode-se encontrar: fotos, desenhos das características físicas da antena e valores de PCO e PCV (NGS, 2008).

2.12 BASE DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GNSS NA UFPR (BCAL/UFPR)

O interesse em implantar uma base de calibração de antena GNSS na UFPR surgiu pela inexistência do serviço de calibração de antenas nos países da América Latina, inclusive no Brasil.

A implantação desta base de calibração no Brasil é inovadora e a idéia, com a transferência de tecnologia da Alemanha, é fruto de um processo de cooperação internacional do Programa PROBRAL (CAPES/DAAD) (Brasil/Alemanha). Essa base de calibração foi iniciada por Jaime Freiberger Junior em sua tese de doutorado (2007).

A BCAL/UFPR (FIGURA 25) foi implantada no Campus do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, na laje do observatório Astronômico Camil Gemael. Ela se encontra anexo ao auditório e ao lado do Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE). Esse laboratório fornece toda a infra-estrutura necessária para a realização da calibração de antenas GNSS, como receptores e antenas.

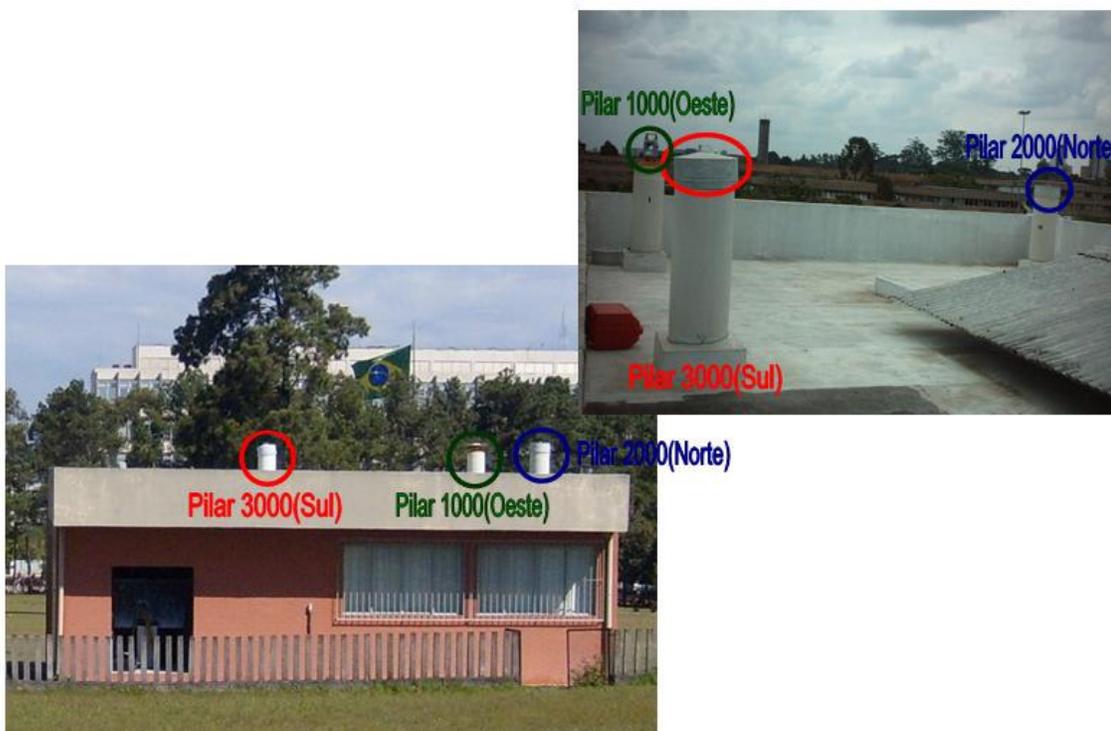


FIGURA 25 - BCAL/UFPR
FONTE: A autora (2009)

Essa base de calibração é composta por três pilares denominados de Pilar 1000(Oeste), Pilar 2000(Norte) e Pilar 3000(Sul) (FIGURA 26). Esses pilares foram construídos em cima de uma laje de concreto armado.

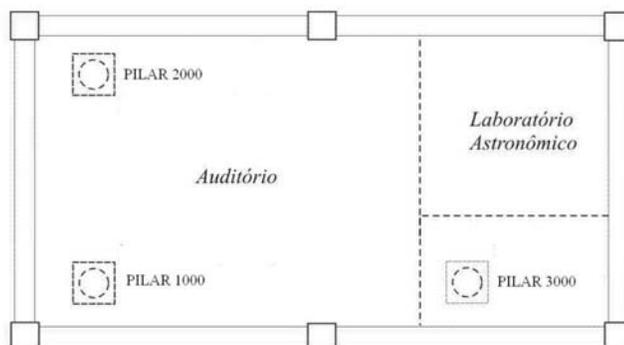


FIGURA 26 - BASE DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GPS-PILARES
FONTE: ADAPTADA DE FREIBERGER JUNIOR (2007)

Cada pilar possui uma base de centragem forçada na superfície superior. O modelo de pilares adotado (FIGURA 27) foi baseado no exemplo de pilares que constituem parte da rede geodésica do Instituto de Geodésia da Universidade de Karlsruhe (TH) e também seguiu as instruções prescritas pelo IBGE para a execução dos marcos e pilares que compõem o Sistema Geodésico Brasileiro (IBGE, 2008). Eles são construídos em concreto armado com altura mínima de 1,30 m da laje e perfil circular para minimizar cantos ou superfícies que possam provocar a ocorrência do efeito de multicaminho.



FIGURA 27 - MODELOS DOS PILARES
FONTE: A autora (2009)

3. METODOLOGIA

Nessa seção será apresentada a metodologia envolvida na: implantação da calibração relativa em campo na BCAL/UFPR, análise do efeito do multicaminho, determinação das coordenadas precisas dos pilares que compõem esta base de calibração e comparação coordenadas geodésicas precisas obtidas com diferentes valores de PCO.

Segundo Wübbena (2006b), o multicaminho pode provocar erros quando se determina o centro de fase de antenas GPS, por esse motivo deve ser minimizado em uma base de calibração.

A variação do centro de fase da antena tornou-se fonte importante de erro nas medidas precisas do GNSS, hoje é ao lado dos erros troposférico e do efeito de multicaminho, é um fator limitante quando se almejam coordenadas geodésicas precisas (WÜBBENA, 2006b).

Primeiramente será apresentada a metodologia aplicada (seção 3.2) para realização da análise da variação do efeito do multicaminho que ocorre na BCAL/UFPR.

Na seção 3.3 encontra-se a metodologia para a determinação das coordenadas geodésicas precisas dos pilares de calibração (Pilar 1000 (Oeste), Pilar 2000 (Norte) e Pilar 3000 (Sul)).

Realizaram-se alguns experimentos para determinar parâmetros de calibração de uma antena GPS (Seção 3.4) com o método de calibração relativo em campo. Nesse experimento determinaram-se os parâmetros (PCO e PCV) da antena TRM 22020.00+GP.

Os valores obtidos nos primeiros experimentos da calibração relativa em campo (PCO e PCV) foram introduzidos em processamentos distintos (Seção 3.5), para a determinação das coordenadas geodésicas precisas. Essas coordenadas foram comparadas entre si, comparadas com coordenadas obtidas com parâmetros fornecidos pelo NGS e comparadas com coordenadas obtidas sem a interferência de nenhum parâmetro de calibração de antena. Nessas comparações foi possível analisar quanto esses parâmetros interferem na determinação de coordenadas geodésicas precisas e também analisar se existem discrepâncias entre elas.

A metodologia aplicada para uma análise estatística pode ser encontrada na Seção 3.6.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo será realizado na BCAL/UFPR (Seção 2.12) no Campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

3.2 EFEITO DO MULTICAMINHO NA BCAL/UFPR

O efeito do multicaminho é caracterizado pela chegada de um ou mais sinais, provenientes do mesmo satélite, na antena, devido à reflexões em superfície refletoras próximas da antena e durante o percurso do sinal do satélite ao receptor. Este efeito sempre vai existir sendo a maior fonte de erros na maioria das aplicações GPS (RAY, 1999). Com o objetivo de quantificar o efeito do multicaminho nos pilares que compõem a base de calibração os dados obtidos a partir de observações GPS, foram analisados com o programa TEQC (*Translate Edit Quality Check*) e Wasoft/Multipath.

Devido à diversidade dos ambientes e da natureza do material flexivo, as técnicas de atenuação dos efeitos do multicaminho são, no geral, de efeito insatisfatório. Isso faz com que o multicaminho seja ainda a fronteira limite para obtenção de alta confiabilidade nos resultados de levantamentos GPS (PALMA e FARRET, 2006).

O efeito do multicaminho já foi investigado anteriormente nesta base de calibração (FREIBERGER JUNIOR, 2007). Onde constatou que o pilar 1000(Oeste) era mais afetado por esse efeito do que o pilar 2000(Norte), pois existia muita vegetação em seu entorno. Com essa constatação pediu-se permissão junto ao IAP (Instituto Ambiental do Paraná) para corte dessa vegetação e uma nova análise foi realizada.

Para realizar a análise do efeito do multicaminho coletou-se dados de 3 sessões com receptores da Leica e 3 sessões com o receptor da Trimble, totalizando 6 sessões de rastreamento GPS de 24 horas, intervalo de gravação dos dados de 15 segundos, nos três pilares que compõem a BCAL/UFPR. Aplicou-se o Método de Posicionamento Geodésico Absoluto Estático⁵. Utilizaram-se dois equipamentos distintos para quantificar o efeito do multicaminho em cada pilar. A variação média do efeito de multicaminho dependente da mudança dos equipamentos isso pode ser verificado utilizando equipamentos distintos.

3.2.1 Equipamentos Utilizados Para a Análise do Efeito do Multicaminho

Para a aquisição das observações GPS para análise do multicaminho, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- ✓ Receptor geodésico de dupla frequência Leica GPS1200 (FIGURA 28);
- ✓ Antena Leica AT504 Choke Ring (FIGURA 29);



FIGURA 28 - GPS 1200
FONTE: LEICA GEOSYSTEMS (2008)



FIGURA 29 - ANTENA LEICA AT504
FONTE: LEICA GEOSYSTEMS (2008)

⁵ Método de Posicionamento Geodésico Absoluto Estático - No posicionamento absoluto estático necessita-se de apenas um receptor, e a posição do ponto é determinada em tempo real ou pós-processada, no sistema de referência vinculado ao GPS, ou seja, o WGS 84 (*World Geodetic System – 84*).

- ✓ Receptor geodésico de dupla frequência Trimble 4000 SSI (FIGURA 30);
- ✓ Antena TRM 22020.00+GP (FIGURA 31).



FIGURA 30 - RECEPTOR TRIMBLE 4000 SSI
FONTE: A autora (2009)

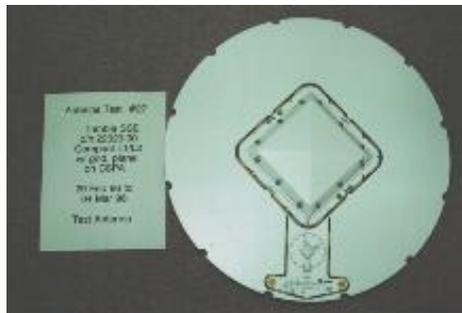


FIGURA 31 - ANTENA TRM22020.00+GP
FONTE: LEICA GEOSYSTEMS (2008)

Visando a atender ao objetivo de quantificar o efeito do multicaminho nos pilares de calibração, a qualidade dos dados foi analisada e obteve-se a variação média desse efeito para ambas portadoras (L1 e L2) com o programa TEQC e o Wasoft/Multipath.

3.2.1.1 TEQC

Para a análise da qualidade dos dados será utilizado o módulo QC TEQC. Esse programa foi desenvolvido pela *Universidade Navstar Consortium* (UNAVCO, 2008) em ambiente MS-DOS, através de uma linha de comando orientado.

O TEQC realiza o processamento dos dados de um posicionamento, coletado com um único receptor GPS de dupla frequência, através dos arquivos RINEX 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, multicaminho (MP1 e MP2), atraso do sinal causado pela ionosfera, deriva do relógio do receptor, ângulos de azimute e elevação dos satélites.

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):

$$MP1 = PD_{L1} - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right)\phi_{L1} + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right)\phi_{L2} = M_{PD1} + B_1 - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right)M_{\phi_1} + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right)M_{\phi_2} \quad (3.1)$$

$$MP2 = PD_{L2} - \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right)\phi_{L1} + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1\right)\phi_{L2} = M_{PD2} + B_2 - \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right)M_{\phi_1} + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1\right)M_{\phi_2} \quad (3.2)$$

Onde as tendências (*bias terms*) B_1 e B_2 resultam das ambiguidades da fase e são dados por:

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

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

sendo:

- ✓ PD_{L1} , PD_{L2} são as medidas simultâneas de pseudodistância, em cada portadora (L1 e L2) respectivamente;
- ✓ $\alpha = \left(\frac{f_{L1}^2}{f_{L2}^2}\right)$, sendo f_{L1} a freqüência na L1 e f_{L2} a freqüência na L2;
- ✓ λ_1 e λ_2 são comprimentos de onda de L1 e L2 respectivamente;
- ✓ ϕ_{L1} e ϕ_{L2} são as medidas da fase para cada portadora (L1 e L2);
- ✓ M_{PD1} e M_{PD2} representam o efeito do multicaminho em PD_{L1} e PD_{L2} ;
- ✓ M_{ϕ_1} e M_{ϕ_2} representam o efeito do multicaminho em ϕ_{L1} e ϕ_{L2} ;
- ✓ n é o número de ciclos inteiros.

Analisando as equações (3.1) e (3.2), nota-se que no segundo membro das mesmas os MP_S , podem ser calculados exclusivamente 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_{ϕ} e das tendências B originadas das ambiguidades (desconhecidas) da fase (SOUZA et al., 2005).

3.2.1.2 Wasoft/Multipath

O programa Wasoft/Multipath é um programa comercial desenvolvido pela empresa WaSOFT . Segundo Wanniger (2009), esse programa permite a detecção, localização e quantificação das influências do multicaminho na fase da portadora. A execução do processo é realizada a partir de três a seis estações fixas que o programa estrutura em uma rede de estações de referência. Estas estações não devem distar mais que 100 quilômetros entre si e suas antenas devem ter coordenadas geodésicas conhecidas com precisão de um centímetro. São necessárias observações de 24 horas de rastreamento contínuo e simultâneo baseado em medições nas portadoras L1 e L2.

Segundo Freiburger Junior (2007), o programa Wasoft/Multipath tem um algoritmo implementado que permite a quantificação do efeito do multicaminho por meio do cálculo de correlação entre estações pertencentes a uma rede.

Esse programa tem um módulo que permite a localização da ocorrência do multicaminho, que pode representar essa ocorrência em gráficos. A variação do efeito do multicaminho é representada por um sistema de coordenadas com resolução de 2° em elevação por 10° em azimute. Esses gráficos são representados por símbolos, os quais quantificam a influência de multicaminho na dupla-diferença de fase.

3.3 DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS PRECISAS DOS PILARES QUE COMPÕEM A BCAL/UFPR

Segundo Seeber (2003), a melhor antena para a determinação de coordenadas geodésicas de um marco é a “Choke Ring”, pois essa atenua o efeito do multicaminho. Como foi comprovado que o receptor Leica GPS 1200 associado à antena AT504, sofre menos o efeito de multicaminho, optou-se por determinar as coordenadas precisas dos pilares de calibração com esse conjunto (receptor+ antena).

Para a aquisição das observações GPS foram utilizados os seguintes equipamentos: receptor geodésico de dupla frequência Leica GPS1200 e antena Leica AT504 Choke Ring. Aplicou-se o Método de Posicionamento Geodésico Relativo Estático⁶, em quatro sessões de seis horas, com intervalo de gravação dos dados de 15 segundo, baseado na norma de homologação de marcos geodésicos (IBGE, 2008). A estação de referência base para o processamento dos dados foi a estação UFPR da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC).

Os dados foram processados com o programa comercial *LEICA Geo Office 5.0*, desenvolvido pela empresa Leica *Geosystems*, para o sistema operacional Windows.

3.3.1 Processamentos dos Dados

Para a determinação das coordenadas geodésicas precisas dos pilares de calibração os dados brutos coletados das observações foram processados com a estação base UFPR. No processamento foram utilizadas as efemérides precisas, bem como, valores do PCO e PCV das antenas envolvidas e máscara de elevação de 15°. Os valores do centro de fase (PCO e PCV) das antenas foram obtidos no site do NGS.

A estação Curitiba UFPR (FIGURA 32), possui coordenadas precisas no sistema de referência SIRGAS2000 (Época 2000,4) (Tabela 1), e não dista mais que 40 metros da base de calibração, gerando uma linha de base curta. Essa estação base é equipada com um receptor tipo NetR5 (FIGURA 33) e uma antena Zephyr GNSS Geodetic Model 2 (FIGURA 33).

⁶ Método de Posicionamento Geodésico Relativo Estático - Esse método consiste em dois ou mais receptores rastreiam, simultaneamente, os satélites visíveis por um período de tempo que podem variar de 20 minutos até algumas horas (MONICO, 2008).



FIGURA 32 - ESTAÇÃO CURITIBA UFPR
FONTE: A autora (2009)



FIGURA 33 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA
ESTAÇÃO UFPR
FONTE: TRIMBLE (2008)

TABELA 1 - COORDENADAS PRECISAS DA ESTAÇÃO REFERÊNCIA UFPR –CURITIBA
(SIRGAS 2000)

Coordenadas Geodésicas			
Latitude	25°26'54,1269" S	Sigma:	0,001 m
Longitude	49°13'51,4372" W	Sigma:	0,001 m
Altitude Elipsoidal	925,91 m	Sigma:	0,004 m
Altitude Ortométrica	924,3213 m		Nivelamento Geométrico Origem: Imbituba Classe: Alta precisão Ajustada

FONTE: IBGE (2008)

O programa Leica Geo Office permite que importe um arquivo.txt com valores dos *offsets* das antenas (PCO e PCV). Estes valores dos *offsets* das antenas envolvidas foram obtidos com a calibração relativa a nível absoluto pelo NGS. Os valores dos PCV podem ser observados na Tabela 2.

TABELA 2 - PCO ANTENAS ENVOLVIDAS NO PROCESSAMENTO DAS COORDENADAS PRECISAS DOS PILARES DE CALIBRAÇÃO

Antena: LEIAT504		Descrição: D/M element, chokerings, -radome	
PCO L1- Norte (mm)	0,9	PCO L2- Norte (mm)	1,0
PCO L1- Leste (mm)	-0,8	PCO L2- Leste (mm)	0,5
PCO L1- Vertical (mm)	90,5	PCO L2- Vertical (mm)	120,3
Antena: TRM55971.00		Descrição: Zephyr GNSS Geodetic Model 2	
PCO L1- Norte (mm)	2,2	PCO L2- Norte (mm)	0,7
PCO L1- Este (mm)	0,2	PCO L2- Este (mm)	0,6
PCO L1- Vertical (mm)	66,2	PCO L2- Vertical (mm)	62,2

FONTE: NGS (2008)

No processamento dos dados formaram-se vetores independentes e após a verificação dos desvios-padrão, ajustaram-se os vetores para determinar as coordenadas dos pilares.

3.4 IMPLANTAÇÃO DO MÉTODO DE CALIBRAÇÃO RELATIVO EM CAMPO

Visando a realização de alguns experimentos para a determinação dos parâmetros de calibração da antena GPS TRM22020.00+GP foram utilizados os pilares 1000(Oeste) como estação de referência e 2000(Norte) como antena a ser calibrada. Aplicou-se o método de calibração relativo em campo e determinaram-se os parâmetros de calibração (PCO e PCV) a nível absoluto. A antena a ser calibrada foi rotacionada com o mecanismo DRB (*Drehrumbum*). Os dados foram pós-processados com o programa Wasoft/Kalib.

Os equipamentos utilizados para realizar os experimentos de calibração relativa de antenas GPS na BCAL/UFPR foram:

Na Estação de referência:

- ✓ Receptor geodésico de dupla freqüência Leica GPS1200;
- ✓ Antena Leica AT504 Choke Ring.

Na Estação antena a ser calibrada:

- ✓ Mecanismo DRB 2.0;
- ✓ Receptor geodésico de dupla freqüência TRIMBLE 4000 SSI;
- ✓ Antena TRM22020.00+GP.

O mecanismo DRB (*DrehRumBum*) foi desenvolvido pela Faculdade Técnica de Dresden para atender experimentos científicos, em especial na área de calibração de antenas de receptores GNSS. Ele substitui o suporte de fixação de instrumentos geodésicos à base nivelante (FREIBERGER JUNIOR, 2007) (FIGURA 34).



FIGURA 34 - MECANISMO DRB 2.0
 FONTE: A autora (2009)

Esse mecanismo é automático e rotaciona a antena GNSS em azimutes e direções programados. Ele possui um GPS interno que auxilia na orientação desse mecanismo para direção norte, porém deve-se verificar se a antena está realmente orientada para o norte, se ela não estiver deve-se orientá-la nesta direção.

Pode se verificar na FIGURA 35 o esquema de medição em cada direção. A primeira medição GPS é realizada na direção norte, depois de 15 segundos o mecanismo move a antena para a direção sul (norte-sul), mais 15 segundos para direção oeste (sul-oeste), e por fim depois do instante inicial do giro, 45 segundos na direção leste (oeste-leste). Completado 60 segundos (1 minuto) o DRB rotaciona a antena em quatro direções diferentes.

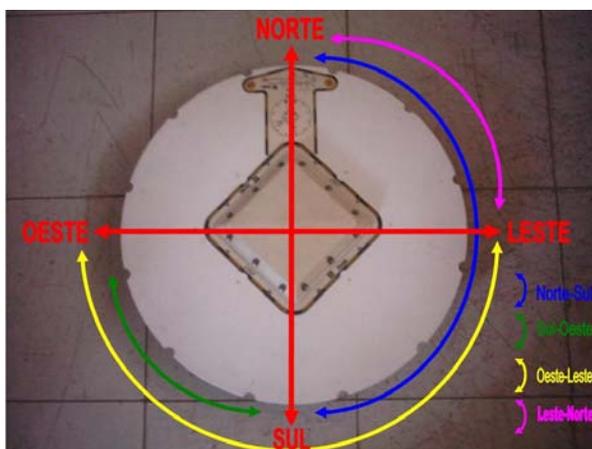


FIGURA 35 - ESQUEMA DE MEDIDAS GPS COM O MECANISMO DRB
 FONTE: A autora (2009)

3.4.1 Programas Utilizados

Os programas utilizados para determinação, bem como análises dos dados de calibração foram: Wasoft/Kalib 2.0, CCANT 2.3, CCANTEX 1.0, desenvolvidos pelo Prof. Dr.-Ing. Lambert Wanninger e comercializados pela empresa WaSOFT e o programa Matlab 6.5.

O programa Wasoft/Kalib tem como objetivo principal determinar os parâmetros de calibração relativa de antena GNSS, as correções do centro de fase médio (PCO) e as variações do centro de fase denominadas de PCV. Permite processamento de observações geradas a partir de rotações automáticas da antena em observações de 24 horas ou a partir de rotação manual em observações de quatro dias. Realiza o processamento de tarefas a partir de módulos constituintes do programa Wasoft. Esses módulos são:

- a) Wasoft: realiza o processamento da linha de base e a resolução das ambiguidades;
- b) Wanet: realiza conferência da resolução das ambiguidades. Gera um protocolo que contém resultado da linha de base, bem como porcentagem das ambiguidades resolvidas.
- c) Waant: realiza a determinação dos valores de calibração da antenas, PCO e PCV, possibilita a saída desses valores em diferentes formatos (por exemplo ANTEX (seção 2.10.6)).

A determinação dos parâmetros de calibração da antena a ser calibrada exige que sejam aplicados os valores do PCO e do PCV da antena de referência.

O CCANT permite o manuseio das correções do centro de fase de antenas GNSS e também permite a redução dos valores da PCV obtidos de diversos experimentos para valores de PCO de referência para se realizar as comparações necessárias.

Segundo Wanninger (2009), o programa CCANTEX 1.0 realiza análises dos arquivos ANTEX (seção 2.10.6) gerados pelo programa Wasoft/Kalib 2.0. Verifica-se os resíduos comparando PCO médios com o PCO extraído do arquivo ANTEX para L1/L2/L5 GPS e para L1/L2 GLONASS.

O Matlab 6.5 é um programa comercial que possibilita realizar cálculos, diversas operações matemáticas, e permite criar rotinas de programação, facilitando assim a geração de gráficos.

3.4.2. Levantamentos de Campo

As medições foram realizadas pelo método relativo com rotações automáticas da antena com o DRB, durante 24 horas, com intervalo de gravação dos dados de 15 segundos e com máscara de elevação dos satélites de 0°.

Pode se observar no QUADRO 3 o panorama das medições GPS efetuadas. Foram realizadas sete observações GPS visando a calibração, para efeitos de comparação. Verifica-se neste QUADRO os equipamentos empregados com as suas devidas identificações e os horários de início e fim de cada experimento.

Calibração relativa de antenas GPS				
Intervalo de gravação dos dados:	15 segundos	Máscara de elevação dos satélites:		0°
Pilar :	1000(Oeste)	Pilar:		2000(Norte)
Receptor:	Leica GPS 1200	Receptor:		Trimble 4000 SSI
Antena:	AT504	Antena:		TRM22020.00+GP
Número (série):	103223	Número (série):		220030036
Experimento	Data da observação GPS	Dia GPS	Horário do Início	Horário do Fim
1°	1/9/2008	245	10:45:00 (01/09/08)	10:45:00 (02/09/08)
2°	2/9/2008	246	12:15:00 (02/09/08)	12:15:00 (03/09/08)
3°	3/9/2008	248	11:30:00 (04/09/08)	11:30:00 (05/09/08)
4°	20/3/2009	79	17:46:30 (20/03/09)	17:46:30 (21/03/09)
5°	17/4/2009	107	18:00:00 (17/04/09)	18:00:00 (18/04/09)
6°	18/4/2009	108	18:10:00 (18/04/09)	18:10:00 (19/04/09)
7°	22/4/2009	112	13:00:00 (22/04/09)	13:00:00 (23/04/09)

QUADRO 3 - DADOS DO LEVANTAMENTO DE CAMPO PARA REALIZAÇÃO DA CALIBRAÇÃO
 FONTE: A autora (2009)

3.4.2.1 Nivelamento das Estações

Segundo Freiburger Junior (2007), na calibração relativa, a determinação da componente vertical do PCO das antenas se fundamenta na diferença de nível entre o ARP da antena de referência e o ARP da antena a ser calibrada.

Para determinar a diferença de nível entre os ARPs aplicou-se o método de nivelamento geométrico empregando o nível da Leica DNA 03. Esse nível é digital, tem precisão de 0,3 mm e utilizam-se miras de código de barra para determinar o desnível dos pontos.

Em ambos os pilares fizeram-se medidas de nível em três posições diferentes em cima do plano do pilar e no ARP. O nivelamento foi executado antes e depois do término das medições GPS, e sempre que o mecanismo DRB era instalado no pilar.

A altura de cada antena é determinada a partir da média das observações de nível no plano do pilar menos o valor obtido fazendo a leitura da mira em cima do ARP. E a diferença de nível entre o ARP das duas estações (Δh) é a diferença da medida realizada no ARP da antena de referência e ARP da antena a ser calibrada.

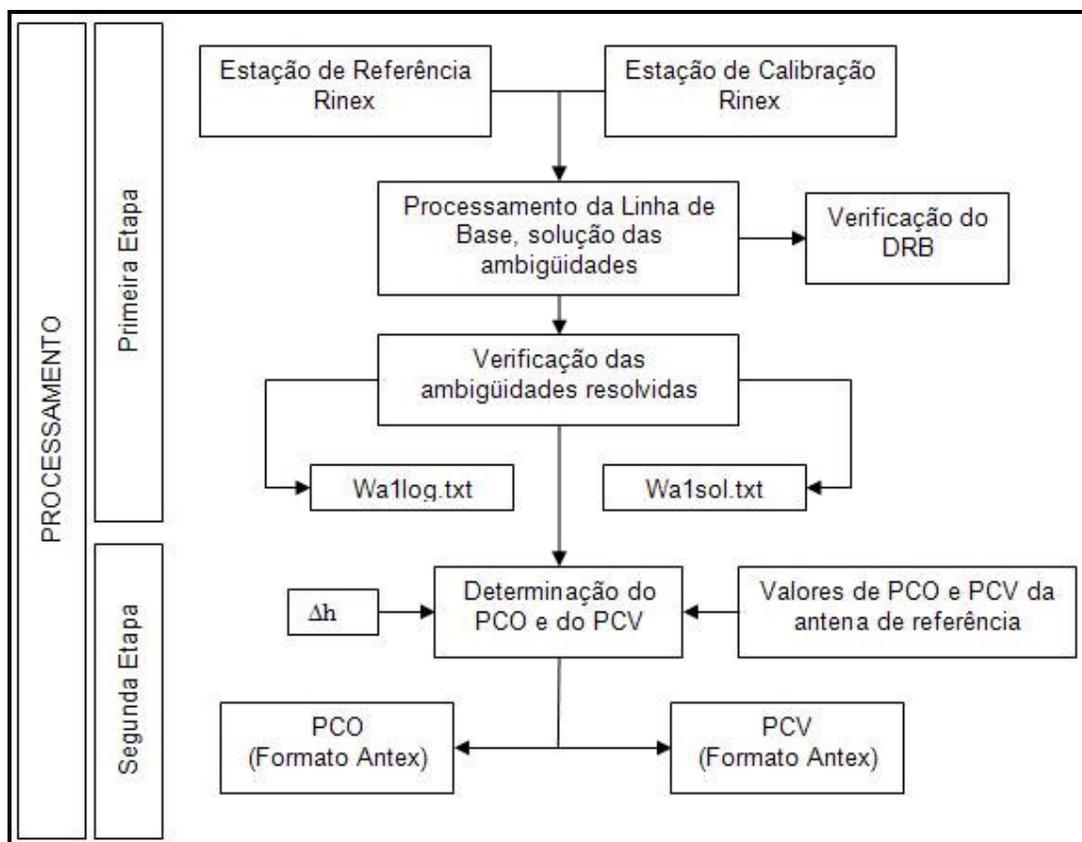
Uma vez determinadas às diferenças de nível, as antenas eram fixadas em seus respectivos pilares, orientadas para a direção norte e iniciadas as medições GPS.

3.4.3 Medições GPS e Processamentos de Dados

A antena a ser calibrada foi fixada no mecanismo DRB. As medições GPS ocorreram em um período de 24 horas, com intervalo de gravação dos dados de 15 segundos. Na antena a ser calibrada o mecanismo DRB rotacionou a antena a cada 15 segundos em direções programadas.

As observações GPS foram processadas com o programa Wasoft/Kalib. Esse processamento realiza duas etapas fundamentais: a determinação da linha de base entre a estação de referência e estação da antena a ser calibrada e, a determinação dos parâmetros de calibração da antena, valores de PCO e PCV.

Pode se verificar no QUADRO 4, um fluxograma que apresenta as etapas de processamento dos dados, bem como arquivos gerados.



QUADRO 4 - FLUXOGRAMA-ETAPAS DE PROCESSAMENTO DOS DADOS
 FONTE: ADAPTADO DE FREIBERGER JUNIOR (2007)

Na primeira etapa utilizam-se dois módulos do Wasoft/Kalib, o módulo Wasoft e o Waant. Primeiramente os dados brutos da estação de referência e da estação a ser calibrada são transformados no formato RINEX e, posteriormente inicia-se a leitura dos arquivos em Rinex. O programa realiza um teste inicial para verificar se a antena GPS foi rotacionada corretamente pelo mecanismo durante o período de observação. Nessa etapa ocorre o processamento da linha de base, solução das ambigüidades e verificação das mesmas. São gerados dois arquivos (Wa1log e Wa1sol) que contém informações do processamento da linha de base e da solução das ambigüidades.

Na segunda etapa determina-se o PCO e o PCV da antena a ser calibrada, baseando-se nas soluções com ambigüidades fixas. Esta determinação é dada em duas fases: cálculo das componentes planas do PCO, dedução do PCV

dependentes de elevação e dependente de azimute e elevação. Nessa fase introduziram-se os parâmetros de calibração da antena de referência e o Δh proveniente do nivelamento entre as duas estações.

A componente vertical do PCO da antena a ser calibrada é determinada em relação à antena de referência. Assim a diferença vertical provinda do processamento da linha de base é comparada com a diferença de nível (Δh), determinada via nivelamento.

Os PCV dependentes de azimute e elevação são modelados também em relação às características da antena de referência a partir dos resíduos da dupla diferença de fase e parametrização por funções esféricas (WANNINGER, 2002 apud FREIBERGER JUNIOR, 2007). É gerado um arquivo no formato ANTEX com valores do PCO e PCV da antena calibrada. Segundo Wübbena (2006a), desde março de 2003 no âmbito do IGS esse formato vem sendo testado e aos poucos vem substituindo o antigo formato IGS.

Segundo Freiburger Junior (2007), é comprovada a ocorrência de oscilações do centro de fase das antenas em virtude de diferenças construtivas, essas são atribuídas, por exemplo, a eventuais irregularidades de fabricação ou mesmo deslocamentos durante a montagem do elemento receptor no invólucro do instrumento. A característica de recepção do sinal em uma antena geodésica é influenciada pela construção da mesma, por esse motivo essas antenas devem ser calibradas, e devem ser tratadas de forma individual ao invés de se utilizar somente valores médios de correção do centro de fase. Fez-se três experimentos para comparar os valores do centro de fase de uma mesma antena, a TRM22020.00+GP, que podem levar a comprovação da citação acima.

Determinou-se valores de PCO, PCV dependentes de elevação e PCV dependentes de azimute e elevação, obtidos de calibração relativa em campo e processados a partir das correções absolutas da antena de referência (AT504).

Os valores do PCO e do PCV são independentes entre si e devem ser aplicados em conjunto. Para poder comparar os valores do PCVs deve-se reduzi-los a um valor comum (WÜBBENA et al., 2000). Essa redução pode ser realizada via programa CCANT. Para a realização dessa redução adotou-se como valor de referência o PCO da antena TRM22020.00+GP prescrito pelo NGS.

Também se realizou a análise de cada experimento de calibração com o programa CCANTEX. Esse programa permite verificar resíduos RMS dos valores do PCO e PCV para L1, L2 e L1/L2.

3.5 COORDENADAS GEODÉSICAS PRECISAS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV EM DIFERENTES LINHAS DE BASE

Para comparar coordenadas geodésicas obtidas com diferentes valores de parâmetros de calibração (PCO) e (PCO-PCV), da antena TRM22020.00+GP, foram realizados processamentos de dados aplicando PCO e PCO-PCV, obtidos através do método de calibração relativa em campo na BCAL/UFPR. Realizaram-se ainda experimentos aplicando os parâmetros de calibração fornecidos pelo NGS e também não aplicando nenhum parâmetro.

Realizaram-se experimentos modificando os parâmetros de calibração da antena variando PCO e PCO-PCV e também na estação de referência.

Coletou-se dados de 3 horas em um marco denominado RM 03 com a antena calibrada na BCAL/UFPR, modelo TRM22020.00+GP. O intervalo de gravação dos dados foi de 15 segundos, aplicou-se o método de posicionamento geodésico relativo estático. Esses dados foram processados no programa Leica Geo Office e como estação base adotou-se quatro estações (FIGURA 36) pertencentes à RBMC (QUADRO 5).



FIGURA 36 - ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA UTILIZADAS NO PROCESSAMENTO
FONTE: GOOGLE EARTH (2009)

ESTAÇÃO DE REFERÊNCIAS UTILIZADAS (RBMC)						
UFPR						
	Latitude	Sigma	Longitude	Sigma	Altitude Elipsoidal	Sigma
SIRGAS2000 (Época 2000,4)	25° 26' 54,1269" S	0,001 m	49° 13' 51,4372" W	0,001 m	925,81 m	0,004 m
Receptor	TRIMBLE NetR5		Antena	ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2		
Altura da antena	0.1000					
Linha de Base (RM 03-UFPR)	0,32 Km					
NEIA						
	Latitude	Sigma	Longitude	Sigma	Altitude Elipsoidal	Sigma
SIRGAS2000 (Época 2000,4)	25° 01' 12,8615" S	0,001 m	47° 55' 29,8867" W	0,001 m	6,06 m	0,004 m
Receptor	TRIMBLE 4000SSI		Antena	DORNE MARGOLIN T		
Altura da antena	0					
Linha de Base (RM 03- CANA)	139,91 Km					
POLI						
	Latitude	Sigma	Longitude	Sigma	Altitude Elipsoidal	Sigma
SIRGAS2000 (Época 2000,4)	23° 33' 20,3323" S	0,001 m	46° 43' 49,1232" W	0,001 m	730,62 m	0,004 m
Receptor	Leica GRX1200		Antena	LEIAX1202		
Altura da antena	0,0500 m					
Linha de Base (RM 03-POLI)	328,93 Km					
PSTE						
	Latitude	Sigma	Longitude	Sigma	Altitude Elipsoidal	Sigma
SIRGAS2000 (Época 2000,4)	22° 07' 11,6571" S	0,001 m	51° 24' 30,7225" W	0,001 m	431,05 m	0,003 m
Receptor	TRIMBLE NetR5		Antena	ZEPHYR GEODETIC (TRIMBLE)		
Altura da antena	0,0025					
Linha de Base (RM 03-PSTE)	430,24 Km					

QUADRO 5 - ESTAÇÕES DE REFERÊNCIAS UTILIZADAS (RBMC)

FONTE: IBGE (2008)

Para diferenciar os processamentos esses foram denominados de experimento 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6,7 e 8 ver QUADRO 6.

Experimentos	Aplicação parâmetros da antena TRM22020.00+GP obtidos da calibração relativa em campo do dia GPS:
Experimento 0	Sem aplicação de parâmetros de calibração
Experimento 1	Aplicação dos parâmetros do NGS
Experimento 2	DIA GPS 245
Experimento 3	DIA GPS 247
Experimento 4	DIA GPS 248
Experimento 5	DIA GPS 79
Experimento 6	DIA GPS 108
Experimento 7	DIA GPS 109
Experimento 8	DIA GPS 112

QUADRO 6 - APLICAÇÃO DOS VALORES DO PCO E PCO-PCV OBTIDOS DA CALIBRAÇÃO RELATIVA EM CAMPO EM DIFERENTES DIAS GPS

FONTE: A autora (2009)

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS OBTIDAS COM DIFERENTES PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO E DIFERENTES LINHAS DE BASE

Para validar estatisticamente que há diferenças significativas quando se utiliza diferentes parâmetros de calibração, optou-se por comparar as altitudes elipsoidais obtidas com diferentes parâmetros de calibração da antena TRM 22020.00+GP.

Inicialmente testou a normalidade dos dados através do Teste de Kolmogorov Smirnov e posteriormente aplicou-se o t-Student. Para aplicar estes testes utilizou-se o programa estatístico Statgraphics Centurion. Esse programa é comercial e é utilizado para realizar análises multivariadas e tem implementados diversos testes estatísticos.

O teste de Kolmogorov-Smirnov é aplicado para testar se a característica estudada da amostra é oriunda de uma população com distribuição normal, se o teste for positivo, significa que as amostras são normais, então pode-se aplicar testes paramétricos, como o teste t-Student. Segundo Silva e Ferreira (2008), o teste de Kolmogorov-Smirnov, também conhecido por teste de Lilliefors, é um teste amplo de função distribuição empírica para a hipótese nula (composta) de normalidade. A estatística de teste é diferença máxima absoluta entre a função distribuição acumulada hipotética e empírica. Ele pode ser calculado como:

$$D = \max(D^+, D^-) \quad (3.5)$$

$$D^+ = \max_{i=1, \dots, n} \left(\frac{i}{n} - p(i) \right) \quad (3.6)$$

$$D^- = \max_{i=1, \dots, n} \left(p(i) - \frac{i-1}{n} \right) \quad (3.7)$$

$$p(i) = \Phi \left(X_{(i)} - \frac{\bar{X}}{S} \right) \quad (3.8)$$

Onde:

D : é a distância;

n : número de amostras;

Φ : é função distribuição normal;

\bar{X} : é a média;

S : é o desvio padrão amostral.

O teste t-Student é um teste paramétrico utilizado quando se compara dois conjuntos de amostras. Segundo Andriotti (2005), esse teste só pode ser aplicado quando a distribuição da população original for normal. É um teste que serve para verificar se uma determinada diferença encontrada entre medidas de dois grupos é estatisticamente significativa. Segundo Levin (1977), o teste t-Student é um teste de hipótese para médias e pode ser obtido de uma forma geral por:

$$t = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1 - 1} + \frac{S_2^2}{n_2 - 1}}} \quad (3.9)$$

Onde:

\overline{X}_1 e \overline{X}_2 : são as médias para o grupo de amostras 1 e 2;

S_1 e S_2 : desvio padrão das amostras 1 e 2;

n = quantidade de elementos para cada amostra.

As hipóteses são:

$$H_0 = \overline{X}_1 = \overline{X}_2 \quad \text{e} \quad H_1 = \overline{X}_1 \neq \overline{X}_2.$$

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Nessa seção será apresentada a análise feita para determinar o efeito do multicaminho, o resultado das coordenadas geodésicas precisas dos pilares de calibração e os parâmetros de calibração (PCO e PCV) gerados na BCAL/UFPR. Também nessa seção poderá ser verificada a determinação de coordenadas geodésicas de um marco a partir de diferentes parâmetros de calibração e uma análise estatística das altitudes obtidas com diferentes parâmetros de calibração e diferentes linhas de base, conforme descritos no capítulo 3.

4.1 EFEITO DO MULTICAMINHO

Na sequência serão mostradas as análises do efeito do multicaminho para os pilares (1000 (Oeste), 2000 (Norte) e 3000 (Sul)) que compõem a BCAL/UFPR com dois programas: TEQC e Wasoft/Multipath.

4.1.1 Análise do Efeito do Multicaminho na BCAL/UFPR com o Programa TEQC

Pode-se verificar na Tabela 3 o valor mínimo, o valor máximo e o valor médio da variação do efeito do multicaminho para o Pilar 1000 (Oeste), para ambas as portadoras, L1 e L2, com os receptores Leica GPS1200 e TRIMBLE 4000 SSI.

Constatou-se que as maiores variações do efeito do multicaminho foram obtidas com dados do receptor TRIMBLE 4000 SSI e com a antena TRM22020.00+GP. Verifica-se também que o maior valor médio é de 1,49647 m, e ocorre para a portadora L2 (receptor TRIMBLE 4000 SSI).

TABELA 3 - VARIAÇÃO DO EFEITO DO MULTICAMINHO PARA O PILAR 1000(OESTE)

Variação do efeito do multicaminho para o pilar 1000(Oeste) em metros		
Receptor : Leica GPS1200		
Dia GPS	L1	L2
319_08	0,33786	0,35125
320_08	0,36348	0,40045
322_08	0,31536	0,34700
Valor Mín	<i>0,31536</i>	<i>0,34700</i>
Valor Max	<i>0,36348</i>	<i>0,40045</i>
Valor Médio	<i>0,33890</i>	<i>0,36623</i>
Receptor: TRIMBLE 4000 SSI		
Dia GPS	L1	L2
323_08	0,25041	1,49458
325_08	0,24723	1,49836
Valor Mín	<i>0,24723</i>	<i>1,49458</i>
Valor Max	<i>0,25041</i>	<i>1,49836</i>
Valor Médio	<i>0,24882</i>	<i>1,49647</i>

FONTE: A autora (2009)

Em um estudo anterior (FREIBERGER JUNIOR, 2007), verificou-se que o pilar 1000 (Oeste) era mais afetado pelo efeito do multicaminho do que o pilar 2000 (Norte). Notou-se através de um levantamento de obstrução que existiam muitas árvores entorno do pilar que poderia estar contribuindo para efeito do multicaminho (FIGURA 37). Ocorreu o corte dessas árvores e uma nova análise foi realizada para verificar se houve redução no o efeito do multicaminho.

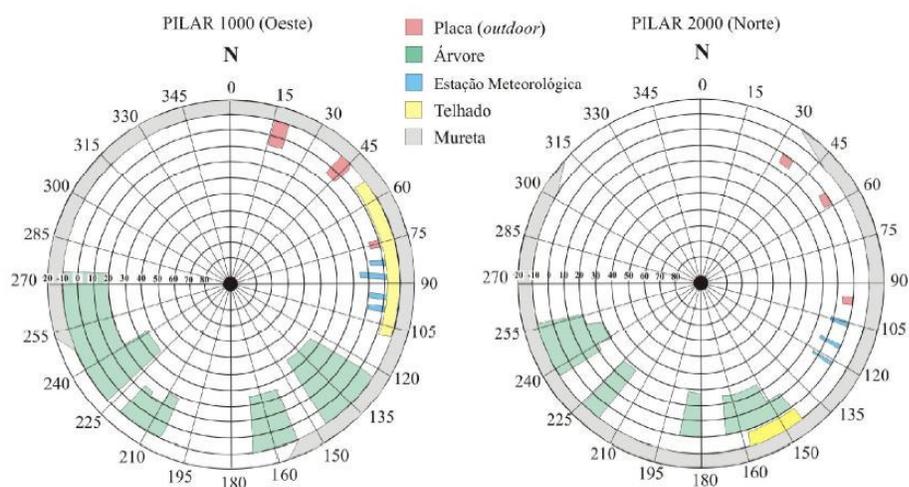


FIGURA 37 - LEVANTAMENTO DE OBSTRUÇÃO PILAR 1000 (OESTE) E PILAR 2000 (NORTE)
 FONTE: FREIBERGER JUNIOR (2007)

Verifica-se na Tabela 4 a variação média do efeito do multicaminho antes e depois do corte das árvores. Observa-se que os valores diminuíram para ambos os experimentos, pode-se concluir que o corte das árvores favoreceu a diminuição do efeito do multicaminho.

Constata-se que para a antena do receptor Leica, esta redução foi de cerca de 62% para L1 e de 47% para L2.

TABELA 4 - VARIACÃO DO EFEITO DO MULTICAMINHO PARA O PILAR 1000(OESTE) ANTES E DEPOIS DO CORTE DAS ÁRVORES

Receptor	Antes do corte das árvores		Depois do corte das árvores	
	L1 (m)	L2 (m)	L1 (m)	L2 (m)
Leica GPS1200	0,543	0,730	0,339	0,336
TRIMBLE 4000 SSI	0,600	1,621	0,249	1,469

FONTE: A autora (2009)

Verifica-se na Tabela 5 as maiores variações do efeito do multicaminho para o Pilar 2000 (Norte). Nesta tabela apresentam-se as variações para os dados obtidos com receptor Leica com a antena Choke Ring e o receptor Trimble 4000 SSI com a antena TRM22020.00+GP. Nota-se que o valor mínimo calculado é de aproximadamente 0,24 m, e ocorre para a portadora L1 (receptor Trimble 4000 SSI).

TABELA 5- VARIACÃO DO EFEITO DO MULTICAMINHO PARA O PILAR 2000(NORTE)

Variação do efeito do multicaminho para o pilar 2000(Norte) em metros		
Receptor : Leica GPS1200		
Dia GPS	L1	L2
323_08	0,36871	0,38999
325_08	0,36714	0,36927
326_08	0,37363	0,38922
Valor Mín	<i>0,36714</i>	<i>0,36927</i>
Valor Max	<i>0,36871</i>	<i>0,38999</i>
Valor Médio	<i>0,36983</i>	<i>0,38283</i>
Receptor: TRIMBLE 4000 SSI		
Dia GPS	L1	L2
329_08	0,26579	1,58038
330_08	0,26752	1,61303
331_08	0,23832	1,65322
Valor Mín	<i>0,23832</i>	<i>1,58038</i>
Valor Max	<i>0,26752</i>	<i>1,65322</i>
Valor Médio	<i>0,25721</i>	<i>1,61554</i>

FONTE: A autora (2009)

Na Tabela 6 observam-se a variação do efeito do multicaminho para o Pilar 3000 (Sul). Verifica-se que o menor valor médio obtido é de 0,34 m para a portador L1 (receptor Trimble 4000 SSI).

TABELA 6-VARIAÇÃO DO EFEITO DO MULTICAMINHO PARA O PILAR 3000 (SUL)

Varição do efeito do multicaminho para o pilar 3000 (Sul) em metros		
Receptor: Leica GPS1200		
Dia GPS	L1	L2
320_08	0,71156	0,54801
329_08	0,62369	0,52617
331_08	0,52516	0,52508
Valor Mín	<i>0,52516</i>	<i>0,52508</i>
Valor Max	<i>0,71156</i>	<i>0,54801</i>
Valor Médio	<i>0,62013</i>	<i>0,53309</i>
Receptor: TRIMBLE 4000 SSI		
Dia GPS	L1	L2
319_08	0,36323	1,32830
322_08	0,38772	1,54892
330_08	0,26752	1,61303
Valor Mín	<i>0,26752</i>	<i>1,32830</i>
Valor Max	<i>0,38772</i>	<i>1,61303</i>
Valor Médio	<i>0,33949</i>	<i>1,49675</i>

FONTE: A autora (2009)

Na Tabela 7 pode se observar a variação média do efeito do multicaminho para ambos os pilares e para os dois receptores, Leica GPS 1200 e Trimble 4000 SSI. Pode-se observar que o pilar mais afetado pelo efeito do multicaminho é o Pilar 3000 (Sul), pois apresenta a maior variação média do efeito para ambos os receptores, exceto na onda portadora L2 com o receptor Trimble 4000 SSI.

TABELA 7-VARIAÇÃO MÉDIA DO EFEITO DO MULTICAMINHO DOS PILARES DA BCAL/UFPR

PILAR 1000 (Oeste)		
Receptor	L1	L2
Leica GPS1200	0,33890 m	0,36623 m
TRIMBLE 4000 SSI	0,24882 m	1,49647 m
PILAR 2000 (Norte)		
Receptor	L1	L2
Leica GPS1200	0,36983 m	0,38283 m
TRIMBLE 4000 SSI	0,25721 m	1,61554 m
PILAR 3000 (Sul)		
Receptor	L1	L2
Leica GPS1200	0,62013 m	0,53309 m
TRIMBLE 4000 SSI	0,33949 m	1,49675 m

FONTE: A autora (2009)

4.1.2 Análise do Efeito do multicaminho na BCAL/UFPR com o Programa Wasoft/Multipath

Para a realização da análise através do programa Wasoft/Multipath são necessários dados simultâneos de no mínimo 3 estações. Essa investigação foi composta sempre por dados simultâneos de dois pilares que compõe a Base e dados da estação de referência UFPR. Os dados foram processados durante uma missão de trabalho na Universidade de Karlsruhe.

Os gráficos que serão apresentados a seguir são representados por símbolos, QUADRO 7, os quais quantificam a influência do multicaminho nas duplas diferenças de fase.

Símbolo	Significado	RMS
Espaço vazio	Dados não disponíveis	-
ponto	Influência baixa	< 5mm
■	Influência média	< 15mm
■	Influência alta	>15mm

QUADRO 7- INTENSIDADE DO EFEITO DO MULTICAMINHO
 FONTE: FREIBERGER JUNIOR (2007)

Nos experimentos denominados de 1, 2 e 3, foram realizados rastreios de 3 sessões de 24 horas com o receptor Leica + antena Choke Ring (AT 504), e mais 3 sessões com o receptor Trimble + antena TRM 22020.00+GP.

O primeiro experimento analisou-se a influência do efeito do multicaminho no do pilar 1000 (Oeste). Pode-se verificar nas FIGURAS 38, 40 e 42, a influência do efeito do multicaminho para o Pilar 1000 (Oeste) com a antena Choke Ring (AT 504) e nas FIGURAS 39, 41 e 43, a influência do efeito do multicaminho com a antena TRM22020.00+GP.

Analisando-se as FIGURAS 38 a 43, percebe-se que o efeito do multicaminho é mais aparente quando foi empregada a antena da Trimble TRM22020.00+GP (FIGURA 39, 41 e 43).

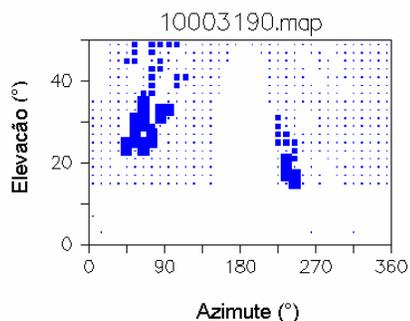


FIGURA 38 - PILAR 1000 (OESTE) - ANTENA AT 504 - DIA GPS 319-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

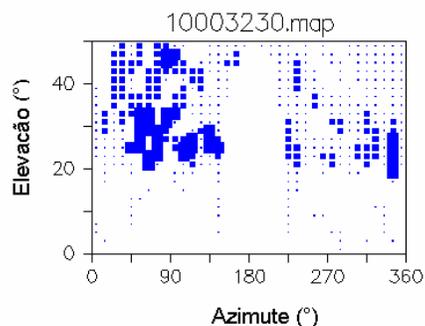


FIGURA 39 - PILAR 1000 (OESTE) - ANTENA TRM22020.00+GP- DIA GPS 323-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

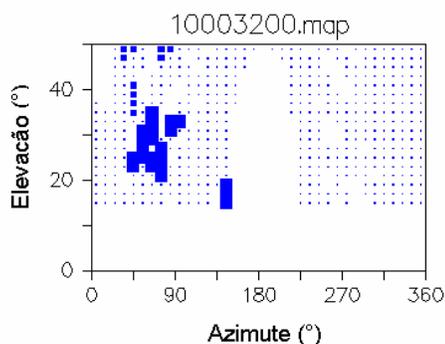


FIGURA 40 - PILAR 1000 (OESTE) - ANTENA AT 504 - DIA GPS 320-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

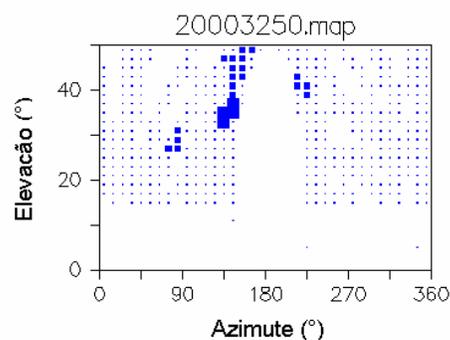


FIGURA 41- PILAR 1000 (OESTE)- ANTENA TRM22020.00+GP - DIA GPS 325-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

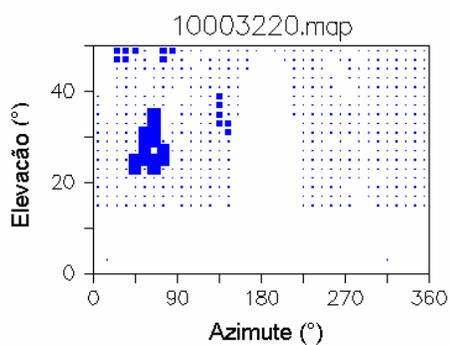


FIGURA 42 - PILAR 1000 (OESTE) - ANTENA AT 504 - DIA GPS 322-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

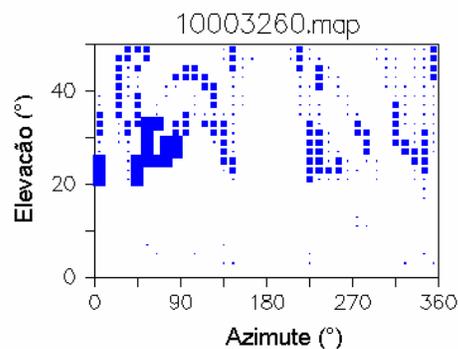


FIGURA 43 - PILAR 1000 (OESTE)- ANTENA TRM22020.00+GP - DIA GPS 326-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

A influência do efeito do multicaminho no Pilar 2000 (Norte) foi analisado no experimento 2. Pode-se verificar nas FIGURAS 44, 46 e 48, a influência do efeito do multicaminho para Pilar 2000 (Norte) com o receptor Leica e antena Choke Ring (AT 504) e nas FIGURAS 45, 47 e 49, a influência do efeito do multicaminho com o receptor Trimble com a antena TRM22020.00+GP.

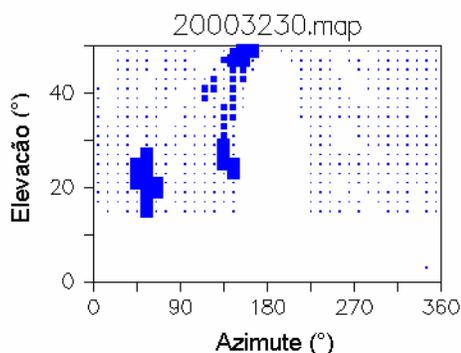


FIGURA 44 - PILAR 2000 (NORTE) - ANTENA AT 504 - DIA GPS 323-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

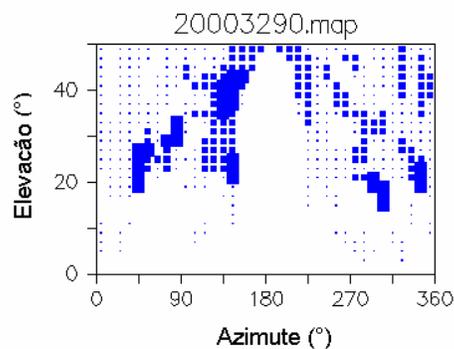


FIGURA 45 - PILAR 2000 (NORTE) - ANTENA TRM22020.00+GP - DIA GPS 329-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

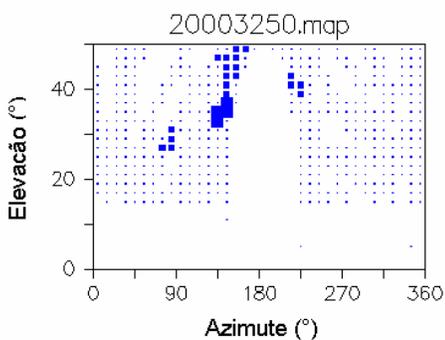


FIGURA 46 - PILAR 2000(NORTE) - ANTENA AT 504- DIA GPS 325-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

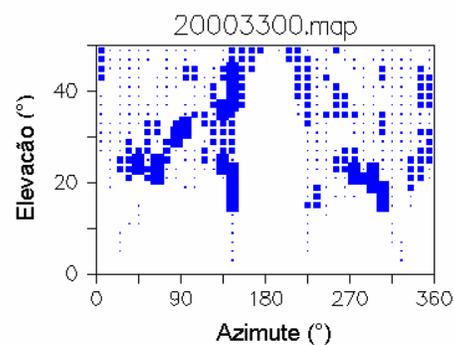


FIGURA 47 - PILAR 2000(NORTE) - ANTENA TRM22020.00+GP - DIA GPS 330-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

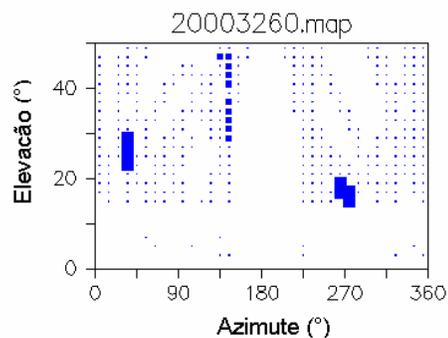


FIGURA 48 - PILAR 2000(NORTE)- ANTENA AT 504 - DIA GPS 326-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

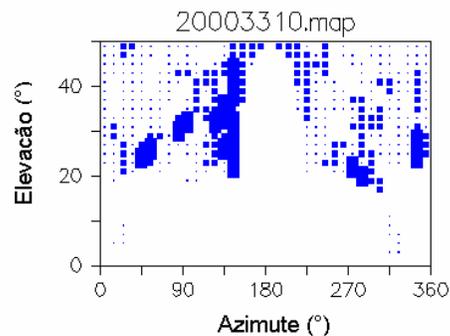


FIGURA 49 - PILAR 2000 (NORTE) - ANTENA TRM22020.00+GP - DIA GPS 331-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

Percebe-se que a presença do efeito do multicaminho é maior nas FIGURAS 45, 47 e 49, ressalta-se que, nesse experimento a antena utilizada nesse pilar foi a antena da Trimble TRM22020.00+GP.

O terceiro experimento consiste na análise do efeito do multicaminho no pilar 3000(Sul). Pode-se verificar nas FIGURAS 50, 52 e 54, a influência do efeito do multicaminho para o terceiro experimento Pilar 3000(Sul) com o receptor Leica e a antena Choke Ring e nas FIGURAS 51, 53 e 55, a influência do efeito do multicaminho no Pilar 3000 (Sul) com o receptor Trimble e antena TRM 22020.00+GP.

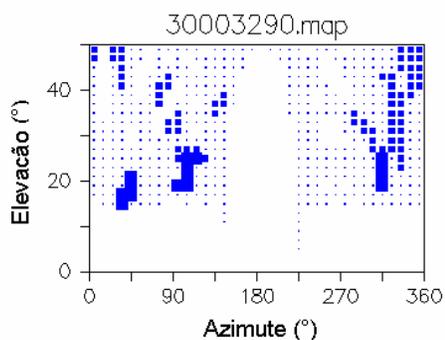


FIGURA 50 - PILAR 3000 (SUL) - ANTENA AT 504 - DIA GPS 329-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

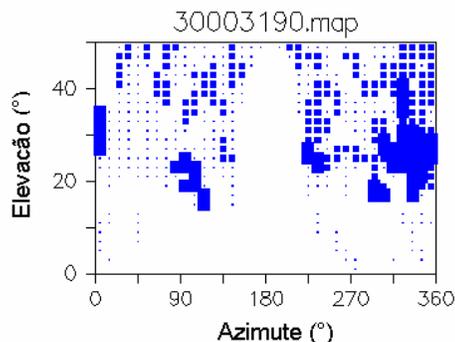


FIGURA 51 - PILAR 3000 (SUL)- ANTENA TRM22020.00+GP - DIA GPS 319-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

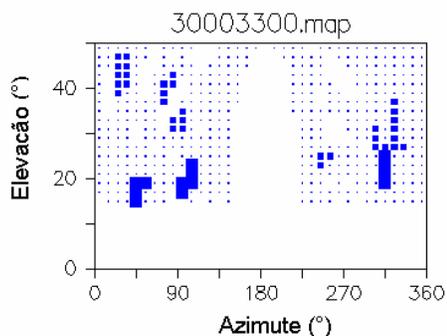


FIGURA 52 - PILAR 3000 (SUL) - ANTENA AT 504 - DIA GPS 30-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

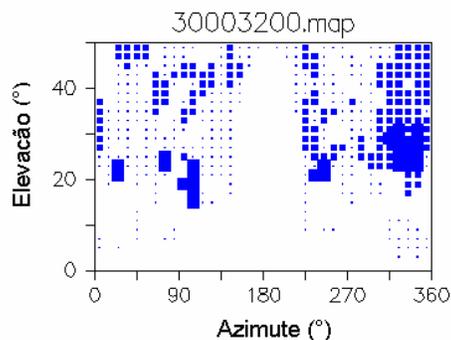


FIGURA 53 - PILAR 3000 (SUL) - ANTENA TRM22020.00+GP - DIA GPS 320-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

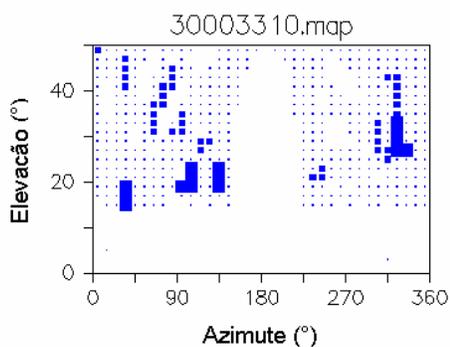


FIGURA 54 - PILAR 3000 (SUL) - ANTENA AT 504 - DIA GPS 331-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

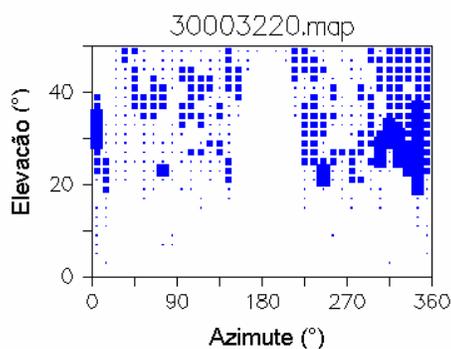


FIGURA 55 - PILAR 3000 (SUL) - ANTENA TRM22020.00+GP - DIA GPS 322-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

Nota-se observando as FIGURAS 50 a 55, que as menores intensidades do efeito do multicaminho aparecem quando se observou dados com o receptor Leica e antena Choke Ring (FIGURAS 50, 52 e 54).

Depois de verificado nos experimento 1, 2 e 3, que a antena AT 504 quantifica a menor variação do efeito do multicaminho em ambos os pilares (1000, 2000 e 3000), partiu-se para a análise de cada pilar.

Na FIGURA 56 pode-se verificar a influência do efeito do multicaminho para o Pilar 1000(Oeste). Percebe-se que as maiores intensidades $RMS > 15\text{mm}$ (Quadro 7), estão próximos ao azimute de 45° a 90° com elevações de aproximadamente 22° à 37° . No azimute de 135° com elevação acima de 30° observa-se intensidade média do efeito do multicaminho ($RMS < 15\text{mm}$).

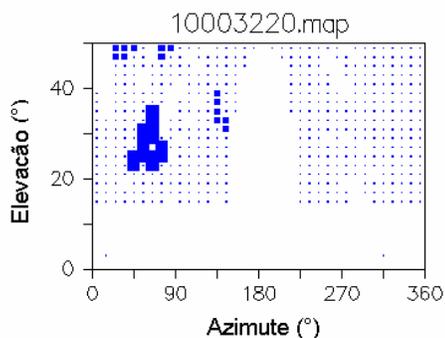


FIGURA 56 - PILAR 1000(OESTE)- ANTENA AT 504 - DIA GPS 322-08
 FONTE: KRUEGER (2009)

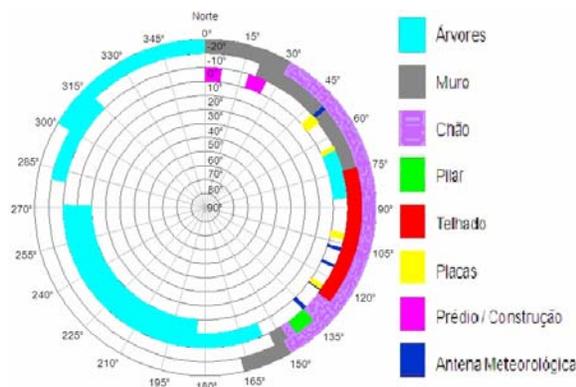


FIGURA 57 - DIAGRAMA DE OBSTRUÇÃO PILAR 1000 (OESTE)
 FONTE: A autora (2009)

Pode-se observar na FIGURA 57 o diagrama de obstrução do Pilar 1000 (Oeste). Nota-se que a região indicada na FIGURA 57, com maiores intensidades do efeito do multicaminho (azimute próximo a 90°) encontram-se vários elementos que podem estar influenciando, como o chão, telhado, placas e árvores. Também verifica-se que no azimute próximo a 135° encontra-se um pilar que faz parte da BCAL/UFPR e também novamente o elemento chão.

A influência do efeito do multicaminho para o Pilar 2000 (Norte) pode ser verificada na FIGURA 58. Observa-se que as maiores intensidades ($RMS > 15\text{mm}$) estão próximas aos azimutes: 30° a 45° com elevações acima de 22° e azimute 270° com elevações acima de 10° .

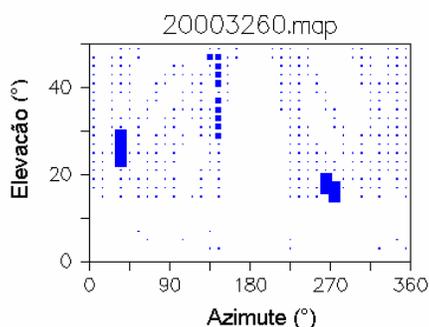


FIGURA 58 - PILAR 2000 (NORTE) – ANTENA AT 504 - DIA GPS 326-08
 FONTE: A autora (2009)

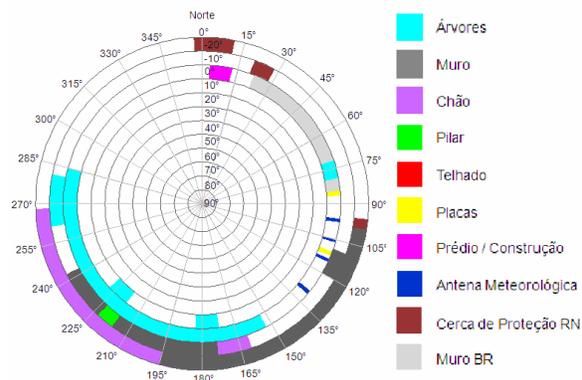


FIGURA 59 - DIAGRAMA DE OBSTRUÇÃO PILAR 2000 (NORTE)
 FONTE: A autora (2009)

O diagrama de obstrução do Pilar 2000 (Norte) está indicado na FIGURA 59. Nota-se nessa figura que a região indicada na FIGURA 58, com maiores intensidades do efeito do multicaminho (azimute próximo a 90° e 235°) está a muro de proteção da laje onde está localizada a BCAL/UFPR e também pode-se observar a ocorrência de árvores.

Na FIGURA 60 pode-se verificar a influência do efeito do multicaminho para o Pilar 3000 (Sul). Verifica-se que as maiores intensidades estão próximos ao azimute de 10° à 45° com elevações acima de 12° , azimutes próximos a 90° e 125° com elevação acima de 18° e azimutes superiores a 300° em elevações acima de 25° .

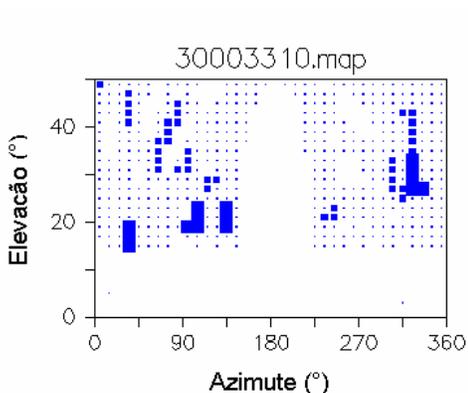


FIGURA 60 - PILAR 3000 (SUL) - ANTENA AT 504 - DIA GPS 331-08
FONTE: A autora (2009)

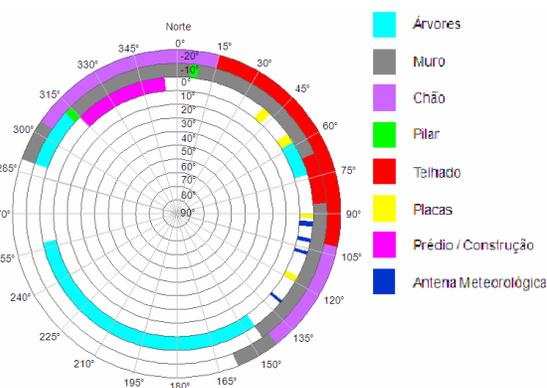


FIGURA 61 - DIAGRAMA DE OBSTRUÇÃO PILAR 3000 (SUL)
FONTE: A autora (2009)

Pode-se observar na FIGURA 61 o diagrama de obstrução do Pilar 3000 (Sul). Nota-se que a região indicada na FIGURA 60, com maiores intensidades do efeito do multicaminho (azimute 10° à 45°) encontra-se o telhado que dá acesso a BCAL/UFPR e a muro de proteção. Nota-se também que em azimutes próximos a 90° visualiza-se ainda o telhado, placas e antenas da estação meteorológica do SIMEPAR. Percebe-se ainda que em azimute superior a 300° existem árvores, o muro e o chão.

Observando as FIGURAS 56, 58 e 60, pode-se verificar que o pilar mais afetado pelo efeito do multicaminho é o Pilar 3000 (Sul). Esse fato pode ser comprovado mediante a observação do seu diagrama de obstrução (FIGURA 61). Existem muitos elementos próximos a este pilar que podem estar contribuindo para que a intensidade de multicaminho seja maior.

4.2 COORDENADAS PRECISAS DOS PILARES DE CALIBRAÇÃO

Após realizada a metodologia descrita na seção 3.3, podem ser verificadas na Tabela 8 as coordenadas geodésicas precisas dos pilares que compõem a base de calibração no sistema de referência SIRGAS 2000 (Época 2000,4). As coordenadas foram obtidas após o processamento e ajustamento das observações. Observa-se que os desvios-padrão estão na ordem do milímetro.

TABELA 8- COORDENADAS PRECISAS DOS PILARES DE CALIBRAÇÃO

Coordenadas precisas dos pilares de calibração		
	PILAR 1000(Oeste)	Desvio Padrão (m)
Latitude	25° 26' 55,05943" S	0,0013
Longitude	49° 13' 52,30662" W	0,0013
Altitude Elipsoidal	927,2627 m	0,0046
	PILAR 2000(Norte)	Desvio Padrão(m)
Latitude	25° 26' 54,88210" S	0,0010
Longitude	49° 13' 52,22854" W	0,0010
Altitude Elipsoidal	927,2705 m	0,0040
	PILAR 3000(Sul)	Desvio Padrão(m)
Latitude	25° 26' 55,11592" S	0,0010
Longitude	49° 13' 52,15812" W	0,0010
Altitude Elipsoidal	927,2807 m	0,0040

FONTE: A autora (2009)

4.3 PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO OBTIDOS NOS EXPERIMENTOS DE CALIBRAÇÃO RELATIVA EM CAMPO

Nessa seção serão apresentados os valores do PCO e do PCV obtidos dos experimentos realizados através do método de calibração relativa em campo na BCAL/UFPR.

Foram determinados PCO (componente norte, componente leste e vertical) de sete experimentos, esses foram denominados de experimento 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 (QUADRO 8).

Experimentos	PCO obtidos do dia GPS:
Experimento 1	245/08
Experimento 2	247/08
Experimento 3	248/08
Experimento 4	79/09
Experimento 5	108/09
Experimento 6	109/09
Experimento 7	112/09

QUADRO 8- INTENSIDADE DO EFEITO DO MULTICAMINHO
FONTE: A autora (2009)

Para poder realizar a comparação entre os valores dos PCVs, estes foram reduzidos a um valor comum (Seção 3.4.5). Para a realização dessa redução adotou-se como valor de referência os PCO da antena TRM22020.00+GP, prescrito pelo NGS (QUADRO 9).

ANTENA	FREQUÊNCIA	PCO (mm)		
		NORTE	LESTE	VERTICAL
TRM22020.00+GP	L1	0,5	-1,1	55,4
	L2	-0,6	2,2	62,6

QUADRO 9 - PCO DE REFERÊNCIA
FONTE: NGS (2008)

4.3.1 Comparação dos Valores do PCO

Os valores do PCO (PCO N, PCO E, PCO H) e desvio padrão da antena TRM22020.00+GP, número de série 12347, podem ser verificados na Tabela 9.

TABELA 9 - PCO DA ANTENA TRM22020.00+GP (NÚMERO DE SÉRIE 12347)

Primeira Campanha				
Dia GPS 245 – TRM22020.00+GP - 12347				
	L1	Acurácia	L2	Acurácia
PCO N	0,10	0,00	-0,30	0,10
PCO E	-2,10	0,00	2,70	0,10
PCO H	53,00	0,10	60,00	0,20
Dia GPS 247 – TRM22020.00+GP - 12347				
	L1	Acurácia	L2	Acurácia
PCO N	0,20	0,00	-0,50	0,10
PCO E	-2,00	0,00	2,50	0,10
PCO H	53,10	0,00	59,90	0,20
Dia GPS 248 – TRM22020.00+GP - 12347				
	L1	Acurácia	L2	Acurácia
PCO N	0,30	0,00	-0,60	0,10
PCO E	-2,00	0,00	2,60	0,10
PCO H	52,80	0,00	59,50	0,20
Segunda Campanha				
Dia GPS 79 – TRM22020.00+GP - 12347				
	L1	Acurácia	L2	Acurácia
PCO N	0,20	0,00	-0,50	0,10
PCO E	-2,00	0,00	2,60	0,10
PCO H	52,10	0,10	60,10	0,10
Terceira Campanha				
Dia GPS 107 – TRM22020.00+GP - 12347				
	L1	Acurácia	L2	Acurácia
PCO N	-0,10	0,00	-0,10	0,10
PCO E	-2,10	0,00	2,50	0,10
PCO H	50,80	0,10	59,20	0,20
Dia GPS 108 – TRM22020.00+GP - 12347				
	L1	Acurácia	L2	Acurácia
PCO N	-0,10	0,00	-0,40	0,10
PCO E	-2,10	0,00	2,60	0,10
PCO H	50,50	0,10	58,80	0,20
Dia GPS 112 – TRM22020.00+GP - 12347				
	L1	Acurácia	L2	Acurácia
PCO N	-0,10	0,00	-0,40	0,10
PCO E	-2,10	0,00	2,70	0,10
PCO H	51,60	0,10	59,60	0,20

FONTE: A autora (2009)

Observa-se que a mesma antena para diferentes dias apresenta PCO diferentes, tanto para L1 quanto para L2. As maiores variações para ambas as

componentes encontram-se na portadora L2, provavelmente porque a energia transmitida é menor para essa portadora (LANGLEY, 1998b apud FREIBERGER JUNIOR, 2007).

Apresenta-se na Tabela 10 o cálculo do valor médio, o maior valor e o menor valor obtidos dos experimentos para componentes norte e leste na portadora L1 e também a diferença calculada entre o valor médio e o valor de cada experimento.

TABELA 10 - COMPONENTES NORTE E LESTE NA ONDA PORTADOR L1 - VALOR MÉDIO, MAIOR VALOR E MENOR VALOR

Dia GPS	Componente Norte (mm)		Componente Leste (mm)	
	L1	Diferença (Exp – Média)	L1	Diferença (Exp – Média)
245_08	0,1	0,0	-2,10	-0,04
247_08	0,2	0,1	-2,00	0,06
248_08	0,3	0,2	-2,00	0,06
79_09	0,2	0,1	-2,00	0,06
107_09	-0,1	0,2	-2,10	-0,04
108_09	-0,1	0,2	-2,10	-0,04
112_09	-0,1	0,2	-2,10	-0,04
Média	0,1		-2,06	
Valor Mín	-0,1		-2,00	
Valor Máx	0,3		-2,10	

FONTE: A autora (2009)

A FIGURA 62 ilustra os valores da Tabela 10. Observam-se as variações encontradas nos experimentos para as componentes norte e leste na portadora L1.

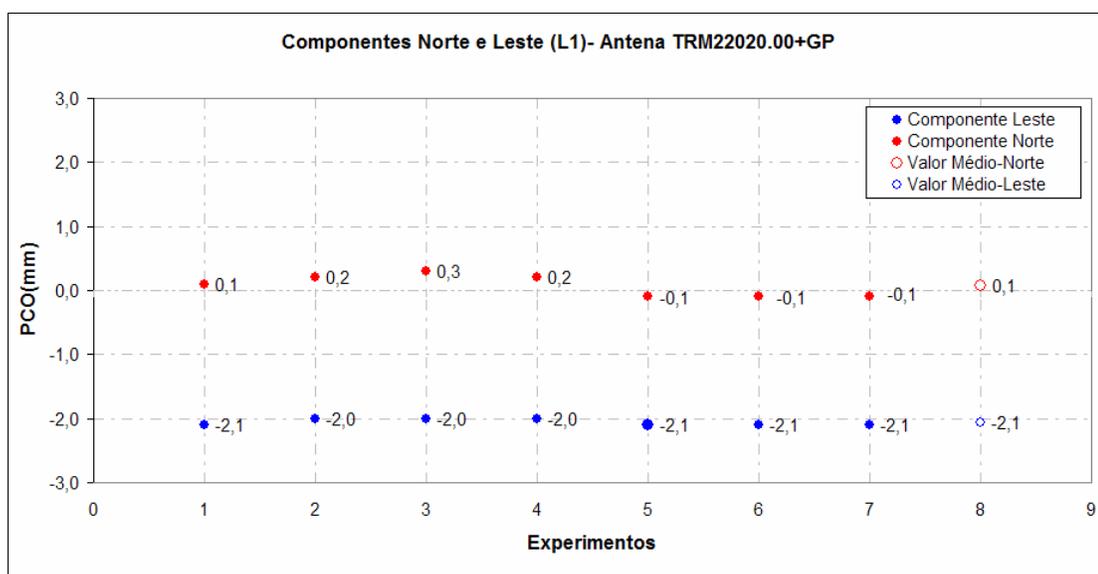


FIGURA 62 - COMPONENTE NORTE E LESTE (L1)

FONTE: A autora (2009)

Verifica-se na FIGURA 62 que a maior variação encontrada é de 0,2 mm para o experimento 1-3 na componente norte e de 0,1 mm na componente leste experimento 1-2, 1-3 e 1-4.

Na Tabela 11 observam-se as variações, bem como o valor médio, o menor e o maior valor encontrado para as componentes norte e leste na portadora L2.

TABELA 11 - COMPONENTES NORTE E LESTE NA ONDA PORTADOR L2-VALOR MÉDIO, MAIOR VALOR E MENOR VALOR

Dia GPS	Componente Norte (mm)		Componente Leste (mm)	
	L2	Diferença (Exp – Média)	L2	Diferença (Exp – Média)
245_08	-0,30	-0,1	2,70	0,1
247_08	-0,50	0,1	2,50	-0,1
248_08	-0,60	-0,2	2,60	0,0
79_09	-0,50	-0,1	2,60	0,0
107_09	-0,10	0,3	2,50	-0,1
108_09	-0,40	0,0	2,60	0,0
112_09	-0,40	0,0	2,70	0,1
Média	-0,40		2,60	
Valor Mín	-0,60		2,50	
Valor Máx	-0,30		2,70	

FONTE: A autora (2009)

Nota-se que o valor calculado médio para a componente norte é de -0,40 mm e de 2,6 mm para a componente leste. Verifica-se também que o menor valor encontrado para as componente norte e leste respectivamente é de -0,60 mm e de 2,5 mm. O maior valor é de -0,30 mm para a componente norte e de 2,70 mm na componente leste. As diferenças (experimentos e média) para a componente norte é de 0,3 mm e para a componente leste de 0,1 mm, respectivamente.

Observa-se na FIGURA 63 os valores das componentes norte e leste para os experimentos, para a portadora L2. Pode-se notar que o valor que mais se difere dos demais é o valor da componente norte do experimento 5.

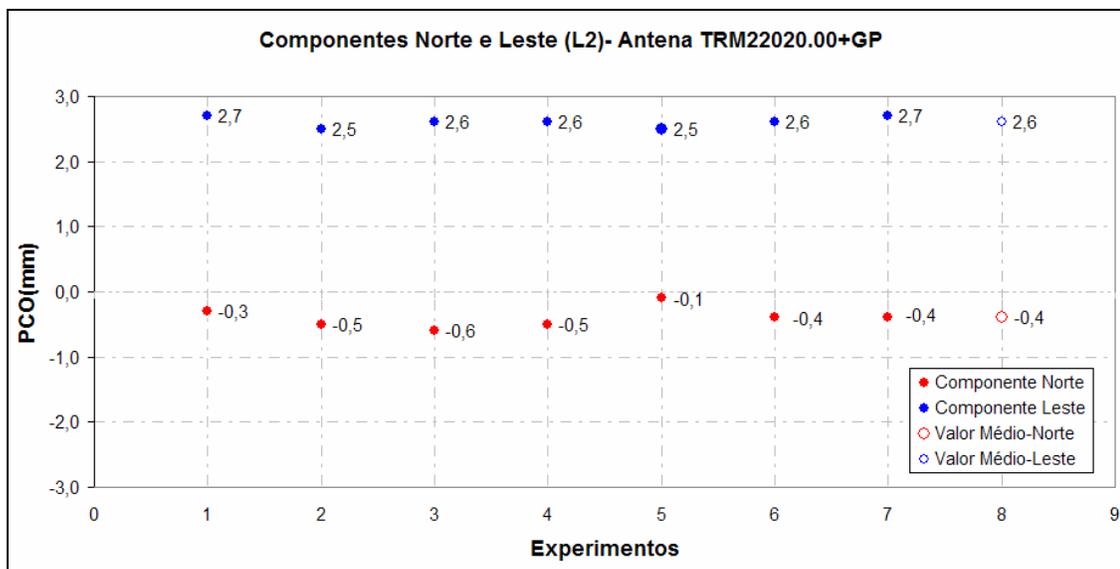


FIGURA 63 - COMPONENTE NORTE E LESTE (L2)
FONTE: A autora (2009)

Os valores da componente vertical podem ser comparados na Tabela 12. Observa-se que as maiores variações com relação ao valor médio é encontrado na onda portadora L1. Os valores médios calculados para a componente vertical para ambas as ondas portadoras são respectivamente 51,99 mm e de 59,59 mm. A maior diferença encontrada em módulo é de 1,49 mm na onda portador L1.

TABELA 12 - COMPONENTES VERTICAL NA ONDA PORTADOR L1 E L2-VALOR MÉDIO, MAIOR VALOR E MENOR VALOR

Componente Vertical (mm)				
Dia GPS	L1	Diferença (Exp – Média)	L2	Diferença (Exp – Média)
245_08	53,00	1,01	60,00	0,41
247_08	53,10	1,11	59,90	0,31
248_08	52,80	0,81	59,50	-0,09
79_09	52,10	0,11	60,10	0,51
107_09	50,80	-1,19	59,20	-0,39
108_09	50,50	-1,49	58,80	-0,79
112_09	51,60	-0,39	59,60	0,01
Média	51,99		59,59	
Valor Mín	50,50		58,80	
Valor Máx	53,10		60,00	

FONTE: A autora (2009)

Comparando as componentes: norte, leste e vertical, verificam-se que as maiores variações encontram-se na componente vertical. Na FIGURA 64 percebem-se as variações para ambas portadoras (L1 e L2). Pode-se visualizar que as maiores variações na componente vertical estão na onda portadora L1.

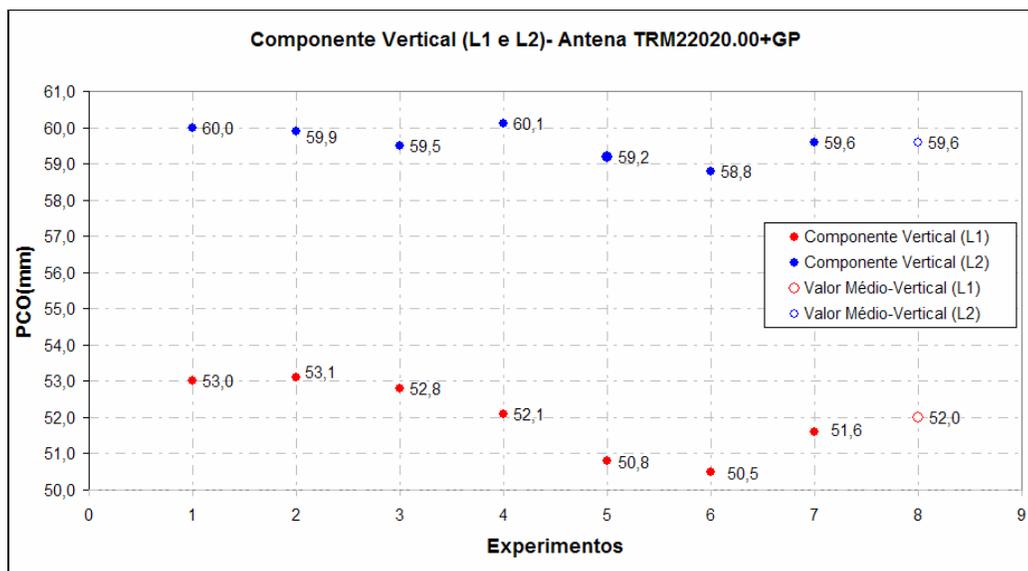


FIGURA 64 - COMPONENTE VERTICAL (L1 E L2)
 FONTE: A autora (2009)

4.3.2 PCV Dependentes de Elevação

As PCV foram determinadas pelo método de calibração relativo a partir das correções absolutas da antena de referência (AT504). As PCV dependentes de elevação podem ser extraídas de arquivos de correção. Os valores das PCVs foram reduzidos a um valor comum através do programa CCANT, para poder realizar as análises e gerar os gráficos que serão apresentados a seguir.

Na Tabela 13 são apresentados os valores da PCV dependentes de elevação para a portadora L1, valores de 0° a 80° com intervalo de 5°.

TABELA 13 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO PARA A PORTADORA L1, ANTENA TRM22020.00+GP

PCV (mm) - Dependente de elevação (L1)- Valores de 0° a 80°, intervalo de 5°							
Elevação	1 Campanha			2 Campanha	3 Campanha		
	Dia GPS 245	Dia GPS 247	Dia GPS 248	Dia GPS 079	Dia GPS 107	Dia GPS 108	Dia GPS 112
0°	-5,89	-5,73	-5,94	-5,60	-5,88	-5,98	-6,22
5°	-5,47	-5,45	-5,56	-5,19	-5,35	-5,40	-5,61
10°	-4,19	-4,37	-4,32	-3,96	-3,85	-3,79	-4,01
15°	-2,20	-2,36	-2,25	-2,06	-1,75	-1,63	-1,92
20°	-0,03	-0,01	0,05	-0,01	0,34	0,46	0,06
25°	1,64	1,71	1,75	1,56	1,81	1,90	1,49
30°	2,42	2,37	2,45	2,27	2,42	2,46	2,18
35°	2,33	2,24	2,35	2,21	2,29	2,25	2,17
40°	1,61	1,63	1,71	1,61	1,62	1,53	1,60
45°	0,49	0,61	0,63	0,66	0,53	0,47	0,61
50°	-0,72	-0,66	-0,70	-0,50	-0,78	-0,76	-0,56
55°	-1,68	-1,69	-1,81	-1,58	-1,93	-1,90	-1,60
60°	-2,11	-2,09	-2,29	-2,20	-2,46	-2,54	-2,16
65°	-1,79	-1,81	-1,95	-1,99	-2,13	-2,29	-1,94
70°	-0,33	-0,47	-0,52	-0,71	-0,89	-0,93	-0,84
75°	2,64	2,76	2,46	1,63	1,11	1,42	0,97
80°	6,79	7,98	6,85	4,52	3,49	4,17	3,00

FONTE: A autora (2009)

Verifica-se na FIGURA 65, os valores da PCV dependente de elevação na portadora L1 para a antena TRM22020.00+GP. Pode-se notar que os valores da PCV estão em milímetros e são representados na elevação de 0° a 80° em um intervalo de 5° graus. Observa-se que a mesma antena para dias distintos apresentam traçados das curvas iguais. Visualmente pode-se verificar que as maiores diferenças encontram-se em um intervalo de 0° a 35° e acima de 60°. Verifica-se também que os valores da PCV da 3ª campanha acima de 60° de elevação se difere dos demais valores, apresentando as maiores variações.

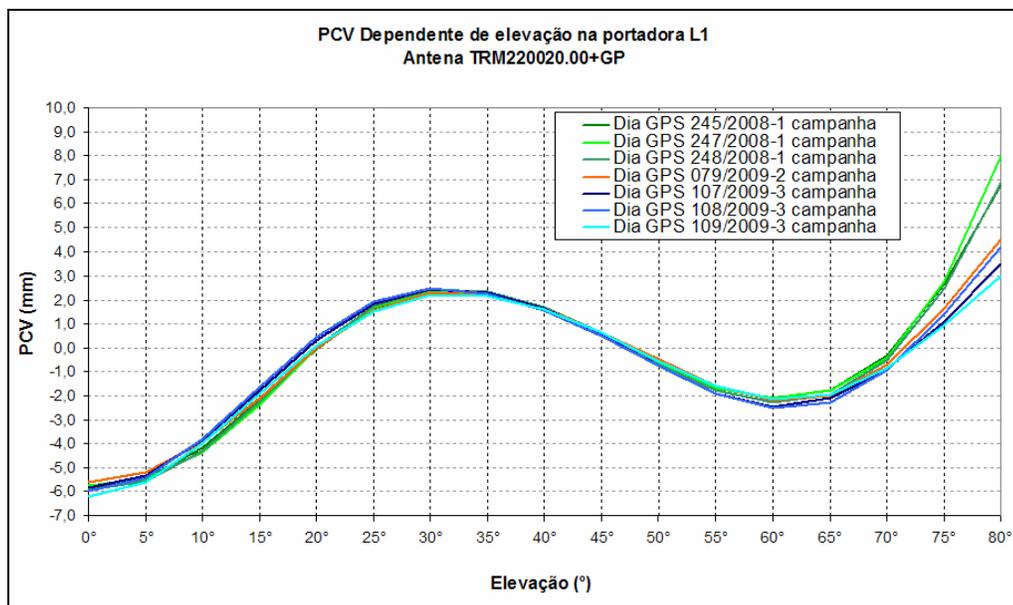


FIGURA 65 - PCV (mm) – DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO PARA A PORTADORA L1 (TRM220020.00+GP)
FONTE: A autora (2009)

Os valores da PCV dependente de elevação para a portadora L2 podem ser verificados na Tabela 14.

TABELA 14 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO PARA A PORTADORA L2, A ANTENA TRM220020.00+GP

PCV (mm) - Dependente de elevação (L2)- Valores de 0° a 80°, intervalo de 5°							
Elevação	1 Campanha			2 Campanha	3 Campanha		
	Dia GPS 245	Dia GPS 247	Dia GPS 248	Dia GPS 079	Dia GPS 107	Dia GPS 108	Dia GPS 112
0°	-0,09	-0,66	-0,31	0,44	0,37	0,28	-0,19
5°	0,56	0,05	0,26	0,78	0,77	0,68	0,25
10°	1,62	1,26	1,27	1,40	1,51	1,44	1,07
15°	1,75	1,58	1,57	1,60	1,83	1,78	1,41
20°	1,04	1,00	1,13	1,22	1,53	1,52	1,16
25°	0,64	0,65	0,79	0,73	1,04	1,10	0,89
30°	0,88	0,89	0,90	0,52	0,72	0,80	0,84
35°	0,93	0,92	0,87	0,47	0,46	0,47	0,67
40°	0,23	0,21	0,23	0,18	0,05	-0,01	0,14
45°	-0,63	-0,64	-0,62	-0,37	-0,47	-0,49	-0,47
50°	-1,01	-0,97	-1,05	-0,85	-0,93	-0,84	-0,85
55°	-1,15	-1,01	-1,15	-1,11	-1,31	-1,20	-1,09
60°	-1,40	-1,27	-1,32	-1,22	-1,55	-1,59	-1,37
65°	-1,31	-1,40	-1,44	-1,22	-1,37	-1,57	-1,35
70°	-0,37	-0,72	-0,97	-0,67	-0,59	-0,71	-0,58
75°	0,74	0,38	0,13	0,92	0,53	0,74	0,77
80°	0,70	0,79	1,20	3,39	1,37	1,97	1,94

FONTE: A autora (2009)

Observando a Tabela 14 pode-se notar que para portadora L2 os valores para do PCVs são mais variáveis. Essa variação ocorre em um intervalo de 0° a 40° e acima de 60° .

Na FIGURA 66 pode-se verificar os valores do PCVs dependentes de elevação para a portadora L2.

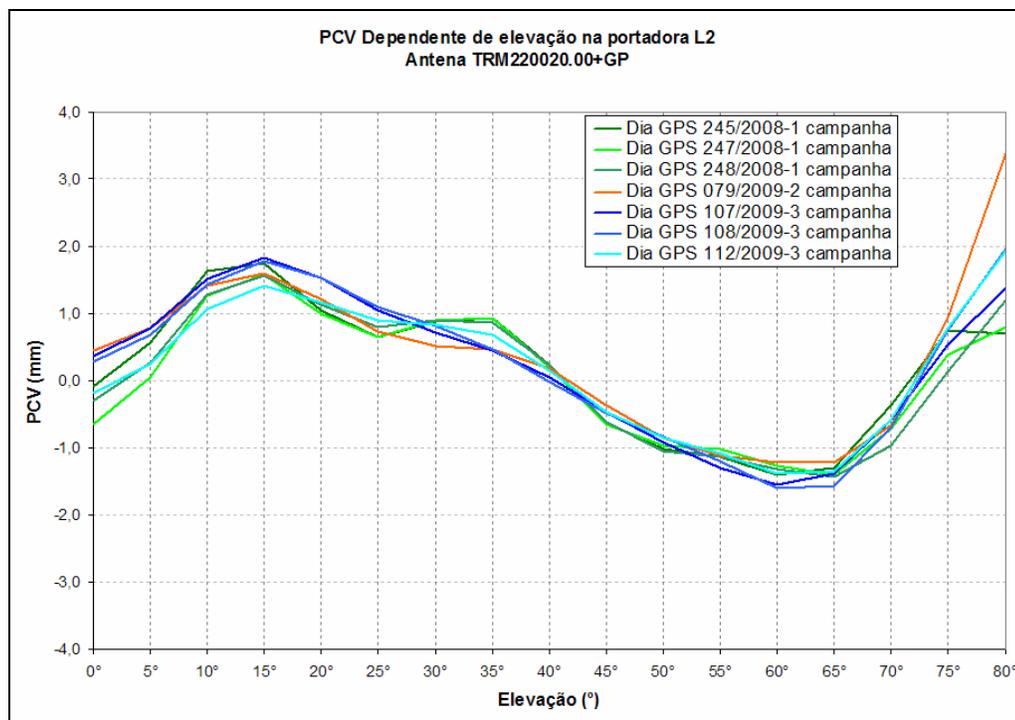


FIGURA 66 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO PARA A PORTADORA L2 (TRM220020.00+GP)
FONTE: A autora (2009)

Percebe-se na FIGURA 66, que os traçados da linha são praticamente iguais, e que as menores variações da PCVs estão em um intervalo de 40° a 60° . As curvas que mais se diferem são geradas com os resultados advindo de dois experimentos da 1ª Campanha.

4.3.3 PCV Dependente de Azimute e Elevação

Os valores do PCV dependentes de azimute e elevação podem ser representados em gráficos de superfície. Neles apresenta-se o horizonte da antena GPS em suas variações do centro de fase dadas em função da distribuição dos satélites em azimutes de 0° a 360° e em elevação de 0° a 90° .

Nas FIGURA 67 a FIGURA 69 visualiza-se os gráficos de superfície para três dias distintos (1° Campanha) para a portadora L1.

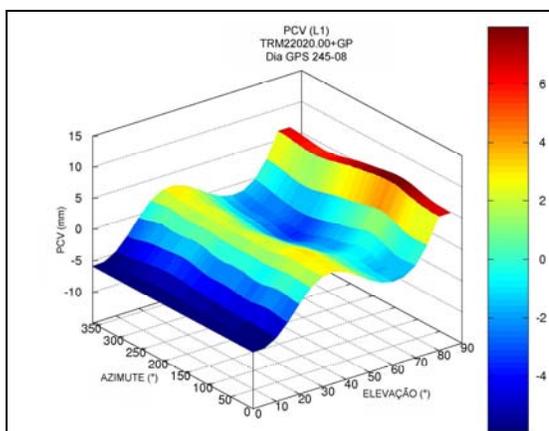


FIGURA 67 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L1, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 245
FONTE: A autora (2009)

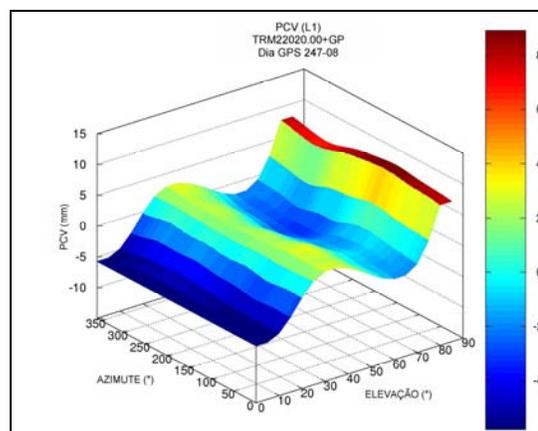


FIGURA 68 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L1, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 247
FONTE: A autora (2009)

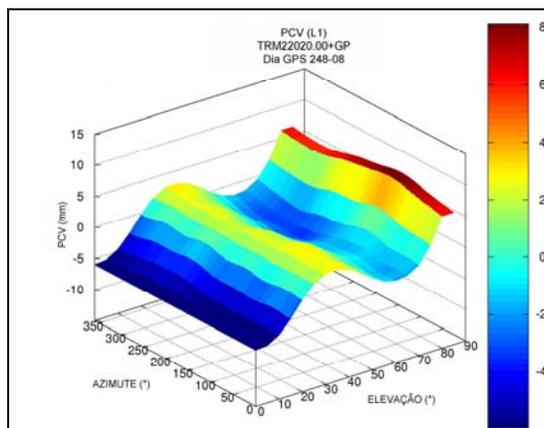


FIGURA 69 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L1, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 248
FONTE: A autora (2009)

Percebe-se (FIGURAS 67 a 69) que o comportamento da superfície é semelhante para os três dias distintos, e nota-se com o auxílio da escala de cores que esses valores não se diferem muito entre si. Constata-se também que os maiores picos do valor da PCV encontram-se na elevação de 90° e os menores encontram-se em um intervalo de: 0° a 40° e de 60° a 70° (elevação).

Nas FIGURA 70, FIGURA 71 e FIGURA 72 encontram-se os gráficos de superfície para três dias distintos (1° Campanha) para a portadora L2.

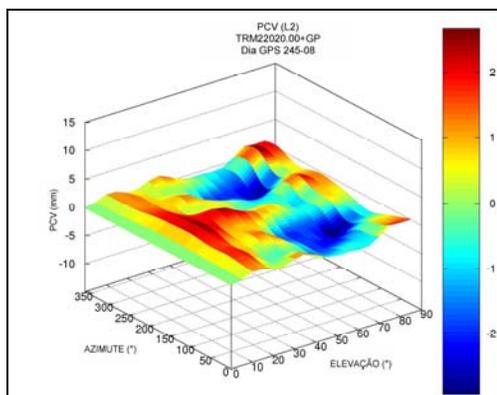


FIGURA 70 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L2, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 245
FONTE: A autora (2009)

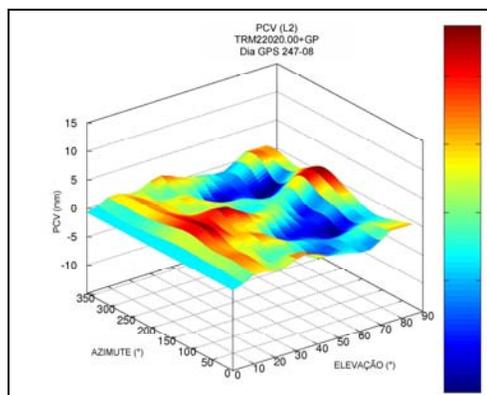


FIGURA 71 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L2, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 247
FONTE: A autora (2009)

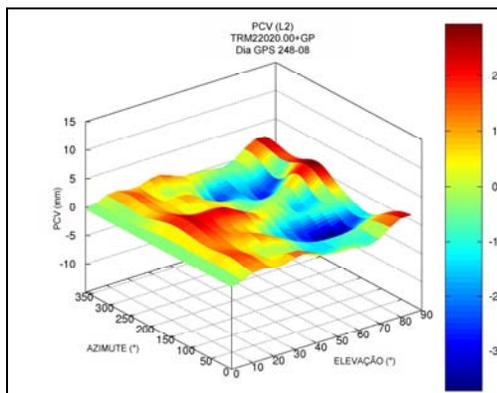


FIGURA 72 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L2, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 248.
FONTE: A autora (2009)

A superfície ideal de uma antena GPS é uma superfície regular, porém esse fato não ocorre para a portadora L2 da antena TRM22020.00+GP, isso pode ser verificado nas FIGURA 70, FIGURA 71 e FIGURA 72.

Observa-se (FIGURA 70 a 72) alguns picos nos experimentos na elevação acima de 80° entre os azimutes superiores a 250°. Nota-se também que os menores

valores encontram-se aproximadamente nos intervalos de: 0° a 150° e 250° a 350° de azimute, elevação de 50° a 70° .

Visualiza-se na FIGURA 73 e na FIGURA 74, os valores da PCV dependentes de azimute e elevação para as ondas portadoras L1 e L2.

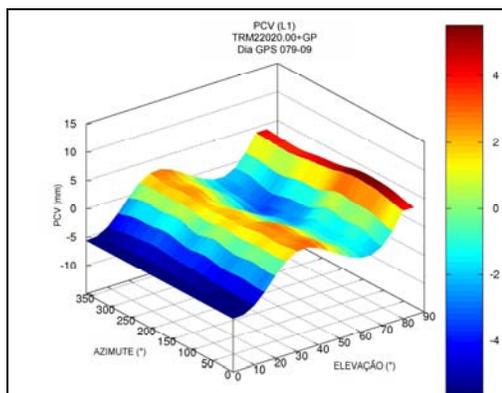


FIGURA 73 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L1 ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 79

FONTE: A autora (2009)

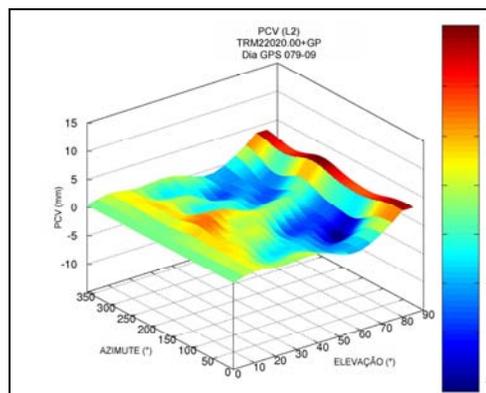


FIGURA 74 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L2, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 79

FONTE: A autora (2009)

Verificam-se (FIGURA 73 e FIGURA 74) picos da PCV em ambas as ondas portadoras na elevação de 90° . Nota-se também que a superfície representada pelos valores da PCV na onda portadora L2 não é estável.

Observa-se na FIGURA 74, FIGURA 76 e na FIGURA 77, o gráfico de superfície para três dias distintos (3ª Campanha) para a portadora L1.

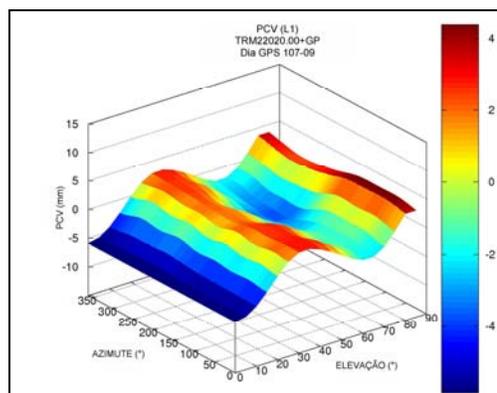


FIGURA 75 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L1, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 107

FONTE: A autora (2009)

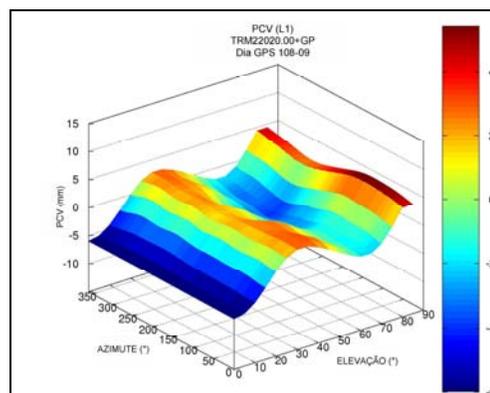


FIGURA 76 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L1, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 108

FONTE: A autora (2009)

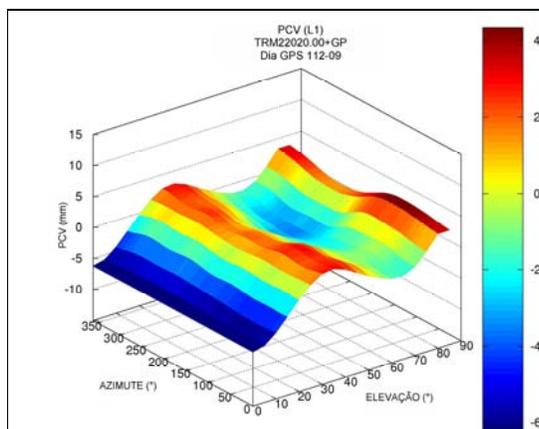


FIGURA 77 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L1, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 112
 FONTE: A autora (2009)

Verifica-se (FIGURA 75 a 77) que o comportamento da superfície é semelhante para estes três dias, com exceção no intervalo de elevação de aproximadamente 30° a 50° na FIGURA 75. Pode-se verificar com o auxílio da escala de cores que esses valores não diferem, entre si, em ambos os experimentos. Percebe-se também que os maiores picos do valor da PCV encontram-se na elevação de 90° e as menores valores encontram-se em elevações abaixo de 40° e no intervalo de 60° a 70° .

Nas FIGURA 78, FIGURA 79 e na FIGURA 80, tem-se os gráficos de superfície para três dias distintos (3ª Campanha) para a portadora L2.

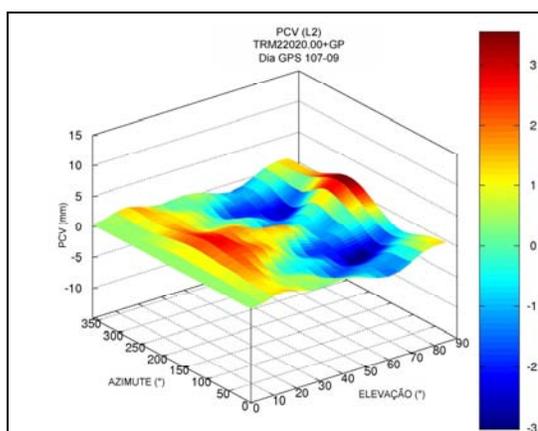


FIGURA 78 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L2, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 107
 FONTE: A autora (2009)

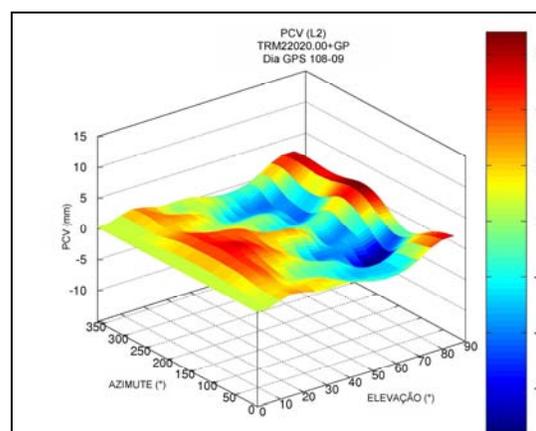


FIGURA 79 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L2, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 108
 FONTE: A autora (2009)

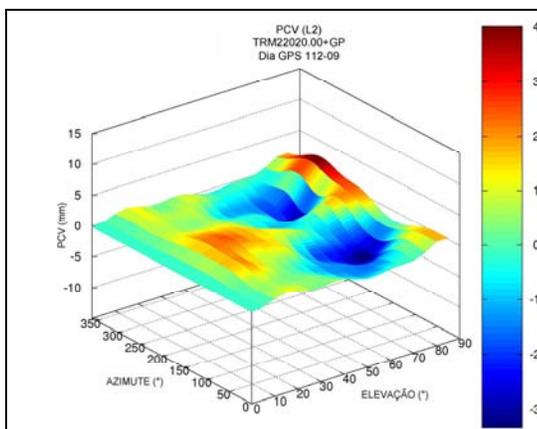


FIGURA 80 - PCV (mm) - DEPENDENTE DA ELEVAÇÃO E AZIMUTE PARA A PORTADORA L2, ANTENA TRM22020.00+GP, DIA GPS 112
FONTE: A autora (2009)

Verifica-se (FIGURA 78 a 80) que o comportamento da superfície é semelhante para os três dias distintos, porém esses valores se diferem entre si. Percebe-se que os maiores picos do valor da PCV encontram-se em azimutes diferentes na elevação de 90° e os menores valores encontram-se, aproximadamente, em um intervalo de elevação de 40° a 80° .

4.3.4 Análise dos Experimentos de Calibração pelo Programa CCANTEX

Segundo Wanninger (2009), as diferenças obtidas entre os valores das calibrações pelo programa CCANTEX, não devem ser superiores a 1mm. Se as diferenças apresentadas forem superiores a esse valor considera-se que algum fator deve ter influenciado na determinação dos parâmetros de calibração.

Na Tabela 15 são apresentadas as diferenças entre um valor médio do centro de fase com o valor de cada experimento para o PCO (componentes norte, leste e vertical) e o valor do RMS para PCV para a onda portadora L1, L2 e também o valor de RMS final.

TABELA 15- DIFERENÇAS ENTRE UM VALOR MÉDIO E CADA EXPERIMENTO L1 e L2

Diferença Média (mm)					
L1					
Dia GPS/Ano	Experimento	PCO-N	PCO-E	PCO-H	PCV-RMS
245-08	1	-0,06	-0,05	0,72	0,35
247-08	2	0,05	0,05	0,76	0,61
248-08	3	0,13	0,02	0,47	0,39
079-09	4	0,70	0,19	0,40	0,23
107-09	5	-0,27	-0,04	-0,91	0,34
108-09	6	-0,28	-0,13	-0,89	0,23
122-09	7	-0,26	-0,06	-0,31	0,56
RMS		0,30	0,09	0,64	0,39
L2					
Dia GPS/Ano	Experimento	PCO-N	PCO-E	PCO-H	PCV-RMS
245-08	1	0,26	0,08	0,01	0,43
247-08	2	0,13	-0,14	0,17	0,42
248-08	3	-0,09	0,06	-0,34	0,31
079-09	4	-1,04	-0,35	0,93	0,47
107-09	5	0,44	0,05	-0,56	0,29
108-09	6	0,13	0,13	-0,49	0,36
122-09	7	0,18	0,17	0,28	0,45
RMS		0,42	0,16	0,45	0,41

FONTE: A autora (2009)

Nota-se na Tabela 15 que as maiores diferenças encontradas para a componente norte e leste encontram-se para o experimento 4 (079-09). Observa-se também que esse fato ocorre na portadora L2, na componente norte e esse valor é maior que 1 mm. Percebe-se que na componente vertical a maior diferença para onda portadora L1 é de -0,91mm para o experimento 6 e para onda portadora L2 é de 0,93 mm para o experimento 4. No entanto os valores do RMS do PCV e os RMS finais não são superior ao milímetro.

Os valores das diferenças da componente norte, leste e vertical para a onda portadora L1 da Tabela 15 podem ser observados na FIGURA 81.

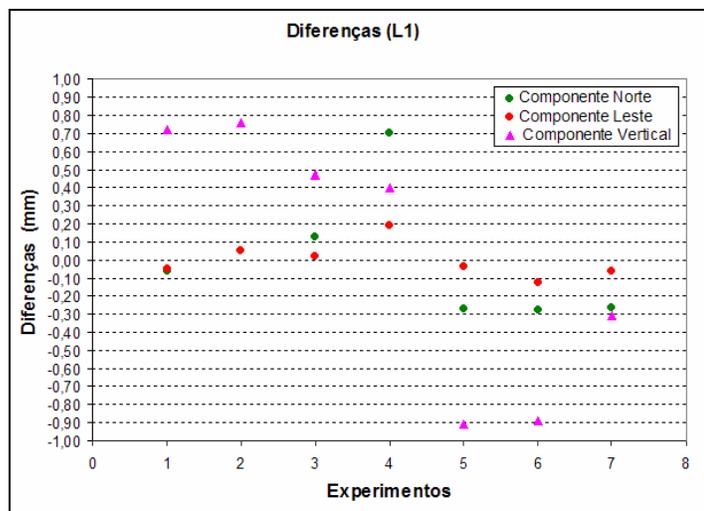


FIGURA 81 - DIFERENÇAS CALCULADAS PELO PROGRAMA CCANTEX PARA L1
 FONTE: A autora (2009)

A FIGURA 81 mostra que as maiores variações ocorrem na componente vertical e esse valor varia de -0,91 mm a 0,76 mm. Percebe-se também que na componente norte, experimento 4, tem-se um valor discrepante.

Na FIGURA 82 encontram-se os valores das diferenças da componente norte, leste e vertical para a onda portadora L2.

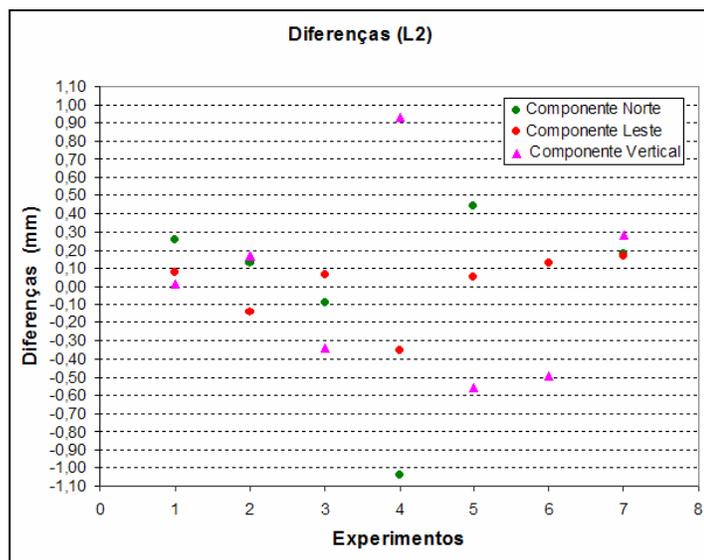


FIGURA 82 - DIFERENÇAS CALCULADAS PELO PROGRAMA CCANTEX PARA L2
 FONTE: A autora (2009)

Pode-se verificar (FIGURA 82) que o experimento com maior discrepância é o experimento 4. Esse apresenta as maiores diferenças para ambas as componentes.

Na Tabela 16 encontram-se as diferenças entre as componentes (norte, leste e vertical) e PCV com um valor médio para a combinação das ondas portadoras L1 e L2. Nota-se que as maiores diferenças encontradas são: para a componente norte 3,4 mm para o experimento 4, na componente Leste o valor é de -1,17 mm para o experimento 6, na componente vertical 1,80 mm para o experimento 1 e para o PCV é de 0,52 mm para o experimento 5.

TABELA 16 - DIFERENÇAS ENTRE UM VALOR MÉDIO E CADA EXPERIMENTO L1/L2

Diferença Média (mm) - L1/L2					
Dia GPS/Ano	Experimento	PCO-N	PCO-E	PCO-H	PCV-RMS
245-08	1	-0,55	-0,24	1,80	0,43
247-08	2	-0,08	0,34	1,66	0,42
248-08	3	0,47	-0,03	-0,34	0,31
079-09	4	3,40	1,02	0,93	0,47
107-09	5	-1,37	-1,17	-0,56	0,29
108-09	6	-0,91	-0,53	-0,49	0,36
122-09	7	-0,95	0,40	0,28	0,45
RMS		1,40	0,46	0,45	0,41

FONTE: A autora (2009)

Na FIGURA 83, verificam-se as diferenças para a combinação das ondas portadoras L1 e L2.

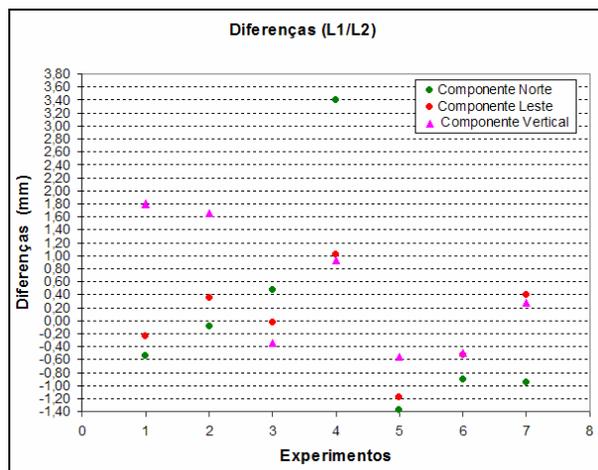


FIGURA 83 - DIFERENÇAS CALCULADAS PELO PROGRAMA CCANTEX PARA A ONDA PORTADORA L1 E L2

FONTE: A autora (2009)

Observa-se (FIGURA 83) que para a componente norte a maior diferença encontrada é para o experimento 4. Nota-se também que no experimento 5, que a diferenças para a componente norte e leste é próximo a 0 mm e para a componente vertical o valor é de 0 mm.

4.4 COMPARAÇÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS PRECISAS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO EM PCV E DIFERENTES LINHAS DE BASE

Conforme a metodologia mostrada na seção 3.5, determinou-se coordenadas geodésicas com diferentes estações de referência do marco RM 03 aplicando diferentes valores de PCO e PCO-PCV, determinados via calibração relativa em campo.

Pode-se verificar no QUADRO 10, o resumo com as principais informações do processamento: linha de base, número de satélites, total de número de ambiguidades, número de ambiguidades fixadas e porcentagem de épocas fixadas L1-L2.

PROCESSAMENTO (Dia GPS 245/257/248/79/107/108/112)		
	RM 03-UFPR	RM 03-POLI
Linha de Base	0,32 km	328,93 km
Número de satélites	11	11
Total número de ambiguidade	37	38
Número de ambiguidades GPS fixadas:	31	0
Porcentagem de épocas fixadas (L1):	100%	0%
Porcentagem de épocas fixadas (L2):	100%	0%
	RM 03-NEIA	RM 03-PPTE
Linha de Base	139,91 km	430,24 km
Número de satélites	11	11
Total número de ambiguidade	37	34
Número de ambiguidades GPS fixadas:	0	0
Porcentagem de épocas fixadas (L1):	0%	0%
Porcentagem de épocas fixadas (L2):	0%	0%

QUADRO 10- RESUMO DO PROCESSAMENTO
FONTE: A Autora (2009)

Observa-se (QUADRO 10) que quando se processou os dados com a linha de base (RM03-UFPR), com aproximadamente 32 metros, todas as ambiguidades foram fixadas, tanto para L1 quanto para L2. Nota-se também que em todos os processamentos o número de satélites foi constante. Verifica-se também que os processamentos com as linhas de base: RM03-NEIA, RM03-POLI e RM03-PPTE as ambiguidades não foram fixadas.

Determinou-se coordenadas aplicando os parâmetros da antena calibrada (PCO e PCO-PCV), sem nenhum parâmetro de calibração e os parâmetros de calibração fornecidos pelo NGS para a linha de base RM03-UFPR, que podem ser verificados na Tabela 17.

TABELA 17 - COORDENADAS GEODÉSICAS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-UFPR)

RM03-UFPR		
Coordenadas Geodésicas		
	Varição do PCO	Varição do PCO e PCV
<i>Sem parâmetro de calibração</i>		
Latitude	25° 26' 54,56609" S	
Longitude	49° 13' 52,21130" W	
Altitude (m)	923,7779	
<i>Aplicação dos Parâmetros do NGS</i>		
Latitude	25° 26' 54,56606" S	25° 26' 54,56606" S
Longitude	49° 13' 52,21131" W	49° 13' 52,21131" W
Altitude (m)	923,7821	923,7821
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 245-08</i>		
Latitude	25° 26' 54,56606" S	25° 26' 54,56606" S
Longitude	49° 13' 52,21130" W	49° 13' 52,21130" W
Altitude (m)	923,7846	923,7846
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 247-08</i>		
Latitude	25° 26' 54,56606" S	25° 26' 54,56606" S
Longitude	49° 13' 52,21130" W	49° 13' 52,21130" W
Altitude (m)	923,7846	923,7846
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 248-08</i>		
Latitude	25° 26' 54,56606" S	25° 26' 54,56606" S
Longitude	49° 13' 52,21130" W	49° 13' 52,21130" W
Altitude (m)	923,7849	923,7849
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 079-09</i>		
Latitude	25° 26' 54,56605" S	25° 26' 54,56606" S
Longitude	49° 13' 52,21130" W	49° 13' 52,21130" W
Altitude (m)	923,7850	923,7850
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 107-09</i>		
Latitude	25° 26' 54,56606" S	25° 26' 54,56606" S
Longitude	49° 13' 52,21130" W	49° 13' 52,21130" W
Altitude (m)	923,7850	923,7850
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 108-09</i>		
Latitude	25° 26' 54,56606" S	25° 26' 54,56606" S
Longitude	49° 13' 52,21130" W	49° 13' 52,21130" W
Altitude (m)	923,7850	923,7850
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 112-09</i>		
Latitude	25° 26' 54,56606" S	25° 26' 54,56606" S
Longitude	49° 13' 52,21130" W	49° 13' 52,21130" W
Altitude (m)	923,7850	923,7850
Conclusão		

FONTE: A Autora (2009)

Observa-se (Tabela 17) que as maiores diferenças encontram-se na determinação da altitude elipsoidal. Nota-se também a importância em realizar um processamento incluindo valores de PCO e PCV. Percebe-se que as coordenadas geodésicas se diferem quando não se aplica nenhum parâmetro de calibração. Verificou-se também que os valores das coordenadas não mudam quando se realiza os processamentos somente introduzindo valores de PCO e introduzindo simultaneamente valores de PCO quanto de PCV.

Na tabela 18 podem ser observadas as altitudes elipsoidais obtidas com os diferentes valores de PCO e PCO-PCV e também as diferenças em altitude quando se aplica os parâmetros NGS e parâmetros próprios da antena.

TABELA 18 - ALTITUDES ELIPSOIDAIIS OBTIDAS COM OS DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-UFPR)

Experimento	Varição PCO / Varição PCO-PCV	Altitude Elipsoidal (m)	Diferença (m) (Experimento -NGS)
0	Sem Parâmetro	923,7779	-0,0042
1	NGS	923,7821	-----
2	245-08	923,7846	0,0025
3	247-08	923,7846	0,0025
4	248-08	923,7849	0,0028
5	079-09	923,7850	0,0029
6	107-09	923,7850	0,0029
7	108-09	923,7850	0,0029
8	112-09	923,7850	0,0029

FONTE: A Autora (2009)

Nota-se também com a Tabela 18 que as diferenças estão na ordem do milímetro, e que a maior diferença é 2,9 mm (experimento 5,6,7 e 8) quando utilizou os parâmetros de calibração e de 4,2 mm para o caso em que foi desconsiderado os parâmetros.

Verifica-se na FIGURA 84 as altitudes elipsoidais dos experimentos variando somente o PCO.

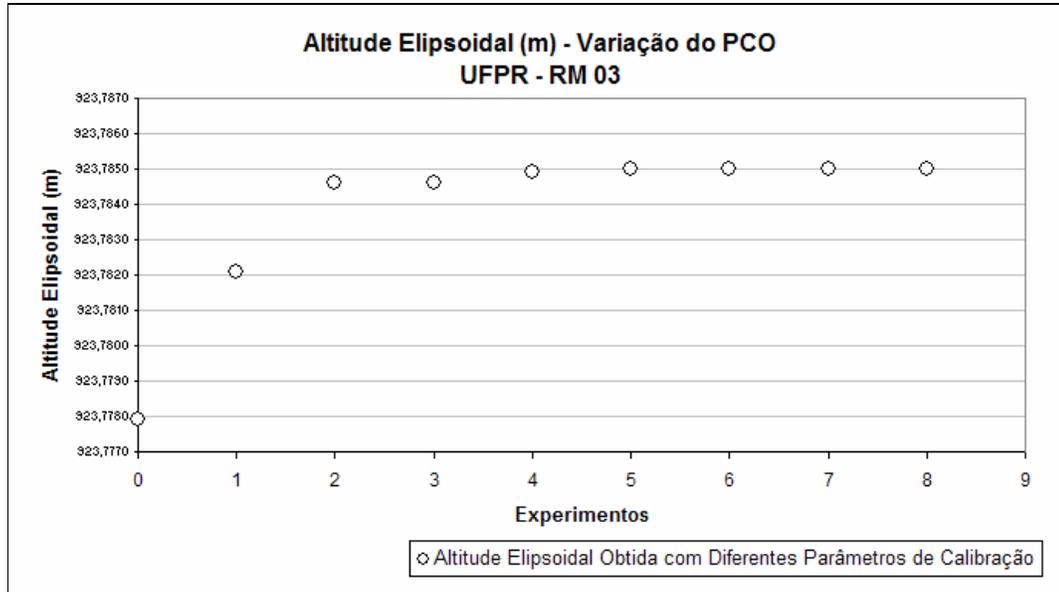


FIGURA 84 - VALORES DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS EM METROS (RM03-UFPR)
FONTE: A autora (2009)

Observa-se (FIGURA 84) que as altitudes entre os experimentos 2-8, são próximas e suas diferenças são inferiores ao milímetro. Porém quando se compara com os experimentos 2-8 com o experimento 1, verifica-se que as diferenças estão em torno de 2,77 mm e para o caso sem parâmetros em torno de 6,7 mm.

Na Tabela 19 tem-se as coordenadas obtidas com a linha de base RM03-NEIA.

TABELA 19 - COORDENADAS GEODÉSICAS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-NEIA)

RM03-NEIA		
Coordenadas Geodésicas		
	Varição do PCO	Varição do PCO e PCV
<i>Sem parâmetro de calibração</i>		
Latitude	25° 26' 54,56631" S	
Longitude	49° 13' 52,21168" W	
Altitude (m)	923,7706	
Continua		

FONTE: A autora (2009)

TABELA 19 - COORDENADAS GEODÉSICAS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-NEIA)

Continua		
NGS		
Latitude	25° 26' 54,56628" S	25° 26' 54,56628" S
Longitude	49° 13' 52,21178" W	49° 13' 52,21178" W
Altitude (m)	923,7738	923,7738
Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 245-08		
Latitude	25° 26' 54,56623" S	25° 26' 54,56623" S
Longitude	49° 13' 52,21166" W	49° 13' 52,21166" W
Altitude (m)	923,7759	923,7759
Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 247-08		
Latitude	25° 26' 54,56625" S	25° 26' 54,56625" S
Longitude	49° 13' 52,21168" W	49° 13' 52,21168" W
Altitude (m)	923,7755	923,7755
Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 248-08		
Latitude	25° 26' 54,56625" S	25° 26' 54,56626" S
Longitude	49° 13' 52,21168" W	49° 13' 52,21168" W
Altitude (m)	923,7756	923,7756
Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 079-09		
Latitude	25° 26' 54,56625" S	25° 26' 54,56625" S
Longitude	49° 13' 52,21168" W	49° 13' 52,21168" W
Altitude (m)	923,7783	923,7783
Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 107-09		
Latitude	25° 26' 54,56625" S	25° 26' 54,56625" S
Longitude	49° 13' 52,21168" W	49° 13' 52,21168" W
Altitude (m)	923,7783	923,7783
Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 108-09		
Latitude	25° 26' 54,56625" S	25° 26' 54,56625" S
Longitude	49° 13' 52,21168" W	49° 13' 52,21168" W
Altitude (m)	923,7783	923,7783
Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 112-09		
Latitude	25° 26' 54,56625" S	25° 26' 54,56625" S
Longitude	49° 13' 52,21168" W	49° 13' 52,21168" W
Altitude (m)	923,7783	923,7783
Conclusão		

FONTE: A autora (2009)

Observa-se na Tabela 19 que não houve diferença nas coordenadas geodésicas quando se aplicou somente valores de PCO e quando se aplicou PCO e PCV. Nota-se também que as coordenadas geodésicas variaram em latitude, longitude quando não se aplicou nenhum parâmetro de calibração, os parâmetros do NGS e os parâmetros de calibração determinados na BCAL/UFPR.

Na Tabela 20 encontram-se os valores das altitudes elipsoidais dos experimentos e a diferença entre os experimentos e o NGS.

TABELA 20 - ALTITUDES ELIPSOIDAIS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-NEIA)

Experimento	Varição PCO/ Varição PCO-PCV	Altitude Elipsoidal (m)	Diferença em metros (Experimento - NGS)
0	Sem Parâmetro	923,7706	-0,0032
1	NGS	923,7738	-----
2	245-08	923,7759	0,0021
3	247-08	923,7755	0,0017
4	248-08	923,7756	0,0018
5	079-09	923,7783	0,0045
6	107-09	923,7783	0,0045
7	108-09	923,7783	0,0045
8	112-09	923,7783	0,0045

FONTE: A autora (2009)

Observa-se na Tabela 20 que a menor diferença encontrada entre os experimentos-NGS é de 1,7 mm e o maior de 4,5 mm.

Na FIGURA 85 pode-se verificar os valores da Tabela 20. Nota-se a variação dos valores em altitude. Quando se compara o experimento 0 com os experimentos 5,6,7 e 8 existem diferenças de 7 mm. Pode-se visualizar também que os valores em altitude do experimento 2, 3 e 4 estão próximos ao valor do experimento 1, essas diferenças não são maiores que 2,1 mm.

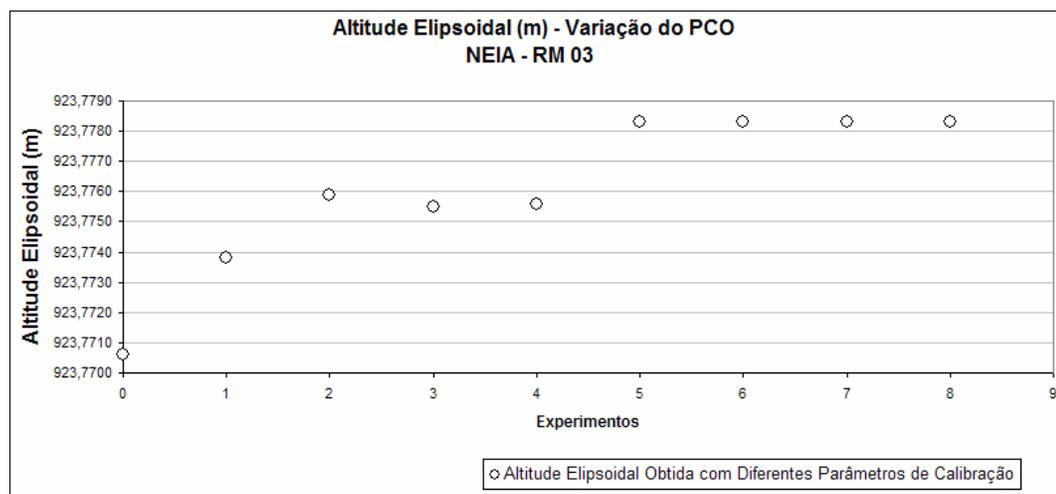


FIGURA 85 - VALORES DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS EM METROS (RM03-NEIA)

FONTE: A autora (2009)

Também se utilizou como estação base a estação PPTE, pertencente a RBMC. As coordenadas determinadas com esta estação base podem ser verificadas na Tabela 21.

TABELA 21 - COORDENADAS GEODÉSICAS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-PPTE)

RM03-PPTE		
Coordenadas Geodésicas		
	Varição do PCO	Varição do PCO e PCV
<i>Sem parâmetro de calibração</i>		
Latitude	25° 26' 54.56706" S	25° 26' 54.56706" S
Longitude	49° 13' 52.20827" W	49° 13' 52.20827" W
Altitude (m)	923,7579	923,7579
<i>NGS</i>		
Latitude	25° 26' 54.56687" S	25° 26' 54.56687" S
Longitude	49° 13' 52.20834" W	49° 13' 52.20834" W
Altitude (m)	923,8011	923,8011
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 245-08</i>		
Latitude	25° 26' 54.56646" S	25° 26' 54.56646" S
Longitude	49° 13' 52.20947" W	49° 13' 52.20947" W
Altitude (m)	923,7832	923,7832
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 247-08</i>		
Latitude	25° 26' 54.56648" S	25° 26' 54.56648" S
Longitude	49° 13' 52.20949" W	49° 13' 52.20949" W
Altitude (m)	923,7827	923,7827
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 248-08</i>		
Latitude	25° 26' 54.56649" S	25° 26' 54.56649" S
Longitude	49° 13' 52.20949" W	49° 13' 52.20949" W
Altitude (m)	923,7829	923,7829
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 079-09</i>		
Latitude	25° 26' 54.56648" S	25° 26' 54.56648" S
Longitude	49° 13' 52.20949" W	49° 13' 52.20949" W
Altitude (m)	923,7856	923,7856
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 107-09</i>		
Latitude	25° 26' 54.56648" S	25° 26' 54.56648" S
Longitude	49° 13' 52.20949" W	49° 13' 52.20949" W
Altitude (m)	923,7856	923,7856
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 108-09</i>		
Latitude	25° 26' 54.56648" S	25° 26' 54.56648" S
Longitude	49° 13' 52.20949" W	49° 13' 52.20949" W
Altitude (m)	923,7856	923,7856
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 112-09</i>		
Latitude	25° 26' 54.56648" S	25° 26' 54.56648" S
Longitude	49° 13' 52.20949" W	49° 13' 52.20949" W
Altitude (m)	923,7856	923,7856

FONTE: A autora (2009)

Constata-se na Tabela 21 que os valores variam em latitude, longitude e altitude, porém as maiores diferenças também estão em altitude.

Na Tabela 22, apresentam-se os valores em altitude determinadas em diferentes experimentos e com a linha de base (RM03-PPTE). Observa-se que as diferenças em altitude entre os experimentos-NGS são negativas, e estão na ordem do centímetro.

TABELA 22 - ALTITUDES ELIPSOIDAIS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-PPTE)

Experimento	Varição PCO/ Varição PCO-PCV	Altitude Elipsoidal (m)	Diferença em metros (Experimento - NGS)
0	Sem Parâmetro	923,7579	- 0,0432
1	NGS	923,8011	-----
2	245-08	923,7832	-0,0179
3	247-08	923,7827	-0,0184
4	248-08	923,7829	-0,0182
5	079-09	923,7856	-0,0155
6	107-09	923,7856	-0,0155
7	108-09	923,7856	-0,0155
8	112-09	923,7856	-0,0155

FONTE: A autora (2009)

Na FIGURA 86, observam-se os valores em altitude variando PCO-PCV, nela se visualiza quanto os valores se distanciam.

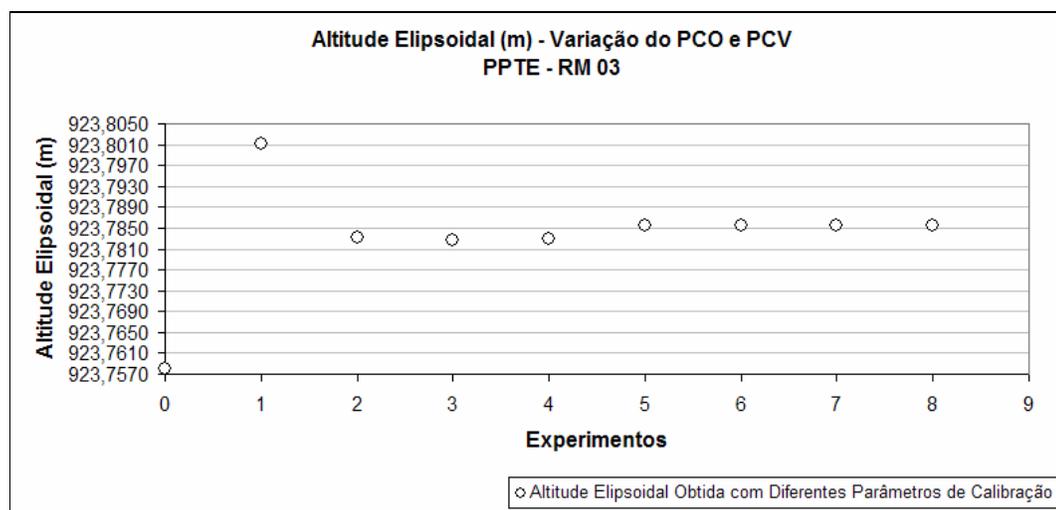


FIGURA 86 - VALORES DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS EM METROS (RM03-PPTE)

FONTE: A autora (2009)

Pode-se notar também na FIGURA 86, a maior diferença encontrada quando se compara o experimento 1 com o experimento 3, o valor é negativo e de aproximadamente -1,8 cm.

Verifica-se na Tabela 23 as coordenadas obtidas aplicando diferentes valores de PCO e PCO-PCV para a linha de base RM03-POLI.

TABELA 23 - COORDENADAS GEODÉSICAS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-POLI)

RM03-POLI		
Coordenadas Geodésicas		
	Varição do PCO	Varição do PCO e PCV
<i>Sem parâmetro de calibração</i>		
Latitude	25° 26' 54,56735" S	25° 26' 54,56735" S
Longitude	49° 13' 52,20918" W	49° 13' 52,20918" W
Altitude (m)	923,6537	923,6537
<i>NGS</i>		
Latitude	25° 26' 54,56718" S	25° 26' 54,56718" S
Longitude	49° 13' 52,21003" W	49° 13' 52,21003" W
Altitude (m)	923,7218	923,7218
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 245-08</i>		
Latitude	25° 26' 54.56713" S	25° 26' 54.56713" S
Longitude	49° 13' 52.20991" W	49° 13' 52.20991" W
Altitude (m)	923,7239	923,7239
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 247-08</i>		
Latitude	25° 26' 54.56715" S	25° 26' 54.56715" S
Longitude	49° 13' 52.20993" W	49° 13' 52.20993" W
Altitude (m)	923,7235	923,7235
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 248-08</i>		
Latitude	25° 26' 54.56716" S	25° 26' 54.56716" S
Longitude	49° 13' 52.20992" W	49° 13' 52.20992" W
Altitude (m)	923,7236	923,7236
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 079-09</i>		
Latitude	25° 26' 54.56715" S	25° 26' 54.56715" S
Longitude	49° 13' 52.20992" W	49° 13' 52.20992" W
Altitude (m)	923,7263	923,7263
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 104-09</i>		
Latitude	25° 26' 54.56715" S	25° 26' 54.56715" S
Longitude	49° 13' 52.20992" W	49° 13' 52.20992" W
Altitude (m)	923,7263	923,7263
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 107-09</i>		
Latitude	25° 26' 54.56715" S	25° 26' 54.56715" S
Longitude	49° 13' 52.20992" W	49° 13' 52.20992" W
Altitude (m)	923,7263	923,7263
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 108-09</i>		
Latitude	25° 26' 54.56715" S	25° 26' 54.56715" S
Longitude	49° 13' 52.20992" W	49° 13' 52.20992" W
Altitude (m)	923,7263	923,7263
<i>Aplicação dos Parâmetros do dia GPS 112-09</i>		
Latitude	25° 26' 54.56715" S	25° 26' 54.56715" S
Longitude	49° 13' 52.20992" W	49° 13' 52.20992" W
Altitude (m)	923,7263	923,7263

FONTE: A autora (2009)

Na Tabela 23 pode-se verificar que existem diferenças entre as latitudes, longitudes e altitudes calculadas, porém as maiores variações estão em altitude.

Observa-se na Tabela 24 as altitudes elipsoidais obtidas para os diferentes experimentos, variando PCO e PCO-PCV.

TABELA 24 - ALTITUDES ELIPSOIDAIS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-POLI)

Experimento	Varição PCO/ Varição PCO-PCV	Altitude Elipsoidal (m)	Diferença em metros (Experimento - NGS)
0	Sem Parâmetro	923,6537	-0,0681
1	NGS	923,7218	
2	245-08	923,7239	0,0021
3	247-08	923,7235	0,0017
4	248-08	923,7236	0,0018
5	079-09	923,7263	0,0045
6	107-09	923,7263	0,0045
7	108-09	923,7263	0,0045
8	112-09	923,7263	0,0045

FONTE: A autora (2009)

Nota-se que as diferenças (Tabela 24) encontradas comparando os valores das altitudes obtidas com diferentes PCO/PCO-PCV com o valor da altitude obtida com parâmetros do NGS estão na ordem do milímetro e a maior diferença encontrada é de 4,5 mm.

Na FIGURA 87 observam-se os valores da altitude da Tabela 24. Observam-se que os valores do experimento 5,6,7 e 8 não variam entre si. Já os valores do experimento 2,3 e 4 estão muito próximos no valores do experimento 1 (NGS).

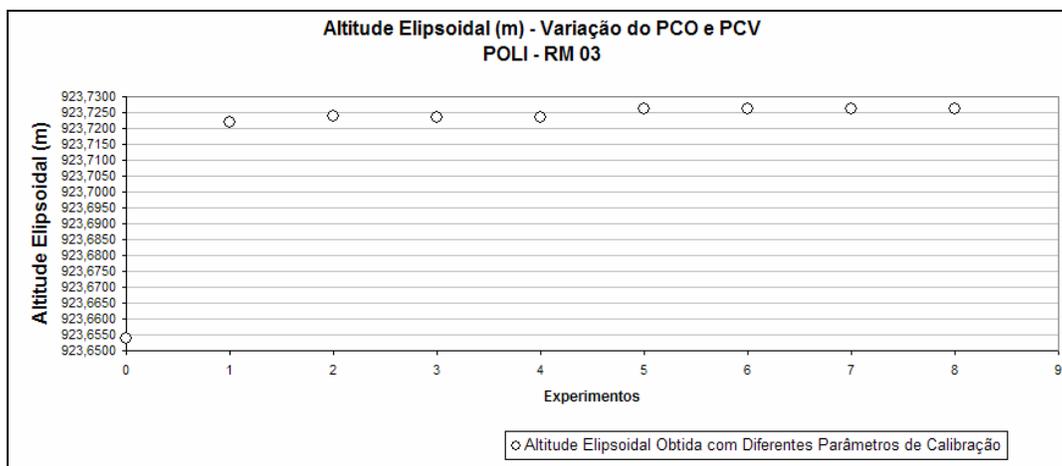


FIGURA 87-VALORES DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS EM METROS (RM03-POLI)

FONTE: A autora (2009)

Os valores das altitudes elipsoidais obtidas com as diferentes estações de referência (UFPR-NEIA-PPTE e POLI) podem ser verificados na Tabela 25.

TABELA 25 - ALTITUDES ELIPSOIDAIS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO E PCO-PCV (RM03-UFPR, RM03-NEIA, RM03-PPTE E RM03-POLI)

	RM03-UFPR		RM03-NEIA		RM03-PPTE		RM03-POLI	
Linha de Base (km)	0,32		139,91		430,24		328,93	
	PCO	PCO e PCV	PCO	PCO e PCV	PCO	PCO e PCV	PCO	PCO e PCV
Experimentos – Dias GPS	Altitude Elipsoidal (m)							
Sem Parâmetros	923,7779	923,7779	923,7706	923,7706	923,7579	923,7579	923,6537	923,6537
NGS	923,7821	923,7821	923,7738	923,7738	923,8011	923,8011	923,7218	923,7218
245-08	923,7846	923,7846	923,7759	923,7759	923,7832	923,7832	923,7239	923,7239
247-08	923,7846	923,7846	923,7755	923,7755	923,7827	923,7827	923,7235	923,7235
248-08	923,7849	923,7849	923,7756	923,7756	923,7829	923,7829	923,7236	923,7236
079-09	923,7850	923,7850	923,7783	923,7783	923,7856	923,7856	923,7263	923,7263
107-09	923,7850	923,7850	923,7783	923,7783	923,7856	923,7856	923,7263	923,7263
108-09	923,7850	923,7850	923,7783	923,7783	923,7856	923,7856	923,7263	923,7263
112-09	923,7850	923,7850	923,7783	923,7783	923,7856	923,7856	923,7263	923,7263

FONTE: A autora (2009)

Verifica-se na Tabela 25 que os valores das altitudes para cada linha de base dos experimentos não se diferem quando se aplica os valores do PCO e PCO-PCV.

Percebe-se também com a Tabela 25 que os valores da altitude obtidas com a estação POLI é o que mais se diferem. Quando se compara as altitudes obtidas com a estação de referência UFPR e POLI, pode-se verificar que as diferenças estão na ordem do centímetro.

Observa-se na FIGURA 88 os valores da Tabela 25. Nota-se que os valores das altitudes para os experimentos 2,3,4,5,6,7 e 8 determinados com as estações de referência UFPR e PPTE são próximos e suas diferenças estão na ordem do milímetro.

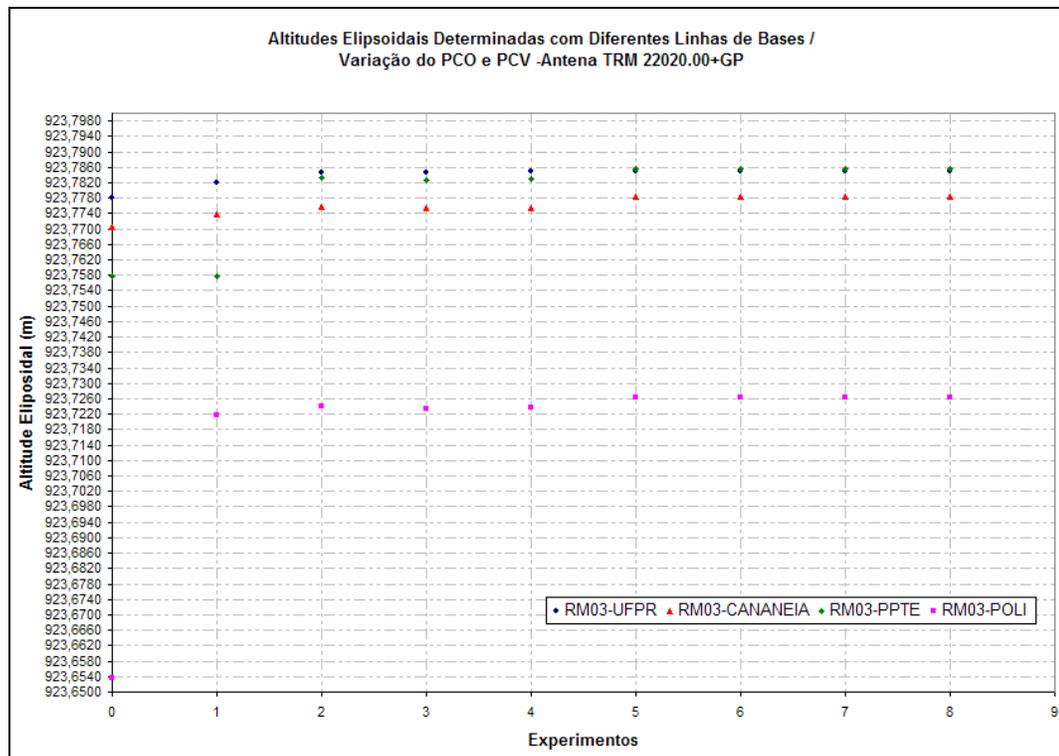


FIGURA 88 - ALTITUDES ELIPSOIDAIS OBTIDAS COM DIFERENTES VALORES DE PCO-PCV (RM03-UFPR, RM03-NEIA, RM03-PPTE E RM03-POLI)

FONTE: A autora (2009)

Analisando a FIGURA 88, pode observar que as maiores diferenças encontram-se quando se compara os valores determinados com a estação de referência UFPR com POLI, essas ultrapassam o valor de 5 cm, e alguns casos como no experimento 0, comparando (UFPR-POLI), o valor é de aproximadamente 10 cm. Essas diferenças podem estar vinculadas com os tipos de equipamentos utilizados por estas estações de referência. A UFPR é equipada com receptor TRIMBLE netR5 e POLI é equipada com receptor Leica GRX1200, receptores que utilizam diferentes técnica de recuperação do sinal GNSS.

Analisando esses valores de altitude pode-se concluir que aplicando valores de PCO fornecidos pelo NGS para a determinação das coordenadas de um ponto os resultados são diferentes daqueles obtidos com a aplicação dos valores de PCO calibrados da própria antena. Ressalta-se que é muito importante quando se almeja precisão milimétrica aplicar algum parâmetro de calibração de antena. Observou-se que, para a linha de base (RM03-UFPR) quando não se aplicou nenhum parâmetro (PCO) de calibração, experimento 0, obteve-se aproximadamente 6 mm de diferença com relação ao emprego dos parâmetros do experimento 2.

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS OBTIDAS COM DIFERENTES PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO EM DIFERENTES LINHAS DE BASE

Utilizou-se o programa de estatística *Statgraphics Centurion* para realizar as análises estatísticas do conjunto de dados. Inicialmente foi aplicado o teste de Kolmogorov Smirnov combinando dois conjuntos de amostras, as altitudes elipsoidais obtidas: linha de base UFPR e linha de base NEIA. Este teste é realizado calculando a distância máxima entre as distribuições cumulativa das duas amostras.

No teste de Kolmogorov Smirnov a distância máxima calculada foi de 1,0 e o valor p calculado é 0,000670925. Como o valor p calculado é inferior ao valor de p tabulado de 0,05, existe uma diferença estatisticamente significativa entre as duas distribuições com 95,0% de nível de confiança, portanto as amostras são normais, então pode-se aplicar o teste t-Student.

Calcularam-se alguns dados estatísticos antes de se aplicar o teste t-Student que podem ser visualizados na Tabela 26.

TABELA 26 - PARÂMETROS PARA A ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS AMOSTRAS

Dados Estatísticos	RM03_UFPR	RM03_NEIA
Número de amostras	8	8
Valor médio (m)	923,785	923,777
Desvio padrão (m)	0,000995346	0,00176958
Coefficiente de variação	0,000107747%	0,00019156%
Valor mínimo (m)	923,782	923,774
Valor Máximo (m)	923,785	923,778

FONTE: A autora (2009)

Pode-se verificar na Tabela 26 o número de amostras, bem como o valor médio calculado. Verifica-se que a média se difere entre os dois grupos em 0,008 metros.

Aplicou-se o teste t-Student com o objetivo de verificar se os dois conjuntos de dados são estatisticamente diferentes. Nesse contexto optou-se por adotar um nível de confiança de 95% ($1-\alpha$) e testar a hipótese nula $H_0 = \bar{X}_1 = \bar{X}_2$, considerando α com nível de significância de 0,05, teste bilateral.

O valor de t calculado é de 10,8314 e t tabelado com $\alpha= 0,05$ e 14 graus de liberdade é de 2,145. Como o valor de t calculado diferente do t tabelado pode-se rejeitar a hipótese nula e afirmar que a diferença é estatisticamente significativa entre as médias das duas amostras, no nível de confiança 95,0%.

5. CONSIDERAÇÕES, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Analisando o efeito do multicaminho nos pilares que compõem a base de calibração, com opção de dois equipamentos distintos pode-se verificar com os programas TEQC e Wasoft/Multipath, que o conjunto antena e receptor (Choke Ring e Leica) são os que apresentam menor ocorrência desse efeito. Também conclui-se que, com o emprego dos dois programas na análise do efeito do multicaminho, o Pilar 3000(Sul) é o mais afetado. Através do diagrama de obstruções que foi gerado podem-se verificar quais são os elementos que podem estar influenciando para que a intensidade desse efeito seja maior nesse pilar.

Processou-se dados GPS de 4 sessões de 6 horas utilizando como estação de referência a UFPR, objetivando a determinação das coordenadas geodésicas dos três pilares de calibração que compõem a base de calibração.

Determinou-se os valores do PCO e do PCV da antena TRM22020.00+GP, obtidos dos experimentos realizados através do método de calibração relativa em campo na BCAL/UFPR. Os resultados são relativos, porém a nível absoluto, visto que se utilizou como antena de referência AT504, parâmetros determinados absolutamente. Para que se pudesse realizar a comparação dos valores do PCV, eles foram reduzidos a um valor comum. Observou-se que, a mesma antena, para dias distintos apresenta PCO diferente tanto para L1 quanto para L2. As maiores variações para ambas as componentes encontram-se na portadora L2. Comparando um valor médio as componentes norte e leste na portadora L1, verificou-se que a maior variação encontrada é de 0,2 mm na componente norte e de 0,1 mm na componente leste. Verifica-se que os valores dos experimentos não diferem em módulo mais que 0,2 mm para a componente norte e 0,1 mm na componente leste. Para a portadora L2 nas componentes norte e leste pode-se verificar que valor médio calculado é de -0,40 mm e de 2,6 mm, respectivamente. As diferenças encontradas quando se compara o valor de cada experimento e a média para a componente norte é de 0,3 mm e na componente leste de 0,1 mm. Quando se comparou a componente vertical para ambas as portadoras, verificou-se que as maiores variações com relação o valor médio encontrado estão na onda portadora L1, porém esses valores não são maiores que 1,5 mm em módulo. Os valores da PCV dependentes de elevação para a portadora L1 e L2, foram representados em

tabelas onde se verificou os valores dos PCVs de elevações e 0° a 80° . Para a portadora L1 os valores não são muito diferentes entre si e as maiores diferenças encontradas estão na ordem do décimo do milímetro. Para a portadora L2 observa-se uma maior variação principalmente no intervalo de 0° a 40° e acima de 60° . Também foi gerado gráficos de superfície, os quais apresentam o horizonte da antena GPS em suas variações do centro de fase (PCV) dadas em função da distribuição dos satélites em azimutes de 0° a 360° e em elevação de 0° a 90° . Pode-se verificar que para a portadora L1 as superfícies encontradas são regulares, já para a onda portadora L2 as superfícies são irregulares, apresentam muitos picos e depressões. Todos os parâmetros gerados foram analisados pelo programa CCANTEX, onde pode-se concluir que a maioria dos experimentos foram conduzidos de forma correta pois apresentam diferenças na ordem do décimo do milímetro. A exceção é o experimento dia GPS 079-08, na componente norte, pois apresentou uma diferença de -1,04 mm.

Aplicaram-se os parâmetros de calibração gerados da antena TRM 22020.00+GP para determinar coordenadas geodésicas do marco RM03, adotando como estação base as estações: UFPR, NEIA, POLI e PPTTE, todas pertencentes à RBMC. Verificou-se que as ambiguidades só foram resolvidas em 100% quando se utilizou como estação base a UFPR, constituindo uma linha de base de aproximadamente 32 m de comprimento. Determinaram-se as coordenadas geodésicas aplicando os valores do PCO e os valores PCO e PCV. Percebeu-se que onde não houve qualquer diferença nessas coordenadas quando utilizado os valores do PCO e PCV em conjunto de quando se utilizou somente valores de PCO. Aplicaram-se também os parâmetros do NGS fornecidos para essa antena TRM 22020.00+GP, e observa-se em todos os experimentos que há uma diferença significativa quando se comparam os parâmetros próprios da antena com parâmetros médios fornecidos pelo NGS. As maiores diferenças estão na altitude e pode-se observar que quando se compara os valores determinados com a UFPR como estação base, com a estação POLI, essas diferenças ultrapassam o valor de 5 cm, e em alguns casos como no experimento 0, comparando (UFPR-POLI), o valor é de aproximadamente 10 cm. Ressalta-se que é muito importante quando se espera precisão milimétrica aplicar parâmetros de calibração de antena. Observou-se que, para uma linha de base (RM03-UFPR) uma diferença de aproximadamente 6 mm

quando comparado experimento 1 com o 2. No experimento 1 não se aplicou parâmetros de calibração e o 2 aplicou-se parâmetros próprios da antena.

Fez uma análise estatística dos dados de altitude calculados com as linhas de bases: RM03-UFPR e RM03-NEIA. Aplicou-se o teste de Kolmogorov Smirnov onde pode verificar-se que a distribuição dos dados era normal, desta forma pode-se aplicar o teste t-Student, onde se almejava saber se as diferenças encontradas entre esses dois grupos era significativa. Verificou-se que a distribuição dos dados é normal e que as diferenças são estatisticamente significativas entre as médias das duas amostras, no nível de confiança 95,0%.

As recomendações deste trabalho para futuras pesquisas são:

- a) Investigar materiais que minimizem o efeito do multicaminho nos pilares da BCAL/UFPR;
- b) Reocupar os pilares 1000, 2000 e 3000 para determinar coordenadas geodésicas, com dois receptores Leica GPS 1200 e com duas antenas Choke Ring (2D e 3D) simultaneamente, utilizando como estação base a UFPR, visando o ajustamento dos dados e determinação de coordenadas corrigidas para a época;
- c) Realizar experimentos de calibrações com diferentes tipos de condições climáticas;
- d) Analisar a influência da temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa do ar na determinação dos parâmetros de calibração;
- e) Processar os dados de calibrações de antenas com máscara de elevação de 25° para determinar PCO e comparar;
- f) Analisar estatisticamente os resultados de calibração;
- g) Verificar se há variações significativas em coordenadas geodésicas quando se aplicam os parâmetros de calibrações produzidos na BCAL/UFPR para linhas de base em que haja a resolução dos inteiros das ambiguidades;
- h) Realizar o nivelamento da BCAL/UFPR para verificar se houve algum tipo de deslocamento da base de calibração;
- i) Construir um pilar na BCAL/UFPR visando monitorar possíveis deslocamentos;

j) Realizar calibração das antenas que compõe a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), RIBaC (Rede INCRA de Bases Comunitárias do GPS) e Rede Manfra de Estações de Monitoramento Contínuo de GPS.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOTTI, J,L,S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. Editora da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Editora Unisinos. São Leopoldo, 2005.

BARBIERI, M. J.; FARRET, J. C.; MORAES, C. V.; CARNEIRO, M (2006). **Ruído, Multicaminho e Ângulo de Elevação: Qual a Melhor Máscara para Trabalhos com Gps?**. In: Revista Geomática, Santa Maria, v.1, n.1 – 2006.

BALANIS C. A. **Antenna Theory: analysis and design**. 2nd edition. New York: Wiley, 1998.

BÁNYAI, L. (2005). Investigation of GPS antenna mean phase centre offsets using a full roving observation strategy. **Journal of Geodesy** (2005).

BÖDER, V.; MENGE, F.; SEEGER, G.; WÜBBENA, G.; SCHMITZ, M. **How To Deal With Station Dependent Errors – New Developments Of The Absolute Field Calibration Of PCV And Phase-Multipath With A Precise Robot**. In: ION GPS 2001.

CANADIAN SPACE AGENCY . Disponível em <
<http://space.gc.ca/about/fag/df1/default.asp#17>>. Acesso em: 23 de outubro de 2008.

FERRANDO, M.; VALERO A. **Antenas**. Departamento de Comunicaciones. UPV - Universidad Politécnica De Valencia. Notas de Aula. Disponível em <
http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Antenas_elementales.pdf>. Acesso em: 02 de outubro de 2008.

FRANZ, L. V. **Antenas, Cabos e Rádio-Enlace**. Notas de aula. Universidade Santa Cecília, Santos – SP. Disponível em <
http://professores.unisanta.br/santana/downloads%5CTelecom%5CSistemas_Telecom%5CRadio%5CCurso%20de%20Antenas.pdf>. Acesso em: 02 de outubro de 2008.

FREIBERGER JUNIOR. **Antenas de Receptores GPS: Características Gerais**. Material teórico de apoio ao Curso de Extensão Error Sources in Highly Precise GPS Positioning, 2004. Disponível em <
http://www.geomatica.ufpr.br/docentes/ckrueger/pessoal/D_antenas.pdf>. Acesso em: 29 de setembro de 2008.

FREIBERGER JUNIOR, J; MAYER.M; SEITZ.K ; HECK.B; KRUEGER. P.C.
Calibração de Antenas GPS em diferentes estações. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba-PR, v. 11, n. 2, p. 157-178, 2005.

FREIBERGER JUNIOR, J . **Investigações Da Calibração Relativa de Antenas GNSS.** Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, 2007.

FUSCO, V. F. **Teoria e Técnicas de Antenas: Princípios e Práticas.** Bookman, Porto Alegre, 2006.

GEOPP.DE. Gesellschaft für satellitengestützte und navigatorische Technologien mbH. Disponível em <http://www.geopp.de/media/docs/AOA_DM_T/index.html>. Acesso em: 23 de outubro de 2008.

GÖRRES, B.; CAMPBELL, J.; SIEMES,M. **New Anechoic Chamber Results and Comparison with Field and Robot Techniques.** IGS Meeting Bern, 2006.

GOOGLE EARTH (2009). Disponível em <<http://www.googleearth.com>>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2009.

HEISTER, H.; HOLLMANN R.;LANG, M. **Multipath-Einfluss bei GPS-Phasenmessungen: Auswirkungen und Konsequenzen für praktische Messungen.** Avn Allgemeine Vermessungs Nachrichten, 1997.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **GPS: theory and practice.** 3.ed. Springer, 2001.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 de outubro de 2008.

ISHIKAWA, M. I.; ITAME, O. Y. **Efeitos de Multicaminhamento em Levantamentos Utilizando GPS Aplicados ao Cadastro Técnico Urbano.** COBRAC 2000- Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário · UFSC Florianópolis-15 a 19 de Outubro 2000. Disponível em <http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2000/063/063.htm>. Acesso em: 03 de outubro de 2008.

KRUEGER, C. P. **Apostila Geodésia Celeste**. Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007. Em prelo.

KRUEGER, C. P. **Relatório apresentado a CAPES: “Investigação de Fontes de Erros no posicionamento GPS e modelagem dos erro”** . Curitiba, 2009.

LEICA GEOSYSTEMS. Disponível em <<http://www.leica-geosystems.com>>. Acesso em : 13 de Outubro de 2008.

LEICA AR25. Disponível em <<http://www.leica-geosystems.com>>. Acesso em : 29 de junho de 2009.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying** – 3. edition. New York: John Wiley & Sons, 2004.

LEVIN, J. **Estatística Aplicada a Ciências Humanas**. Copyright. 1978. Editora Harper & Row do Brasil Ltda.

MADER, G. **GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey**. GPS Solutions, Vol. 3, N°1, p.50-58, 1999.

MAGALHÃES, M.N; LIMA ,A.C.P de. **Noções de Probabilidade e Estatística**. 6 ed. Revisada. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

MENGE, F.; SEEBER, G.; VÖLKSEN, C. WÜBBENA, G.; SCHMITZ, M. **Results of absolute field calibration of GPS antenna PCV**. In: Proceedings of the 11th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation ION GPS-98, September 15-18, Nashville, Tennessee.

MENGE, F. **Zur Kalibrierung der Phasenzentrumsvariationen von GPS-Antennen für die hochpräzise Positionsbestimmung**. 198 f. Genehmigte Dissertation. Hannover, 2003.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2 ed. São Paulo, Editora UNESP, 2008.

NGS. National Geodetic Survey. Disponível em <<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>>. Acesso em: 03 de outubro de 2008.

NIMA (2003). National Imagery and Mapping Agency. Disponível em <http://www.nima.mil/portal/site/nga01/index.jsp?front_door=true>. Acesso: 15 de setembro de 2006.

PALMA, E.; FARRET, C.J. **A Precisão Possível com o GPS em Georreferenciamento: O Desafio do Multicaminho**. In: Revista Geomática, Santa Maria, v.1, n.1 – 2006.

PARKINSON, B.W. et al. **Global Positioning System: Theory and Application**. 3. ed. Vol 1. Washington, DC: American Institute of Aeronautics, inc., 1996.

PARKINSON, B.W. et al. **Global Positioning System: Theory and Application**. 3. ed. Vol 2. Washington, DC: American Institute of Aeronautics, inc., 1996.

POLEZEL, C. G. W. **Impacto da Modernização do GNSS no Posicionamento com Satélites**. Disponível em <http://gege.prudente.unesp.br/english/reuniao/2007/Projeto_mestrado_L2C_análises_2007_fim.pdf>. Acesso em: 30 de outubro de 2008.

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

RÓZSA, SZ.; MAYER, M.; WESTERHAUS, M.; SEITZ, K; HECK, B. **Towards the determination of displacements in the Upper Rhine Graben area using GPS measurements and precise antenna modelling**. Quaternary Science Reviews, 2005.

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

SILVA, T. C.; FERREIRA, B.E. **Desempenho De Testes De Normalidade Via Simulação Monte Carlo**. 53a Reunião Anual da RBRAS. Novembro de 2008.

SOUZA, E. M. **Efeito de Multicaminho de Alta Frequência no posicionamento Relativo GPS Estático: Detecção e atenuação utilizando Wavelets**. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2004.

SOUZA, E. M.; 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.** Boletim Ciências Geodésicas, sec Artigos, Curitiba, v.11, n°2, 2005.

SOUZA, C. R. M. **Interferidores de GPS: Análise do Sistema e de Potenciais Fontes de Interferência.** 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Elétrica.) – IME - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2005.

SOUZA, E. M.; POLEZEL, W. G. C.; MONICO, J. F. G.: **Metodologia de Redução do Multicaminho em Estações de Referência GPS.** COBRAC 2006- Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário- UFSC. Florianópolis- 15 a 19 de outubro de 2006.

SCHMITZ, M.; WÜBBENA, G. **Remarks on Effects of the SCIS Radome on PCV.** Garbsen, Germany, 2001.

SCHUPLER, B. R.; CLARK, T. A. (2000). **High Accuracy Characterization of Geodetic GPS Antennas Using Anechoic Chamber and Field Tests.** Proceedings of the ION GPS 2000, 19-22 September, Satl Lake City, UT.

TRIMBLE . Receptor Netr5. Disponível em <<http://www.Trimble.com/netr5.shtml>>. Acesso realizado em 15 de outubro de 2008.

UNAVCO (2008). University NAVSTAR Consortium. TEQC – Tutorial. Disponível em <<http://www.unavco.org>>. Acesso realizado em 25 de outubro de 2008.

WANNINGER, L. Programm Wasoft/Kalib 2.0. Disponível em <<http://www.wasoft.de>>. Acesso realizado em 22 de setembro de 2008.

WANNINGER, L. Programm CCANTEX. Disponível em <<http://www.wasoft.de>>. Acesso realizado em 20 de Junho de 2009.

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.

WÜBBENA, G.; MENGE, F.; SCHMITZ, M.; SEEBER, G.; VÖLKSEN, C. **A new approach for field calibration of antenna phase center variations.** In: Proceedings of the 9th. International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation ION GPS-96.

WÜBBENA, G.; SCHMITZ, M.; MENGE, F.; BÖDER, V.; SEEBER, G. **Automated absolute field calibration of GPS-Antennas in real time.** In: 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.

WÜBBENA, G.; SCHMITZ, M.; BOETTCHER, G. **Absolute GNSS antenna calibration with a robot: repeatability, GLONASS and carrier-to-noise pattern.** In: 10th EUPOS ICS, 21-24 November 2006a. Budapest, Hungria.

WÜBBENA, G.; SCHMITZ, M.; BOETTCHER, G. **Separation of near-field and far-field multipath: new strategies for station calibration.** In: 10th EUPOS ICS, 21-24 November 2006b. Budapest, Hungria.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – EXEMPLO DE ARQUIVO DE CALIBRAÇÃO NO FORMATO ANTEX..... 127

165.0	-6.51	-5.94	-4.68	-2.78	-0.67	1.04	1.92	1.92	1.24	0.23	-0.73	-1.32	-1.41	-0.80	0.98	4.38	8.87
170.0	-6.51	-5.91	-4.64	-2.76	-0.66	1.06	1.96	1.97	1.27	0.22	-0.74	-1.32	-1.40	-0.81	0.97	4.39	8.89
175.0	-6.51	-5.88	-4.59	-2.72	-0.64	1.08	2.00	2.01	1.29	0.23	-0.74	-1.33	-1.42	-0.83	0.97	4.40	8.92
180.0	-6.51	-5.85	-4.54	-2.67	-0.60	1.11	2.02	2.02	1.30	0.24	-0.74	-1.35	-1.47	-0.87	0.95	4.42	8.94
185.0	-6.51	-5.82	-4.48	-2.59	-0.53	1.16	2.04	2.02	1.30	0.25	-0.74	-1.38	-1.54	-0.94	0.93	4.43	8.96
190.0	-6.51	-5.79	-4.41	-2.50	-0.44	1.22	2.05	1.99	1.28	0.26	-0.73	-1.43	-1.63	-1.01	0.91	4.44	8.97
195.0	-6.51	-5.76	-4.34	-2.39	-0.32	1.30	2.06	1.96	1.25	0.26	-0.73	-1.49	-1.73	-1.10	0.87	4.45	8.98
200.0	-6.51	-5.73	-4.27	-2.28	-0.19	1.39	2.07	1.91	1.22	0.26	-0.74	-1.55	-1.83	-1.19	0.83	4.44	8.98
205.0	-6.51	-5.71	-4.19	-2.15	-0.05	1.48	2.09	1.87	1.18	0.26	-0.75	-1.60	-1.93	-1.28	0.79	4.43	8.97
210.0	-6.51	-5.68	-4.12	-2.03	0.08	1.58	2.11	1.84	1.15	0.25	-0.76	-1.65	-2.01	-1.36	0.74	4.40	8.94
215.0	-6.51	-5.66	-4.06	-1.92	0.21	1.67	2.14	1.83	1.13	0.24	-0.77	-1.69	-2.07	-1.42	0.69	4.36	8.91
220.0	-6.51	-5.65	-4.00	-1.83	0.31	1.75	2.18	1.84	1.13	0.24	-0.79	-1.71	-2.11	-1.46	0.64	4.30	8.86
225.0	-6.51	-5.63	-3.96	-1.76	0.39	1.81	2.23	1.88	1.15	0.24	-0.79	-1.72	-2.11	-1.48	0.59	4.24	8.81
230.0	-6.51	-5.62	-3.92	-1.71	0.43	1.85	2.28	1.94	1.20	0.26	-0.79	-1.70	-2.09	-1.48	0.55	4.16	8.74
235.0	-6.51	-5.62	-3.90	-1.69	0.44	1.87	2.34	2.03	1.27	0.28	-0.78	-1.67	-2.03	-1.46	0.51	4.08	8.66
240.0	-6.51	-5.62	-3.89	-1.69	0.42	1.86	2.39	2.13	1.37	0.32	-0.76	-1.62	-1.95	-1.41	0.47	3.99	8.58
245.0	-6.51	-5.63	-3.90	-1.71	0.38	1.83	2.43	2.24	1.47	0.38	-0.73	-1.55	-1.85	-1.35	0.44	3.90	8.49
250.0	-6.51	-5.64	-3.92	-1.75	0.32	1.79	2.47	2.35	1.59	0.44	-0.69	-1.47	-1.74	-1.28	0.42	3.81	8.40
255.0	-6.51	-5.66	-3.95	-1.80	0.24	1.74	2.49	2.45	1.70	0.51	-0.64	-1.39	-1.62	-1.20	0.41	3.73	8.31
260.0	-6.51	-5.68	-3.98	-1.85	0.18	1.69	2.51	2.53	1.79	0.57	-0.59	-1.31	-1.51	-1.12	0.40	3.65	8.22
265.0	-6.51	-5.70	-4.03	-1.91	0.12	1.65	2.51	2.58	1.86	0.63	-0.54	-1.23	-1.41	-1.05	0.40	3.58	8.14
270.0	-6.51	-5.73	-4.08	-1.96	0.07	1.62	2.50	2.60	1.90	0.67	-0.49	-1.16	-1.33	-0.99	0.40	3.52	8.07
275.0	-6.51	-5.77	-4.14	-2.01	0.05	1.61	2.49	2.59	1.91	0.70	-0.45	-1.11	-1.27	-0.94	0.40	3.48	8.00
280.0	-6.51	-5.81	-4.20	-2.06	0.04	1.61	2.47	2.56	1.89	0.72	-0.42	-1.08	-1.24	-0.92	0.41	3.45	7.94
285.0	-6.51	-5.85	-4.27	-2.10	0.05	1.64	2.46	2.50	1.84	0.72	-0.40	-1.07	-1.25	-0.91	0.42	3.43	7.89
290.0	-6.51	-5.89	-4.35	-2.14	0.07	1.68	2.45	2.44	1.78	0.70	-0.39	-1.08	-1.28	-0.93	0.42	3.42	7.85
295.0	-6.51	-5.94	-4.42	-2.19	0.09	1.73	2.44	2.37	1.71	0.68	-0.39	-1.11	-1.33	-0.96	0.43	3.42	7.82
300.0	-6.51	-5.98	-4.51	-2.25	0.11	1.78	2.45	2.31	1.65	0.66	-0.39	-1.15	-1.40	-1.00	0.43	3.43	7.79
305.0	-6.51	-6.03	-4.60	-2.32	0.11	1.82	2.46	2.27	1.60	0.64	-0.40	-1.20	-1.48	-1.04	0.44	3.45	7.77
310.0	-6.51	-6.08	-4.69	-2.41	0.08	1.85	2.48	2.25	1.57	0.64	-0.41	-1.25	-1.55	-1.09	0.45	3.47	7.75
315.0	-6.51	-6.12	-4.79	-2.51	0.03	1.85	2.50	2.25	1.57	0.65	-0.41	-1.29	-1.61	-1.12	0.47	3.48	7.73
320.0	-6.51	-6.17	-4.88	-2.63	-0.06	1.83	2.52	2.28	1.60	0.67	-0.40	-1.32	-1.65	-1.14	0.48	3.50	7.71
325.0	-6.51	-6.21	-4.98	-2.76	-0.17	1.78	2.54	2.33	1.65	0.71	-0.39	-1.32	-1.67	-1.14	0.50	3.51	7.69
330.0	-6.51	-6.26	-5.07	-2.90	-0.31	1.70	2.54	2.39	1.72	0.75	-0.36	-1.31	-1.67	-1.13	0.52	3.52	7.66
335.0	-6.51	-6.29	-5.16	-3.03	-0.46	1.60	2.53	2.46	1.79	0.81	-0.33	-1.28	-1.64	-1.10	0.54	3.51	7.63
340.0	-6.51	-6.33	-5.24	-3.16	-0.61	1.48	2.51	2.51	1.87	0.86	-0.29	-1.24	-1.59	-1.06	0.54	3.49	7.59
345.0	-6.51	-6.36	-5.30	-3.27	-0.76	1.36	2.47	2.55	1.93	0.91	-0.25	-1.19	-1.53	-1.03	0.54	3.45	7.55
350.0	-6.51	-6.38	-5.35	-3.36	-0.89	1.25	2.42	2.57	1.97	0.94	-0.22	-1.14	-1.47	-1.00	0.51	3.39	7.50
355.0	-6.51	-6.40	-5.38	-3.43	-0.99	1.14	2.35	2.56	1.99	0.96	-0.20	-1.09	-1.43	-1.00	0.47	3.32	7.44
360.0	-6.51	-6.42	-5.40	-3.46	-1.06	1.05	2.28	2.52	1.98	0.96	-0.19	-1.07	-1.40	-1.01	0.40	3.24	7.38

01

END OF FREQUENCY

02

START OF FREQUENCY

-0.25 2.68 60.04

NORTH / EAST / UP

NOAZI	-0.76	-0.10	0.98	1.16	0.53	0.20	0.55	0.72	0.16	-0.55	-0.77	-0.73	-0.79	-0.50	0.65	1.97	2.15
0.0	-0.76	-0.30	0.57	0.54	-0.09	0.00	0.94	1.44	0.82	-0.02	-0.14	0.11	0.13	0.43	1.78	3.39	3.48
5.0	-0.76	-0.28	0.60	0.53	-0.15	-0.05	0.97	1.47	0.73	-0.22	-0.27	0.15	0.22	0.39	1.60	3.20	3.40
10.0	-0.76	-0.25	0.65	0.55	-0.19	-0.12	0.91	1.40	0.59	-0.42	-0.42	0.14	0.28	0.37	1.45	3.04	3.31
15.0	-0.76	-0.23	0.70	0.60	-0.20	-0.21	0.77	1.25	0.42	-0.60	-0.56	0.10	0.30	0.36	1.35	2.90	3.22
20.0	-0.76	-0.21	0.77	0.69	-0.18	-0.31	0.57	1.04	0.24	-0.75	-0.69	0.02	0.28	0.35	1.29	2.79	3.13
25.0	-0.76	-0.18	0.84	0.80	-0.12	-0.40	0.33	0.78	0.07	-0.86	-0.81	-0.11	0.21	0.35	1.27	2.71	3.04
30.0	-0.76	-0.16	0.92	0.93	-0.03	-0.48	0.09	0.52	-0.08	-0.92	-0.91	-0.26	0.10	0.33	1.28	2.65	2.95
35.0	-0.76	-0.13	1.00	1.07	0.08	-0.54	-0.14	0.28	-0.18	-0.94	-0.99	-0.44	-0.04	0.30	1.29	2.60	2.86
40.0	-0.76	-0.11	1.08	1.21	0.20	-0.56	-0.32	0.10	-0.23	-0.92	-1.06	-0.63	-0.22	0.24	1.28	2.54	2.76
45.0	-0.76	-0.09	1.14	1.33	0.32	-0.55	-0.43	-0.01	-0.22	-0.86	-1.11	-0.82	-0.41	0.15	1.25	2.46	2.65
50.0	-0.76	-0.07	1.19	1.43	0.43	-0.50	-0.46	-0.03	-0.17	-0.79	-1.15	-0.99	-0.60	0.04	1.17	2.35	2.53
55.0	-0.76	-0.05	1.23	1.50	0.52	-0.43	-0.41	0.03	-0.07	-0.72	-1.18	-1.13	-0.78	-0.12	1.03	2.20	2.39
60.0	-0.76	-0.04	1.25	1.53	0.58	-0.33	-0.28	0.18	0.05	-0.65	-1.20	-1.23	-0.93	-0.30	0.83	2.00	2.24
65.0	-0.76	-0.03	1.25	1.52	0.60	-0.23	-0.09	0.38	0.19	-0.60	-1.21	-1.28	-1.05	-0.51	0.57	1.76	2.08
70.0	-0.76	-0.02	1.24	1.48	0.59	-0.11	0.14	0.61	0.31	-0.58	-1.21	-1.30	-1.14	-0.73	0.27	1.49	1.90
75.0	-0.76	-0.01	1.21	1.42	0.56	-0.01	0.39	0.85	0.41	-0.59	-1.22	-1.27	-1.21	-0.96	-0.07	1.19	1.73
80.0	-0.76	-0.01	1.18	1.34	0.52	0.09	0.63	1.07	0.48	-0.64	-1.23	-1.22	-1.24	-1.19	-0.41	0.89	1.56
85.0	-0.76	0.00	1.15	1.26	0.47	0.18	0.84	1.25	0.49	-0.72	-1.24	-1.17	-1.26	-1.39	-0.74	0.61	1.40
90.0	-0.76	0.00	1.13	1.19	0.43	0.26	1.00	1.36	0.46	-0.83	-1.28	-1.11	-1.26	-1.56	-1.01	0.37	1.26
95.0	-0.76	0.01	1.11	1.15	0.41	0.31	1.11	1.41	0.38	-0.95	-1.32	-1.08	-1.26	-1.69	-1.22	0.19	1.14
100.0	-0.76	0.01	1.10	1.14	0.41	0.36	1.16	1.39	0.28	-1.07	-1.38	-1.06	-1.25	-1.74	-1.33	0.07	1.06
105.0	-0.76	0.02	1.11	1.16	0.45	0.39	1.15	1.31	0.16	-1.19	-1.45	-1.08	-1.24	-1.73	-1.34	0.04	1.02
110.0	-0.76	0.03	1.13	1.21	0.52	0.42	1.09	1.19	0.04	-1.27	-1.51	-1.11	-1.22	-1.65	-1.24	0.09	1.01
115.0	-0.76	0.03	1.16	1.29	0.62	0.44	0.99	1.05	-0.05	-1.30	-1.55	-1.16	-1.19	-1.50	-1.05	0.21	1.03
120.0	-0.76	0.04	1.21	1.40	0.73	0.45	0.87	0.91	-0.10	-1.28	-1.55	-1.19	-1.14	-1.30	-0.78	0.39	1.08
125.0	-0.76	0.05	1.25	1.51	0.86	0.47	0.75	0.79	-0.09	-1.18	-1.50	-1.20	-1.06	-1.05	-0.46	0.62	1.16
130.0	-0.76	0.06	1.31	1.63	0.99	0.49	0.64	0.70	-0.02	-1.02	-1.39	-1.17	-0.97	-0.79	-0.12	0.87	1.25
135.0	-0.76	0.07	1.35	1.75	1.11	0.51	0.57	0.67	0.10	-0.79	-1.22	-1.08	-0.85	-0.53	0.21	1.12	1.35
140.0	-0.76	0.08	1.40	1.84	1.21	0.55	0.55	0.70	0.28	-0.52	-0.98	-0.94	-0.71	-0.31	0.49	1.35	1.45
145.0	-0.76	0.09	1.43	1.91	1.29	0.60	0.58	0.78	0.49	-0.21	-0.68	-0.73	-0.56	-0.13	0.71	1.53	1.54
150.0	-0.76	0.10	1.45	1.95	1.35	0.68	0.67	0.92	0.71	0.10	-0.36	-0.48	-0.41	-0.03	0.84</		

155.0	-0.76	0.10	1.46	1.96	1.39	0.77	0.81	1.09	0.92	0.39	-0.02	-0.21	-0.27	0.01	0.88	1.76	1.69
160.0	-0.76	0.10	1.46	1.95	1.41	0.88	0.99	1.28	1.10	0.62	0.29	0.07	-0.16	-0.02	0.84	1.79	1.75
165.0	-0.76	0.10	1.44	1.91	1.41	1.00	1.21	1.47	1.23	0.78	0.55	0.32	-0.08	-0.11	0.74	1.79	1.80
170.0	-0.76	0.10	1.42	1.86	1.40	1.12	1.43	1.64	1.29	0.85	0.73	0.52	-0.03	-0.23	0.61	1.77	1.83
175.0	-0.76	0.10	1.39	1.80	1.38	1.24	1.63	1.77	1.28	0.83	0.81	0.66	-0.02	-0.37	0.48	1.75	1.87
180.0	-0.76	0.09	1.36	1.73	1.35	1.33	1.79	1.84	1.20	0.71	0.80	0.71	-0.04	-0.48	0.38	1.74	1.90
185.0	-0.76	0.09	1.33	1.67	1.32	1.39	1.89	1.84	1.05	0.52	0.69	0.68	-0.08	-0.56	0.34	1.76	1.94
190.0	-0.76	0.08	1.30	1.61	1.28	1.40	1.91	1.77	0.85	0.28	0.50	0.56	-0.14	-0.57	0.38	1.83	1.98
195.0	-0.76	0.07	1.28	1.57	1.23	1.36	1.85	1.62	0.62	0.01	0.26	0.39	-0.21	-0.53	0.49	1.93	2.02
200.0	-0.76	0.06	1.26	1.53	1.17	1.26	1.69	1.42	0.39	-0.24	-0.01	0.17	-0.28	-0.42	0.68	2.07	2.06
205.0	-0.76	0.05	1.24	1.50	1.10	1.10	1.45	1.17	0.18	-0.46	-0.27	-0.06	-0.34	-0.26	0.93	2.23	2.11
210.0	-0.76	0.03	1.22	1.47	1.02	0.90	1.15	0.89	0.00	-0.62	-0.50	-0.29	-0.40	-0.08	1.19	2.39	2.14
215.0	-0.76	0.02	1.20	1.44	0.92	0.66	0.81	0.61	-0.14	-0.70	-0.67	-0.50	-0.46	0.08	1.44	2.54	2.16
220.0	-0.76	0.00	1.18	1.41	0.81	0.40	0.46	0.35	-0.21	-0.71	-0.77	-0.68	-0.53	0.21	1.63	2.64	2.17
225.0	-0.76	-0.01	1.15	1.38	0.70	0.15	0.14	0.13	-0.24	-0.66	-0.81	-0.82	-0.61	0.27	1.74	2.68	2.14
230.0	-0.76	-0.03	1.12	1.33	0.59	-0.07	-0.12	-0.02	-0.22	-0.56	-0.80	-0.92	-0.71	0.23	1.73	2.64	2.10
235.0	-0.76	-0.06	1.08	1.27	0.48	-0.24	-0.30	-0.11	-0.17	-0.45	-0.76	-0.99	-0.85	0.10	1.60	2.52	2.03
240.0	-0.76	-0.08	1.03	1.20	0.38	-0.35	-0.39	-0.13	-0.10	-0.35	-0.71	-1.04	-1.01	-0.14	1.35	2.33	1.93
245.0	-0.76	-0.10	0.98	1.12	0.30	-0.40	-0.38	-0.07	-0.03	-0.30	-0.68	-1.09	-1.20	-0.46	1.00	2.07	1.83
250.0	-0.76	-0.13	0.92	1.03	0.23	-0.38	-0.28	0.04	0.01	-0.30	-0.69	-1.15	-1.40	-0.84	0.58	1.77	1.72
255.0	-0.76	-0.16	0.85	0.93	0.17	-0.31	-0.10	0.18	0.02	-0.39	-0.76	-1.22	-1.61	-1.24	0.12	1.46	1.61
260.0	-0.76	-0.18	0.78	0.84	0.14	-0.20	0.12	0.34	-0.02	-0.54	-0.89	-1.31	-1.81	-1.62	-0.31	1.17	1.52
265.0	-0.76	-0.21	0.72	0.75	0.12	-0.07	0.35	0.48	-0.10	-0.76	-1.07	-1.42	-1.98	-1.94	-0.68	0.94	1.46
270.0	-0.76	-0.24	0.65	0.67	0.10	0.05	0.56	0.58	-0.21	-1.01	-1.28	-1.54	-2.11	-2.18	-0.94	0.78	1.44
275.0	-0.76	-0.26	0.60	0.61	0.10	0.16	0.71	0.64	-0.36	-1.28	-1.50	-1.65	-2.19	-2.30	-1.08	0.72	1.46
280.0	-0.76	-0.28	0.55	0.57	0.11	0.24	0.80	0.63	-0.52	-1.52	-1.70	-1.74	-2.21	-2.30	-1.06	0.77	1.53
285.0	-0.76	-0.30	0.52	0.55	0.13	0.27	0.80	0.55	-0.67	-1.70	-1.85	-1.80	-2.17	-2.17	-0.89	0.94	1.65
290.0	-0.76	-0.32	0.49	0.55	0.15	0.26	0.72	0.42	-0.80	-1.80	-1.93	-1.82	-2.07	-1.93	-0.58	1.20	1.81
295.0	-0.76	-0.34	0.48	0.57	0.17	0.21	0.57	0.25	-0.88	-1.81	-1.92	-1.80	-1.93	-1.61	-0.17	1.55	2.01
300.0	-0.76	-0.35	0.47	0.60	0.20	0.13	0.37	0.07	-0.91	-1.71	-1.82	-1.73	-1.76	-1.24	0.32	1.96	2.24
305.0	-0.76	-0.36	0.48	0.64	0.22	0.04	0.16	-0.09	-0.87	-1.51	-1.64	-1.62	-1.57	-0.85	0.83	2.39	2.48
310.0	-0.76	-0.37	0.48	0.68	0.25	-0.05	-0.03	-0.21	-0.77	-1.25	-1.40	-1.47	-1.37	-0.47	1.33	2.81	2.72
315.0	-0.76	-0.37	0.49	0.72	0.27	-0.12	-0.18	-0.27	-0.61	-0.93	-1.12	-1.29	-1.17	-0.13	1.77	3.20	2.95
320.0	-0.76	-0.37	0.50	0.75	0.29	-0.17	-0.26	-0.25	-0.40	-0.60	-0.82	-1.09	-0.99	0.15	2.13	3.53	3.15
325.0	-0.76	-0.37	0.51	0.77	0.29	-0.18	-0.25	-0.15	-0.16	-0.28	-0.54	-0.89	-0.82	0.36	2.39	3.78	3.33
330.0	-0.76	-0.37	0.52	0.76	0.28	-0.17	-0.17	0.03	0.10	-0.01	-0.30	-0.69	-0.66	0.49	2.53	3.94	3.46
335.0	-0.76	-0.36	0.52	0.74	0.25	-0.14	-0.01	0.28	0.34	0.19	-0.11	-0.50	-0.52	0.57	2.57	4.01	3.55
340.0	-0.76	-0.35	0.52	0.71	0.20	-0.09	0.20	0.56	0.55	0.30	0.01	-0.33	-0.38	0.58	2.51	3.99	3.60
345.0	-0.76	-0.34	0.53	0.66	0.14	-0.04	0.43	0.85	0.72	0.33	0.05	-0.18	-0.24	0.56	2.38	3.90	3.62
350.0	-0.76	-0.33	0.53	0.61	0.06	0.00	0.65	1.11	0.82	0.27	0.04	-0.05	-0.11	0.52	2.19	3.76	3.60
355.0	-0.76	-0.31	0.55	0.57	-0.02	0.01	0.82	1.31	0.85	0.15	-0.03	0.04	0.01	0.47	1.99	3.58	3.55
360.0	-0.76	-0.30	0.57	0.54	-0.09	0.00	0.94	1.44	0.82	-0.02	-0.14	0.11	0.13	0.43	1.78	3.39	3.48

02

END OF FREQUENCY

END OF ANTENNA
