

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SUELEN CRISTINA MOVIO HUINCA

**ANÁLISE DE INFLUÊNCIAS AMBIENTAIS NA CALIBRAÇÃO DE ANTENAS DE
RECEPTORES GPS**

CURITIBA

2014

SUELEN CRISTINA MOVIO HUINCA

**ANÁLISE DE INFLUÊNCIAS AMBIENTAIS NA CALIBRAÇÃO DE ANTENAS DE
RECEPTORES GPS**

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

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cláudia Pereira
Krueger

Co-orientador: Prof. Dr. Wilson
Alcântara Soares

CURITIBA

2014

H899a Huinca, Suelen Cristina Movio
Análise de influências ambientais na calibração de antenas de receptores
GPS / Suelen Cristina Movio Huinca. – Curitiba, 2014.
215f. : il. color. ; 30 cm.

Tese - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra,
Programa Interdisciplinar de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, 2014.

Orientador: Cláudia Pereira Krueger -- Coorientador: Wilson Alcântara
Soares.
Bibliografia: p. 206-215.

1. Meteorologia. 2. Ondas eletromagnéticas - Transmissão. 3. Sistema de
Posicionamento Global. I. Universidade Federal do Paraná. II. Krueger,
Cláudia Pereira. III. Soares, Wilson Alcântara. IV. Título.

CDD: 384.51

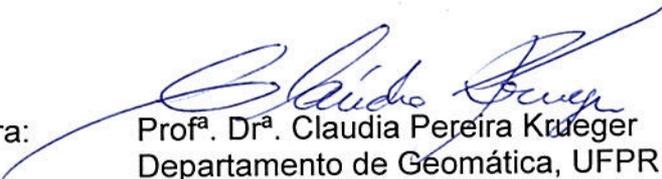
TERMO DE APROVAÇÃO

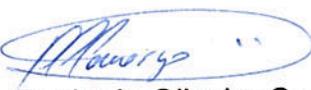
SUELEN CRISTINA MOVIO HUINCA

“ANÁLISE DE INFLUÊNCIAS AMBIENTAIS NA CALIBRAÇÃO DE ANTENAS DE RECEPTORES GPS”

Tese nº 91 aprovada como requisito parcial do grau de Doutor no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora:


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


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


Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés
Universidade Federal de Pernambuco, UFPE


Profª. Drª. Regiane Dalazoana
Departamento de Geomática, UFPR


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

Curitiba, 31 de julho de 2014.

DEDICATÓRIA

Dedico esta pesquisa a Deus, pela oportunidade de conquistar mais essa vitória na minha vida.

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

Ao amor dedicado por meus irmãos, Hugo e Diego.

Ao meu marido Valdecir, pelo seu companheirismo, amor, por ele estar ao meu lado todos esses anos me apoiando. Sem a sua dedicação eu não teria atingido esse objetivo.

Aos meus filhos amados e alicerce da minha vida.

Pedro Henrique que me acompanha desde que estava dentro do meu ventre na vida acadêmica, enfrentando comigo todos os obstáculos para atingir meus objetivos.

Maria Eduarda que ainda não nasceu, mas já conhece as dificuldades e nervosismo que sua mãe passou para redigir essa tese.

Não tem como não dedicar essa tese a minha família que é à base da minha vida, sem dúvida eles fazem tudo valer a pena e os meus dias mais felizes.

AGRADECIMENTOS

A Prof^a. Dra. Cláudia Pereira Krueger por ser mais que uma orientadora, ser uma amiga, uma pessoa que posso contar sempre. Pelo seu carinho e por todos os ensinamentos durante todos esses anos. Foram seus conselhos que me incentivaram e me direcionaram na minha vida profissional.

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

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, do Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná por disponibilizar todos os recursos necessários ao desenvolvimento desta pesquisa.

Agradecimentos especiais à empresa Geo++ e a WaSoft que realizaram calibrações de algumas antenas que foram utilizadas nesse trabalho de pesquisa sem ônus.

Aos Laboratórios: LAGEH/UFPR (Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia da Universidade Federal do Paraná), LAIG (Laboratório de Instrumentação Geodésica), LABTOPO (Laboratório de Topografia), pelo empréstimo dos equipamentos.

Aos meus colegas do LAGEH que me ajudaram na realização dos experimentos de calibração. Em especial Anderson Renato Viski e Renata Magda Cavalcante Werlich por estarem presentes nos momentos da minha ausência em função da minha mudança de estado para assumir um cargo na vida acadêmica.

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 do programa de calibração o qual foi utilizado durante essa pesquisa.

Agradeço os meus colegas do Departamento de Engenharia Rural (FAEM) da UFPel (Universidade Federal de Pelotas), Fioravante Jaekel dos Santos, Rodrigo Rizzi, Sérgio Leal Fernandes e Rogers Ademir Drunn Pereira, por substituírem durante as minhas aulas, pelo apoio, pelas trocas de ideias e por terem permitindo me afastar das atividades acadêmicas para finalizar a tese.

Os amigos verdadeiros que eu e amigadas que duraram ao longo desta caminhada do Doutorado, em especial: André, Karol, Anna Carolina, Renan, Silvia, Diuliana, Marcos Antônio, Anderson, Renata, Anderson Moreira e Luis Fernando.

Agradeço também ao casal Ana Paula Schimidt e Rogers Ademir Drunn Pereira, pelo apoio, carinho e compreensão. Se não fosse por eles não teria superado a saudade da minha família, à distância e as dificuldades.

À minha linda família que sempre me acompanham e me amparam nas horas mais difíceis da minha vida, sem eles não teria conseguido tomar todas as decisões que julgo essenciais para a finalização dessa tese.

RESUMO

As variações do centro de fase das antenas receptoras dos sinais GPS são uma das fontes de erro atuantes no posicionamento por satélites GPS com acurácia. Esse erro pode ser minimizado realizando calibração dessas antenas podendo ser uma calibração absoluta ou relativa. No método de calibração relativo em campo realizam-se calibrações de antenas de interesse a partir de uma antena de referência já calibrada. Ele é um método de fácil emprego, porém existem algumas desvantagens. Dentre elas pode-se citar: o fato dessa metodologia estar condicionada as características do entorno da estação; o ambiente da antena; condições de multicaminho e variáveis meteorológicas. Desde do ano de 2008 esse método de calibração tem sido aplicado na BCAL/UFPR (Base de Calibração de Antenas GNSS na Universidade Federal do Paraná), a qual é a primeira base de calibração de antenas na América Latina. Os primeiros resultados obtidos na estação BCAL/UFPR mostram que os parâmetros determinados de uma mesma antena são diferentes quando obtidos em épocas distintas e sob diferentes condições ambientais. Mediante esta constatação surgiu a necessidade de desenvolver uma análise mais criteriosa de algumas variáveis ambientais, fontes de erros provenientes das influências existentes no entorno das estações utilizadas no procedimento de calibração. Se forem realizadas análises das variáveis ambientais nas antenas receptoras (condições de multicaminho e variáveis meteorológicas) e comprovadas que elas influenciam na determinação dos parâmetros de calibração de uma antena GPS, então essas fontes de influência deverão ser monitoradas e futuramente modeladas. Desta forma a metodologia de calibração pelo método relativo na BCAL/UFPR, poderá ser aperfeiçoada, com base nas pesquisas desenvolvidas, produzindo parâmetros de calibração próprios originados dos monitoramentos das variáveis ambientais. Os parâmetros de calibração determinados na BCAL/UFPR para uma antena foram validados mediante uma comparação desses com parâmetros de calibração desta mesma antena por outras instituições. Com essa pesquisa comprovou-se que as antenas apresentam maiores variações com relação aos parâmetros de calibração com o passar dos anos. Desta forma quando se almeja empregá-las em levantamentos acurados calibrações dessas antenas devem ser realizadas no mesmo período. Analisando as variáveis meteorológicas foi observado que a componente vertical do PCO apresentou as maiores variações em períodos de chuva e de máxima umidade relativa do ar. Foi verificado ainda que quando ocorreu uma redução da umidade média associada à elevação da temperatura média os valores da componente vertical do PCO também aumentaram. Um indicativo capaz de contribuir para obtenção de parâmetros de calibração mais próximos ao valor verdadeiro é a análise do efeito médio do multicaminho para cada sinal de satélite, cuja retirada desses podem diminuir esse efeito no processo de calibração de forma positiva. Os ambientes controlados desenvolvidos e idealizados proporcionaram variações entre eles inferiores a 1 mm, porém esse ambiente funcionou como uma redoma, alterando então os valores dos parâmetros de calibração das antenas quando comparados com os parâmetros de calibração obtidos na BCAL/UFPR.

Palavras Chaves: influência das variáveis meteorológicas, efeito do multicaminho, calibração de antenas GPS.

ABSTRACT

The phase centre is the reception point of a satellite signal. Its value varies according to individual antenna features and satellite signal direction. The central mean phase offset can be divided into two elements: the PCO (phase centre offset) and the PCV (phase centre variation). The PCO is a displacement vector of the central mean phase and the antenna reference point. The PCV is an additional displacement from the phase centre, which is systematic, defined by the angle of incidence of the global positioning system (GPS) signal. Calibration is the method used to determine both the PCO and PCV. The first Latin American global navigation satellite system (GNSS) antenna calibration basis (BCAL: baseline calibration station for GNSS antennas) was established at the Federal University of Paraná (UFPR; Curitiba, Paraná, Brazil). The BCAL/UFPR is actually equipped with three pillars and enables the determination of antenna parameters through application of the relative field calibration approach. Various calibrations were performed due to the need to identify and investigate possible environmental variables that could influence the calibration process. This was the objective of the current research. If analysis of the environmental variables is carried out with respect to receiving antennas (multipath conditions and weather variables) and it is proven that they influence the determination of the calibration parameters of a GPS antenna, these sources of influence should be monitored and modelled in the future. Thus, the calibration methodology of the BCAL/UFPR can be improved based on developed research, i.e. to produce its own calibration parameters. To achieve the general objective of this research the correlation of meteorological variables and arising multipath errors was initially investigated and analyzed to determine the calibration parameters of GNSS antennas. The environment of the antenna to be calibrated was controlled during application of the methodology and its efficiency was investigated. The antenna calibration parameters determined at the BCAL/UFPR were validated by comparing these parameters with studies of the same antenna calibration made by other institutions. Several experiments were performed indicating that the calibration parameters are variable over the years for the same antenna. Thus, when one wishes to employ them in surveys, high-precision calibrations must be performed in the same period. Of note, during periods of rain and relative humidity, values of the vertical component of the PCO suffered greater variations. In general it was found that different antenna models show an increase in the values of the vertical component of the PCO when there is a reduction in the average moisture associated with an increase in mean temperature. An idealized controlled environment that was developed provided variations lower than 1 mm. But this controlled environment functioned as a radome. Therefore this environment modified the values of the calibration parameters when compared with the calibration parameters obtained in BCAL/UFPR.

Key word: environmental variables, multipath, calibration of GPS antennas.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- POLARIZAÇÃO CIRCULAR DA ONDA ELETROMAGNÉTICA	10
FIGURA 2- ALGUMAS FAIXAS DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO	11
FIGURA 3- COMPONENTES DOS RECEPTORES.....	13
FIGURA 4- DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA NOS PLANOS ELÉTRICO E MAGNÉTICO.....	16
FIGURA 5- DIAGRAMAS DE IRRADIAÇÃO	17
FIGURA 6- DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO POLAR.....	17
FIGURA 7- MODELOS DE ANTENAS RECEPTORAS GNSS	19
FIGURA 8- ESTRUTURA EXTERNA DE UMA ANTENA HELICOIDAL	20
FIGURA 9- ESTRUTURA INTERNA DE UMA ANTENA HELICOIDAL	20
FIGURA 10- ANTENA CHOKE RING (2D)	21
FIGURA 11- ANTENA CHOKE RING (3D)	21
FIGURA 12- ANTENA MICROSTRIP	23
FIGURA 13- ANTENA MICROSTRIP MODELO TRM22020-GP	24
FIGURA 14- BASE QUADRADA COM O "PATH" DA ANTENA TRM22020-GP	25
FIGURA 15- AMPLIFICADOR DA ANTENA TRM22020-GP	25
FIGURA 16- ANTENA <i>PINWHEEL</i>	31
FIGURA 17- MULTICAMINHO.....	31
FIGURA 18- ANTENA TRM22020.00+GP ACOPLADA AO AEM-LAGE	32
FIGURA 19- PESQUISA COM MATERIAL ATENUADOR.....	33
FIGURA 20- SEGUNDA PESQUISA COM MATERIAL ATENUADOR	34
FIGURA 21- DIMENSÕES NOMINAIS DA ANTENA GNSS	35
FIGURA 22- CENTRO DE FASE DE UMA ANTENA GNSS.....	36
FIGURA 23- PCO E PCV DA ANTENA GNSS.....	37
FIGURA 24- DEDUÇÃO DAS VARIAÇÕES DO CENTRO DE FASE.....	37
FIGURA 25- DEDUÇÃO DO PCV	38
FIGURA 26- RETARDO OU ADIANTAMENTO DA FASE (PCV)	38
FIGURA 27- CÂMARA ANECÓICA	41
FIGURA 28- PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GNSS EM CÂMARA ANECÓICA.....	42
FIGURA 29- ROBÔ UTILIZADO NA CALIBRAÇÃO ABSOLUTA EM CAMPO.....	43
FIGURA 30- CALIBRAÇÃO RELATIVA EM CAMPO	45
FIGURA 31- ESQUEMA DE CALIBRAÇÃO RELATIVA NGS.....	47
FIGURA 32- CAMPO DE CALIBRAÇÃO RELATIVA DO NGS (CORBIN, VIRGINIA).....	47
FIGURA 33- CALIBRAÇÃO ABSOLUTA DO NGS (CORBIN, VIRGINIA)	47
FIGURA 34- LOCALIZAÇÃO BCAL/UFPR	52
FIGURA 35- DISPOSIÇÃO DOS PILARES DA BCAL/UFPR.....	53
FIGURA 36- ANTENAS DE REFERÊNCIA ADOTADAS NA BCAL/UFPR	54
FIGURA 37- DRB (<i>Drehrumbum</i>).....	55
FIGURA 38- ESTAÇÃO AUTOMÁTICA DE CURITIBA-A807-INMET.....	67
FIGURA 39- EXPERIMENTOS PARA ANÁLISE DO MATERIAL A SER EMPREGADO NAS ESTRUTURAS DOS AMBIENTES CONTROLADOS	70
FIGURA 40- CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA 1	71
FIGURA 41- EXPERIMENTOS ESTRUTURA 1	72
FIGURA 42- EXPERIMENTOS NO PILAR 2000 - ESTRUTURA 1 E ESTRUTURA 2	74
FIGURA 43- EXPERIMENTO 2 - CONTROLE DO AMBIENTE DAS ANTENAS	77
FIGURA 44- ANTENA TRM22020.00+GP	80
FIGURA 45- ANTENA LEIAX1202 GG	80
FIGURA 46- ANTENA LEIAT504	80
FIGURA 47- ANTENA LEIAX1203 GNSS	80
FIGURA 48- COMPARAÇÃO DOS VALORES DO PCO (NORTE E LESTE) -L1- LEIAX1202GG (A).....	84
FIGURA 49- COMPARAÇÃO DOS VALORES DO PCO (NORTE E LESTE) -L2- LEIAX1202GG (A).....	84
FIGURA 50- DIFERENÇAS 3D (L1) - BCAL/UFPR E OUTRAS INSTITUIÇÕES.....	85
FIGURA 51- DIFERENÇAS 3D (L2) - BCAL/UFPR E OUTRAS INSTITUIÇÕES.....	86
FIGURA 52- TRM22020.00+GP- PCO (NORTE E LESTE) DETERMINADOS COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAT504- L1	89

FIGURA 53- TRM22020.00+GP- PCO (NORTE E LESTE) DETERMINADOS COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAT504- L2.....	90
FIGURA 54- TRM22020.00+GP- PCO (VERTICAL) DETERMINADOS COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAT504- L1.....	90
FIGURA 55- TRM22020.00+GP- PCO (VERTICAL) DETERMINADOS COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAT504- L2.....	91
FIGURA 56- TRM22020.00+GP- DIFERENÇA TRIDIMENSIONAL COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAT504- L1.....	91
FIGURA 57- TRM22020.00+GP- DIFERENÇA TRIDIMENSIONAL COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAT504- L2.....	92
FIGURA 58- TRM22020.00+GP- PCO (NORTE E LESTE) DETERMINADOS COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAR25- L1.....	93
FIGURA 59- TRM22020.00+GP- PCO (NORTE E LESTE) DETERMINADOS COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAR25-L2.....	94
FIGURA 60- TRM22020.00+GP-PCO (VERTICAL) - L1 - REFERÊNCIA LEIAR25.....	95
FIGURA 61- TRM22020.00+GP-PCO (VERTICAL) – L2 - REFERÊNCIA LEIAR25.....	95
FIGURA 62- TRM22020.00+GP-DIFERENÇA TRIDIMENSIONAL COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAR25-L1.....	96
FIGURA 63- TRM22020.00+GP-DIFERENÇA TRIDIMENSIONAL COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAR25-L2.....	97
FIGURA 64- TRM22020.00+GP – PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E TEMPERATURA X EXPERIMENTOS.....	100
FIGURA 65- TRM22020.00+GP – PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E UMIDADE X EXPERIMENTOS.....	100
FIGURA 66- TRM22020.00+GP – PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E PRECIPITAÇÃO E % CHUVA POR DIA X EXPERIMENTOS.....	101
FIGURA 67- TRM22020.00+GP – MP1 E DESVIO PADRÃO VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 053/11.....	103
FIGURA 68- TRM22020.00+GP – MP1 E DESVIO PADRÃO VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 290/11.....	104
FIGURA 69- TRM22020.00+GP – MP1 COMPARAÇÃO DIA GPS 053/11 E DIA GPS 290/11.....	104
FIGURA 70- TRM22020.00+GP – MP2 E DESVIO PADRÃO VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES DO DIA GPS 053/11.....	105
FIGURA 71- TRM22020.00+GP – MP2 E DESVIO PADRÃO VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES DO DIA GPS 290/11.....	105
FIGURA 72- TRM22020.00+GP – MP2 COMPARAÇÃO DIA GPS 290/11 E DIA GPS 053/11.....	106
FIGURA 73- LEIAX1202GG (A) - COMPONENTES NORTE E LESTE (L1).....	108
FIGURA 74- LEIAX1202GG (A) - COMPONENTES NORTE E LESTE (L2).....	108
FIGURA 75- LEIAX1202GG (A) - COMPONENTE VERTICAL (L1).....	109
FIGURA 76- LEIAX1202GG (A) - COMPONENTE VERTICAL (L2).....	109
FIGURA 77- LEIAX1202GG (A) DIFERENÇA 3D (L1).....	110
FIGURA 78- LEIAX1202GG (A) DIFERENÇA 3D (L2).....	110
FIGURA 79- LEIAX1202GG (A) - PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E TEMPERATURA X EXPERIMENTOS.....	113
FIGURA 80- LEIAX1202GG (A)- PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E UMIDADE RELATIVA DO AR X EXPERIMENTOS.....	114
FIGURA 81- LEIAX1202GG (A) - PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E PRECIPITAÇÃO E % CHUVA POR DIA X EXPERIMENTOS.....	115
FIGURA 82- LEIAX1202GG (A) – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 008/13.....	117
FIGURA 83- LEIAX1202GG (A) – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 133/11.....	117
FIGURA 84- LEIAX1202GG (A) – MP1 COMPARAÇÃO PARA DIAS GPS 008/13 E 133/11.....	118
FIGURA 85- LEIAX1202GG (A) – MP2 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 008/13.....	119
FIGURA 86- LEIAX1202GG (A) – MP2 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 274/11.....	119
FIGURA 87- LEIAX1202GG (A) – MP2 DIA GPS 008/13 E DIA GPS 274/11.....	120
FIGURA 88- LEIAX1202GG (B)- DIFERENÇA 3D (L1).....	121
FIGURA 89- LEIAX1202GG (B)- DIFERENÇA 3D (L2).....	122

FIGURA 90- LEIAX1202GG (B) - PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E TEMPERATURA X EXPERIMENTOS.....	124
FIGURA 91- LEIAX1202GG (B) - PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E UMIDADE RELATIVA DO AR X EXPERIMENTOS	124
FIGURA 92- LEIAX1202GG (B) - PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E PRECIPITAÇÃO E % CHUVA POR DIA X EXPERIMENTOS.....	125
FIGURA 93- LEIAX1202GG (B) – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 267/11	127
FIGURA 94- LEIAX1202GG (B) – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 268/11	128
FIGURA 95- LEIAX1202GG (B) – MP1 COMPARAÇÃO DIAS GPS 267 E 268/11.....	128
FIGURA 96- LEIAX1202GG (B) – MP2 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 267/11	129
FIGURA 97- LEIAX1202GG (B) – MP2 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 268/11	129
FIGURA 98- LEIAX1202GG (B) – MP2 COMPARAÇÃO DIA GPS 267/11 E DIA GPS 268/11	130
FIGURA 99- LEIAX1203 GNSS- DIFERENÇA 3D (L1).....	132
FIGURA 100- LEIAX1203 GNSS- DIFERENÇA 3D (L2).....	133
FIGURA 101- LEIAX1203 GNSS – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 276/11.....	134
FIGURA 102- LEIAX1203 GNSS – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 086/12.....	135
FIGURA 103- LEIAX1203 GNSS – MP1 COMPARAÇÃO DIA GPS 276/11 E DIA GPS 086/12	135
FIGURA 104- LEIAX1203 GNSS – MP2 VERSUS NÚMERO DOS SATÉLITES PARA O DIA GPS 276/11.....	136
FIGURA 105- LEIAX1203 GNSS – MP2 VERSUS NÚMERO DO SATÉLITES PARA O DIA GPS 086/12.....	136
FIGURA 106- LEIAX12003 GNSS – MP2 COMPARAÇÃO DIA GPS 276/11 E DIA GPS 086/12	137
FIGURA 107- LEIAT504 - COMPONENTE VERTICAL (L1)	139
FIGURA 108- LEIAT504- DIFERENÇA 3D (L1)	139
FIGURA 109- LEIAT504- DIFERENÇA 3D (L2)	140
FIGURA 110- LEIAT504 - PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E TEMPERATURA X EXPERIMENTOS	142
FIGURA 111- LEIAT504 - PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E UMIDADE RELATIVA DO AR X EXPERIMENTOS.....	142
FIGURA 112- LEIAT504 - PCO (VERTICAL) X PRECIPITAÇÃO	143
FIGURA 113- LEIAT504 – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 137/11 ...	145
FIGURA 114- LEIAT504 – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 300/12	145
FIGURA 115- LEIAT504– MP1 COMPARAÇÃO DIAS GPS 300/12 E 137/11	146
FIGURA 116- LEIAT504 – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 137/11 ...	146
FIGURA 117- LEIAT504– MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 300/12	147
FIGURA 118- LEIAT504– MP2 COMPARAÇÃO DIAS GPS 300/12 E 137/11	147
FIGURA 119- MP1 DOS EXPERIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DOS MATERIAIS	150
FIGURA 120- MP2 DOS EXPERIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DOS MATERIAIS	151
FIGURA 121- LATITUDE X LONGITUDE - DIFERENTES MATERIAIS.....	152
FIGURA 122- VARIAÇÃO NA ALTITUDE ELIPSOIDAL - EXPERIMENTOS MATERIAIS.....	152
FIGURA 123- MP1-PILAR 1000.....	154
FIGURA 124- MP2-PILAR 1000.....	154
FIGURA 125- EXPERIMENTO 1- SÓ COM ANTENA - VALORES DO MP1 PARA CADA SATÉLITE - PILAR 1000	155
FIGURA 126- Experimento 2 - Valores do MP1 para cada satélite -PILAR 1000	156
FIGURA 127- EXPERIMENTO 3 - VALORES DO MP1 PARA CADA SATÉLITE -PILAR 1000	156
FIGURA 128- EXPERIMENTO 1 - VALORES DO MP2 PARA CADA SATÉLITE -PILAR 1000	157
FIGURA 129- EXPERIMENTO 2 - VALORES DO MP2 PARA CADA SATÉLITE -PILAR 1000	157
FIGURA 130- EXPERIMENTO 3 - VALORES DO MP2 PARA CADA SATÉLITES -PILAR 1000.....	158
FIGURA 131- DIFERENÇAS ENTRE OS VALORES MÁXIMOS DE MP1 ENTRE OS EXPERIMENTOS 1 E 3 -PILAR 1000.....	158
FIGURA 132- SATÉLITE 13- ELEVAÇÃO X TEMPO DE OBSERVAÇÃO E MP1 X TEMPO DE OBSERVAÇÃO	159

FIGURA 133- SATÉLITE 16- ELEVACÃO X TEMPO DE OBSERVAÇÃO E MP1 X TEMPO DE OBSERVAÇÃO	160
FIGURA 134- DIFERENÇAS ENTRE OS VALORES MÁXIMOS DE MP2 ENTRE OS EXPERIMENTOS 1 E 3 - PILAR 1000	160
FIGURA 135- SATÉLITE 16- ELEVACÃO X TEMPO DE OBSERVAÇÃO E MP2 X TEMPO DE OBSERVAÇÃO	161
FIGURA 136- DIFERENÇAS MP1 ENTRE OS VALORES MÉDIOS OBTIDOS SOMENTE COM ANTENA E ESTRUTURA NO PILAR 2000.....	162
FIGURA 137- DIFERENÇAS MP2 ENTRE OS VALORES MÉDIOS OBTIDOS SOMENTE COM ANTENA E ESTRUTURA NO PILAR 2000.....	163
FIGURA 138- MP1 SOMENTE COM ANTENA NO PILAR 2000	164
FIGURA 139- MP1 CALCULADO A PARTIR DOS DADOS OBTIDOS COM A ESTRUTURA 1 NO PILAR 2000	164
FIGURA 140- MP1 CALCULADO A PARTIR DOS DADOS OBTIDOS COM A ESTRUTURA 2 VERSÃO 2 NO PILAR 2000.....	165
FIGURA 141- VALORES MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DOS EXPERIMENTOS PARA MP1	166
FIGURA 142- DIFERENÇAS ENTRE VALORES MÁXIMOS E PARA EXPERIMENTOS PARA MP1	166
FIGURA 143- VALORES DO MP2 CALCULADO A PARTIR DOS DADOS OBTIDOS SÓ COM A ANTENA PARA O PILAR 2000.....	167
FIGURA 144- VALORES DO MP2 CALCULADO A PARTIR DOS DADOS OBTIDOS COM A ESTRUTURA 2 VERSÃO 2 NO PILAR 2000.....	167
FIGURA 145- VALORES MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DOS EXPERIMENTOS PARA MP2	168
FIGURA 146- DIFERENÇAS ENTRE VALORES MÁXIMOS E PARA EXPERIMENTOS PARA MP2	169
FIGURA 147- MONITORAMENTO NO PILAR 1000 DA VARIÁVEL DA UMIDADE RELATIVA DO AR	170
FIGURA 148- MONITORAMENTO NO PILAR 2000 DA VARIÁVEL DA UMIDADE RELATIVA DO AR	170
FIGURA 149- MONITORAMENTO NO PILAR 1000 DA VARIÁVEL TEMPERATURA	171
FIGURA 150- MONITORAMENTO NO PILAR 2000 DA VARIÁVEL TEMPERATURA	171
FIGURA 151- DIFERENÇA ENTRE O MONITORAMENTO DA UMIDADE ENTRE OS DOIS AMBIENTES (PILAR 1000 E PILAR 2000) DURANTE A CALIBRAÇÃO DA ANTENA LEIAX 1202GG (A)	171
FIGURA 152- DIFERENÇA ENTRE O MONITORAMENTO DA TEMPERATURA ENTRE OS DOIS AMBIENTES (PILAR 1000 E PILAR 2000) DURANTE A CALIBRAÇÃO DA ANTENA LEIAX 1202GG (A)	172
FIGURA 153- COMPARAÇÃO DIA 14/05/2013 - UMIDADE E TEMPERATURA - LEIAX 1202GG (A)	173
FIGURA 154- COMPARAÇÃO DIA 05/06/2013 - UMIDADE E TEMPERATURA - LEIAX1202 GG (A)	173
FIGURA 155- COMPARAÇÃO DIA 29/05 - UMIDADE E TEMPERATURA - LEIAX1202GG (A).....	173
FIGURA 156- COMPARAÇÃO DIA 31/05 - UMIDADE E TEMPERATURA - LEIAX1202GG (A).....	173
FIGURA 157- DIFERENÇA ENTRE O MONITORAMENTO DA UMIDADE ENTRE OS DOIS AMBIENTES (PILAR 1000 E PILAR 2000) DURANTE A CALIBRAÇÃO DA ANTENA LEIAX1202GG (B)	174
FIGURA 158- DIFERENÇA ENTRE O MONITORAMENTO DA TEMPERATURA ENTRE OS DOIS AMBIENTES (PILAR 1000 E PILAR 2000) DURANTE A CALIBRAÇÃO DA ANTENA LEIAX 1202GG (B)	175
FIGURA 159- COMPARAÇÃO DIA 23/05 - UMIDADE E TEMPERATURA - LEIAX1202GG (B).....	175
FIGURA 160- COMPARAÇÃO DIA 20/06 - UMIDADE E TEMPERATURA - LEIAX1202GG (B).....	175
FIGURA 161- COMPARAÇÃO DIA 09/07 - UMIDADE E TEMPERATURA - LEIAX1202GG (B).....	176
FIGURA 162- COMPARAÇÃO DIA 10/07 - UMIDADE E TEMPERATURA - LEIAX1202GG (B).....	176
FIGURA 163- COMPARAÇÃO DIA 14/05 - TEMPERATURA CONTROLADA VS INMET-PILAR 1000	177
FIGURA 164- COMPARAÇÃO DIA 14/05 - TEMPERATURA CONTROLADA VS INMET- PILAR 2000	177
FIGURA 165- COMPARAÇÃO DIA 14/05 - UMIDADE CONTROLADA VS INMET- PILAR 1000 ...	177
FIGURA 166- COMPARAÇÃO DIA 14/05 - UMIDADE CONTROLADA VS INMET- PILAR 2000 ...	177

FIGURA 167- COMPARAÇÃO DIA 29/05 - TEMPERATURA CONTROLADA VS INMET-PILAR 1000.....	178
FIGURA 168- COMPARAÇÃO DIA 29/05 - TEMPERATURA CONTROLADA VS INMET- PILAR 2000.....	178
FIGURA 169- COMPARAÇÃO DIA 29/05 - UMIDADE RELATIVA DO AR VS INMET-PILAR 1000	178
FIGURA 170- COMPARAÇÃO DIA 29/05 - UMIDADE RELATIVA DO AR VS INMET-PILAR 2000	178
FIGURA 171- COMPARAÇÃO DIA 05/06 - UMIDADE CONTROLADA VS INMET- PILAR 1000 ...	179
FIGURA 172- COMPARAÇÃO DIA 05/06 - UMIDADE CONTROLADA VS INMET- PILAR 2000 ...	179
FIGURA 173- COMPARAÇÃO DIA 05/06 - TEMPERATURA CONTROLADA VS INMET-PILAR 1000.....	179
FIGURA 174- COMPARAÇÃO DIA 05/06 - TEMPERATURA CONTROLADA VS INMET- PILAR 2000.....	179
FIGURA 175- PCO (NORTE E LESTE) OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO DA ANTENA LEIAX1202GG (A).....	181
FIGURA 176- PCO (VERTICAL) OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO DA ANTENA LEIAX 1202GG (A).....	182
FIGURA 177- DIFERENÇA TRIDIMENSIONAL EM AMBIENTE CONTROLADO DA ANTENA LEIAX 1202GG (A).....	182
FIGURA 178- PCO (NORTE E LESTE) OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO DA ANTENA LEIAX1202GG (B).....	184
FIGURA 179- PCO (VERTICAL) OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO DA ANTENA LEIAX1202GG (B).....	184
FIGURA 180- DIFERENÇAS TRIDIMENSIONAIS EM AMBIENTE CONTROLADO DA ANTENA LEIAX1202GG (B).....	185
FIGURA 181- PCO (VERTICAL) OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO DA ANTENA LEIAX1202GG (B) E UMIDADE VERSUS EXPERIMENTOS.....	188
FIGURA 182- PCO (VERTICAL) OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO DA ANTENA LEIAX1202GG (B) E TEMPERATURA VERSUS EXPERIMENTOS.....	188
FIGURA 183- COMPARAÇÃO ENTRE OS DIAS GPS 169/13 X 145/13 - TEMPERATURA E UMIDADE.....	190
FIGURA 184- COMPARAÇÃO ENTRE OS DIAS GPS 169/13 X 198/13 - TEMPERATURA E UMIDADE.....	190
FIGURA 185- EXPERIMENTOS COM A ANTENA LEIAX1202GG (B) COM PLÁSTICO FILME.....	191
FIGURA 186- DIFERENÇAS TRIDIMENSIONAIS DA ANTENA LEIAX1202GG (B) COM PLÁSTICO FILME.....	192

LISTA DE QUADRO

QUADRO 1- ERROS SISTEMÁTICOS PRESENTES NAS OBSERVÁVEIS GPS.....	26
QUADRO 2- ETAPAS DO PROCESSAMENTO COM WASOF/KALIB.....	58
QUADRO 3- ETAPAS PARA A IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS	64
QUADRO 4- VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS – TRM22020.00+GP.....	98
QUADRO 5- VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS – LEIAX1202GG (A)	112
QUADRO 6- VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS – LEIAX1202GG (B)	123
QUADRO 7- VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS – LEIAT504	141
QUADRO 8- VALORES DE PCO OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO VERSUS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS- LEIAX1202GG (B)	186
QUADRO 9- CARACTERÍSTICAS DOS EXPERIMENTOS PARA A DETERMINAÇÃO DE NOVOS VALORES DE PCO SEM OS SATÉLITES QUE APRESENTAM OS MAIORES VALORES DE MP1 E MP2	193

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – FREQUÊNCIA DOS SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITES	9
TABELA 2 – EXPERIMENTOS NO PILAR 2000	69
TABELA 3 – EXPERIMENTOS NO PILAR 1000	73
TABELA 4 – EXPERIMENTOS NO PILAR 2000	75
TABELA 5 – VALORES DO PCO - LEIAX1202GG (A) - ANTENA PARA VALIDAÇÃO	83
TABELA 6 – VALORES DO PCO - LEIAX1202GG (A) - WASOFT, GEO++ E NGS	83
TABELA 7 – TRM22020.00+GP - PCO (NORTE, LESTE E VERTICAL) – ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAT504	88
TABELA 8 – TRM22020.00+GP- PCO (NORTE, LESTE E VERTICAL) –mm – REFERÊNCIA LEIAR25.....	93
TABELA 9 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO - PCO VERTICAL VERSUS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS - TRM22020.00+GP.....	102
TABELA 10 – TRM22020.00+GP- PCO (VERTICAL) L1 e L2 versus MP1 e MP2	103
TABELA 11 – LEIAX1202GG (A) - PCO (NORTE, LESTE E VERTICAL)	107
TABELA 12 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO - PCO VERTICAL VERSUS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS - LEIAX1202GG (A)	115
TABELA 13 – LEIAX1202GG (A)- PCO (VERTICAL) L1 e L2 versus MP1 e MP2	116
TABELA 14 – LEIAX1202GG (B)- PCO (NORTE, LESTE E VERTICAL)	121
TABELA 15 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO - PCO VERTICAL VERSUS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS - LEIAX1202GG (B)	126
TABELA 16 – LEIAX1202 GG B- PCO (VERTICAL) L1 e L2 versus MP1 e MP2	127
TABELA 17 – LEIAX1203GNSS- PCO (NORTE, LESTE E VERTICAL)	131
TABELA 18 – LEIAX1203 GNSS- PCO (VERTICAL) L1 e L2 versus MP1 e MP2	134
TABELA 19 – LEIAT504 - PCO (NORTE, LESTE E VERTICAL).....	138
TABELA 20 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO - PCO VERTICAL VERSUS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS - LEIAT504	143
TABELA 21 – LEIAT504- PCO (VERTICAL) L1 e L2 versus MP1 e MP2.....	144
TABELA 22 – VALOR MÉDIO DO EFEITO DO MULTICAMINHO PARA CADA EXPERIMENTO VISANDO A ESCOLHA DO MATERIAL	149
TABELA 23 – VALOR MÉDIO DO EFEITO DO MULTICAMINHO PARA CADA EXPERIMENTO NO PILAR 1000	154
TABELA 24 – PCO (NORTE, LESTE, VERTICAL) PARA AMBAS PORTADORAS DA ANTENA LEIAX 1202GG (A) OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO	180
TABELA 25 – PCO (NORTE, LESTE, VERTICAL) PARA AMBAS PORTADORAS DA ANTENA LEIAX1202GG (B) OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO	183
TABELA 26 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO - PCO VERTICAL OBTIDO EM AMBIENTE CONTROLADO VERSUS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS - LEIAX1202GG (B)....	191
TABELA 27 – NOVOS VALORES DE PCO OBTIDOS COM A RETIRADA DOS SATÉLITES QUE APRESENTARAM MAIORES VALORES DE MP1 E MP2 PARA A ANTENA TRM22020.00+GP	194
TABELA 28 – NOVOS VALORES DE PCO OBTIDOS COM A RETIRADA DOS SATÉLITES QUE APRESENTARAM MAIORES VALORES DE MP1 E MP2 PARA A ANTENA LEIAX1202 GG (A)	194
TABELA 29 – NOVOS VALORES DE PCO OBTIDOS COM A RETIRADA DOS SATÉLITES QUE APRESENTARAM MAIORES VALORES DE MP1 E MP2 PARA A ANTENA LEIAX1202 GG (B)	195
TABELA 30 – NOVOS VALORES DE PCO OBTIDOS COM A RETIRADA DOS SATÉLITES QUE APRESENTARAM MAIORES VALORES DE MP1 E MP2 PARA A ANTENA LEIAX1203 GNSS (B)	195
TABELA 31 – NOVOS VALORES DE PCO (NORTE, LESTE, VERTICAL) OBTIDOS COM A RETIRADA DOS SATÉLITES QUE APRESENTARAM MAIORES VALORES DE MP1 E MP2 PARA A ANTENA LEIAT504	196

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AEM	–	Material Atenuador do Efeito do Multicaminho
al.	–	Alemão
AMR	–	Análise de Multirresolução
ANATEL	–	Agencia Nacional de Telecomunicações
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)
BCAL/UFPR	–	Base de Calibração de Antenas GNSS na UFPR
CAPES	–	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal a Nível Superior
CF	–	Centro de Fase
CFM	–	Centro de Fase Médio
DAAD	–	Intercâmbio Acadêmico Brasil-Alemanha
Db	–	Decibel
DDF	–	Dupla Diferença de Fase
EU	–	ingl. European Union
ESA	–	ingl. <i>European Space Agency</i>
EUREF	–	ingl. Permanent Service Network in Europe
DoD	–	ingl. <i>Department of Defense</i>
DRB	–	al. <i>Drehrumbum</i> (sem significado no idioma português)
GALILEO	–	Ingl. <i>European Satellite Navigation System</i>
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 Navigation Satellite System</i>
GPS	–	ingl. <i>Global Positioning System</i>
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAO	–	Ingl. <i>International Civil Aviation Organization</i>
IfE	–	al. <i>Institut für Erdmessung</i>
INMET	–	Instituto Nacional de Meteorologia
ingl.	–	Inglês
IGS	–	ingl. <i>International GNSS Service</i>
Km	–	Quilômetro
LAGEH	–	Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia
LAIG	–	Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésica
LABTOPO	–	Laboratório de Topografia
LHCP	–	ingl. <i>Left Hand Circular Polarization</i>
LGN	–	al. <i>Landesvermessung+Geobasisinformation Niedersachsen</i>
LGO	–	Leica Geo Office
MARE	–	Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética
MP	–	Indicativo do efeito do multicaminho.

MP1	–	Indicativo do efeito do multicaminho (Pseudodistância e Fase da Onda Portadora L1).
MP2	–	Indicativo do efeito do multicaminho (Pseudodistância e Fase da Onda Portadora L2).
NAVSTAR	–	ingl. <i>NAVigation System with Time And Ranging</i>
NGS	–	ingl. <i>National Geographic Service</i>
PCO	–	ingl. <i>Phase Center Offset</i>
PCV	–	ingl. <i>Phase Center Variation</i>
PRN	–	Número de Identificação dos Satélites
PD	–	Pseudodistância
PROBRAL		Processo de Colaboração Internacional Brasil-Alemanha
RBMC	–	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo de Sistemas GNSS
RHCP	–	ingl. <i>Right Hand Circularly Polarized</i>
RINEX	–	ingl. <i>Receiver Independent Exchange Format</i>
SAPOS	–	al. Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung
SN	–	al. <i>Seriennummer</i> (número de série)
SNR	–	ingl. <i>Signal Noise Ratio</i>
TEC	–	ingl. Total Electron Content
TEQC	–	ingl. <i>Translate Edit Quality Check</i>
TGP	–	ingl. <i>Top Of Ground Plane</i>
UFPR	–	Universidade Federal do Paraná
UHF	–	ingl. <i>Ultra High Frequency</i>
UNAVCO	–	ingl. <i>University NAVSTAR Consortium</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	JUSTIFICATIVA.....	4
1.2	OBJETIVO GERAL.....	6
1.2.1	Objetivos Especificos.....	6
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITES (GNSS)....	7
2.2	ONDA ELETROMAGNÉTICA.....	10
2.3	RECEPTORES E ANTENAS PARA POSICIONAMENTO GNSS.....	12
2.3.1	Características das Antenas.....	14
2.3.1.1	Antenas Receptoras GNSS.....	18
2.3.1.1.1	Antenas Microstrip.....	23
2.4	ERROS QUE ATUAM NO GNSS.....	26
2.4.1	Efeito de Multicaminho.....	27
2.4.2	Centro de Fase das Antenas GNSS.....	34
2.5	CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GNSS.....	39
2.5.1	Calibração Absoluta em Ambientes Controlados (Câmaras Anecóicas).....	41
2.5.2	Calibração Absoluta em Campo.....	43
2.5.3	Calibração Relativa.....	45
2.5.3.1	Calibração Atual Realizada pelo NGS.....	46
2.5.4	Nível e Formato de Arquivos com Dados das Antenas Calibradas....	48
3.	METODOLOGIA	50
3.1	BCAL/UFPR.....	51
3.2	APLICAÇÕES DO MÉTODO DE CALIBRAÇÃO RELATIVA EM CAMPO NA BCAL/UFPR.....	53
3.3	PROGRAMAS UTILIZADOS PARA PROCESSAMENTO DOS DADOS E ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	57
3.3.1	WaSoft/Kalib Versão 2.0.....	57
3.3.2	CCANT Versão 2.3.....	59
3.3.3	CCANTEX Versão 1.0.....	59
3.3.4	TEQC.....	60
3.3.5	Matlab.....	61
3.3.6	LEICA Geo Office 7.0	62
3.4	VALIDAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DETERMINADOS NA BCAL/UFPR.....	62
3.5	IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS QUE PODEM INTERFERIR NA DETERMINAÇÃO DOS PARAMETROS DE	

	CALIBRAÇÃO.....	63
3.5.1	Variação do PCO das Diferentes Antenas.....	65
3.5.2	Variação dos Parâmetros de calibração (PCO) versus Variáveis Meteorológicas.....	66
3.5.3	Variação dos Parâmetros de calibração (PCO) versus Efeito do Multicaminho.....	68
3.6	INVESTIGAÇÕES QUANTO AO MATERIAL A SER EMPREGADO NO MONITORAMENTO DO AMBIENTE E DO EFEITO DO MULTICAMINHO	68
3.6.1	Estrutura 1 - PILAR 1000.....	71
3.6.2	Estrutura 2 - PILAR 2000.....	73
3.7	MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NO INTERIOR DAS ESTRUTURAS.....	75
3.7.1	Monitoramento da Temperatura e Umidade no Ambiente controlado	76
3.7.2	Monitoramento da Variáveis Controladas (Internas) Versus Variáveis Externas.....	77
3.8	PCO OBTIDOS EM AMBIENTES CONTROLADOS.....	78
3.8.1	PCO obtido em Ambiente controlado Versus Variáveis Meteorológicas Internas	78
3.9	PCO Obtidos Com Antena Revestida Plástico Filme	79
3.10	DETERMINAÇÃO DE NOVOS VALORES DO PCO EMPREGANDO ANÁLISE DO MULTICAMINHO	79
4.	RESULTADOS E ANÁLISES	80
4.1	VALIDAÇÃO DOS PARÂMETROS PRODUZIDOS NA BCAL/UFPR.	82
4.2	IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS QUE PODEM INTERFERIR NA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO.....	86
4.2.1	ANTENA TRM22020.00+GP.....	87
4.2.1.1	PCO Obtido com a Antena de Referência LEIAT504 (TRM22020.00+GP)	87
4.2.1.2	PCO Obtido com a Antena de Referência LEIAR25(TRM22020.00+GP)	92
4.2.1.3	Comparação dos Valores PCO (Vertical) Obtidos com a antena de referência LEIAR25 versus Variáveis Meteorológicas (TRM22020.00+GP)	97
4.2.1.4.	Comparação dos Valores PCO (Vertical) Obtidos com a antena de referência LEIAR25 versus Efeito do Multicaminho (TRM22020.00+GP)	102
4.2.2	ANTENA LEIAX1202GG (A e B)	106
4.2.2.1	PCO (LEIAX1202GG(A))	107
4.2.2.2	Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Variáveis	111

	Meteorológicas (LEIAX1202GG (A))	
4.2.2.3	Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Efeito do Multicaminho (LEIAX1202GG (A))	116
4.2.2.4	PCO (LEIAX1202GG B)	120
4.2.2.5	Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Variáveis Meteorológicas (LEIAX1202GG (B))	122
4.2.2.6	Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Efeito do Multicaminho (LEIAX1202GG (B))	126
4.2.3	ANTENA LEIAX1203 GNSS.....	130
4.2.3.1	PCO (LEIAX1203 GNSS)	131
4.2.3.2	Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Efeito do Multicaminho (LEIAX1203 GNSS)	133
4.2.4	ANTENA LEIAT504.....	137
4.2.4.1	PCO (LEIAT504)	138
4.2.4.2.	Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Variáveis Meteorológicas (LEIAT504)	140
4.2.4.3	Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Efeito do Multicaminho (LEIAT504)	144
4.3	MATERIAL A SER EMPREGADO NO MONITORAMENTO DO AMBIENTE E DO EFEITO DO MULTICAMINHO.....	148
4.3.1.	Experimentos Visando identificar o Melhor Material Para Construção das Estruturas.....	148
4.3.2	Estrutura para o PILAR 1000 (Pilar da antena de Referência).....	153
4.3.3.	Estrutura para o PILAR 2000 (Antena a ser Calibrada).....	162
4.4	MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NO INTERIOR DAS ESTRUTURAS.....	169
4.4.1	Comparação dos Ambientes Controlados (PILAR 1000 e 2000).....	170
4.4.2	Comparação das Variáveis Monitoradas (Internas) Versus Variáveis Externas.....	176
4.5	VARIAÇÃO DO PCO OBTIDOS EM AMBIENTES CONTROLADOS.	179
4.5.1	Variação do PCO obtido em Ambiente Controlado Versus Variáveis Meteorológicas Internas.....	186
4.6	VARIAÇÃO DO PCO OBTIDOS COM ANTENA REVESTIDA COM PLÁSTICO FILME.....	191
4.7	DETERMINAÇÃO DE NOVOS VALORES DO PCO MEDIANTE A ANÁLISE DO MULTICAMINHO.....	193
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	197
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	204

1. INTRODUÇÃO

As variações do centro de fase das antenas receptoras dos sinais GPS se tornaram uma importante fonte de erro para realização de posicionamentos com acurácia. Ao lado dos erros atmosféricos e multicaminho, é um fator limitante para alcançar a acurácia necessária a esse tipo de posicionamento (WÜBBENA, 1996). Quando se realiza posicionamento GPS objetivando acurácia, por exemplo, no monitoramento de uma rede de estações de referência, as características próprias das antenas envolvidas devem ser conhecidas. Isto é a posição do centro de fase dessa antena, de modo que as coordenadas geodésicas sejam determinadas levando em consideração essa fonte de erro.

Denomina-se centro de fase eletrônico (ou simplesmente centro de fase) o ponto observado em uma antena GNSS durante a recepção de um sinal vindo de um satélite. Segundo Mader (1999) e Rabbany (2002), o centro de fase da antena não coincide com o centro mecânico (geométrico) dessa antena. Ele varia de acordo com a elevação e o azimute do satélite GPS, bem como, com a intensidade (frequência) do sinal observado. O centro de fase das antenas GPS é diferente para as ondas portadoras L1 e L2. 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 das variações do centro de fase médio por conta da direção do sinal recebido, de caráter sistemático, que é função do ângulo de incidência do sinal GPS na antena receptora. A determinação do PCO e as variações do PCV são realizadas através de procedimentos de calibração dessas antenas.

A calibração de antenas GPS tornou-se objeto de intensa investigação nos últimos 27 anos. Diferentes métodos têm sido elaborados e aprimorados para determinar a posição do PCO e dos PCVs. Os métodos de calibração existentes são: calibração absoluta em ambientes controlados, também conhecida como calibração absoluta em câmaras anecóicas, calibração absoluta em campo e calibração relativa em campo. Os primeiros experimentos em câmaras anecóicas foram iniciados em 1987 e 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 (GÖRRES et al., 2006). No ano de 1990 iniciou-se o desenvolvimento do método de calibração relativo de antenas onde se determinou o diagrama de fase de antenas GPS a partir de características de uma antena de referência (BREUER et al., 2001). 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, quando se desenvolveu um mecanismo automatizado (WÜBBENA et al., 2000), o qual permite rotações e inclinações automáticas da antena a ser calibrada absolutamente.

Até o ano de 2006, não se encontrou nenhum relato de aplicações do método de calibração de antenas no Brasil e na América Latina. Com o crescimento da comunidade usuária de GPS, almejando alta acurácia no resultado dos posicionamentos, faz-se necessária a calibração individual das antenas envolvidas, já que essas podem ser fisicamente similares, porém têm características e propriedades eletrônicas diferentes. Elas devem ser tratadas de forma individual, conduzindo aos próprios parâmetros de calibração. Foi então que surgiu a ideia de implantar uma base de calibração no Brasil através do programa de cooperação internacional PROBRAL (CAPES/DAAD) (Brasil/Alemanha).

A construção de uma base de calibração de antenas GPS iniciou-se no ano de 2007, baseada em experiências adquiridas na Alemanha (FREIBERGER JUNIOR, 2007). Denominada de BCAL/UFPR, esta base de calibração está em funcionamento e experimentos estão sendo realizados aplicando a metodologia de calibração relativa em campo (HUINCA, 2009). Com eles visa-se aprimorar a metodologia existente e minimizar fontes de erros na determinação dos parâmetros de calibração de antenas GPS.

No método de calibração relativo em campo realizam-se calibrações de antenas de interesse a partir de uma antena de referência já calibrada. Ele é um método de fácil emprego, porém existem algumas desvantagens. Dentre elas pode-se citar: o fato dessa metodologia estar condicionada as características do entorno da estação; o ambiente da antena; condições de multicaminho e variáveis meteorológicas. Os erros provenientes do entorno na estação ainda são um fator limitante nas calibrações realizadas em campo (LÖFGREN et al., 2009), de difícil

redução e pode assim ser considerado como um fator limitante na precisão de posicionamentos GPS (SCHMITZ, 2004). A maior fonte de erro na aplicação do método relativo em campo refere-se ao efeito do multicaminho, provocado pelo sinal emitido do satélite que chega à antena do receptor via múltiplos caminhos, atribuídos à reflexão do sinal pelos objetos situados próximos a antena. Segundo RAY (1999), esse erro pode variar desde poucos centímetros até metros, dependendo da quantidade de obstruções existentes no entorno do ponto a ser posicionado, ou seja, na área de levantamento e da refratividade da superfície do material onde o sinal incide.

Os primeiros resultados obtidos na estação BCAL/UFPR mostram que os parâmetros determinados de uma mesma antena são diferentes quando obtidos em épocas distintas e sob diferentes condições ambientais (HUINCA et al., 2011). Mediante esta constatação surgiu à necessidade de desenvolver uma análise mais criteriosa de algumas variáveis ambientais, fontes de erros provenientes das influências existentes no entorno das estações utilizadas no procedimento de calibração.

Se forem realizadas análises das variáveis ambientais nas antenas receptoras (condições de multicaminho e variáveis meteorológicas) e comprovadas que elas influenciam na determinação dos parâmetros de calibração de uma antena GPS, então essas fontes de influência deverão ser monitoradas e futuramente modeladas, por exemplo, com o emprego de alguma metodologia de inteligência artificial. Desta forma a metodologia de calibração pelo método relativo na BCAL/UFPR, poderá ser aperfeiçoada, com base nas pesquisas desenvolvidas, produzindo parâmetros de calibração próprios originados dos monitoramentos das variáveis ambientais.

Este trabalho está subdividido em seis capítulos. No capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica de temas necessários para o entendimento da pesquisa. O capítulo 3 contém a metodologia aplicada visando: a validação dos parâmetros de calibração determinados na BCAL/UFPR, identificação das variáveis que podem influenciar na determinação dos parâmetros de calibração, investigação dos materiais a serem empregados no monitoramento do ambiente e do efeito do multicaminho, monitoramento das variáveis meteorológicas no interior das estruturas, PCO obtidos em ambientes monitorados, PCO obtidos com antena revestida com plástico filme e determinação de novos valores de PCO empregando

a análise do efeito do multicaminho. Os resultados e as análises encontram-se descritos no capítulo 4. A conclusão e as recomendações serão abordadas no capítulo 5 e posteriormente são apresentadas as referências bibliográficas (capítulo 6).

1.1 JUSTIFICATIVA

Diversos estudos aplicando diferentes métodos de calibração mostram que quando se almeja acurácia com posicionamento GPS as antenas devem ser tratadas de forma individual, ou seja, calibradas individualmente, conduzindo aos seus próprios parâmetros de calibração. Schupler e Clark (1991), aplicaram o método de calibração de antenas em um ambiente controlado e verificaram que antenas GPS apresentam entre si características e propriedades eletrônicas diferentes, ainda que sejam fisicamente similares.

Com o crescimento da comunidade usuária GPS que almeja acurácia com posicionamentos sobre a superfície terrestre, faz-se necessária a calibração individual das antenas envolvidas. No Brasil os usuários que se utilizam dos serviços GPS ainda não têm a consciência em minimizar o erro resultante do centro de fase das antenas, fato esse que pode ser observado no IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) que até o ano de 2010 processava os dados GNSS das estações SIRGAS aplicando variações médias do centro de fase obtidos do modelo IGS_05.atx (COSTA et al., 2010) e não parâmetros individuais para as antenas. Após esse ano (2010) novos parâmetros foram produzidos pelo NGS, parâmetros de calibração em nível absoluto e esses são aplicados na determinação das coordenadas geodésicas das estações da RBMC, porém ainda não se aplicam parâmetros de calibração próprios para essas antenas.

Outro fato importante refere-se às redes de monitoramento contínuo, no Brasil tem-se a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS), que consiste de uma rede composta por estações onde as antenas receptoras observam sinais GNSS continuamente, e o IBGE fornece esses dados para a comunidade usuária dos serviços GNSS. As antenas que compõem essa rede não

são calibradas individualmente, portanto não se conhece a posição exata do recebimento dos sinais GNSS nessas antenas. Diferentemente do Brasil, na Alemanha diversas pesquisas são realizadas no âmbito de calibração de antenas. Esse país conta com uma rede denominada de SAPOS, cujas estações permanentes possuem antenas do modelo *Choke Ring* calibradas absolutamente (SAPOS, 2011). Ainda neste contexto uma rede geodésica europeia, a EUREF (*Permanent Network*), possui aproximadamente 70% das suas antenas calibradas absolutamente (EPNCB, 2011). A necessidade e a importância da calibração absoluta das antenas que compõe a rede EUREF foram refletidas em uma Resolução apresentada no *Symposium of the IAG Subcommittee for Europe (EUREF)* em Viena, Austria, 1-4 Junho de 2005 (RESOLUTION, 2005).

Na estação BCAL/UFPR não se aplica o método de calibração absoluto em campo, devido ao alto custo do mecanismo empregado para esse fim. Sendo assim nessa base de calibração optou-se por aplicar o método de calibração relativo. Este método está sujeito a algumas variantes que não são controladas como no método absoluto. Com esse trabalho pretende-se verificar se as variáveis ambientais (efeito de multicaminho e meteorológicas) influenciam na determinação dos parâmetros próprios das antenas. Uma vez indicada essa influência pode-se futuramente criar uma metodologia aperfeiçoada para o método relativo em campo, baseadas em modelagem de algumas variáveis e produzir parâmetros de calibração isentos de erros decorrentes do ambiente de calibração.

A maior contribuição desta pesquisa consiste em apresentar uma análise das influências ambientais na calibração relativa em nível absoluto de antenas GPS. Ainda tem-se como contribuição deste trabalho a divulgação à comunidade usuária GPS do Brasil que a BCAL/UFPR dispõe de uma metodologia comprovada e eficiente para realizar a calibração relativa de antenas GPS. Com essa metodologia os usuários GPS poderão obter parâmetros próprios de calibração das suas antenas, as quais serão calibradas de forma individual. Com as antenas calibradas minimiza-se o erro de centro de fase, que é uma fonte de erro sistemático e de importância quando se almeja acurácia no posicionamento GPS.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral dessa pesquisa é identificar e monitorar as variáveis que possam influenciar na determinação dos parâmetros de calibração próprios de antenas GPS.

1.2.1 Objetivos Específicos

Para que se possa atender o objetivo geral, enumeram-se os seguintes objetivos específicos:

- 1) Validar os parâmetros de calibração determinados na BCAL/UFPR de diferentes experimentos;
- 2) Investigar e analisar a correlação das variáveis meteorológicas (temperatura, umidade e precipitação) na determinação dos parâmetros de calibração de antenas GPS;
- 3) Investigar e analisar os erros provenientes do multicaminho na determinação dos parâmetros de calibração de antenas GPS;
- 4) Construir estruturas para realizar o monitoramento do ambiente da antena a ser calibrada e antena de referência durante a aplicação da metodologia de calibração relativa em campo e investigar a sua eficiência, sendo denominado esse de ambiente controlado;
- 5) Determinar e analisar valores do PCO obtidos em ambientes monitorados, sendo denominado esse de ambiente controlado;
- 6) Obter novos parâmetros de calibração a partir da análise do efeito do multicaminho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo serão abordados os principais temas envolvidos nessa pesquisa, essências para o entendimento da mesma. Apresentam-se inicialmente alguns sistemas globais de posicionamento por satélites; o conceito de onda eletromagnética e as perturbações que ela pode sofrer; uma breve descrição sobre receptores e antenas GNSS, enfatizando-se a antena *Microstrip*; os erros do efeito do multicaminho e de centro de fase das antenas receptoras do sinal GNSS; e por último abordam-se os métodos de calibrações de antenas GNSS existentes.

2.1 SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITES (GNSS)

O termo GNSS refere-se aos sistemas de navegação por satélites artificiais, 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.

Esse sistema baseia-se em satélites artificiais que proporcionam dados de navegação e de observações ao usuário em tempo real, bem como serviços de posicionamento em diversos níveis de precisão.

O GNSS consiste de três principais tecnologias de satélite: o NAVSTAR-GPS (*NAVigation System with Time And Ranging -Global Positioning System*), o GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) e em fase de desenvolvimento o Galileo. Cada um deles consiste principalmente em três segmentos: (a) segmento espacial, (b) segmento de controle e (c) do segmento do usuário.

O NAVSTAR-GPS é um sistema de radionavegação administrado pela Força Aérea Americana (DOD), desenvolvido, em princípio, para atender aos interesses da força militar americana. Entretanto, pelo seu grande potencial, estendeu-se a setores não militares. Segundo Seeber (2003), é um dos sistemas mais precisos na determinação da posição tridimensional de pontos na superfície terrestre, na navegação e em informações sobre o tempo. Popularmente conhecido como GPS

atualmente sua constelação é composta por 31 satélites ativos, sendo que 5 satélites pertencem ao Bloco IIA, 12 satélites do Bloco IIR, 7 satélites do Bloco IIRM e 7 satélites do Bloco IIF (GPS.Gov, 2014) .

O GLONASS é um sistema similar ao GPS que também permite o posicionamento 3D de pontos sobre a superfície terrestre e velocidades. Este sistema foi concebido na década de 1970, na antiga URSS, pelo *Soviet Union's Scientific Production Association of Applied Mechanics*, e atualmente é desenvolvido e operado pela *Russian Federation Space Forces*, contando com uma constelação de 28 satélites, sendo que 24 satélites estão em operação, 3 desativados e 1 em fase de teste (GLONASS-IANC.RSA, 2014).

O GALILEO é um sistema de posicionamento global que envolve a União Europeia (EU), a ESA (ingl. *European Space Agency*) e a indústria europeia. Concebido desde o seu início como um projeto civil, diferentemente do GPS e do GLONASS, desenvolvidos em princípio para uso militar. Este sistema proporcionará uma alta precisão, garantia global de serviço de posicionamento e está sob controle civil. O sistema totalmente implantado será composto de 30 satélites. Em 22/08/14 ocorreu o lançamento do quarto satélite do sistema. Infelizmente, o lançamento não ocorreu como planejado e o satélite não atingiu a posição orbital pretendida, portando somente 3 satélites estão operacionais (EC.EUROPA.EU, 2014).

Estes sistemas de radionavegação por satélites artificiais baseiam-se na medida do tempo da propagação de uma onda eletromagnética entre um emissor e o receptor, isso é, o emissor refere-se a antena do satélite e o receptor a antena instalada na superfície terrestre. Eles diferem quanto às frequências das ondas portadoras que são transmitidas pelos satélites e recebidas pela antena do receptor. As portadoras consistem de sinais da banda L do espectro eletromagnético. Verificam-se na Tabela 1, os principais sistemas de navegação por satélites, bem como a frequência com que os sinais são emitidos. Por exemplo, no GPS os sinais são emitidos em três frequências fundamentais, aproximadamente 1575 MHz, 1227 MHz e 1176 MHz, para as portadoras L1, L2 e L5, respectivamente.

TABELA 1 – FREQUÊNCIA DOS SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITES

Frequência em MHz									
Sistemas	L1	L2	L5	L3		E5a	E5b	E6	E2-L1-E1
				L5OCM	L3OC				
GPS	1575	1228	1176	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
GLONASS - Antigo Sinal	1602-1615	1246-1256	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
GLONASS - Novo Sinal	1590-1610	1239-1255	N/A	1165-1186	1190-1215	N/A	N/A	N/A	N/A
GALILEO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1164	1215	1260-1300	1559-1592

N/A – Não ativado

FONTE: AUTORA (2014)

O GNSS emprega o princípio de navegação, que consiste da medida das pseudodistâncias, entre o ponto de interesse, onde está posicionada a antena receptora e o satélite, de pelo menos quatro satélites acima do horizonte do observador. A pseudodistância é a distância entre o satélite e a antena do receptor baseado nos códigos gerados nos satélites e no receptor. No receptor é gerada uma réplica do código produzido no satélite. O retardo entre a chegada de uma transição do código gerado no satélite, e sua réplica, gerada no receptor, nada mais é que o tempo de propagação do sinal no trajeto ligando o satélite ao receptor. O receptor realiza essa medida usando a técnica de correlação do código. A distância é obtida pela multiplicação do tempo de propagação do sinal resultante do processo de correlação, pela velocidade da luz (SEEBER, 2003). Denomina-se pseudodistância em virtude de alguns erros provenientes, principalmente, do não sincronismo entre os relógios do receptor e do satélite.

2.2 ONDA ELETROMAGNÉTICA

A comunicação do sistema de navegação por satélites entre as antenas transmissoras e receptoras é realizada por ondas eletromagnéticas de rádio. Ondas eletromagnéticas são formadas a partir da combinação dos campos magnético e elétrico, que se propagam no espaço transportando energia. O conceito de onda eletromagnética foi postulado pelo famoso físico escocês James C. Maxwell. É dele o trabalho mais notável no campo do eletromagnetismo. Utilizando-se das leis experimentais de Coulomb, Faraday, Ampère e também das suas próprias concepções, Maxwell construiu um conjunto de equações que resume os conhecimentos sobre o eletromagnetismo. Hoje conhecemos essas equações como as equações de Maxwell e sabemos que foram elas que possibilitaram a existência das ondas eletromagnéticas. A propagação das ondas eletromagnéticas é realizada em um ambiente aberto, sendo então suscetível a atenuação devido a diferentes meios que se propagam.

Uma onda eletromagnética é polarizada quando o campo elétrico assume uma única direção de vibração, e o campo magnético (M), perpendicular ao campo elétrico (E), irá vibrar também em uma única direção (FIGURA 1). Para conseguir uma polarização circular, a antena transmissora irradiará uma onda constituída por duas componentes de campo elétrico, perpendiculares entre si, de mesma amplitude, defasadas entre si com um ângulo de 90° .

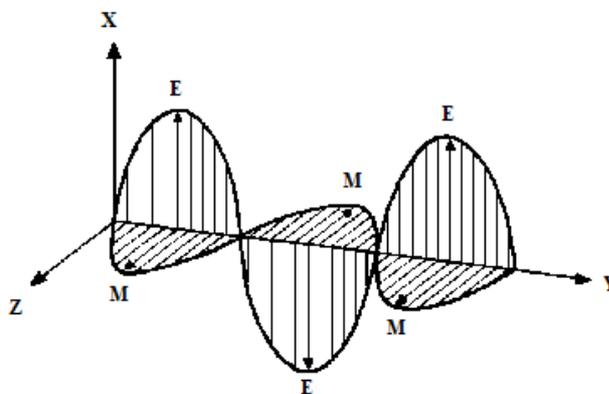


FIGURA 1- POLARIZAÇÃO CIRCULAR DA ONDA ELETROMAGNÉTICA
FONTE: ADAPTADA DE SPRING (2006)

A direção do campo resultante vai se modificando a medida que a onda avança no meio em que se propaga. Observando-se a onda que atinge a antena receptora, o campo elétrico pode estar girando para a direita ou para a esquerda, dependendo se a defasagem na transmissão for de 90° ou -90° . Têm-se uma onda polarizada circularmente à direita quando a defasagem for de 90° ou circularmente à esquerda quando for -90° (RIBEIRO, 2004). A polarização circular é usada para minimizar as interferências causadas pela chuva. Segundo Seeber (2003), as ondas emitidas dos satélites GNSS são circularmente polarizadas a direita devido ao movimento orbital dos satélites. As ondas eletromagnéticas emitidas pelos satélites GPS têm frequências aproximadas de 1228 a 1575 MHz. Esses valores pertencem a faixa denominada de banda L. Observa-se na FIGURA 2 que essas frequências encontra-se no limiar entre duas faixas UHF e SHF.

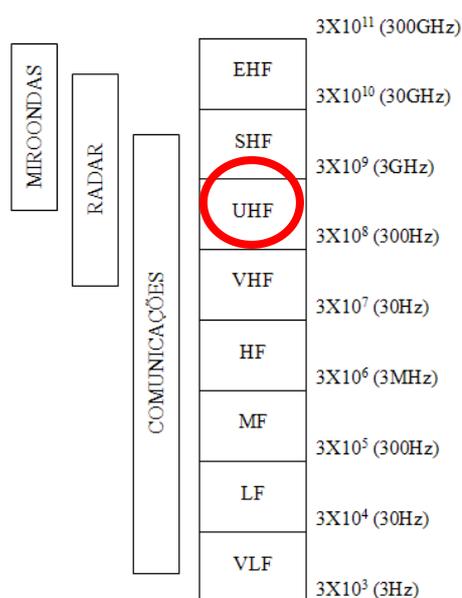


FIGURA 2- ALGUMAS FAIXAS DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO
 FONTE: ADAPTADO DE SEEBER (2003)

Verifica-se que dentro do limite de frequências 300 MHz a 3 GHz, as ondas podem ser consideradas ondas de rádio (UHF-*Ultra High Frequency*), microondas e ondas do Radar. Segundo Wellenhof e Legat (2003), ondas de rádio na faixa do UHF têm limites de 300 a 3000 MHz de frequência, nesta faixa observam-se alguns serviços de navegação baseada em satélites (GPS, GLONASS, GALILEO), televisão, telefone celular, radiosondas. Segundo Seeber (2003), as ondas vindas dos sinais dos sistemas: GPS, GLONASS e GALILEO, são microondas e

encontram-se na banda do radar, na faixa L, que tem limites de 1 a 2 GHz com comprimento de onda próximo de 20 centímetros.

A propagação das ondas eletromagnéticas sofre uma série de perturbações devido ao meio no qual ela está se propagando. Dentre essas perturbações pode-se citar: atenuação causada pelas camadas atmosféricas no decorrer de seu percurso, incluindo vapor de água; refração troposférica e refração ionosférica; efeitos de precipitação pluviométrica; reflexão na superfície do solo, bloqueio por obstáculos; atenuação pelos gases da atmosfera, (RIBEIRO, 2004). As principais perturbações que sofrem as ondas eletromagnéticas vindas dos satélites GNSS serão abordadas na seção de fontes de erros no posicionamento por satélites.

2.3 RECEPTORES E ANTENAS PARA POSICIONAMENTO GNSS

Diversos equipamentos que se utilizam dos sinais transmitidos pelos satélites vêm sendo desenvolvidos e com enfoque em diversas aplicações, devido à tecnologia empregada e pela modernização desses sistemas. Nos dias atuais os usuários se deparam com receptores/antenas capazes de receberem sinais da constelação GPS, das constelações GPS/GLONASS e alguns equipamentos já estão sendo preparados para receber os sinais da constelação GALILEO. Esses equipamentos diferem de preço conforme a tecnologia implementada. É de extrema importância conhecer as características dos receptores/antenas, a finalidade a que se destinam e conseqüentemente a precisão esperada, fazendo assim uma escolha correta desses equipamentos.

Segundo Seeber (2003), independente da marca dos receptores/antenas eles possuem os mesmos componentes básicos. Pode-se citar: antena e amplificador, processador de sinal, oscilador, microprocessador, unidade de controle e interface, suprimento de energia e memória (FIGURA 3).

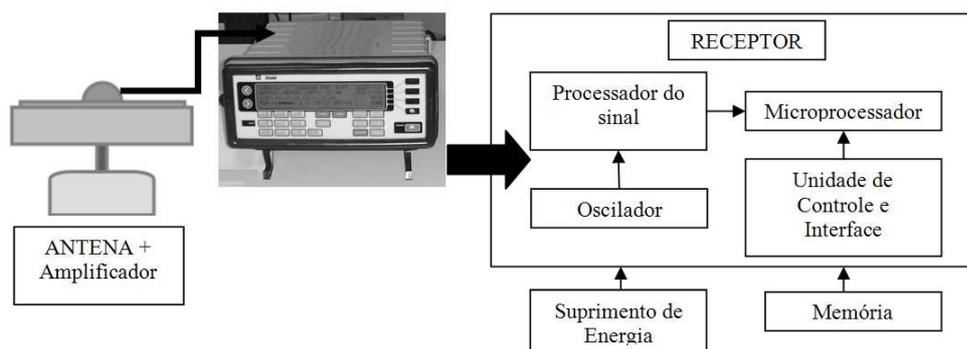


FIGURA 3- COMPONENTES DOS RECEPTORES
 FONTE: ADAPTADO DE SEEBER (2003)

A antena recebe as ondas eletromagnéticas emitidas pelos satélites, converte a energia em corrente elétrica, amplifica o sinal e envia para a parte eletrônica do receptor (SEEBER, 2003). As antenas que recebem sinais GNSS devem ser preparadas para receber sinais circularmente polarizados a direita, ter alta sensibilidade, pois o sinal que chega até a antena é fraco, o padrão de ganho deve permitir receber sinais em diferentes elevações e azimutes, ter alta sensibilidade do centro de fase e minimização do multicaminho (GREWAL, 2007).

Uma das atividades do processador do sinal é receber o sinal amplificado e combinar com o sinal produzido pelo oscilador.

O microprocessador controla as operações do receptor, obtém e processa o sinal, codifica as mensagens de navegação, calcula em tempo real as coordenadas geodésicas e as velocidades do ponto onde a antena está estacionada.

A unidade de controle e interface permite que o usuário se comunique com o receptor. Nessa unidade é possível programar a coleta de dados e também monitorar esse receptor durante as observações, verificar o número de satélites visíveis, visualizar as coordenadas geodésicas no momento da observação bem como a sua precisão.

A memória permite que os dados coletados de observação e navegação sejam gravados. Antigamente esse era um dos grandes problemas durante as longas observações, atualmente conta-se com cartão de memória removível com grande capacidade de armazenamento.

O suprimento de energia é de grande importância, pois o receptor só funciona se existir esse suprimento. Alguns receptores atuais possibilitam que se faça a troca de uma bateria sem ter a necessidade de desligá-lo. Deve-se observar também se a

antena utilizada não tem a necessidade de suprimento de energia, pois algumas só se comunicam com o receptor se tiverem bateria.

2.3.1 Características das Antenas

Segundo IEEE Std (1983), a definição oficial de uma antena é "Um meio para irradiar ou receber ondas de rádio". Na transmissão espacial de ondas de rádio, ondas eletromagnéticas, utilizam-se antenas para transferir energia de um circuito ao espaço, e do espaço para um circuito. Outra definição de antena: 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 radiofrequência.

A antena transmissora e a receptora são basicamente iguais e evoluíram das experiências de Landell de Moura, Hertz, Popov e Marconi a partir de três bases teóricas: Teoria dos Raios ou Ótica Geométrica, Ótica Física e Teoria do Eletromagnetismo (SMIT, 1988). No ano de 1886, Heinrich Hertz criou as primeiras antenas com a finalidade de auxiliar no estudo e desenvolvimento das teorias eletromagnéticas.

Segundo Balanis (1998) as principais características de uma antena são: ganho, diretividade, eficiência na irradiação, diagrama de irradiação e abertura efetiva da antena.

O ganho e a diretividade de uma antena são fundamentais para definir seu formato e dimensão, quanto maior a diretividade e o ganho, maior é a intensidade de potência irradiada pela antena em uma determinada região. Diretividade é a capacidade da antena concentrar sinais e expressá-los em um diagrama.

Segundo IEEE Std (1983), diretividade é definida como a relação entre a intensidade de radiação em uma determinada direção da antena pela intensidade da radiação média de todas as direções. A intensidade da radiação média é igual à potência total irradiada pela antena dividida por 4π . Matematicamente pode ser escrita como (BALANIS, 2005):

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (3.1)$$

Sendo:

D = diretividade (adimensional);

U =intensidade de radiação da antena de interesse;

U_0 =intensidade de radiação de fonte isotrópica;

P_{rad} =potência total irradiada.

A relação de energia fornecida para uma antena e a potência irradiada ou dissipada na antena é a eficiência dessa antena. Uma antena é considerada de alta eficiência quando a maior parte da energia na entrada da antena é irradiada e uma antena é de baixa eficiência quando absorve a maioria parte da energia, fazendo com que haja perda da potência na antena.

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.

Segundo Pinto (2011), sabe-se que os satélites artificiais estão em constante rotação sobre diferentes eixos, sendo assim é desconhecida a sua orientação exata para cada instante. Isso implica que, para que a antena receba o sinal, é necessária a existência de uma antena isotrópica¹ que teria um diagrama de irradiação idealmente Isotrópico. Esta antena isotrópica só existe na teoria, pois, não existe uma antena ideal. As antenas não irradiam os sinais da mesma forma em todas as direções.

O diagrama de irradiação é a representação gráfica do ganho de uma antena num determinado plano, isto é representa-se a área de recebimento do sinal, mapeamento espacial da distribuição de energia irradiada, levando em conta o campo tridimensional. Esse diagrama pode ser obtido em laboratório, de forma experimental, onde se mede a intensidade da radiação recebida ou transmitida. O

¹ Antena Isotrópica - É uma antena que irradia igualmente em todas as direções, porém é uma antena virtual, na prática não existe.

diagrama pode ser obtido tanto pelo deslocamento de uma antena de prova em torno da antena que se está medindo, como pela rotação desta em torno do seu eixo, enviando os sinais recebidos a um receptor capaz de discriminar com precisão a frequência e a potência recebidas. Ele é normalmente representado pela distribuição de energia nos planos: elétrico e magnético (FIGURA 4), ditos Plano E e Plano H (FRANZ, 2011).

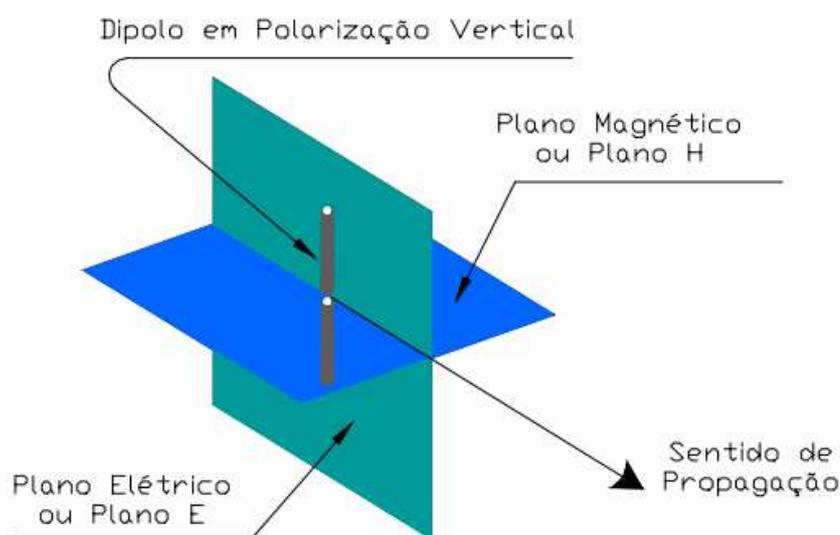


FIGURA 4- DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA NOS PLANOS ELÉTRICO E MAGNÉTICO
FONTE: FRANZ (2011)

Na FIGURA 5 tem-se a representação do diagrama de irradiação, que pode ser tridimensional, polar e retangular (SMIT, 1988). A tridimensional permite visualizar a distribuição espacial de toda a potência envolvida. A polar é mais fácil de interpretar, os lóbulos são identificados pelo ângulo e amplitude sendo que o lóbulo principal define os ângulos de $\frac{1}{2}$ potência e o máximo ganho. Contudo para que a análise esteja correta necessita-se de dois planos, vertical e horizontal ou Plano E e Plano H (FIGURA 4). A retangular emprega-se para antenas de alto ganho, onde a pequena abertura do lóbulo principal compromete a interpretação do diagrama de irradiação polar.

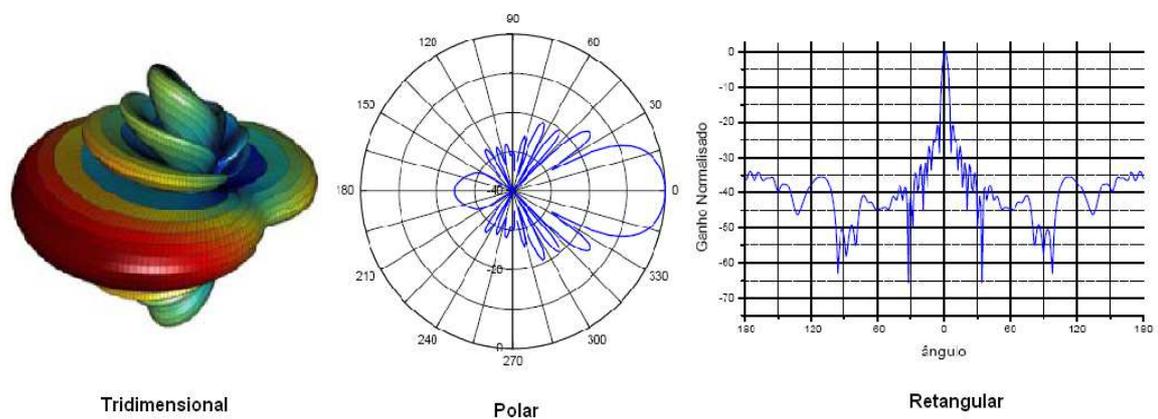


FIGURA 5- DIAGRAMAS DE IRRADIAÇÃO
 FONTE: FRANZ (2011)

No diagrama polar, os valores medidos da irradiação são proporcionais às intensidades medidas, marcados sobre linhas radiais, correspondentes às direções consideradas. Visualiza-se na FIGURA 6 um diagrama de irradiação polar representado por oito orientações (linhas radiais). Percebe-se que ao longo da linha 4 (180°) existe um máximo, enquanto que nas linhas 0 e 8 (0° ou 360°) os valores são nulos. Segundo Kraus et al., (2002), 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.

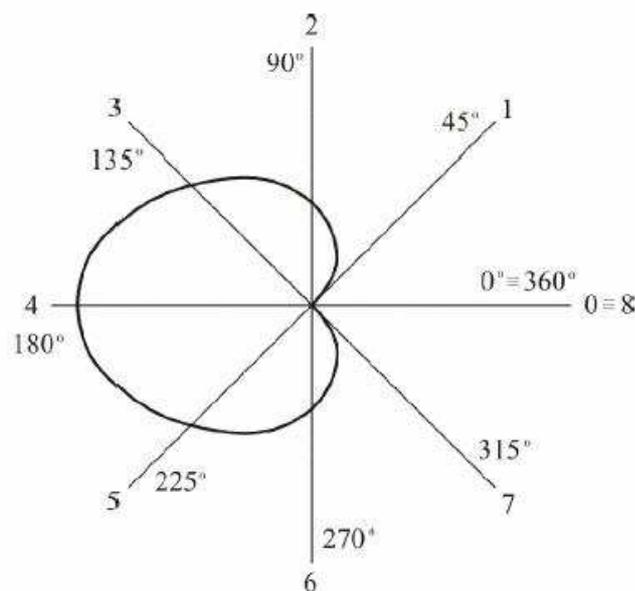


FIGURA 6- DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO POLAR
 FONTE: FREIBERGER JUNIOR (2007)

A principal característica de uma antena é o diagrama de irradiação visto que com ele é possível indicar o lóbulo principal de uma antena e orientá-la no espaço de modo que o ponto de recepção se situe na direção do máximo do lóbulo principal.

Quando a onda eletromagnética incidir na antena receptora, haverá a indução de uma corrente e tem-se potência desenvolvida na impedância ligada aos terminais. A relação entre a potência recebida e a densidade de potência da onda incidente é uma grandeza com dimensão de superfície e é conhecida como abertura efetiva da antena (RIBEIRO, 2004).

2.3.1.1 Antenas Receptoras GNSS

A escolha de uma antena GNSS é geralmente considerada secundária no planejamento de campo, porém ela é o elemento de ligação entre o satélite e o receptor e tem como função essencial, transferir a propagação do sinal vindo do satélite para o receptor com um mínimo de interrupção (EVEN-TZUR e SHAKED, 2008).

As antenas receptoras GNSS recebem as ondas eletromagnéticas e as convertem em uma corrente elétrica, a qual é enviada ao receptor (MOERNAUT e ORBAN, 2009). Porém, quando se deseja que essa antena realize esse trabalho de forma adequada deve se conhecer os modelos disponíveis e as propriedades desta antena.

Os modelos de antenas receptoras de sinais GNSS (FIGURA 7), segundo Seeber (2003), podem ser classificados como:

- ✓ Monopolo (*Monopole*) ou dipolo;
- ✓ Helicoidal (*Helix*);
- ✓ Helicoidal-espiral (*Spiral Helix*);
- ✓ Microstrip ou patch;

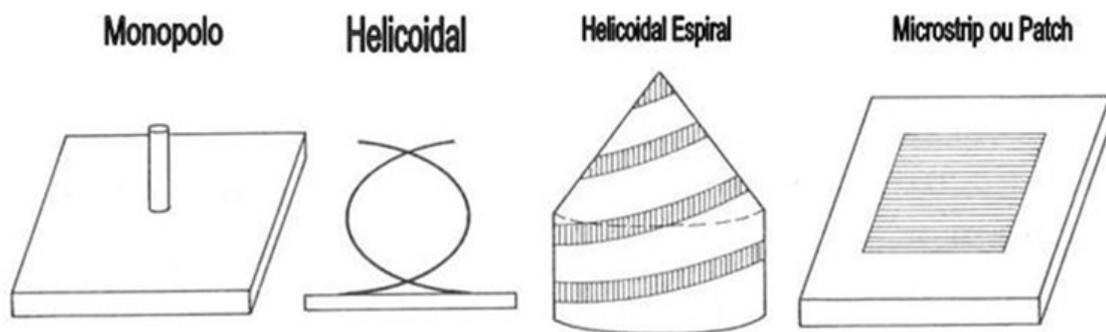


FIGURA 7- MODELOS DE ANTENAS RECEPTORAS GNSS
 FONTE: ADAPTADO DE SEEBER (2003)

Segundo Smit (1988), a antena dipolo pode ser considerada como um protótipo de todas as antenas, pois dela derivam as demais. Este tipo de antena pode ser subdividido em: monopolo e a dipolo quadrado. Para que as antenas monopolo e dipolo funcionem é necessário que essas sejam acopladas a um plano de terra². Elas são de simples frequência e como vantagem são pequenas e de simples construção (GREWAL et al., 2007), muito utilizadas em receptores de navegação. A antena monopolo é aberta, atua 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. A antena de dipolo quadrado pode ser resumida como dois dipolos lado a lado, emitindo quatro vezes mais potência. Um exemplo dessa antena é a “Yazi”, que tende a diminuir a impedância da antena principal (SMIT, 1988).

A antena helicoidal é de simples frequência e a sua estrutura de construção é mais complicada do que uma dipolo (GREWAL et al., 2007). Têm forma espiral ou hélice e é construída a partir de um ou múltiplos condutores. Essa antena é considerada de alto ganho, não é necessário que seja acoplada a um plano de terra e tem polarização circular. Utilizada com grande frequência na comunicação de satélites, pois não necessita de ajuste de polarização (FUSCO, 2006). Também se observa o seu uso em receptores de navegação GPS, pois apresentam uma abertura compatível com o ângulo do sinal incidente dos satélites (FRANZ, 2007).

² Plano de terra consiste de uma superfície metálica de forma circular ou retangular centrada no plano horizontal da base da antena GNSS (LEICK, 2004).

Sua estrutura externa e interna pode ser observada na FIGURA 8 e FIGURA 9, consecutivamente.



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



FIGURA 9- ESTRUTURA INTERNA DE UMA ANTENA HELICOIDAL
FONTE: FRANZ (2007)

A antena helicoidal espiral oferece como vantagem operar em dupla frequência, em L1 e L2. A antena tem alto ganho, boa cobertura em todo seu hemisfério, contudo não apresenta um centro de fase estável (GREWAL et al., 2007).

Atualmente a antena *microstrip* é a mais utilizada pela comunidade GNSS para receber as ondas eletromagnéticas, devido ao seu tamanho compacto e de baixo custo.

Para posicionamento geodésico o qual exige que fontes de erros sejam minimizadas, são utilizadas antenas como, por exemplo, a "*Choke Ring*". Essa antena tem maior estabilidade no centro de fase e proteção contra o efeito do multicaminho (YUNK et al., 1989 apud SOUZA, 2005). Elas (FIGURA 10) 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 GNSS. Sendo assim a antena ganha uma importância na proteção de reflexões do sinal proveniente do solo e de sinais do efeito do multicaminho que chegam de direções aproximadamente horizontais. Essa antena possui algumas desvantagens como: o tamanho, o peso e o custo (ISHIKAWA e ITAME, 2000). Encontra-se no mercado dois modelos de antenas *Choke Ring*, a 2D

e a 3D. A principal diferença entre elas é a capacidade de receber sinais GNSS e disposição dos círculos concêntricos.



FIGURA 10- ANTENA CHOKE RING (2D)
FONTE: TRIMBLE (2014)



FIGURA 11- ANTENA CHOKE RING (3D)
FONTE: NGS (2011)

A antena *Choke Ring* 2D (FIGURA 10) recebe somente sinais provenientes do GPS e GLONASS a *Choke Ring* 3D (FIGURA 11) foi desenvolvida para receber sinais GNSS (GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU/COMPASS), e apresenta anéis concêntricos em diferentes níveis. Esta antena minimiza mais o efeito do multicaminho pelas depressões que os anéis apresentam, e o ganho dessa antena foi otimizado para se tornar padrão da indústria de alta precisão e desempenho (LEICA GEOSYSTEMS, 2011).

Quando se fala em antenas GNSS no presente trabalho, se está falando de antenas que recebem sinais GPS, ou GPS e GLONASS, já que os demais sistemas de satélites artificiais (GALILEO e BEIDOU/COMPASS) ainda não estão operacionais. As frequências utilizadas pelo GPS e pelos outros sistemas são exclusivas, como por exemplo, a banda E6 do GALILEO (1278 MHz) e a banda L1 do GLONASS (1602-1615 MHz), sendo assim não podem ser abrangidas para todas as antenas. Por mais que as antenas não recebam as mesmas frequências compartilham as mesmas propriedades (MOERNAUT e ORBAN, 2009).

Segundo Grewal et al. (2007), uma propriedade dessas antenas consiste em ser projetadas para receber sinais (ondas eletromagnéticas) circularmente polarizados a direita (*RHCP- Right Hand Circular Polarization*) e rejeitar sinais de outras polarizações. Com essa característica é possível receber sinais dos satélites posicionados em diferentes azimutes e elevações.

Segundo Moernaut e Orban (2009), outras propriedades das antenas receptoras dos sinais provenientes de satélites artificiais são: minimização do efeito do multicaminho e capacidade de receber sinais fracos.

O sinal proveniente dos satélites chega até a antena do receptor GNSS de forma direta e indireta. A forma indireta consiste em sinais que são refletidos no chão, prédios ou outros obstáculos e chegam à antena por múltiplos caminhos e defasados em tempo, esse efeito é denominado de multicaminho. Quando o sinal é refletido muda a polarização dessa onda eletromagnética, fazendo com que ela se torne uma onda circularmente polarizada a esquerda (LHCP- *Left Hand Circular Polarization*). Mesmo as antenas GNSS sendo projetadas para receber somente sinais RHCP existe uma defasagem entre receber somente esses sinais e receber sinais LHCP, fazendo com que essa antena receba sinais resultantes do multicaminho.

Os sinais emitidos pelos satélites GNSS são considerados fracos, sendo da ordem de -130 dB (MOERNAUT e ORBAN, 2009). Desta forma, é necessário um receptor sensível e para que a antena consiga receber esses sinais, um amplificador de baixo ruído se faz imprescindível. Outro fator que deixa o sinal mais fraco é a conexão entre a antena e o receptor geralmente realizada por cabos coaxiais ou “*Bluetooth*”. Nas situações em que a antena é conectada ao receptor por cabos coaxiais há perda no sinal. Na Banda de frequência L essa perda pode ser de aproximadamente 1 dB a cada metro de cabo do tipo RG58 (MEHL,2014). O pré-amplificador amplifica o nível do sinal antes enviá-lo ao receptor. Porém, o amplificador tem um efeito benéfico apenas se o seu valor de ruído, normalmente de 1 a 5 dB, for menor que o valor de ruído de alimentação. Ele depende primeiramente do próprio ganho da antena, do comprimento do cabo coaxial utilizado e das características do receptor.

As antenas GNSS têm diferentes características em função da construção das mesmas e dentre elas se tem dado maior importância ao centro de fase. Esse é um ponto virtual no espaço para qual todas as ondas eletromagnéticas convergem. Ou, um ponto onde os campos eletromagnéticos de todas as ondas se somam em fase. A determinação do centro de fase é importante em aplicações GNSS, principalmente quando se visa atingir um posicionamento com precisão milimétrica. Conforme Seeber (2003), a variação do centro de fase encontrada nas antenas

receptoras GPS tipo *microstrip* pode ser de milímetros até alguns centímetros. Esse centro de fase varia de acordo com a direção de chegada do sinal, geralmente dentro do intervalo de 1 cm ou menos. Uma forma de contornar esse erro sistemático é a calibração das antenas GNSS (GREWAL et al., 2007). Nela é possível determinar a posição do centro de fase bem como suas variações, já que o sinal quando chega à antena não é direcionado para um único ponto (XU, 2007).

2.3.1.1.1 Antenas *Microstrip*

Segundo Grewal et al., (2007), as antenas *microstrip* ou *patch* são mais robustas e de simples construção, elas podem ser de simples e dupla frequência. Essas têm como desvantagem um menor ganho quando comparada a outras, o qual pode ser compensado com um pré-amplificador de baixo ruído, em geral de alta impedância.

Essas antenas 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.

Outra desvantagem desta antena é que ela não consegue rejeitar sinais advindos do multicaminho, principalmente sinais com ângulos de elevação abaixo do horizonte. Portanto para minimizá-lo as antenas são projetadas com planos de terra. Normalmente, essas antenas são cobertas por uma redoma para protegê-la de condições ambientais extremas (EVEN-TZUR e SHAKED, 2008).

Para entender a construção dessa antena observa-se a FIGURA 12, apresentam-se as principais componentes dessa antena: uma base quadrada, o “patch”, e o elemento que separa as duas camadas da base quadrada, denominado de substrato dielétrico.

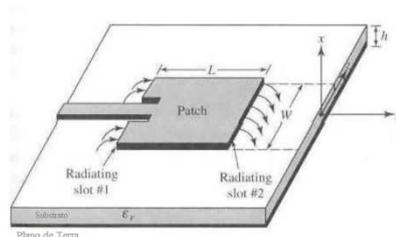


FIGURA 12- ANTENA MICROSTRIP
FONTE: PINTO (2011)

O “patch” consiste numa banda de metal muito fina acoplada a uma camada da base quadrada, separada por um substrato dielétrico, o “patch” será, portanto o elemento radiador, sendo que geralmente o diagrama de radiação é máximo na direção normal ao plano do “patch”.

Um exemplo de antenas do modelo microstrip é a antena TRM 22020.00-GP (FIGURA 13) da marca Trimble. Essa antena pertence ao LAGEH (Laboratório de Geodésica Espacial e Hidrografia), é de mono frequência e pode-se visualizá-la externamente e internamente na FIGURA 13.

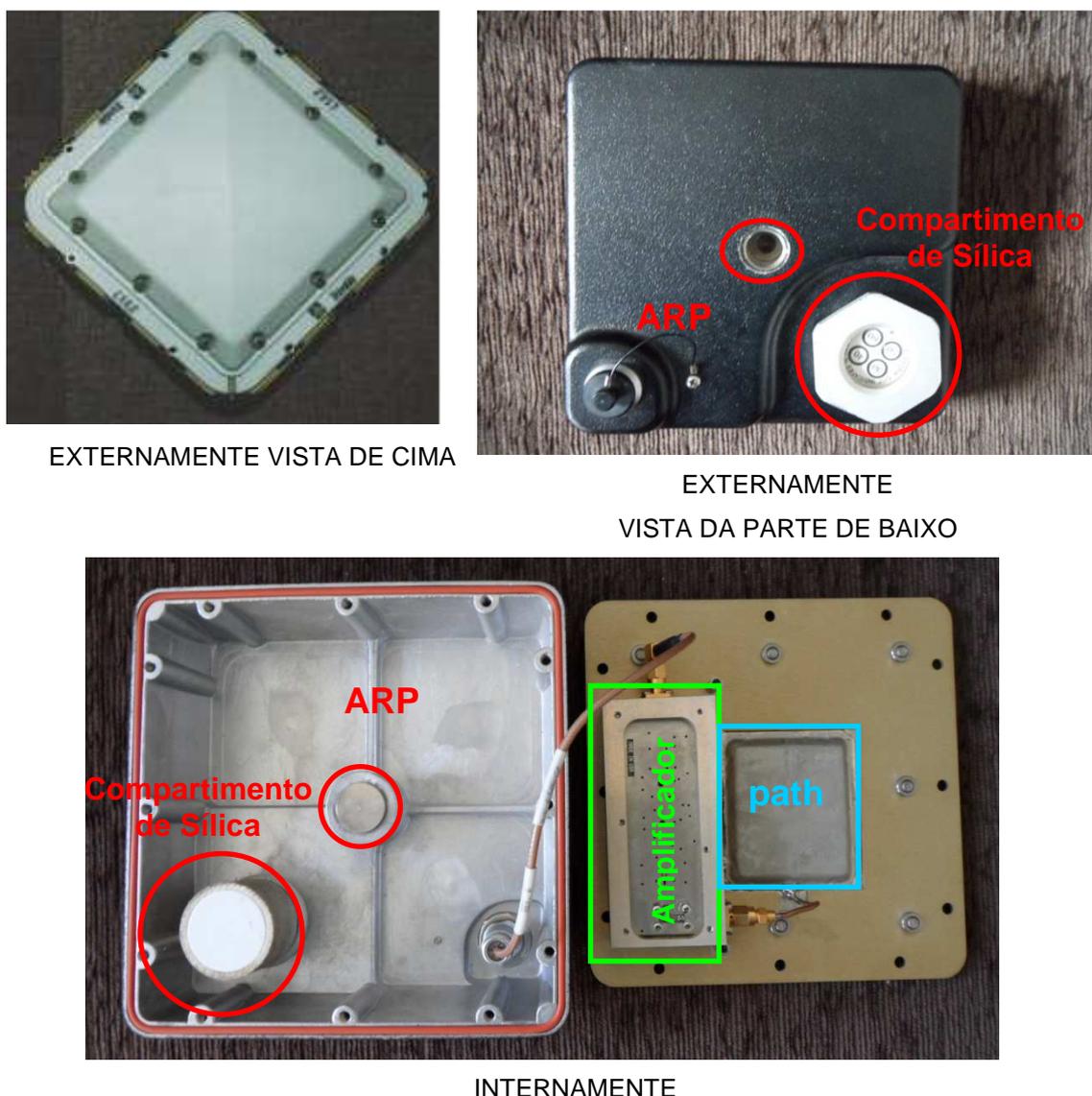


FIGURA 13- ANTENA MICROSTRIP MODELO TRM22020-GP
FONTE: AUTORA (2014)

Na parte interna (FIGURA 13) pode-se visualizar que ela é composta de um cabo que faz a conexão do cabo coaxial que vai para o receptor com o “patch” da antena.

Na FIGURA 14 tem-se a base quadrada que faz parte da antena TRM22020-GP. Observa-se que sobre essa base está o “patch” da antena. Nesse “patch” apresenta-se o centro geométrico dessa antena. Ele é definido com precisão sub-milimétrica, normalmente pela intersecção do eixo de simetria vertical com a superfície superior do plano de terra dessa antena.

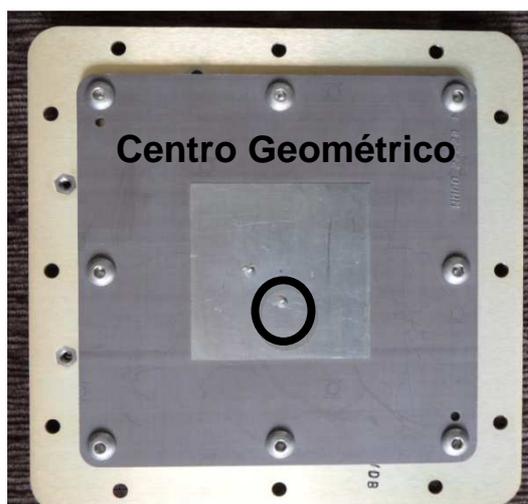


FIGURA 14- BASE QUADRADA COM O “PATH” DA ANTENA TRM22020-GP
FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 15 tem-se o amplificador que é acoplado ao “patch” da antena. Ele tem como característica amplificar o sinal que chega muito fraco até a antena receptora do sinal GNSS. Ele é composto por resistores de cerâmica e alguns *tripods* que com o passar do tempo perdem sua eficiência devido à umidade dentro do amplificador, devendo ser recalibrados.

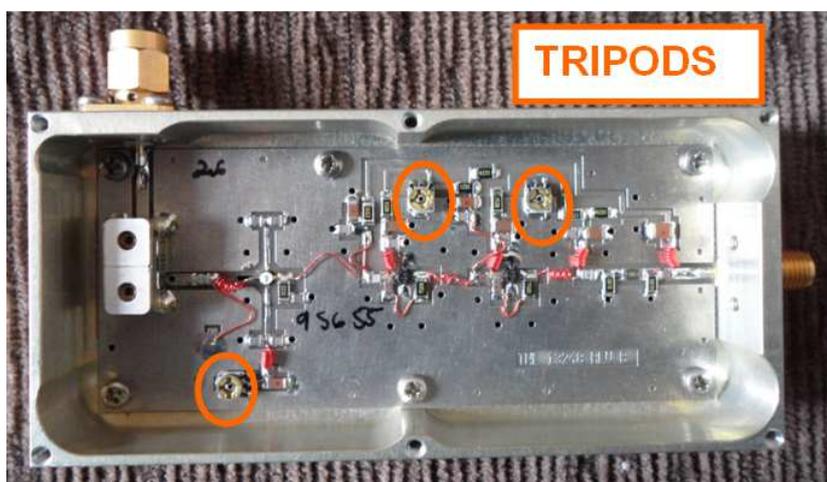


FIGURA 15- AMPLIFICADOR DA ANTENA TRM22020-GP
FONTE: AUTORA (2014)

2.4 ERROS QUE ATUAM NO GNSS

As fontes de erros provenientes do posicionamento por GNSS é um tema muito discutido na comunidade de usuários deste sistema, principalmente, no que tange a sua minimização para obtenção de acurácia. Esses erros afetam as observáveis³ e podem ser de origem aleatória, sistemática e grosseira. O erro aleatório não tem qualquer relação funcional com a medida das observáveis, é o erro resultante depois da eliminação do erro sistemático e grosseiro. O erro sistemático pode ser determinado ou reduzido por técnicas e modelagem (SEEBER, 2003). O de origem grosseira é causado por falhas humanas ou por equipamentos e deve ser eliminado. Na teoria os erros devem ser eliminados, porém na prática isso geralmente não acontece, pois sempre resta alguma fonte de erro sistemático.

Os erros sistemáticos podem ser classificados em três grupos principais (QUADRO 1) : Satélite, Propagação do sinal, Receptor/Antena.

FONTE DE ERROS	ERRO ATUANTE
Satélite	Relógio do satélite Órbita Delay do hardware
Propagação do Sinal	Ionosfera Troposfera Efeito do Multicaminho Perda de Ciclo
Receptor/Antena	Relógio do receptor Variação do centro de fase da antena Ruído nas observáveis Delay do hardware

QUADRO 1- ERROS SISTEMÁTICOS PRESENTES NAS OBSERVÁVEIS GPS
FONTE: ADAPTADO DE SEEBER (2003)

Visando atingir os objetivos propostos, a essa pesquisa inicia com a investigação das fontes de erros causada pelo efeito do multicaminho e depois o

³ Observáveis básicas do GNSS são: a pseudodistância e a medida de fase de batimento da portadora. Com essas observáveis é possível determinar a posição, velocidade da estação e o tempo.

erro advindo da variação do centro de fase da antena. Para maiores esclarecimentos sobre as outras fontes de erros e informações consultar: SEEBER (2003), LEICK (2004). HOFMANN-WELLENHOF et al. (2001).

2.4.1 Efeito de Multicaminho

Ao longo de uma trajetória diversos obstáculos devem ser ultrapassados por uma onda eletromagnética até que ela chegue à antena receptora. Esses obstáculos podem, por exemplo, desviar ou refletir essa onda fazendo com que ela não chegue até a antena ou chegue de forma indireta. Esses efeitos são denominados pela comunidade usuária de GNSS de multicaminho. Sendo esse considerado a maior fonte de erro na calibração relativa em campo de antenas GNSS (SEEBER et al., 1997) e no posicionamento GNSS (SEEBER, 2003).

Os sinais indiretos que chegam até a antena são provenientes de fenômenos de difração e reflexão. O fenômeno de difração ocorre quando o sinal é disperso em torno de um obstáculo, deixando passar somente uma fração de frente de onda que chega até a antena de forma indireta. Dentre os obstáculos que podem ocasionar a difração cita-se: morros, edifícios e árvores. Devido às diferentes formas de cada obstrução existente no entorno fica praticamente impossível elaborar modelos matemáticos que possam minimizar essa fonte de erro.

A reflexão modifica a direção de propagação sinal que incide sobre uma interface que separa dois meios diferentes e retorna para o meio inicial. O sinal refletido pode modificar-se conforme o perfil do terreno ou superfície onde ele reflete. É um fenômeno prejudicial à qualidade do sinal recebido e o desempenho do sistema GNSS. Essa reflexão pode ser difusa ou especular. A reflexão difusa ocorre quando o sinal incide sobre superfícies irregulares (rugosas) refletoras e esse sinal é refletido em todas as direções. A reflexão especular ocorre quando o sinal incide sobre superfícies polidas como, por exemplo, espelho, água e metais e retornam para o meio no qual ocorreu à incidência com o mesmo ângulo de incidência, diferindo do sinal direto somente na fase da onda portadora e na amplitude.

Como citado anteriormente sabe-se que os sinais indiretos (multicaminho) podem ter origem após o fenômeno de difração e reflexão. Segundo Kerkhoff (2010), um sinal de GPS após ser refletido especularmente por uma superfície horizontal, apresenta uma mudança de polarização. De polarização à direita (RHCP) para um sinal circularmente polarizado à esquerda (LHCP), devido a uma mudança de fase de 180° induzida pela reflexão. As exceções a esta regra são os sinais indiretos vindos de baixos ângulos de reflexão, ocorrendo abaixo do ângulo de Brewster⁴, então a polarização continua sendo à direita (RHCP), porém, a fase é acrescida de 180° . Sinais difratados são tipicamente elipticamente polarizados, sendo assim são de origem RHCP e LHCP. Uma maneira de reduzir a recepção do multicaminho seria moldar os padrões de radiação da antena para que ela receba somente sinais RHCP. As antenas *Choke Ring* tem essa característica, no entanto é uma antena de alto custo e tamanho avantajado, o que torna muitas vezes inviável o seu uso. A desvantagem das antenas *microstrip* é que ela não rejeita sinais do multicaminho, esses que são circularmente polarizados a esquerda (EVEN-TZUR e SHAKED, 2008).

O erro do multicaminho é considerado dinâmico, pois evolui com o movimento dos satélites GNSS e com as alterações das superfícies refletoras (como vegetação em crescimento, carros em movimento, solo seco ou úmido). Esse erro não pode ser eliminado com a técnica de diferenciação, pois ele pode mudar de estação para estação (LARSON e BILICH, 2009).

Segundo Seeber (2003), o efeito do multicaminho afeta tanto observações de fase da onda portadora quanto do código, mas em magnitudes diferentes. O efeito sobre as observações do código P tem uma magnitude duas vezes maior que as observações da fase, podendo ser de decímetros a metros, e o efeito sobre o código C/A pode ser de vários metros. Segundo Parkinson (1996), o efeito do multicaminho 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 para a fase da onda portadora L1. Na pseudodistância, o comportamento desse efeito é similar ao da

⁴ Ângulo de Brewster (também conhecido como ângulo de polarização) é um ângulo de incidência para o qual a reflexão anula completamente a componente paralela da onda em relação ao plano de incidência. Com isso, a onda refletida só tem uma componente, perpendicular à direção de propagação.

fase, entretanto, apresenta mais variações e pode atingir até 150 metros (RAY, 1999).

O multicaminho além de ser ocasionado pela interferência no deslocamento do sinal provocado por superfícies refletoras pode ser afetado por outras fontes tais como: a geometria da constelação, antena receptora, a potência do sinal, e também do programa de processamento empregado na avaliação das observações (BECKER, 1994). Segundo Leick (2004), satélites com baixos ângulos de elevação (menores que 20°) em relação ao horizonte de observação geram fortes incidências de multicaminho.

O sinal resultante do fenômeno do multicaminho é sempre atrasado em relação ao sinal que vem direto da antena do satélite, pois ele sofre diferentes tipos de interferência na sua propagação, fazendo com que esse sinal denominado de indireto demore um pouco mais para chegar do que o sinal direto. A diferença entre os sinais direto e indireto é proporcional ao comprimento do caminho percorrido entre o satélite e o receptor.

Segundo Souza et al., (2006), o multicaminho pode ser dividido em duas classes: estática e cinemática. Em observação estática, a geometria de propagação do 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.

O multicaminho pode ser atenuado por técnicas espaciais e de processamento do 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). Outra forma de atenuar o efeito do multicaminho é utilizar antenas com plano de terra e materiais absorventes de micro-ondas ao redor da antena. Estudos comprovam que o plano de terra não é tão eficiente para a minimização do efeito do multicaminho. Ele consiste de uma estrutura metálica, geralmente um disco plano que atua como uma blindagem ou terra, servindo de proteção contra sinais vindos de direções indesejáveis. Os materiais absorventes melhoram as características de ganho da antena e também absorvem sinais indiretos que podem chegar até a antena.

Segundo Souza (2008), existem alguns fatores que auxiliam na detecção e análise do efeito do multicaminho na recepção de sinais GNSS, por exemplo, realizar experimentos com repetibilidade, utilizar o software TEQC (*Translate/Edit/Quality Check*) e analisar a razão relação sinal ruído (*Signal Noise Ratio* - SNR). A repetibilidade pode ser testada quando o receptor está estacionado e não há mudança no entorno da estação, então o erro do multicaminho será ocasionado pela mudança em função do movimento dos satélites em suas órbitas. A análise do multicaminho pode ser realizada com o TEQC, que fornece um indicativo do nível de multicaminho numa estação. Quando se almeja ponderar o efeito do multicaminho em uma estação é comum realizar-se uma análise da relação sinal ruído (SNR), pois esse vai sofrer flutuações se o sinal direto for perturbado pelo multicaminho. Segundo RAY (2000), o valor da SNR é inversamente proporcional ao efeito do multicaminho, sendo assim quanto maior o valor da SNR, menor o multicaminho, e vice e versa.

Várias técnicas de redução do efeito do multicaminho usam como abordagem a geometria de propagação do sinal. Partindo desse pressuposto pode-se utilizar de algumas técnicas primárias de atenuação de multicaminho. Algumas valem do uso de antenas especiais, assim como um processamento espacial com distribuição 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 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 de fase (DDF), tanto para a fase de batimento da onda portadora, como para a pseudodistância.

As antenas especiais têm como característica minimizar o multicaminho que chega até ela, cita-se as que acompanham de um plano de terra e as antenas do modelo *Choke Ring*. Segundo Grewall et al., (1997), a utilização de antenas com plano de terra não é muito eficiente, pois em virtude de algumas características das ondas eletromagnéticas, elas se deslocam para a superfície superior do plano, alcançando a antena e, além disso, os sinais indiretos podem ser recebidos por

baixo da antena. Outra tecnologia desenvolvida em antenas para minimizar o efeito do multicaminho é a *pinwheel*. A empresa *NovAtel* desenvolveu uma antena (FIGURA 16) composta por *slots* espirais otimizados para receber sinais circularmente polarizados à direita (KUNYSZ, 2010), essa antena é muito parecida com a antena *choke ring*, porém mais leve e de custo bem menor.



FIGURA 16- ANTENA *PINWHEEL*
FONTE: NOVATEL INC (2011)

Sabe-se que sinais indiretos ocasionados pelo multicaminho podem chegar à antena pela parte de baixo dessa antena. Verifica-se na FIGURA 17 um exemplo do comportamento do sinal indireto onde se observa que ele chega até a antena pela parte de cima após ser difratado em uma superfície e à parte de baixo dessa antena após sofrer uma difração especular. Neste contexto algumas pesquisas vêm sendo realizadas para desenvolver um material que atenua o efeito do multicaminho (VISCKI et al.,2010; VISCKI, 2012; LÖFGREN et al., 2009 e KERKHOFF, 2010).

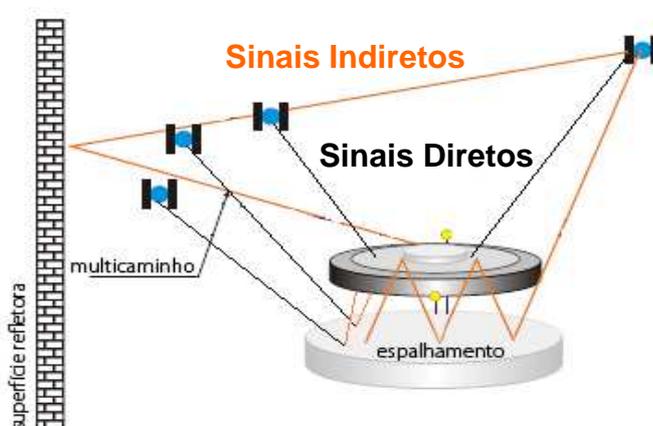


FIGURA 17- MULTICAMINHO
FONTE: ADAPTADO DE WÜBBENA (2000)

No LAGEH, localizado na UFPR (Universidade Federal do Paraná), desenvolveu-se um material denominado AEM-LAGEH (Atenuador do Efeito do Multicaminho). Esse material atenua sinais eletromagnéticos vindo do multicaminho e seu desenvolvimento baseou-se na tecnologia de MARE (Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética). Esta tecnologia consiste em um material que tem a propriedade de absorver ondas eletromagnéticas, transformando essas ondas em calor. Pesquisas estão sendo desenvolvidas visando minimizar o efeito do multicaminho, onde se acopla o AEM-LAGE nas antenas (FIGURA 18). Testes indicam que o uso desse material minimiza em 5 cm em MP1(indicativo do efeito do multicaminho combinado pseudodistância e fase da onda portadora L1), isso refere-se a uma redução de aproximadamente 11 % e 20 cm em MP2 (indicativo do efeito do multicaminho combinado pseudodistância e fase da onda portadora L2), uma redução de aproximadamente 15%. Nessa mesma pesquisa comparou-se esse material com um material importado denominado de C-RAM, baseado também na tecnologia MARE. Observou-se que o AEM-LAGE minimizou o multicaminho em MP2 na estação pesquisada com a mesma grandeza que o C-RAM (VISKI et al.,2010).



FIGURA 18- ANTENA TRM22020.00+GP ACOPLADA AO AEM-LAGE
FONTE: AUTORA (2014)

Löfgren et al. (2009), fez um estudo do efeito do multicaminho nas observações GPS, modificando o ambiente nas proximidades da antena. Verifica-se na FIGURA 19, a antena *Choke Ring* instalada sobre um pilar e protegida por uma redoma. Visando aumentar a interferência do sinal foi colocada na base do pilar, próxima a antena, uma placa de metal, procurando causar efeito de multicaminho.

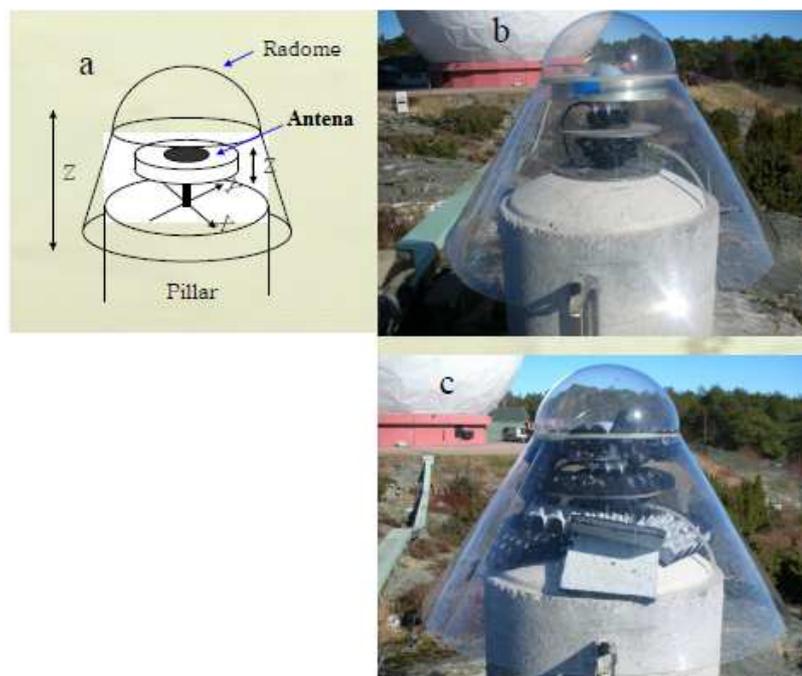


FIGURA 19- PESQUISA COM MATERIAL ATENUADOR
 FONTE: LÖFGREN ET AL (2009)

Na FIGURA 19a verifica-se a instalação da antena, na FIGURA 19b a antena instalada sobre a placa de metal e essa protegida por uma redoma . Na FIGURA 19c observa-se a antena instalada toda coberta com material absorvente. Com essa pesquisa concluiu-se que o desvio padrão das coordenadas (norte, leste e altitude elipsoidal) para quatro configurações de processamento, a qual se aplicaram diferentes ângulos de corte de elevação (0° , 10° , 15° e 20°), o efeito de multicaminho do entorno da estação foi reduzido quando se usou material absorvente de micro-ondas (FIGURA 19c). Por exemplo, no processamento no qual se aplicou um ângulo de corte de elevação de 0° o desvio padrão foi reduzido de 0,4 cm na coordenada leste, 0,05 cm na coordenada norte e de 0,20 cm para a altitude elipsoidal.

Outras pesquisas nas quais se utilizaram de um material absorvente para minimizar o efeito do multicaminho foram desenvolvidas no *Applied Research Laboratories* na *University of Texas em Austin*, essas geraram um artigo publicado no ano de 2010 (KERKHOFF et al., 2010). O foco principal do estudo foi analisar a absorção dos sinais indiretos do multicaminho antes da chegada do mesmo à antena. Para que isso fosse possível utilizou-se um material atenuador de micro-ondas. Os pesquisadores compararam-se a experimentos utilizando uma antena com um plano de terra e uma antena acoplada ao material absorvente amparada por um suporte (FIGURA 20).



FIGURA 20- SEGUNDA PESQUISA COM MATERIAL ATENUADOR
FONTE: KERKHOFF et al. (2010)

Concluiu-se com esse trabalho que quando se analisou o RMS (valor quadrático médio) das combinações lineares (L1, L2 e L3) para o código, dos dados provenientes dos experimentos: com antena e plano de terra versus antena e material atenuador, uma redução de aproximadamente: 0,07 m, 0,01 m e 0,17 m, para L1, L2 e L3, respectivamente. Contudo os pesquisadores indicam necessidade de se realizar mais experimentos com diferentes configurações e materiais atenuadores do efeito do multicaminho. Nesses novos experimentos pretende-se aumentar o tamanho do material atenuador acoplado a antena e realizar experimentos em diferentes locais, visando minimizar o efeito do multicaminho de diferentes superfícies refletoras (KERKHOFF et al., 2010).

2.4.2 Centro de Fase das Antenas GNSS

Antes de iniciar a definição do centro de fase das antenas GNSS é importante conhecer as dimensões nominais das antenas as quais irão dar suporte ao entendimento da mesma. São consideradas dimensões nominais das antenas

(FIGURA 21) o eixo de simetria vertical, centro mecânico, plano de terra (TGP- *top of ground plane*) e o ponto de referência da antena ARP (*antenna reference point*).

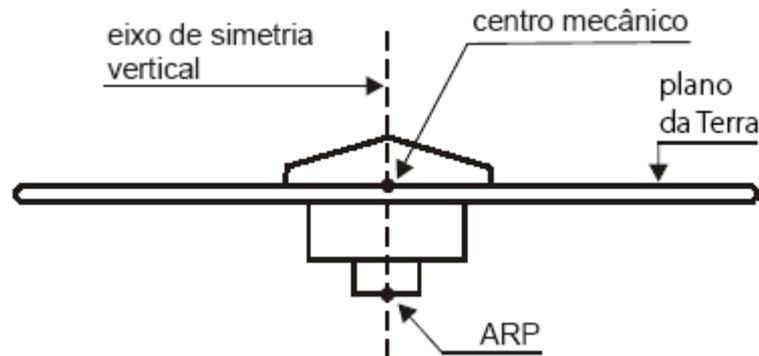


FIGURA 21- DIMENSÕES NOMINAIS DA ANTENA GNSS
FONTE: ADAPTADO DE FREIBERGER JUNIOR (2004)

Segundo Seeber (2003), o centro mecânico de uma antena GNSS é definido com precisão submilimétrica, normalmente pela intersecção do eixo de simetria vertical com a parte superior do plano de terra.

O plano de terra (TGP) é um disco que protege a antena contra o multicaminho proveniente das reflexões do solo. Atualmente as antenas não apresentam esse disco de forma robusta, antigamente acreditava-se que o tamanho influenciaria na minimização desse efeito.

O ponto de referência das medidas de altura dessa antena, bem como o de definição do centro de fase é denominado de ARP. Definido mecanicamente como sendo a intersecção do eixo de simetria vertical com a superfície mais inferior do corpo da antena

A característica mais importante das antenas de recepção GNSS consiste em conhecer o centro de fase dessas antenas. Denomina-se centro de fase eletrônico (ou simplesmente centro de fase) o ponto observado em uma antena GNSS durante a recepção de um sinal vindo de um satélite (FIGURA 22). Segundo Mader (1999) e Rabbany (2002), o centro de fase da antena não coincide com o centro mecânico (geométrico) da antena. Ele varia de acordo com a elevação e o azimute do satélite GNSS, bem como a intensidade (frequência) do sinal observado. O centro de fase das antenas GNSS é diferente para as ondas portadoras L1 e L2. Essas diferenças

podem afetar a precisão da combinação linear livre da ionosfera, principalmente quando se observa uma linha de base curta.

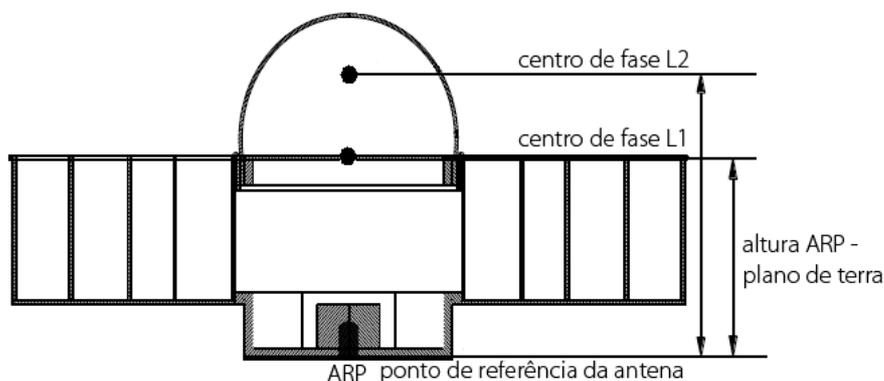


FIGURA 22- CENTRO DE FASE DE UMA ANTENA GNSS
FONTE: ADAPTADO DE ALEMU (2008)

O conhecimento da posição do centro de fase possibilita realizar a conexão deste ponto com o ARP, visando determinar as coordenadas geodésicas no ponto de interesse. O fato de ignorar a posição do centro de fase pode conduzir a erros na componente vertical de até 10 cm (MADER,1999), porém dependendo do modelo da antena utilizada esse erro pode ser superior.

A variação do centro de fase com relação ao ARP é denominada de offset do centro de fase. As coordenadas verticais (up) dos offsets tanto para a portadora L1 quanto para a portadora L2 em relação ao ARP são fornecidas pelos fabricantes, para a maioria dos modelos de antenas GNSS. Contudo cada antena tem características próprias e elas devem ser tratadas individualmente, ou seja, seus próprios parâmetros de calibração devem ser conhecidos.

Conforme Freiburger Junior (2004), o offset do centro de fase é condicionado por uma parte mecânica e outra parte eletrônica (FIGURA 23). A primeira, denominada offset do centro de fase (PCO), consiste no vetor (\vec{P}) com origem no ARP e extremidade no centro de fase média (CFM); a segunda distância, denominada variação do centro de fase (PCV), que consiste de um deslocamento adicional do centro de fase, de caráter sistemático, que se comporta conforme o ângulo de incidência do sinal do satélite na antena.

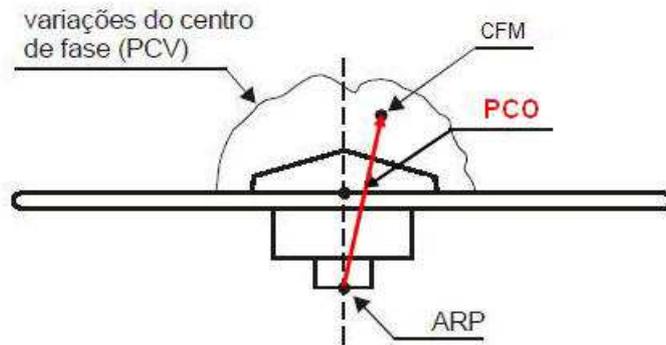


FIGURA 23- PCO E PCV DA ANTENA GNSS
 FONTE: ADAPTADO DE FREIBERGER JUNIOR (2004)

O PCO (vetor \vec{P}) exprime as coordenadas cartesianas do centro de fase médio nas componentes horizontais: N (direção norte) e E (direção leste) e na componente vertical (h) (equação 2.1) com relação ao ARP.

$$\vec{P} = \begin{pmatrix} N \\ E \\ h \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Visando determinar os valores do PCV faz-se necessário conhecer a direção do sinal proveniente do satélite, que é descrita em função do azimute (Az) e da elevação (e) deste satélite (FIGURA 24).

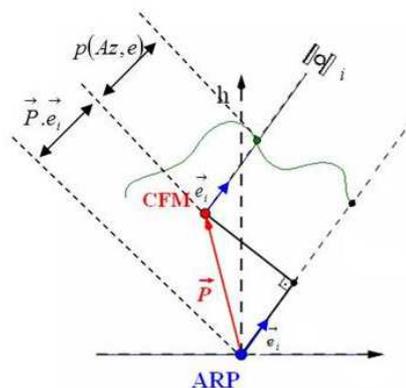


FIGURA 24- DEDUÇÃO DAS VARIAÇÕES DO CENTRO DE FASE
 FONTE: ADAPTADO DE FREIBERGER JUNIOR (2007)

Os valores do PCV representam o termo de correção dependente da direção do sinal (dr) e pode ser determinado através da equação 2.2:

$$dr(Az, e) = \vec{P} \cdot \vec{e}_i + p(Az, e) \quad (2.2)$$

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} na direção de um satélite i .

De posse do vetor \vec{P} , o qual representa a posição do CFM no sistema de referência da antena, determina-se o termo de correção $p(Az, e)$ dependente da direção do sinal por meio de polinômios, poligônios ou desenvolvimento de funções esféricas (WANNINGER, 2002 apud FREIBERGER JUNIOR, 2007).

A soma da medida da projeção ($\vec{P} \cdot \vec{e}_i$) com as correções $p(Az, e)$ fornece a correção dependente da direção do sinal procurada, isso é, os valores do PCV para cada direção do sinal (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 25 e FIGURA 26).

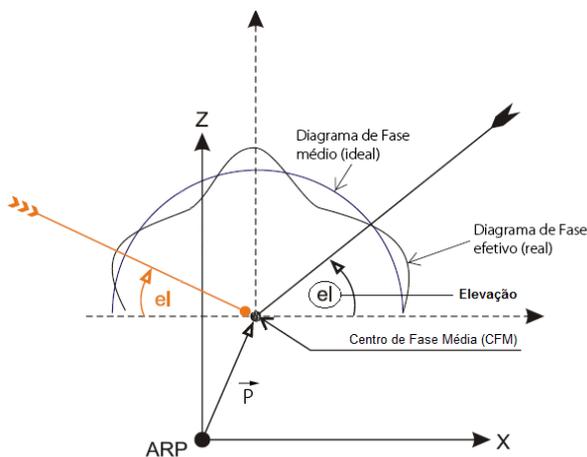


FIGURA 25- DEDUÇÃO DO PCV
FONTE: AUTORA (2014)

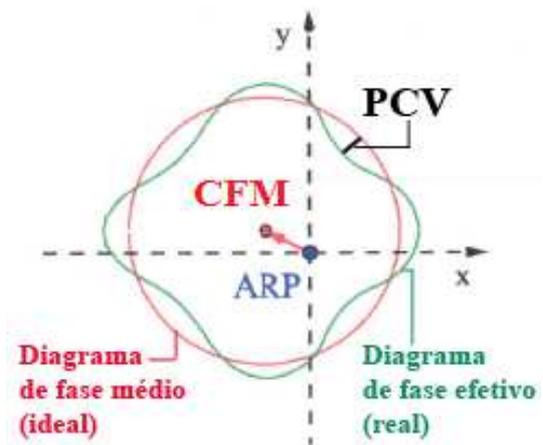


FIGURA 26- RETARDO OU ADIANTAMENTO DA FASE (PCV)
FONTE: AUTORA (2014)

Os valores do PCV descrevem o estado de retardo ou adiantamento da fase da onda portadora em relação ao diagrama de fase médio (ideal), o qual é vinculado ao centro de Fase. Essas variações denominadas de PCV podem ser obtidas conforme a elevação e azimute dos satélites.

A determinação da variação do centro de fase (PCO e PCV) das antenas GNSS refere-se à calibração destes instrumentos.

2.5 CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GNSS

A calibração de antenas GNSS consiste na determinação do centro de fase (PCO e PCV) das antenas e pode ser realizada por método absoluto e relativo. O método absoluto pode ser efetuado em campo e em laboratório ou com a denominação de ambientes controlados. O método relativo só pode ser realizado em campo.

Segundo Schupler e Clark (2000), estudos no âmbito de calibração de antenas GNSS foram iniciados em 1987 em ambientes controlados, denominados de câmaras anecóicas. No ano de 1990 foi iniciado o desenvolvimento de calibração de antenas pelo método relativo, possibilitando a determinação do diagrama de fase de antenas GNSS a partir de características de uma antena de referência (BREUER et al., 2001). Em 1996, foram realizados 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, tendo sido desenvolvido um mecanismo automatizado (WÜBBENA et al., 2000), o qual permite rotações e inclinações automáticas da antena a ser calibrada.

Estudos no âmbito de calibração de antenas são mais intensificados na Alemanha, pois lá se encontram as empresas que fornecem esse serviço e as principais instituições que trabalham com este tema. Citam-se as empresas: Wasoft, e GEO++ (al. Gesellschaft für satellitengestützte und navigatorische Technologien mbH). As instituições alemãs são: Universidade de Hannover/ Institut für Erdmessung (IfE), Universidade de Karlsruhe (GIK), Universidade de Dresden, Universidade de Bonn, LGN (al. Landesvermessung+Geobasisinformation

Niedersachsen) e o NGS (*National Geodetic Service*). As Universidades de Karlsruhe e Dresden, LGN e Wasoft realizam pesquisas com o método de calibração Relativo. A instituição GEO++, NGS e a Universidade de Hannover (IfE) trabalham com o método de calibração Absoluto com robô (GÖRRES et al., 2006). A Universidade de Bonn realiza a calibração em câmaras anecóicas de forma eficiente e rápida, produzindo medições do centro de fase de diferentes antenas GNSS, antenas GPS, GLONASS e GALILEO (BECKER, et al., 2010).

Quando se realiza posicionamento GNSS utilizando diversas antenas deve-se tomar cuidado em observar o modelo dessas antenas, como também os parâmetros de calibração dessas antenas (valores do PCO e PCV), de modo que as coordenadas geodésicas pós-processadas possam ser determinadas com precisão (NOAA, 2011). Esses parâmetros podem ser encontrados na internet, o NGS disponibiliza os parâmetros médios de calibração para antenas GNSS.

A empresa GEO++ também disponibiliza um banco de dados com parâmetros de antenas, que pode ser acessado pela internet, ou somente os parâmetros de calibração de uma antena de interesse, os quais podem ser obtidos por email, ambos com custo para o usuário.

O NGS conta com um grupo de pesquisa no âmbito de calibração de antenas GNSS e oferece esse serviço à comunidade usuária GNSS realizando calibração absoluta. Disponibiliza esses parâmetros de calibração no antigo formato ant_info.003 e no novo formato dos parâmetros de calibração ngs08.atx, no site da instituição. Esses parâmetros devem ser utilizados para fins de levantamento, engenharia, mapeamento e infraestrutura (NOAA, 2011). Contudo, quando se almeja realizar levantamento geodésico de alta precisão, por exemplo, para definição de um sistema de referência, estações de monitoramento contínuo, monitoramento de estruturas, ou estimativa do atraso troposférico, as antenas devem ser calibradas individualmente (LEICA GEOSYSTEMS AG, 2011). Diversos estudos conduzidos com diferentes métodos de calibração mostram que as antenas devem ser tratadas de forma própria, devem ser calibradas de forma individual. Schupler e Clark (1991) aplicaram o método de calibração de antenas em um ambiente controlado e verificaram que antenas GPS apresentam entre si características e propriedades eletrônicas diferentes, ainda que sejam fisicamente similares. Citam-se aqui outros autores que apresentam outros estudos, porém levam a mesma conclusão:

ROTHACHER et al. (2000), MADER (1999), SCHUPLER e CLARK (2000), ROTHACHER e SCHMID (2002), WÜBBENA et al. (2000), WANNINGER (2002) e MENGE (2003).

2.5.1 Calibração Absoluta em Ambientes Controlados (Câmaras Anecóicas)

A calibração absoluta de antenas GNSS em ambientes controlados é realizada em câmaras anecóicas (FIGURA 27), nessas câmaras há minimização da quantidade de reflexão ou reverberação de ondas de diferentes tipos. As paredes desta câmara são revestidas com um absorvedor de micro-ondas 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 absorvida e convertida em calor, o qual é dissipado ao longo deste material (CANADIAN SPACE AGENCY, 2008).

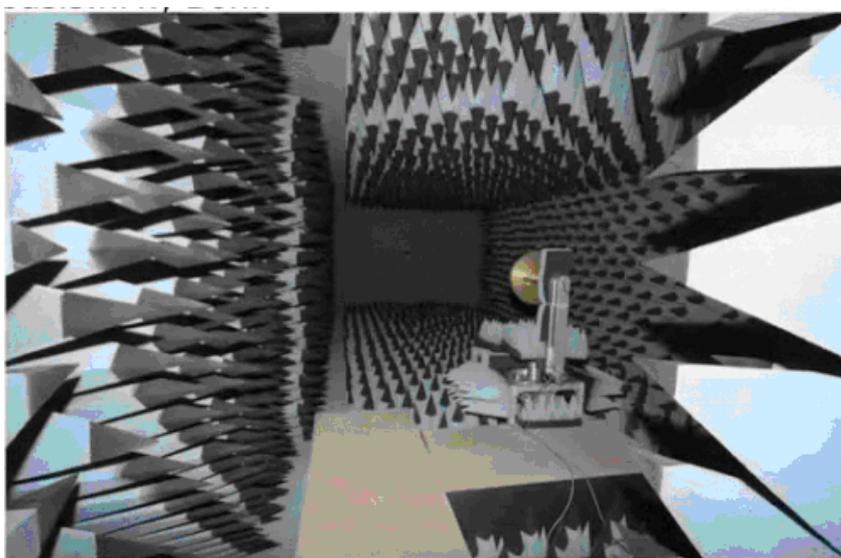


FIGURA 27- CÂMARA ANECÓICA
FONTE: BECKER, et al (2010)

A metodologia que se emprega na calibração absoluta em câmara anecóica consiste em simular sinais GNSS, irradiados por uma fonte fixa (antena transmissora) que incide uniformemente sobre a antena a ser testada (FIGURA 28). Essa antena é fixada em um suporte capaz de realizar rotações e inclinações da

antena em torno de um ponto referenciado ao ARP. Esse tipo de calibração fornece, entre outras informações, as coordenadas do centro de fase (PCO) para cada frequência e os correspondentes valores do diagrama de fase efetivo (real) da antena (SCHUPLER e CLARK, 2000).

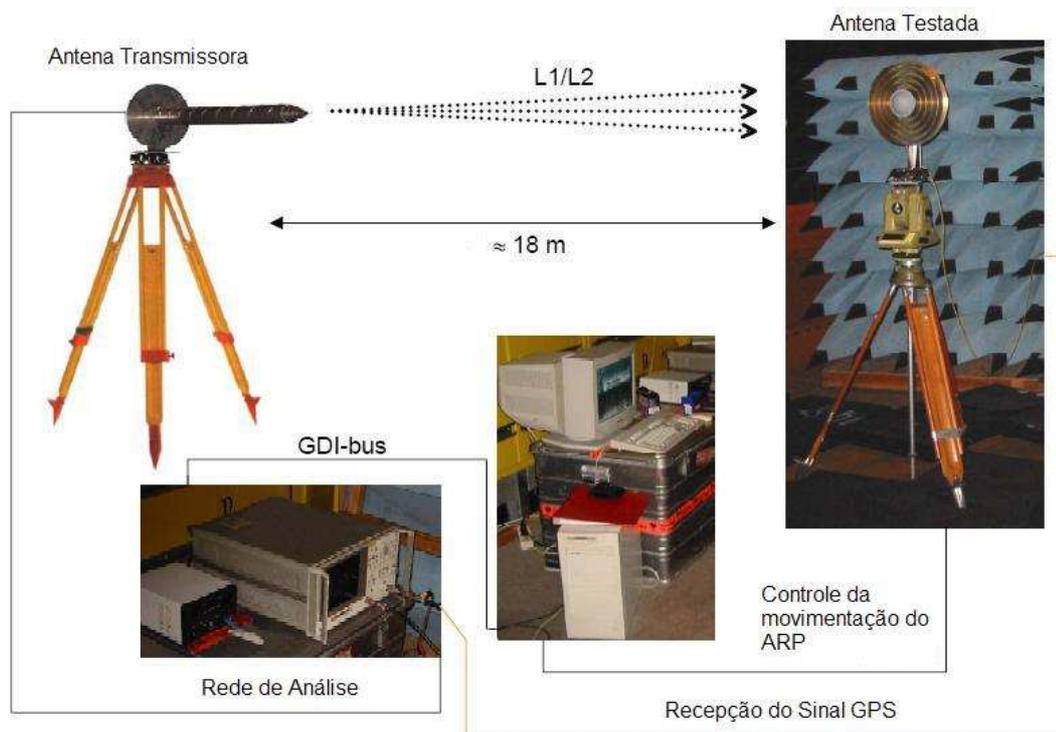


FIGURA 28- PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GNSS EM CÂMARA ANECÓICA. FONTE: ADAPTADO DE GÖRRES (2006)

Segundo Görres et al. (2006), a maior câmara de ensaio anecóica na Europa está localizada no "Centro de Tecnologia da Informação e Eletrônica" em Greding/Alemanha. Essa câmara tem 41 m de comprimento, 16 m de largura e 14 m de altura. O material absorvente nessa câmara está projetado para receber as frequências acima de 0,5 GHz. Por isso, é bem adequado para as frequências GPS (L1 e L2). É utilizada uma antena de transmissão do "Max-Planck" *Institute for Radio Astronomy*, em Bonn, a qual é capaz de produzir radiação circularmente polarizada à direita.

A principal vantagem em se utilizar esse método de calibração consiste em não haver interferência de outras fontes de sinais na determinação dos parâmetros de calibração das antenas. O fato de não haver necessidade em se observar sinais vindos dos satélites, já que os sinais são simulados dentro da câmara, pode ser

considerada mais uma vantagem do método. Como desvantagem cita-se o custo, pois a calibração é realizada em um ambiente blindado com material absorvente e rugoso nas paredes, teto e o chão, de forma a diminuir e dispersar reflexões indesejáveis das ondas eletromagnéticas.

2.5.2 Calibração Absoluta em Campo

O idealizador da calibração absoluta em campo foi o *Institut für Erdmessung* (IfE) da Universidade de Hannover, inicialmente de forma manual (WÜBBENA et al., 1996) e posteriormente automatizando os procedimentos. A calibração de forma automatizada no qual a antena é rotacionada foi especialmente desenvolvida em face de que levantamentos em campo utilizados para determinar os parâmetros de calibração são influenciados pelo efeito do multicaminho, uma vez que nenhuma estação de observação esta totalmente livre deste efeito.

Atualmente, a calibração absoluta pode ser executada em tempo real com o emprego de um mecanismo automatizado (robô) (FIGURA 29) que realiza rotações e inclinações automáticas na antena a ser calibrada (WÜBBENA et al., 2000).



FIGURA 29- ROBÔ UTILIZADO NA CALIBRAÇÃO ABSOLUTA EM CAMPO
FONTE: GEOPP (2011)

O projeto do robô foi desenvolvido em parceria com a empresa Geo++ e o IfE. Com esse robô é possível realizar 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). Um número grande de posições, 6 a 8 mil, podem ser obtidas durante a calibração, contudo este número depende da constelação dos satélites visíveis no momento dessa calibração (WÜBBENA et al., 2006a). Esse equipamento também pode ser utilizado para realizar análises do efeito do multicaminho em estações permanentes.

Uma fonte de erro importante na determinação do PCV é o efeito do multicaminho, na calibração absoluta com o robô pode-se inclinar a antena em diferentes elevações, com essa mudança de inclinação observa-se alta correlação do multicaminho na modelagem estocástica, podendo ser eliminado ou muitas vezes reduzido. Outras fontes de erro, tais como: ionosférica, troposférica, órbita, relógios dos satélites e receptores podem ser eliminados utilizando uma estação de referência muito próxima ao local. Harmônicos esféricos de grau e ordem (8, 5) são geralmente usados para modelar o PCV real (WÜBBENA et al., 2006a).

Segundo Seeber et al. (1997), a principal vantagem deste método consiste em minimizar o erro advindo do multicaminho e determinar parâmetros de calibração de antenas individuais, sem ter a necessidade de uma antena de referência. Com a rotação e inclinação dessas antenas no robô, têm-se um número maior de observações, ou seja, buracos ou elevações sem observações são evitados, sendo assim, todo hemisfério da antena é observado.

A empresa GEO++ foi fundada em Garbsen, uma cidade próxima a Hannover na Alemanha, no ano de 1990, tem muita experiência na área de posicionamento geodésico GNSS. Atualmente realizam pesquisas em conjunto com outras instituições, em especial com a NGS, no âmbito de calibração absoluta de antenas. Ela comercializa o robô e presta serviços de calibração de antenas para a comunidade usuária de posicionamento geodésico.

No site da empresa é possível acessar um banco de dados, denominado de GNPCVDB, com as informações dos parâmetros médios de calibração de antenas já calibradas pelo robô da empresa. Como esses valores são obtidos de médias parametrizadas é necessário que se realize um ajuste rigoroso dos harmônicos

esféricos, empregando a matriz de variância-covariância completa das calibrações individuais (WÜBBENA et al., 2006a).

Salienta-se aqui que é de extrema importância que as antenas utilizadas em posicionamentos precisos sejam calibradas individualmente, onde determina-se os valores dos PCV a partir de um PCO individual/real e não a partir de um PCO médio.

2.5.3 Calibração Relativa

A calibração relativa em campo (FIGURA 30) consiste em determinar os parâmetros de calibração da antena de interesse em função de uma antena já calibrada de forma absoluta. É necessário que o entorno da base de calibração não tenha obstruções, visando minimizar a influência do multicaminho nessa base.

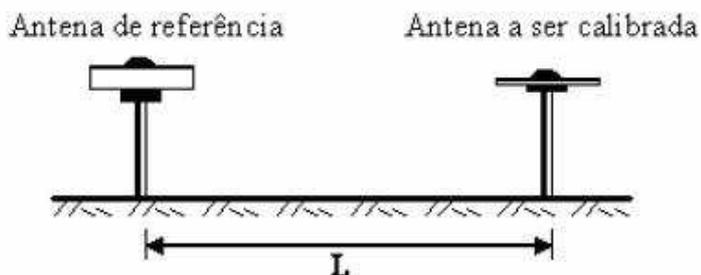


FIGURA 30- CALIBRAÇÃO RELATIVA EM CAMPO
FONTE: FREIBERGER JUNIOR (2007)

As antenas são posicionadas em dois pilares de centragem forçada numa linha de base curta (± 5 metros). Utiliza-se uma antena como referência (calibrada), e a outra a qual se almeja calibrar. Desde 2006 o IGS preconiza que a antena utilizada como referência seja do modelo "AOAD/M-T (*Allen Osborne Associates Dorne Margolin T*)" (KOUBA, 2009), sendo a mais comum desse modelo a "Choke Ring". A principal característica dessa antena é a capacidade de minimização do multicaminho e a estabilidade do centro de fase para as duas frequências.

Neste método de calibração 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). A

calibração relativa pode ser aperfeiçoada 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).

A principal característica deste método consiste em eliminar os erros dos relógios dos receptores e dos satélites, da propagação do sinal na troposfera e na ionosfera, pois as antenas são posicionadas sobre pilares que compõem uma linha de base curta, aproximadamente 5 metros.

As necessidades para que este método possa ser aplicado com êxito são: conhecer os parâmetros de calibração da antena de referência e o erro do multicaminho atuante, o qual deve ser minimizado para que se possam obter parâmetros de calibração confiáveis. Esse efeito deve ser especialmente considerado, pois as observações são realizadas em campo e estão sujeitas ao efeito devido do entorno da estação (WÜBBENA et al., 2006b). Essas calibrações também são influenciadas pela instrumentação que está sendo utilizada para esse fim.

2.5.3.1 Calibração Atual Realizada pelo NGS

O NGS disponibiliza a mais de 15 anos para a comunidade usuária do serviço GNSS parâmetros médios de calibração de antenas. Até início do ano de 2011 eles realizaram calibração relativa e esses parâmetros eram disponibilizados em nível absoluto e relativo no formato `ant_info.003`. Esses níveis referem-se ao método de calibração empregado bem como se a antena utilizada como referência na calibração relativa foi calibrada anteriormente de forma absoluta. Esse formato é composto das informações do PCO e do PCV dependente da elevação dos satélites.

Na metodologia realizada pelo NGS em campo não se incluía o rotacionamento da antena e os valores dos PCV eram definidos somente quanto a distribuição dos satélites visíveis, muitas vezes escassos, especialmente perto do zênite. O valor fornecido no site da instituição contava somente com o offset (PCO) e PCV dependente unicamente da elevação. Visualiza-se na FIGURA 31, o antigo método de calibração realizado pelo NGS, campo este localizado em Corbin, Virginia (FIGURA 32).

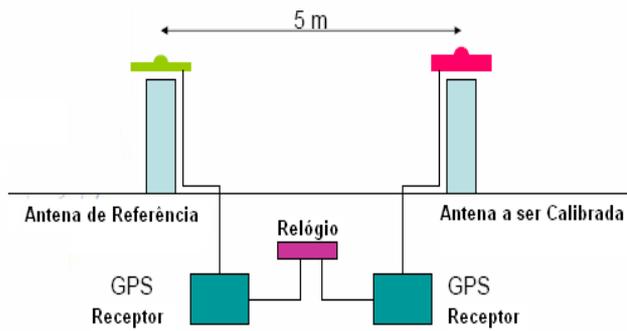


FIGURA 31- ESQUEMA DE CALIBRAÇÃO RELATIVA NGS
 FONTE: ADAPTADO DE MADER E WESTON (2008)



FIGURA 32- CAMPO DE CALIBRAÇÃO RELATIVA DO NGS (CORBIN, VIRGINIA)
 FONTE: MADER E WESTON (2008)

Era empregado o método de calibração relativo, descrito na seção 2.5.3, com uma única diferença, fazendo a sincronia dos relógios dos receptores, utilizando um oscilador de rubídio.

Visando satisfazer as necessidades da comunidade GNSS de alta precisão, o NGS instalou uma nova base de calibração (FIGURA 33). Nela é aplicada a calibração absoluta em campo, de forma automatizada, com o auxílio de um robô. Desde setembro de 2011, ele vem disponibilizando um novo formato contendo os dados das antenas denominado de ngs_08.atx. Esse arquivo contém os valores do PCO, PCV ambos dependentes de elevação e do PCV dependente de Azimute e elevação obtidos de forma absoluta (NOAA, 2011).



FIGURA 33- CALIBRAÇÃO ABSOLUTA DO NGS (CORBIN, VIRGINIA)
 FONTE: BILICH ET AL (2010)

Esta base de calibração (FIGURA 33) também foi implantada em Corbin, Virginia. Ela realiza medidas em campo dos sinais dos satélites disponíveis (GPS e GLONASS), já prevendo observar sinais dos outros sistemas GALILEO e BEIDOU/COMPASS, calibrando novas antenas para esses sistemas (BILICH et al., 2010).

Diversos experimentos realizados pelo NGS comparando os parâmetros de calibração para o mesmo modelo de antena obtidos com o método de calibração absoluto demonstram que as diferenças do centro de fase (PCVs), obtidos pelo NGS, variam dentro de um milímetro e estão de acordo com outros métodos de calibração. Porém, ainda trabalham para aprimorar o método e produzir cada vez mais resultados satisfatórios. Segundo Bilich et al. (2010), eles almejam no futuro realizar calibrações individuais de antenas GNSS para a comunidade de interesse, através de um formulário de pedido que deverá estar disponível na *homepage* do NGS.

2.5.4 Nível e Formato de Arquivos com Dados das Antenas Calibradas

A determinação dos valores do centro de fase das antenas pode ser obtida aplicando-se qualquer uma das metodologias anteriormente descritas: absoluta e relativa. Encontra-se a denominação em “nível absoluto” e em “nível relativo” para as calibrações.

Segundo Freiburger Junior (2007), as calibrações denominadas em nível absoluto determinam as correções do centro de fase independente das características do centro de fase de uma antena de referência. Em nível relativo às correções dependem, por definição, de uma antena de referência.

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 antena de referência calibrada pelo método absoluto, os valores da variação do centro de fase da antena podem ser obtidos em nível absoluto. O

programa WaSoft/Kalib permite que estas transformações sejam realizadas (WASOFT, 2011).

Quando se aplica a metodologia de calibração absoluta também é possível transformar os valores obtidos, parâmetros de calibração das antenas, em nível relativo (GEOPP, 2011).

As correções do centro de fase de antenas de receptores GNSS obtidos após procedimento de calibração e processamento de dados podem ser armazenadas em arquivos com diferentes formatos, os quais diferem apenas no conteúdo existente.

Os arquivos que contém esses valores de PCO e PCV podem ter os seguintes formatos: 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, em nível absoluto. Já o antigo formato do IGS/NGS, (extensão APC) armazena valores de PCO, PCV dependente de elevação em nível relativo, também atualmente disponibiliza o formato ANTEX, denominado de ngs_08.atx. E o formato Bernese (extensão BRN) fornece os parâmetros de PCO, PCV dependente de elevação e PCV dependente de elevação e azimute, em nível absoluto. Mais detalhes sobre os formatos de calibração de antenas encontram-se em FREIBERGER JUNIOR (2007).

3. METODOLOGIA

Nesse capítulo será apresentada a metodologia desenvolvida visando identificar e monitorar as variáveis que podem influenciar na determinação dos parâmetros de calibração de antenas GNSS na BCAL/UFPR (seção 3.1). Alguns experimentos foram realizados aplicando o método de calibração relativo, em campo, cuja metodologia será descrita na seção 3.2, os equipamentos e programas aplicados nesta pesquisa estão citados na seção 3.3.

Para validar a metodologia proposta para a determinação dos parâmetros de calibração por meio do método de calibração relativo na BCAL/UFPR de forma eficiente, bem como, avaliar os parâmetros de calibração próprios de antenas GNSS gerados nesta base realizaram-se algumas análises. Nessas análises comparam-se parâmetros determinados na BCAL/UFPR com valores padrão, os quais foram determinados por outras instituições (seção 3.4).

Na seção 3.5 têm-se as análises realizadas para identificar as variáveis ambientais que podem influenciar na determinação dos parâmetros de calibração das antenas calibradas na BCAL/UFPR. As análises realizadas foram:

- Variação dos parâmetros de calibração do PCO das antenas;
- Correlação dos parâmetros de calibração das antenas com as variáveis meteorológicas observadas durante o período de calibração;
- Correlação dos parâmetros de calibração das antenas com o efeito de multicaminho.

Objetivando monitorar as variáveis: temperatura, umidade e efeito do multicaminho, testaram-se alguns materiais (isopor, madeira, espuma) na construção de estruturas que foram instaladas nos pilares 1000 e 2000 da BCAL/UFPR. Essas estruturas foram desenvolvidas visando proporcionar um ambiente controlado, nos quais a temperatura e umidade interna deveriam ser estáveis durante as observações. Estas estruturas também não deveriam afetar os parâmetros de calibração das antenas e nem elevar o efeito do multicaminho. A metodologia para realização estas análises está apresentada na seção 3.6.

Na seção 3.7 observa-se a metodologia desenvolvida para o monitoramento das variáveis meteorológicas no interior das estruturas construídas, denominado de

ambiente controlado. Nessa seção ainda foram confrontadas as variáveis meteorológicas internas observadas nas estruturas com as externas obtidas da estação automática Curitiba pertencente ao INMET.

Durante o monitoramento das variáveis meteorológicas para verificar o controle das mesmas, dentro das estruturas, realizaram-se simultaneamente a calibração relativa das antenas LEIAX1202 GG (A e B). Os parâmetros de calibração (valores do PCO), obtidos em ambiente controlado, foram confrontados com os parâmetros determinados em ambientes não controlados, visando quantificar a diferença tridimensional entre os dias de calibrações. Na seção 3.8 tem-se a metodologia aplicada para a verificação dos valores do PCO obtidos para ambas as portadoras. Na mesma seção, porém no item 3.8.1, pode-se observar uma correlação dos valores do PCO obtidos em ambiente controlado versus variáveis meteorológicas internas. Com essa análise buscou-se identificar se as variações dos valores do PCO estavam correlacionadas com os dias das calibrações que apresentavam uma maior variação da umidade e temperatura interna.

Na seção 3.9 são apresentadas as calibrações da antena LEIAX1202 GG (B) revestida com plástico filme. Com essas calibrações buscou-se verificar se a diminuição da umidade depositada em cima das antenas minimizaria a magnitude da variação dos valores do PCO obtidos.

As análises da correlação da variação do PCO vertical com o efeito do multicaminho (seção 3.5.3) foram utilizadas para verificar quais sinais provenientes dos satélites apresentavam as maiores variações de MP1 e MP2. Após verificados os sinais dos satélites, novos valores do PCO sem a presença desses foram determinados. A metodologia aplicada nestas investigações está descrita na seção 3.10.

3.1 BCAL/UFPR

O interesse em implantar uma base de calibração de antenas GNSS na UFPR surgiu pela inexistência deste serviço nos países da América Latina, inclusive

no Brasil, já que cada vez mais o posicionamento por GNSS vem sendo difundido e utilizado para diversas aplicações.

O desenvolvimento desta base de calibração no Brasil é inovador e a ideia é fruto de uma cooperação internacional por meio do Programa PROBRAL (CAPES/DAAD) entre Brasil e Alemanha. A implantação desta base de calibração ocorreu no ano de 2007 com uma tese de doutorado (FREIBERGER JUNIOR, 2007). Atualmente realizam-se estudos visando determinar os parâmetros de calibração com confiabilidade para as antenas GNSS aplicando o método de calibração relativa em campo e a minimização da influência do efeito do multicaminho do entorno das estações.

A BCAL/UFPR (FIGURA 34) encontra-se no Campus do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, no município de Curitiba, estado do Paraná. Instalou-se essa base na laje do observatório Astronômico Camil Gemael, anexo ao auditório e ao lado do Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH).

Essa base de calibração é composta por três pilares denominados de Pilar 1000(Oeste), Pilar 2000(Norte) e Pilar 3000(Sul). Os equipamentos utilizados nessa base de calibração pertencem ao LAGEH, ao LAIG e ao LABTOPO (laboratórios do Departamento de Geomática da UFPR). O suporte necessário para desenvolvimento de equipamentos e suprimentos para os estudos que estão sendo realizados nessa base de calibração é fornecido pelo LAGEH.



FIGURA 34- LOCALIZAÇÃO BCAL/UFPR
FONTE: ADAPTADO DO GOOGLE EARTH (2014)

3.2 APLICAÇÕES DO MÉTODO DE CALIBRAÇÃO RELATIVA EM CAMPO NA BCAL/UFPR

Em campo antes de posicionar as antenas é necessário medir a diferença de nível entre os ARPs das antenas utilizadas durante a calibração. Aplica-se o nivelamento geométrico de visadas iguais entre os pilares de ré e vante empregando o nível Leica DNA 03, com precisão de 0,3 mm/km em duplo nivelamento (com mira de invar). O nivelamento dos pilares é realizado antes e depois do término das observações GNSS. Uma vez determinada a diferença de nível entre o ARP das duas antenas, antena de referência e antena a ser calibrada, inicia-se a ocupação dos pilares com as antenas para posterior observação dos sinais GNSS.

Observa-se na FIGURA 35 a disposição da BCAL/UFPR, os pilares, as antenas e os receptores.

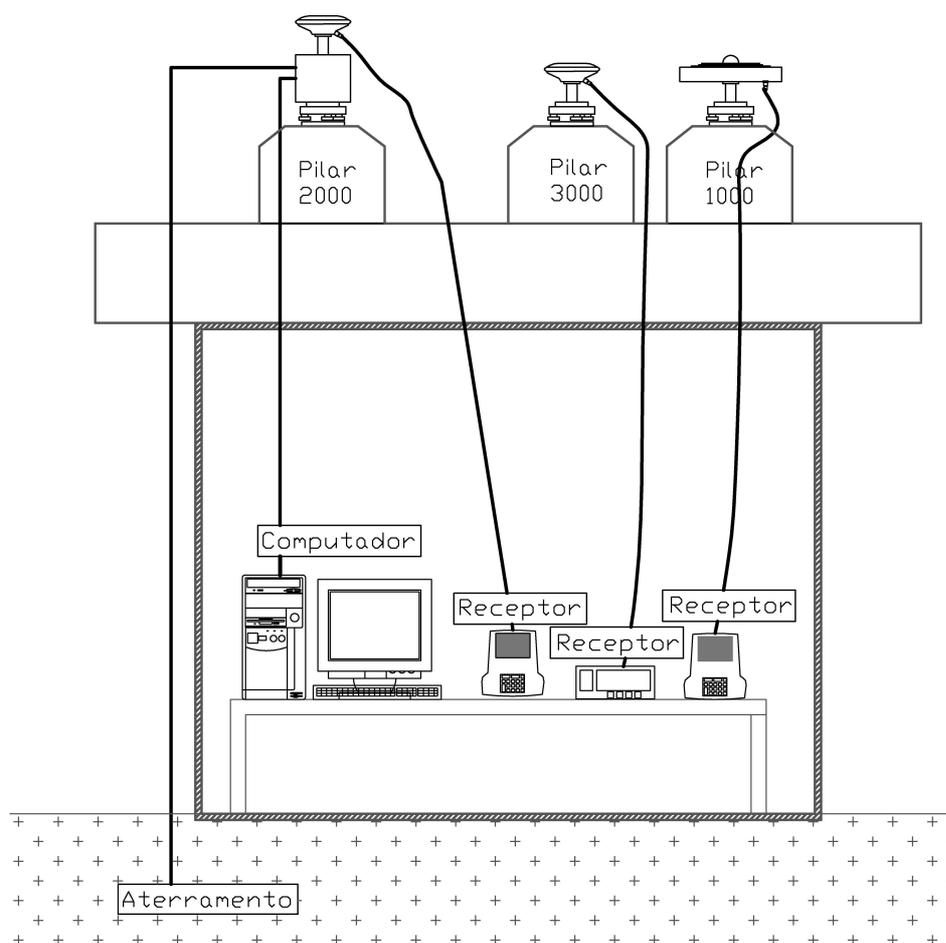


FIGURA 35- DISPOSIÇÃO DOS PILARES DA BCAL/UFPR
FONTE: AUTORA (2014)

Os receptores e computadores ficam lotados no auditório situado abaixo desta base de calibração. O Pilar 1000 e o Pilar 3000 são utilizados como referência e no Pilar 2000 é acoplada a antena de recepção a ser calibrada. A maior fonte de erro na determinação dos parâmetros de calibração das antenas GPS é o multicaminho. Estudos conduzidos mostraram que o Pilar 2000 é menos afetado pelo efeito de multicaminho, sendo então escolhido como aquele em que a antena a ser calibrada será instalada (HUINCA, et al., 2009).

Nesta base de calibração adotam-se duas antenas do modelo *Choke Ring* como referência: LEIAT504 (Pilar 3000) e LEIAR25 (Pilar 1000) (FIGURA 36). Posteriormente os dados das duas antenas podem ser analisados. A nomenclatura adotada para referenciar as antenas é a mesma utilizada pelo NGS. Ele preconiza desde 2006 que a antena adotada como referência para calibrar outras antenas seja do modelo “AOAD/M-T (*Allen Osborne Associates Dorne Margolin T*)” (KOUBA, 2009), sendo a mais comum desse modelo a “*Choke Ring*” (seção 2.3.1.1).

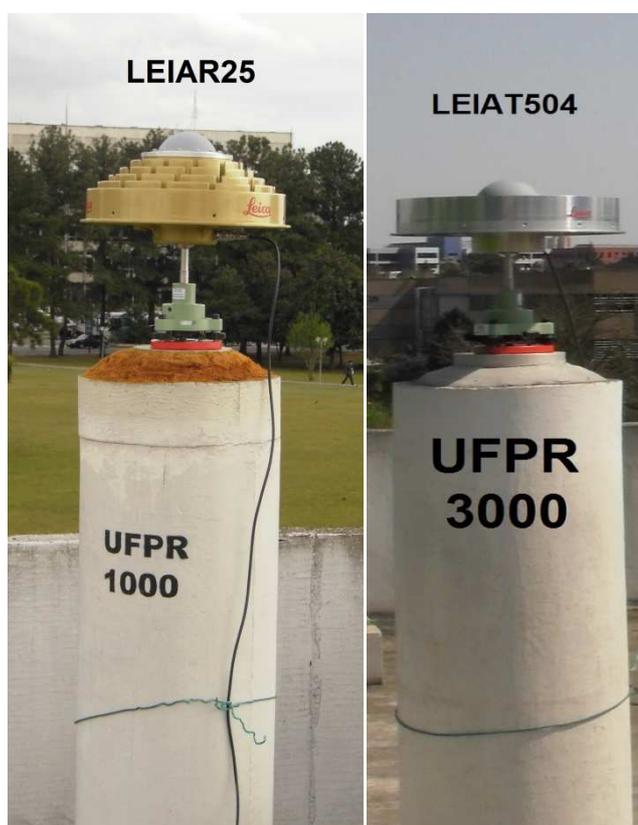


FIGURA 36- ANTENAS DE REFERÊNCIA ADOTADAS NA BCAL/UFPR
FONTE: AUTORA (2014)

Como exposto na seção 2.5.3 uma desvantagem desse método de calibração (relativo) é ter a necessidade de adotar antenas de referência, pois os parâmetros de calibração da antena a ser calibrada serão determinados em função da antena de referência. Sendo assim é necessário que as antenas de referência sejam calibradas individualmente. A antena LEIAR25 foi calibrada absolutamente em campo pela empresa GEO++ na Alemanha, logo os valores do PCO e PCV foram determinados em nível absoluto.

No processo de calibração relativa, visando obter sinais GPS em torno de todo o hemisfério da antena utilizou-se o mecanismo DRB (*Drehrumbum*) (FIGURA 37). O Instituto de Geodésia da Universidade de Dresden desenvolveu esse mecanismo, visando diminuir a quantidade de observações GNSS necessárias para cobrir todo o hemisfério da antena durante o procedimento de calibração delas. Antes da utilização do DRB, na calibração pelo método relativo em campo era necessário observar sinais GNSS em quatro dias consecutivos. Sendo que no primeiro dia a antena era rotacionada para Norte, no segundo dia para Sul, no terceiro dia para Oeste, no quarto e último dia na direção Leste (TU-DRESDEN, 2011). Com esse equipamento é possível rotacionar a antena em quatro direções programadas em um período de um minuto, logo, apenas um dia de observação se faz necessário. A antena é orientada para a direção Norte antes do procedimento de rotação, após 15 segundos a antena é rotacionada para a direção Sul (Norte-Sul), mais 15 segundos para a direção Oeste (Sul-Oeste), decorridos mais 15 segundos para a direção Leste (Oeste-Leste) e decorridos mais 15 segundos para a direção Norte (Leste-Norte), completando a rotação em 1 minuto.



FIGURA 37- DRB (*Drehrumbum*)
FONTE: AUTORA (2014)

O intervalo de gravação dos dados é de 15 segundos e o tempo de observação é de 24 horas. Os dados GNSS obtidos em campo com o método de calibração relativo são processados com o programa WaSoft/Kalib.

Visando diminuir a perda da potência do sinal GPS por causa do cabo coaxial utilizado na conexão entre a antena e o receptor, foram utilizados cabos com maior isolamento de interferências externas (elétricas ou magnéticas). Para conectar as antenas de referência com os receptores adotaram-se cabos denominados de RG213C e para conectar as antenas a serem calibradas foram utilizados cabos denominados de RG58C. A diferença entre os cabos referem-se à atenuação do sinal, sendo que os RG213C proporcionam uma menor atenuação quando comparados ao cabo RG58C. A linha de cabos RGC é produzida em polietileno expandido, o que torna o cabo mais leve, com maior velocidade de propagação (V_r) e menor atenuação. Esta linha foi desenvolvida para atender as exigências de menores perdas versus qualidade, com impedâncias características de 50 e 75 OHMS, blindagem em fita de poliéster aluminizado e trança de cobre estanhado, resultando em um cabo leve e eficiente, atendendo a sua maior exigência, a qualidade (MDPOLICABOS, 2011). O tamanho do cabo foi calculado em função da frequência, pois quanto maior os comprimentos desse cabo maiores são as perdas, pois a atenuação do cabo (em dB) é linearmente proporcional ao seu comprimento.

Como as antenas de recepção do sinal GPS atualmente utilizadas não possuem um plano de terra que de fato minimize a chegada de sinais indiretos, desenvolveu-se um plano de terra para cada pilar. Esse plano de terra foi composto por um fio de cobre que teve uma das suas pontas conectadas a antena e a outra ponta conectada a uma haste. Essa haste foi aterrada no solo e denominou-se esse procedimento de aterramento.

3.3 PROGRAMAS UTILIZADOS PARA PROCESSAMENTO DOS DADOS E ANÁLISES DOS RESULTADOS

Os programas utilizados no processamento e análise dos dados foram: WaSoft/Kalib 2.0, CCANT 2.3, CCANTEX 1.0, TEQC, Matlab 6.5, LEICA Geo Office e pacote de programa Microsoft Office 2003 (Excel e Word).

A empresa WaSoft comercializa os programas WaSoft/Kalib, CCANT 2.3 e CCANTEX 1.0. Esses programas foram empregados na determinação dos parâmetros de calibração das antenas.

A análise dos dados e a geração dos gráficos foram realizadas nos programas Matlab 6.5 e no Microsoft Office Excel 2003.

3.3.1 WaSoft/Kalib Versão 2.0

O programa utilizado para determinar o centro de fase das antenas (PCO e PCV) de interesse para sinais GPS e GLONASS é o WaSoft/Kalib. Esse programa foi desenvolvido pelo Prof. Dr.-Ing. Lambert Wanninger e é comercializado pela empresa WaSoft. Permite o processamento de observações geradas a partir de rotações automáticas da antena em observações de 24 horas. O processamento é realizado em módulos, os quais compõem o programa. São eles:

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 o resultado da linha de base, bem como porcentagem das ambiguidades resolvidas; e

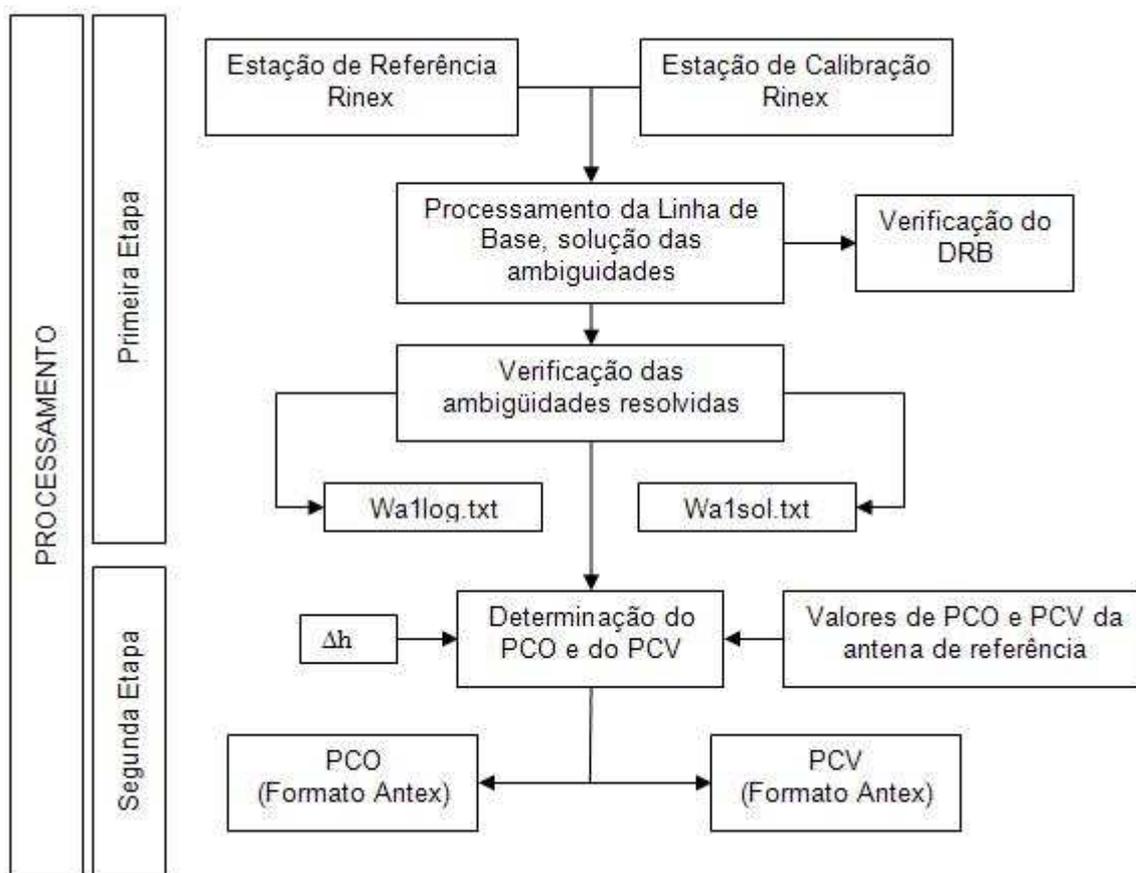
c) Waant: realiza a determinação dos valores de calibração da antena, PCO, PCV dependente de elevação e do PCV dependente de azimute e elevação.

Para que seja possível obter os parâmetros de calibração é necessário que os dados brutos coletados pelas antenas de referencia e a ser calibrada sejam

transformados em RINEX⁵; que a diferença de nível entre os ARPs das antenas seja determinada e dispor de um arquivo com os parâmetros de calibração das antenas de referência.

Observa-se no QUADRO 2, as duas etapas do processamento dos dados com o programa Wasoft/Kalib.

Verifica-se que na primeira etapa são aplicados os dois primeiros módulos do programa (Wasoft e o Wanet). Realiza-se o processamento da linha de base, solução das ambiguidades e verificação. Primeiramente o programa lê os arquivos em RINEX e verifica se a antena GNSS foi rotacionada corretamente pelo mecanismo durante o período de observação. São gerados dois arquivos (Wa1log e Wa1sol) que contém informações do processamento da linha de base e da solução das ambiguidades.



QUADRO 2- ETAPAS DO PROCESSAMENTO COM WASOF/KALIB
 FONTE: ADAPTADO DE FREIBERGER JUNIOR (2007)

⁵ RINEX- É um formato universal de leitura de dados GNSS.

Na segunda etapa determina-se o PCO e o PCV da antena a ser calibrada, com base nas soluções com ambiguidades fixadas. Esta determinação é dada em duas fases: cálculo das componentes do PCO, dedução do PCV dependente de elevação e dependente de azimute e elevação. Essa fase emprega-se o arquivo contendo os parâmetros de calibração da antena de referência e a diferença de nível (Δh) medida entre os ARPs (seção 3.2) das antenas.

A componente vertical do PCO da antena a ser calibrada é determinada em relação à antena de referência. Assim a diferença vertical resultante 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 harmônicos esféricos (WANNINGER, 2002).

No final da segunda etapa gera-se um arquivo no formato desejado, por exemplo, no formato ANTEX com valores do PCO, PCV dependente de elevação e PCV dependente de azimute e elevação, da antena calibrada.

3.3.2 CCANT Versão 2.3

O programa CCANT GPS L1/L2 realiza a conversão para diferentes formatos de correções da antena, por exemplo, é possível transformar arquivos no formato ANTEX para o formato antigo do NGS ou para formatos da Geo++ ou no formato que o programa Bernese exige. Esse programa também permite que se faça uma mudança de nível de calibração a partir dos parâmetros de referência da antena "*Dorne-Margolin*", do nível absoluto para nível relativo e vice-versa.

3.3.3 CCANTEX Versão 1.0

O programa CCANTEX realiza análises dos arquivos gerados pelo programa WaSoft/Kalib com os parâmetros de calibração (PCO e PCV). É possível verificar os

resíduos comparando os PCO médios com o PCO extraído de diversos arquivos ANTEX para L1/L2/L5 GPS e para L1/L2 GLONASS. Permite combinar diferentes valores de PCO para obter um PCO médio e reduzir os PCVs para esse PCO de referência, visando realizar as comparações necessárias.

3.3.4 TEQC

A Universidade *Navstar Consortium* (UNAVCO, 2011) desenvolveu o programa denominado de TEQC (*Translate Edit Quality Check*) para ambiente MS-DOS. É possível através de uma linha de comando orientado realizar análises dos dados GNSS, esses que devem ser coletados com um único receptor GPS de dupla frequência. O que se obtém como resultado do processamento com este programa é uma série de arquivos, nos quais se pode verificar: relação sinal/ruído (SNR1 e SNR2), indicativo de multicaminho (MP1 e MP2), atraso do sinal causado pela ionosfera, deriva do relógio do receptor, ângulos de azimute e elevação dos satélites.

Segundo Estey e Meertens (1999), para analisar o multicaminho é possível observar os valores de MP1 e MP2, que proporcionam um indicativo do nível de variação do multicaminho numa estação. As combinações lineares para MP1 e MP2 são:

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

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

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 onda portadora (L1 e L2) respectivamente;
- ✓ $\alpha = \left(\frac{f_{L1}^2}{f_{L2}^2}\right)$, sendo f_{L1} a frequência na L1 e f_{L2} a frequência 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_1 e n_2 referem-se ao 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).

3.3.5 Matlab

O programa Matlab 6.5 é um programa que envolve bibliotecas especializadas de algoritmos matemáticos e diversos segmentos científicos, possibilita a criação de rotinas de programação com uma linguagem própria e bastante simplificada para a realização de cálculos e a geração de gráficos.

3.3.6 LEICA Geo Office 7.0

O LEICA Geo Office (LGO) é um programa comercial para o processamento de dados GNSS. Esse programa permite que se importe e exporte dados GNSS, determine coordenadas "precisas" de pontos de interesse e se realize com o pós processamento análises dos resultados com inferências estatísticas.

3.4 VALIDAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DETERMINADOS NA BCAL/UFPR

Visando legitimar os parâmetros de calibração determinados na BCAL/UFPR fez-se necessário obter parâmetros, para as antenas analisadas, de outras instituições que emitem certificados de calibração oficiais, GEO++ e WaSoft.

A antena LEIAX1202GG foi calibrada pela GEO++ e pela WaSoft no ano de 2011. Posteriormente elas foram novamente calibradas na BCAL/UFPR visando gerar resultados para o mesma época de observação. Decisão esta embasada nas análises realizadas por Huinca (2009) e Huinca e Krueger (2011) que indicam que os parâmetros próprios da calibração são variáveis em função do tempo.

Os parâmetros de calibração (PCO e PCV) das antenas na BCAL/UFPR foram obtidos aplicando-se a metodologia exposta na seção 3.2, com o programa WaSoft/Kalib. Os parâmetros resultantes da calibração são relativos em nível absoluto. A empresa GEO++ calibrou as referidas antenas de forma absoluta, em campo, portanto os parâmetros são absolutos. A empresa WaSoft calibrou as antenas de forma relativa, em campo, e adotaram antenas de referência calibradas absolutamente, então os parâmetros são relativos em nível absoluto.

Comparações são realizadas empregando parâmetros de calibração das antenas determinados pelas instituições (WaSoft e GEO++) e os obtidos na BCAL/UFPR.

A análise desses parâmetros de calibração é realizada utilizando métodos da estatística descritiva, onde será calculado um valor médio, o desvio padrão, a

amplitude do erro, valor máximo e valor mínimo. No caso do PCO também será avaliada a diferença tridimensional.

Essas análises são conduzidas conforme Schmitz et al. (2004) e Görres et al. (2006), sendo que a diferença dos parâmetros obtidos por meio de um mesmo método de calibração não pode ser superior a 1 mm para ambas as portadoras. Valor este esperado quando forem comparados os parâmetros obtidos com a BCAL/UFPR e aqueles obtidos pela WaSoft.

Outra análise que é conduzida nesta pesquisa se refere a verificação da magnitude da variação dos parâmetros de calibração provenientes da BCAL/UFPR com os antigos parâmetros (ant_info.003) e novos (ngs_08.atx) fornecidos pelo NGS.

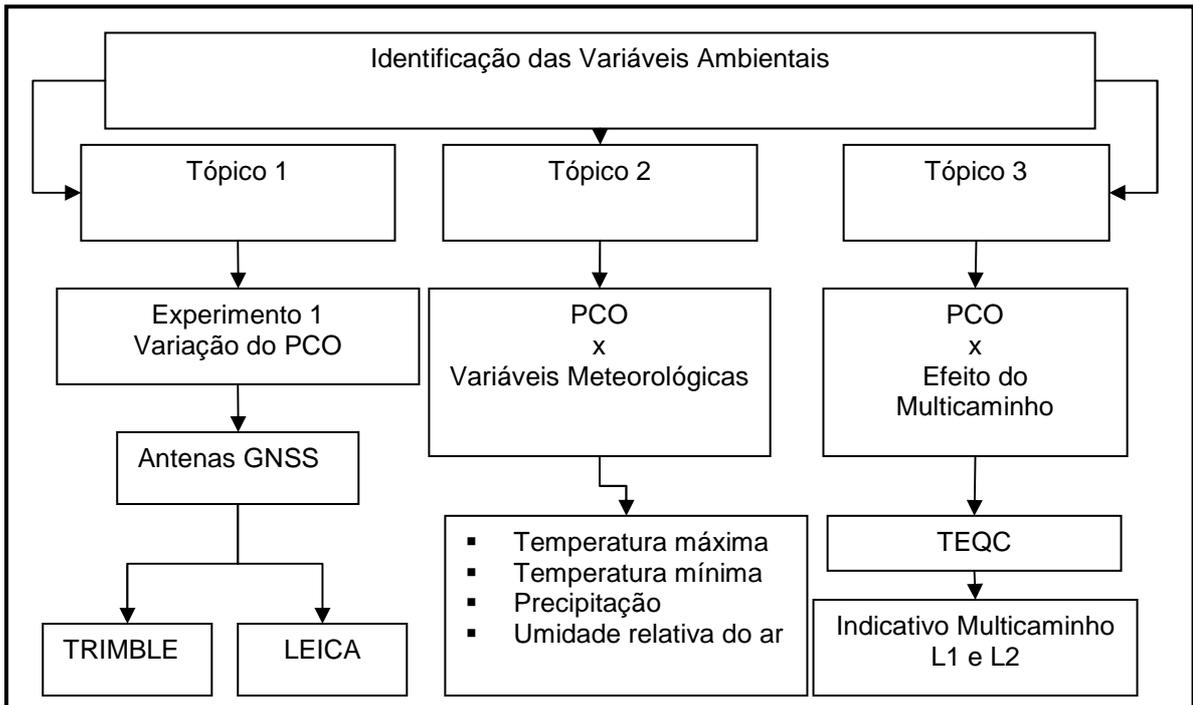
3.5 IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS QUE PODEM INTERFERIR NA DETERMINAÇÃO DOS PARAMETROS DE CALIBRAÇÃO

Na calibração relativa de antenas os erros devem ser minimizados para que se possam determinar os parâmetros corretos de calibração. Os erros provenientes da propagação do sinal ao longo da troposfera e da ionosfera são eliminados por meio da DDF visto que a linha de base é muito curta. O erro que se refere ao efeito do multicaminho não é eliminado e é considerado o de maior magnitude. Desta forma devem-se buscar locais para a instalação de bases de calibração que não contribuam com este efeito.

Desde o ano de 2008 aplica-se o método de calibração relativo em campo na BCAL/UFPR. Mediante uma análise dos resultados alcançados pode-se verificar que os parâmetros determinados de uma mesma antena são variáveis em função da época de observação e dos anos (HUINCA et al., 2010). Diante deste fato tornou-se fundamental observar algumas variáveis ambientais que podem estar influenciando na determinação destes parâmetros de calibração. A investigação dessas variáveis (temperatura, umidade e precipitação) faz-se necessária, visto que elas podem estar correlacionadas (HUINCA e KRUEGER, 2011).

Visando identificar variáveis ambientais que possam interferir na determinação correta do centro de fase das antenas aplicando o método de calibração relativo em campo na BCAL/UFPR, alguns experimentos foram realizados.

Observam-se no QUADRO 3, três tópicos que serão abordados visando identificar essas variáveis.



QUADRO 3- ETAPAS PARA A IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS
 FONTE: AUTORA (2014)

O primeiro tópico (Tópico 1) refere-se à determinação e análise dos parâmetros de calibrações de antenas de marcas diferentes. Analisou-se a variação desses parâmetros, esses que foram obtidos em diferentes épocas e com diferentes condições meteorológicas. No segundo tópico (Tópico 2) correlacionam-se os parâmetros de calibração (PCO) determinados no tópico 1 com as variáveis meteorológicas observadas durante o período dos experimentos. E no último tópico (Tópico 3) têm-se os valores do PCO obtidos no tópico 1 confrontados com o indicativo do efeito do multicaminho obtido com o programa TEQC.

3.5.1 Variação do PCO das Diferentes Antenas

Foram calibradas antenas de distintos fabricantes, e com idades e características diferentes, visando efetuar análises da variação dos parâmetros destas antenas obtidos em épocas distintas e sob diferentes condições meteorológicas. As antenas analisadas nesta pesquisa foram: TRM22020.00+GP, LEIAX1202GG (A), LEIAX1202GG (B), LEIAX1203GNSS e LEIAT504.

A antena da Trimble TRM222020.00+GP tem aproximadamente dezesseis anos, é uma antena *microstrip*, acoplada a um amplificador e a um plano de terra. Ela é uma antena de dupla frequência e recebe os sinais dos satélites da constelação GPS. Essa antena vem sendo calibrada desde o ano de 2008 na BCAL/UFPR.

As antenas denominadas de “LEIAX” são produzidas pela Leica, têm aproximadamente sete anos, são antenas de dupla frequência e foram fabricadas para receber sinais GNSS (GPS e GLONASS). As antenas LEIAX1202GG (A) e (B) são antenas do mesmo modelo. A antena LEIAX1203GNSS é uma antena de outro modelo que está preparada para receber os sinais do Galileo. Iniciou-se a calibração dessas antenas na BCAL/UFPR no ano de 2011, ano esse o qual a antena que começou a ser empregada como referência foi a LEIAR25.

A antena LEIAT504 é uma antena fabricada pela Leica, do tipo *Choke Ring* 2D. Ela recebe sinais dos sistemas GPS e GLONASS e tem aproximadamente sete anos. A calibração desta antena na BCAL/UFPR teve início no ano de 2011.

Os parâmetros de calibração das antenas foram obtidos de acordo com a metodologia descrita na seção 3.2. Processaram-se os dados com o programa WaSoft/Kalib 2.0. Esse programa emprega uma máscara de elevação de 10°, visando diminuir a influência do multicaminho provocado por sinais cuja informação provém de satélites abaixo da linha do horizonte.

Para realizar as análises geraram-se algumas tabelas e gráficos. Para cada antena calibrada analisaram-se os valores do PCO (componentes: norte, leste e vertical) obtidos para as duas ondas portadoras (L1 e L2). Estas análises basearam-se na estatística descritiva, a qual calcula os valores médios, desvio padrão, valor

mínimo e valor máximo das componentes do PCO (norte, leste e vertical) para as portadoras L1 e L2.

Calcularam-se as diferenças tridimensionais do PCO (com o seu valor médio) para as calibrações realizadas, sendo que estas serão obtidas pela diferença entre os valores médios e os valores observados de cada calibração efetuada. Os valores mínimos e máximos obtidos dos conjuntos destas calibrações irão possibilitar a geração de diferenças tridimensionais (3D) para esses valores.

Com a análise dos valores do PCO observa-se qual é a componente (norte, leste e vertical) para ambas as ondas portadoras que sofre maior variação ao longo do tempo e qual é a magnitude dessa variação.

3.5.2 Variação dos Parâmetros de calibração (PCO) versus Variáveis Meteorológicas

Os valores dos parâmetros de calibração (PCO) obtidos para as antenas (seção 3.5.1) serão correlacionados com as variáveis meteorológicas observadas durante o período de cada experimento. Esses experimentos foram conduzidos aplicando a metodologia de calibração relativa em campo (seção 3.2) na BCAL/UFPR, em dias com diferentes condições meteorológicas (calor, frio e períodos de precipitação).

Com a indisponibilidade de sensores das variáveis meteorológicas que fossem capazes de gravar dados a cada 1 hora por um período de 24 horas, desde o início dos levantamentos, recorreu-se a uma estação pertencente ao INMET⁶ (Instituto Nacional de Meteorologia). No site do INMET é possível obter informações meteorológicas do Brasil inteiro. A estação escolhida para esses experimentos foi a estação denominada de CURITIBA-A807, pertencente à rede de estações automáticas, composta de uma unidade de memória central ("*data logger*"), ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc), que integra os valores observados automaticamente a cada hora (INMET,

⁶ INMET – É um instituto governamental que disponibiliza informações do clima no Brasil todo.

2011). Essa estação localiza-se no Centro Politécnico, campus da UFPR (FIGURA 38). Como ela está muito próxima a BCAL/UFPR admite-se que os parâmetros meteorológicos são os mesmos, os quais serão empregados como variáveis externas.

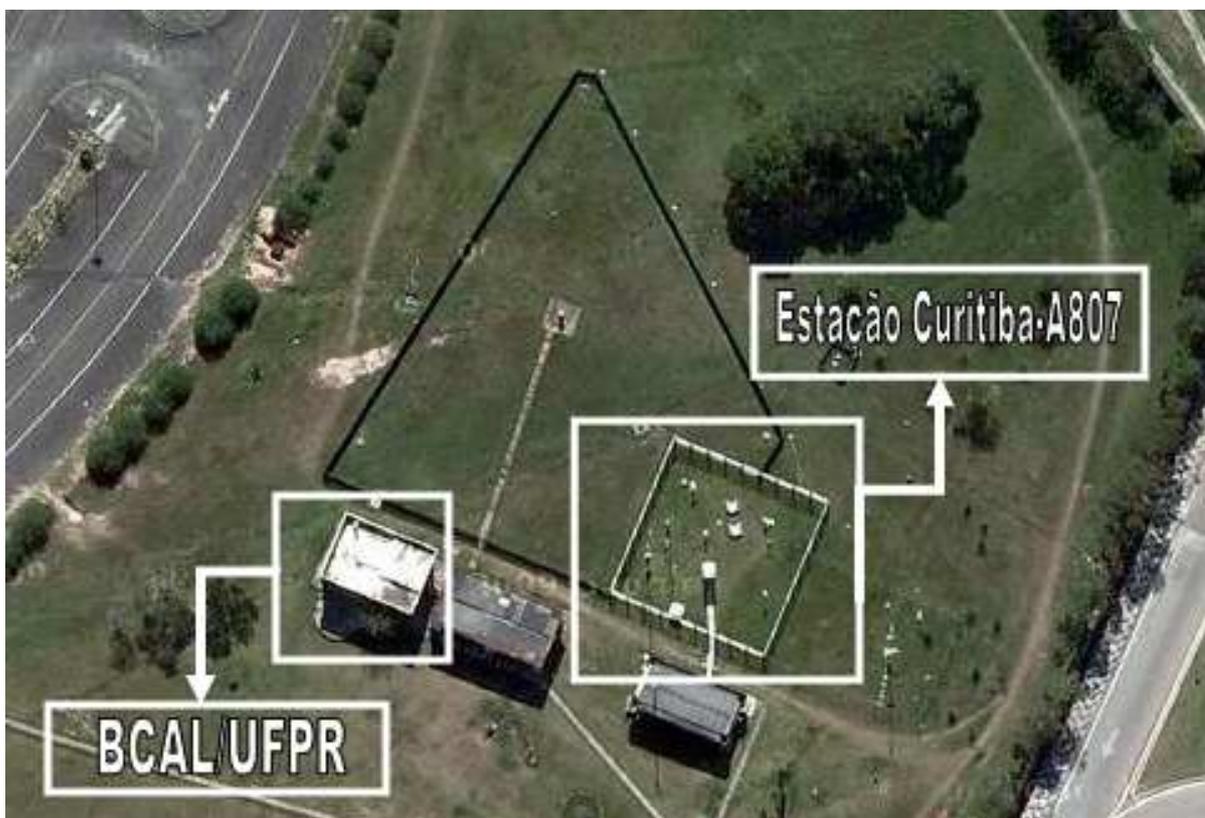


FIGURA 38- ESTAÇÃO AUTOMÁTICA DE CURITIBA-A807-INMET
FONTE: ADPTADO DO GOOGLE EARTH (2014)

Adotaram-se valores máximos, mínimos das variáveis observadas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação) de cada seção de 24 horas de observação para realizar as análises. Para essas análises foram geradas tabelas e gráficos. Com estes últimos pode-se observar se há correlação dos valores do PCO com as variáveis meteorológicas.

3.5.3 Variação dos Parâmetros de calibração (PCO) versus Efeito do Multicaminho

As calibrações que apresentam os maiores e menores valores de PCO vertical, bem como os valores médios, para as duas ondas portadoras, foram confrontadas com os valores que representaram um indicativo do multicaminho para cada dia de calibração. Esses valores foram obtidos com o programa TEQC. Esse programa proporciona valores que indicam a magnitude do efeito do multicaminho para combinações lineares da observação da pseudodistância e da fase da onda portadora, isso é MP1 (combinação linear da pseudodistância e da fase da onda portadora L1) e MP2 (combinação linear da pseudodistância e da fase da onda portadora L2).

As tabelas e gráficos gerados no Excel com valores obtidos com o programa TEQC versus componentes PCO (vertical) possibilitaram a realização das análises.

3.6 INVESTIGAÇÕES QUANTO AO MATERIAL A SER EMPREGADO NO MONITORAMENTO DO AMBIENTE E DO EFEITO DO MULTICAMINHO

A BCAL/UFPR foi implantada em um ambiente que está sujeito ao multicaminho e outras interferências. Verifica-se a existência de árvores próximas a base de calibração; um telhado de zinco; uma mureta de proteção e o chão que pode acumular a água da chuva. Todos esses fatores podem afetar os resultados, sendo então importante analisá-los e verificar se existe correlação entre eles e os parâmetros de calibração determinados para as antenas.

A decisão quanto à implantação dessa base neste local foi realizada, visto que este era o único lugar que oferecia toda infraestrutura necessária, como por exemplo, equipamentos, energia elétrica e segurança.

Para avaliar os materiais escolhidos na construção das estruturas foram realizados alguns experimentos (Tabela 2). Esses materiais deveriam ser capaz de manter a temperatura e a umidade no ambiente das antenas de referência e da antena a ser calibrada, sem elevar o efeito do multicaminho. Elas foram conduzidas

no PILAR 3000 da BCAL/UFPR, pois esse é o pilar que mais sofre ação do efeito do multicaminho (HUINCA, 2009).

TABELA 2 – EXPERIMENTOS NO PILAR 2000

Experimentos		Quantidade de Experimentos
1	Só Antena	4
2	Caixa Pequena de Isopor	5
3	Estrutura de Madeira	2
4	Caixa de Isopor + Espuma	2
5	Caixa Pequena de Isopor + Estrutura de Madeira + Espuma	2
6	Caixa Pequena de Isopor + Estrutura de Madeira + Espuma + Plástico Filme na Tampa	2
7	Antena + Plástico Filme	7
8	Caixa Pequena de Isopor + Isopor Plástico	3
9	Caixa Grande Completa	2

FONTE: AUTORA (2014)

No primeiro experimento foram realizadas observações GPS somente com a antena a ser testada. Para os demais experimentos foram confeccionadas e empregadas caixas com diferentes tamanhos e materiais distintos (isopor, madeira, e espuma) (FIGURA 39). As justificativas para a escolha desses materiais referem-se ao fato que a intenção era controlar a temperatura e a umidade interna das estruturas. O isopor tende a manter constante a temperatura portanto esse foi revestimento utilizado na estrutura. A madeira foi utilizada para dar sustentação às estruturas e a espuma para minimizar o efeito do multicaminho. Outros experimentos também foram realizados revestindo a antena com um plástico filme (FIGURA 39). Optou-se pela utilização do plástico filme para testar a influência da minimização da água depositada em cima da antena nos parâmetros de calibração.

Cogitou-se empregar a fibra de vidro, contudo, pesquisas realizadas por Wübbena et al., (2008), indicaram que antenas cobertas por redomas de fibra de vidro podem conduzir a variações de 10 mm na determinação dos valores de PCVs das antenas, causando erros na determinação da altitude elipsoidal da ordem de 3 a 4 mm.



FIGURA 39- EXPERIMENTOS PARA ANÁLISE DO MATERIAL A SER EMPREGADO NAS ESTRUTURAS DOS AMBIENTES CONTROLADOS
 FONTE: AUTORA (2014)

Para cada experimento realizado, visando testar os materiais que irão compor os ambientes monitorados, foram coletados dados GPS com duração de 24 horas e em vários dias consecutivos. Um total de 29 experimentos foram realizados. Após a coleta dos dados, eles foram processados pelo programa TEQC e Leica Geo Office.

Os valores médios do multicaminho foram obtidos com o TEQC. Estes valores possibilitaram verificar se as estruturas montadas elevaram esse efeito sobre a antena.

Com os resultados provenientes do programa de processamento Leica Geo Office foi possível avaliar as variações das coordenadas geodésicas resultantes do processamento de dados do método de posicionamento relativo. Para aplicar esse método de posicionamento coletaram-se dados GPS simultaneamente no Pilar 1000 e no Pilar 3000, o que se empregou os experimentos para avaliação dos materiais.

Depois de avaliado e escolhido o material a ser utilizado para construir as estruturas visando o controle da temperatura e umidade procedeu-se a construção dessas estruturas, denominadas de Estrutura 1 e Estrutura 2. Elas irão possibilitar um ambiente controlado para calibração relativa, conforme exposto anteriormente.

3.6.1 Estrutura 1 - PILAR 1000

Depois da realização dos experimentos os quais se testaram diferentes materiais e analisou-se o efeito do multicaminho, reproduziu-se a construção de uma estrutura denominada de Estrutura 1 - Caixa Maior Azul (FIGURA 40). Essa foi montada para ser utilizada no PILAR 1000 da BCAL/UFPR, o qual foi empregado como pilar de referência no procedimento de calibração de antenas.



FIGURA 40- CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA 1
FONTE: AUTORA (2014)

Para a construção dessa caixa foram utilizados os materiais: madeira e isopor (FIGURA 40). Essa estrutura foi testada no Pilar 1000 visando identificar uma possível alteração do efeito do multicaminho no sinal recebido pela antena de referência.

Três experimentos foram realizados (FIGURA 41). O primeiro experimento empregou apenas a antena instalada no PILAR 1000 (antena, sem estrutura) (FIGURA 41a). No segundo experimento empregou-se a estrutura composta de caixa de isopor com armação de madeira e com o atenuador do efeito do multicaminho (AEM) (Estrutura 1 - Caixa Maior Azul e AEM-LAGEH) (FIGURA 41b) e no terceiro experimento foi utilizada a estrutura do segundo experimento sem o atenuador do efeito do multicaminho (AEM) (Estrutura 1 - Caixa Maior Azul e sem AEM-LAGEH) (FIGURA 41c).



FIGURA 41- EXPERIMENTOS ESTRUTURA 1
FONTE: AUTORA (2014)

Para realizar os três experimentos e avaliar o efeito do multicaminho coletaram-se dados GPS empregando a antena de referência a LEIAR25 (Tabela 3). As observações foram gravadas com um intervalo de 15 segundos e uma máscara de elevação de 0°.

TABELA 3 – EXPERIMENTOS NO PILAR 1000

EXPERIMENTO	Dia GPS e Ano
Só Antena LEIAR25	007/13
	008/13
	012/13
Antena + Estrutura 1 (Caixa Maior Azul) e AEM-LAGEH	023/13
	037/13
	038/13
Antena + Estrutura 1 (Caixa Maior Azul) e Sem AEM-LAGEH	043/13
	044/13
	045/13

FONTE: AUTORA (2014)

Cada um dos experimentos teve uma duração de 3 dias com um período de observação de 24 horas. Com o programa TEQC foram calculados os valores para MP1 e MP2. Para verificar o efeito do multicaminho utilizaram-se como referência os valores obtidos para o experimento 1 (Só antena) sendo comparado com o experimento 2 (Estrutura 1 - Caixa Maior Azul e AEM-LAGEH) e com experimento 3 (Estrutura 1 - Caixa Maior Azul e sem AEM-LAGEH).

3.6.2 Estrutura 2 - PILAR 2000

Para que fosse possível monitorar o ambiente o qual as antenas seriam calibradas construiu três estruturas, as quais foram testadas no Pilar 2000. Essas estruturas deveriam conter espaço suficiente para que a antena a ser calibrada pudesse ser rotacionada com o DRB no seu interior (FIGURA 42). A primeira foi denominada de Estrutura 1 - Caixa Maior Azul. A segunda estrutura empregada e avaliada foi designada de Estrutura 2 - Versão 1 e a terceira foi nomeada de

Estrutura 2 - Versão 2. Sendo que essa última teve que passar por alterações em face de períodos de precipitação.



FIGURA 42- EXPERIMENTOS NO PILAR 2000 - ESTRUTURA 1 E ESTRUTURA 2
FONTE: AUTORA (2014)

A Estrutura 1 - Caixa Maior Azul foi construída para ser utilizada no PILAR 1000, mas ela também foi testada no Pilar 2000. Esta estrutura foi avaliada

mediante a calibração de três antenas distintas, sendo: LEIAX1202 GG (A) e LEIAX1202 GG (B) (FIGURA 45) e LEIAX1203 GNSS (FIGURA 47).

A Estrutura 2 - Versão 1 foi elaborada e apenas um experimento foi realizado. Esta estrutura proporcionou uma elevação do efeito do multicaminho. Desta forma desenvolveu-se a Estrutura 2 - Versão 2. Ela é uma versão aprimorada da anterior, ou seja, o seu interior foi preenchido com uma espuma adicionada de elementos químicos, os mesmos empregados na construção do AEM-LAGEH.

A principal diferença entre as estruturas 1 e 2 é o tamanho e a densidade do isopor.

As diferenças entre os efeitos médios do multicaminho (MP1 e MP2) foram calculadas para seis experimentos realizados. Na Tabela 4 indicam-se os experimentos com as devidas estruturas empregadas e os modelos de antenas a serem avaliadas. Percebe-se que a antena LEIAX1202-GG (A) foi avaliada na maioria dos experimentos e para todas as estruturas descritas anteriormente.

TABELA 4 – EXPERIMENTOS NO PILAR 2000

EXPERIMENTO	ESTRUTURA	ANTENA A SER AVALIADA
1	Estrutura 1 - Caixa Maior Azul	LEIAX1202-GG (A)
2	Estrutura 1 - Caixa Maior Azul	LEIAX1202-GG (B)
3	Estrutura 1 - Caixa Maior Azul	LEIAX1203-GNSS
4	Estrutura 2 - Versão 1	LEIAX1202-GG (A)
5	Estrutura 2 - Versão 2	
6	Estrutura 2 - Versão 2	

FONTE: AUTORA (2014)

3.7 MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NO INTERIOR DAS ESTRUTURAS

Após a análise das estruturas no que tange aos materiais com que foram construídas (seção 3.6) procedeu-se a análise da eficiência destas estruturas com relação ao ambiente controlado das variáveis ambientais. Denominou-se esse ambiente de controlado, o qual teve como objetivo monitorar a temperatura e a

umidade. Estas análises foram efetuadas mediante a realização de três experimentos.

No primeiro e no segundo experimento verificou-se o monitoramento da temperatura e da umidade no interior das estruturas. Sendo que o primeiro experimento monitorou-se somente o ambiente o qual a antena foi calibrada, isso é a estrutura construída para o Pilar 2000. No segundo experimento confrontaram-se as variáveis meteorológicas (temperatura e umidade) dos dois ambientes monitorados, Pilar 1000 e Pilar 2000. Durante o desenvolvimento destes experimentos sensores coletaram informações de temperatura e umidade a cada 20 minutos.

As informações da temperatura e da umidade obtidas dos ambientes controladas foram confrontadas com as variáveis meteorológicas externas provenientes da estação automática Curitiba-A807 pertencente ao INMET. Os dados das estações automáticas são gravados a cada 1 hora. Correlacionou-se a hora de cada gravação dos dados para realizar as análises.

3.7.1 Monitoramento da Temperatura e Umidade no Ambiente Controlado

Para realizar o monitoramento do controle da temperatura e da umidade dentro das estruturas realizaram-se dois experimentos. No experimento 1 realizou-se o monitoramento da temperatura e da umidade no pilar sobre o qual a antena é calibrada (Pilar 2000). O segundo experimento refere-se ao monitoramento da temperatura e umidade nos dois ambientes controlados (Pilar 1000 e 2000). Esses ambientes monitorados foram denominados de ambientes controlados. Verifica-se na FIGURA 43, um esquema da montagem do experimento 2 visando identificar o monitoramento do ambiente interno (temperatura e umidade) no PILAR 2000, neste experimento foi empregada a Estrutura 2 - Versão 2.

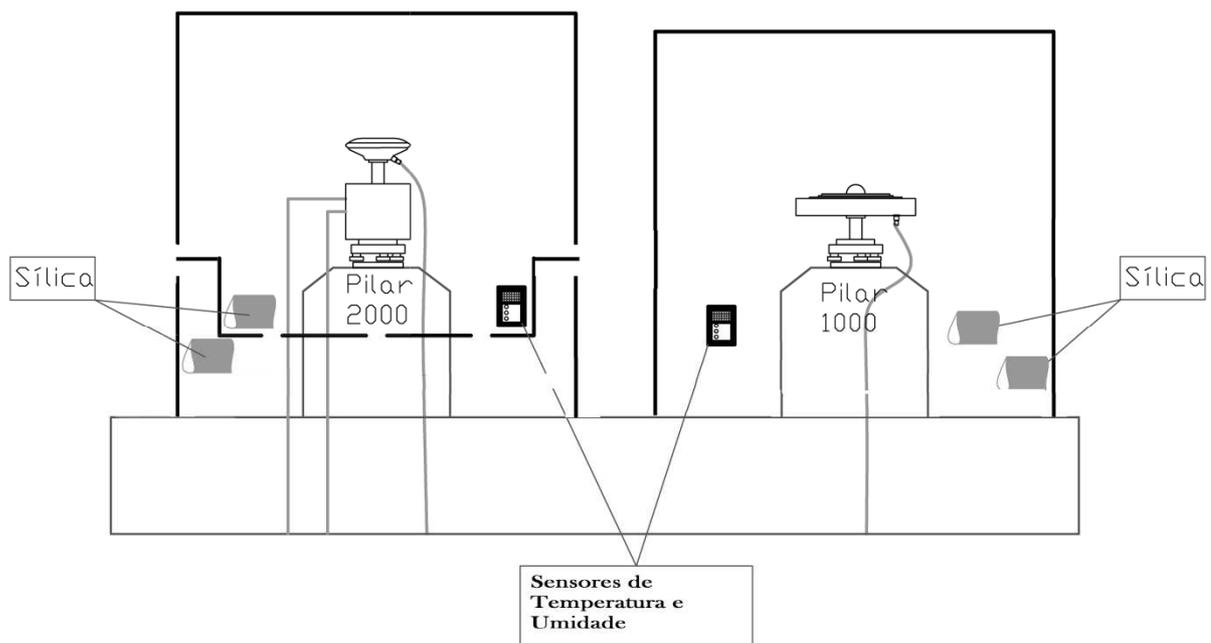


FIGURA 43- EXPERIMENTO 2 - CONTROLE DO AMBIENTE DAS ANTENAS
 FONTE: AUTORA (2014)

Visando minimizar a umidade dentro das estruturas construídas foram introduzidos sachês de sílica no interior das mesmas. A sílica tem propriedade higroscópica e adsorvente isto é, grande capacidade em desidratar o ambiente em que se encontra.

Para realizar o monitoramento do controle da temperatura e da umidade no ambiente em que se realizam as observações GPS, sensores meteorológicos foram conectados a um arduíno. Esse arduíno foi programado para descarregar os dados de forma automática de 20 em 20 minutos, por um período de 24 horas.

3.7.2 Monitoramento da Variáveis Controladas (Internas) Versus Variáveis Externas

Visando identificar o comportamento das variáveis observadas nos ambientes denominados de controlados, variáveis internas (temperatura e umidade), foram realizadas análises confrontando essas variáveis com as variáveis externas observadas na estação Curitiba-A807 do INMET. Com esses experimentos buscou-se avaliar a eficiência do controle da temperatura e umidade nas estruturas

instaladas no PILAR 1000 e PILAR 2000. Essa avaliação foi importante principalmente em períodos de precipitação.

3.8 PCO OBTIDOS EM AMBIENTES CONTROLADOS

Calibraram-se as antenas LEIAX1202 GG (A e B) nos ambientes monitorados, denominados de controlados. Com esses experimentos foram determinados os valores do PCO (componentes: norte, leste e vertical) para as portadoras L1 e L2 visando comparações futuras.

Um total de onze experimentos foram realizados neste ambiente controlado, seguindo a seguinte ordem: Estrutura 1 (Caixa Maior Azul) no PILAR 1000 e Estrutura 2 - Versão 2 no PILAR 2000. Conforme exposto anteriormente a Estrutura 2 - Versão 2 sofreu modificações ao longo da realização dos experimentos, em face da ocorrência de precipitações. Essas modificações consistiram no revestimento da estrutura com: plástico preto e filme e isopor plástico.

O método de calibração aplicado em campo foi o relativo exposto na seção 3.2. Ele possibilita determinar os parâmetros de calibração das antenas e posteriormente correlacioná-los com o controle do ambiente da antena (temperatura e umidade).

3.8.1 PCO obtido em Ambiente Controlado Versus Variáveis Meteorológicas Internas

Após determinados os valores do PCO em ambiente controlados, eles foram correlacionados com as variáveis meteorológicas observadas durante os períodos de calibração. Com essas análises torna-se possível observar se as variações que ocorrem entre os parâmetros de calibração estão relacionados com a variação da temperatura e da umidade durante o período de calibração.

3.9 PCO OBTIDOS COM ANTENA REVESTIDA COM PLÁSTICO FILME

Visando diminuir a umidade depositada em cima da antena, sem a necessidade de empregar um ambiente controlado, optou-se por revestir a antena a ser calibrada LEIAX1202GG (B) com plástico filme. Alguns experimentos foram efetuados.

Com a calibração dessa antena determinaram-se os valores do PCO para ambas as portadoras. Esses valores obtidos com a antena revestida com plástico filme foram comparados com um experimento realizado no mesmo período (sem plástico filme). Este fato é importante visto que existe variação dos parâmetros de calibração no decorrer do tempo.

Analisaram-se as diferenças entre as componentes para ambas as portadoras L1 e L2, essas possibilitam o cálculo das diferenças tridimensionais (3D).

3.10 DETERMINAÇÃO DE NOVOS VALORES DO PCO EMPREGANDO ANÁLISE DO MULTICAMINHO

Após as análises das correlações dos valores do PCO vertical com os valores de MP1 e MP2 foi possível verificar quais sinais, cuja informação provém dos satélites, seriam mais influenciados pelo efeito do multicaminho. Posteriormente novos valores de PCO (componente norte, leste e vertical) para ambas as portadoras, sem os sinais desses satélites foram determinados.

Os dados provenientes das antenas TRM22020.00+GP, LEIAX1202 GG (A e B) e a LEIAX1203GNSS foram testados. Essa metodologia foi aplicada para os experimentos que apresentavam maior variação do PCO e maior variação do efeito médio do multicaminho.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Nesse capítulo são apresentados os resultados e respectivas análises aplicando a metodologia de calibração de antenas relativa em campo (seção 3.2). Essas análises são provenientes da comparação dos parâmetros próprios de calibração (PCO) das antenas GPS obtidos em épocas e em condições meteorológicas distintas, para cinco antenas de fabricantes e idades diferentes, TRM22020.00+GP (FIGURA 44), LEIAX1202GG (A) e LEIAX1202GG (B) (FIGURA 45), LEIAT504 (FIGURA 46) e LEIAX1203 GNSS (FIGURA 47). Essas antenas foram calibradas em ambiente aberto e algumas delas em ambiente controlado.



FIGURA 44- ANTENA TRM22020.00+GP
FONTE: AUTORA (2014)



FIGURA 45- ANTENA LEIAX1202 GG
FONTE: AUTORA (2014)



FIGURA 46- ANTENA LEIAT504
FONTE: AUTORA (2014)



FIGURA 47- ANTENA LEIAX1203 GNSS
FONTE: AUTORA (2014)

Os dados para a determinação dos parâmetros de calibração foram processados com o programa WaSoft/Kalib. Com esse programa determinam-se valores do PCO (componentes: norte, leste e vertical) para as ondas portadoras L1 e L2.

Nesse capítulo apresenta-se a seção 4.1 a validação dos parâmetros de calibração determinados na BCAL/UFPR. Nesse processo de validação compararam-se parâmetros da BCAL/UFPR com parâmetros determinados pelas instituições GEO++ e WaSoft.

Na seção 4.2 obtiveram-se os resultados da identificação das variáveis ambientais (meteorológicas e efeito do multicaminho) que podem interferir na determinação dos parâmetros de calibração. Realizaram análises dos valores do PCO determinados para distintas antenas (LEIAX1202 GG (A e B), LEIAX1203 GNSS e LEIAT504) em diferentes épocas do ano com diferentes condições meteorológicas, correlação dos valores do PCO vertical com as variáveis meteorológicas e comparações dos valores do PCO vertical com os valores de MP1 e MP2.

Após a identificação das variáveis ambientais fez-se necessário à análise de alguns materiais para serem empregados no monitoramento do ambiente (ambiente controlado) e efeito do multicaminho (Seção 4.3). Realizaram-se observações GPS e com esses dados foram determinadas as coordenadas geodésicas, as quais foram comparadas. Procederam-se também uma análise do efeito do multicaminho, já que esses materiais deveriam ser eficientes no controle do ambiente e não alterasse o efeito do multicaminho. Realizaram-se a construção das estruturas para o controle do ambiente e do efeito do multicaminho. Essas estruturas foram utilizadas nos pilares 1000 e 2000, as quais foram testadas.

Na seção 4.4 visa verificar o controle dos ambientes monitorados proporcionados pelas estruturas construídas, as variáveis temperatura e umidade foram monitoradas. Também se compararam essas variáveis internas com as variáveis externas (INMET).

Antenas foram calibradas dentro das estruturas e quais permitiram determinar valores de PCO obtido em ambiente controlado (seção 4.5). Esses valores de PCO foram comparados as variáveis meteorológicas observadas durante a calibração dessas antenas.

Os resultados dos experimentos calibrando antena revestida com plástico filme podem ser observados na seção 4.6, bem como as análises.

Determinaram-se novos valores do PCO após a análise do MP1 e MP2 das antenas calibradas sem ambiente controlado (seção 4.7). Com essa análise removeu-se os sinais dos satélites que contribuíram de forma significativa no indicativo do multicaminho.

4.1 VALIDAÇÃO DOS PARÂMETROS PRODUZIDOS NA BCAL/UFPR

Para validar os parâmetros de calibração produzidos na BCAL/UFPR fez-se necessário realizar a comparação desses com parâmetros determinados por outras instituições. A antena LEIAX1202GG (A) foi empregada nessas análises. Ela foi calibrada pela GEO++ e pela WaSoft no ano de 2011, portanto possui parâmetros próprios de calibração determinadas por duas outras instituições. Outra análise conduzida nesta seção se refere à comparação dos parâmetros produzidos pela BCAL/UFPR e os provenientes das médias produzidas pelo NGS. Ressalta-se que os parâmetros produzidos pelo NGS não são próprios e sim parâmetros médios para o modelo de antenas. Contudo quando as antenas não são calibradas de forma individual eles são utilizados no processamento de dados GNSS.

Os parâmetros da BCAL/UFPR comparados referem-se às calibrações realizadas no mesmo período, isso é no mesmo mês que essas antenas foram calibradas pela Wasoft e GEO++. Huinca (2009) e Huinca e Krueger (2011), realizaram análises que indicam que os parâmetros são variáveis em função do tempo, desta forma era imprescindível que as calibrações ocorrem-se no mesmo período.

Na Tabela 5 estão indicados os valores do PCO para ambas as portadoras da antena LEIAX1202GG (A). Eles são utilizados para a validação da BCAL/UFPR. Verifica-se que foram considerados seis experimentos, sendo que quatro deles foram determinados com a antena LEIAR25 como referência e os outros dois com a antena LEIAT504. Analisaram-se também os valores médios, máximos e mínimos, desvio padrão e amplitude da variação.

TABELA 5 – VALORES DO PCO - LEIAX1202GG (A) - ANTENA PARA VALIDAÇÃO

Antena: LEIAX1202GG (A)							
Antena de Referência	Experimentos	PCO (L1) - mm			PCO (L2) - mm		
		Norte	Leste	Vertical	Norte	Leste	Vertical
LEIAR25	244/11	1,5	-0,3	63,9	-0,6	0,3	64,0
	245/11	1,6	-0,2	63,2	-0,8	0,3	63,6
	246/11	1,4	-0,2	63,6	-0,7	0,3	63,7
	247/11	1,5	-0,2	63,4	-0,7	0,2	63,9
LEIAT504	244/11	1,5	-0,3	64,8	-0,6	0,3	63,9
	245/11	1,6	-0,3	64,0	-0,8	0,3	62,4
Estatística	Média	1,5	-0,2	63,8	-0,7	0,3	63,6
	Desvio Padrão	0,1	0,1	0,60	0,1	0,0	0,60
	Máximos	1,6	-0,2	64,8	-0,6	0,3	64,0
	Mínimos	1,4	-0,3	63,2	-0,8	0,2	62,4
	Amplitude da variação	0,2	0,1	1,60	0,2	0,1	1,60

FONTE: AUTORA (2014)

Pode-se verificar que os valores de desvio padrão são inferiores a 1 mm e que o valor máximo para a amplitude da variação foi de 1,60 mm para a componente vertical do PCO em ambas as portadoras.

A análise da validação dos valores da Tabela 6 foi realizada confrontando-se esses valores com aqueles gerados pela Wasoft, GEO++ e NGS.

TABELA 6 – VALORES DO PCO - LEIAX1202GG (A) - WASOFT, GEO++ E NGS

Antena: LEIAX1202GG (A) - Parâmetros determinados por outras empresas e instituições						
Experimentos	PCO (L1) - mm			PCO (L2) - mm		
	Norte	Leste	Vertical	Norte	Leste	Vertical
WASOFT	1,3	-0,2	63,2	-0,4	0,0	63,0
GEO++	1,4	-0,4	62,4	-0,6	0,6	64,0
Antigo Formato NGS	1,8	0,8	65,9	-0,3	0,3	66,1
Novo Formato NGS	1,6	-0,5	63,4	-1,2	0,2	62,1

FONTE: AUTORA (2014)

Observa-se nas FIGURAS 48 e 49 a comparação dos valores do PCO (norte e leste) para as portadoras L1 e L2 produzidos pela BCAL/UFPR, Wasoft, GEO++ e NGS.

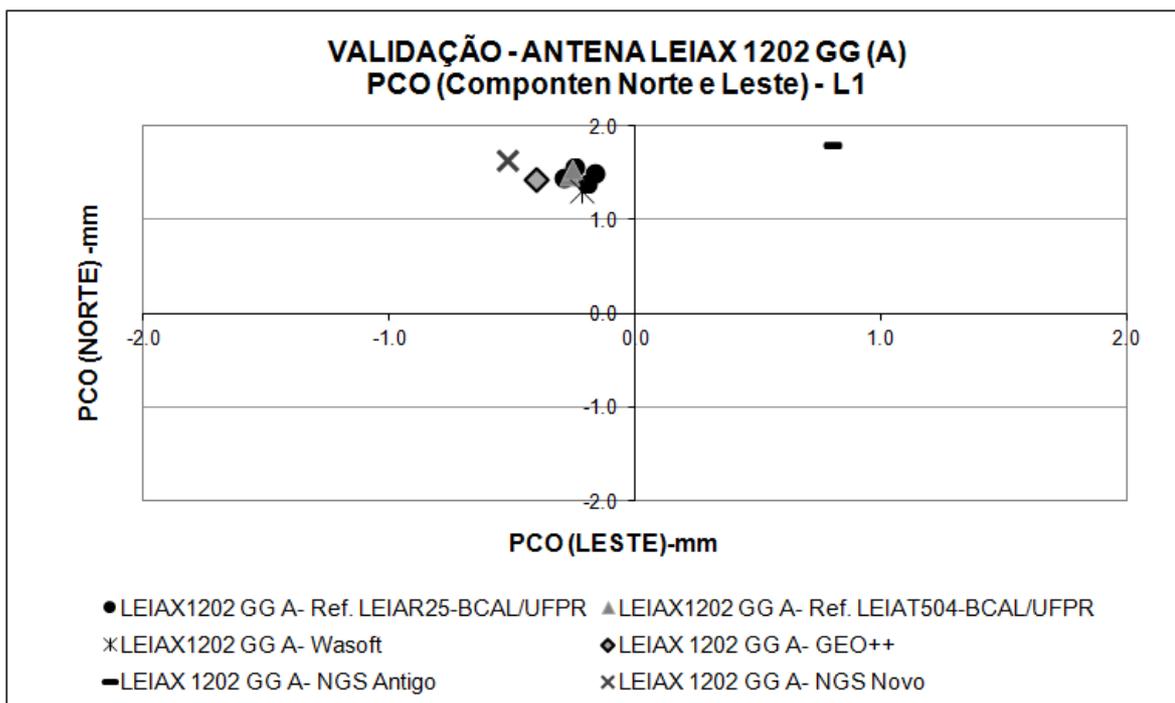


FIGURA 48- COMPARAÇÃO DOS VALORES DO PCO (NORTE E LESTE) -L1- LEIAX1202GG (A)
FONTE: AUTORA (2014)

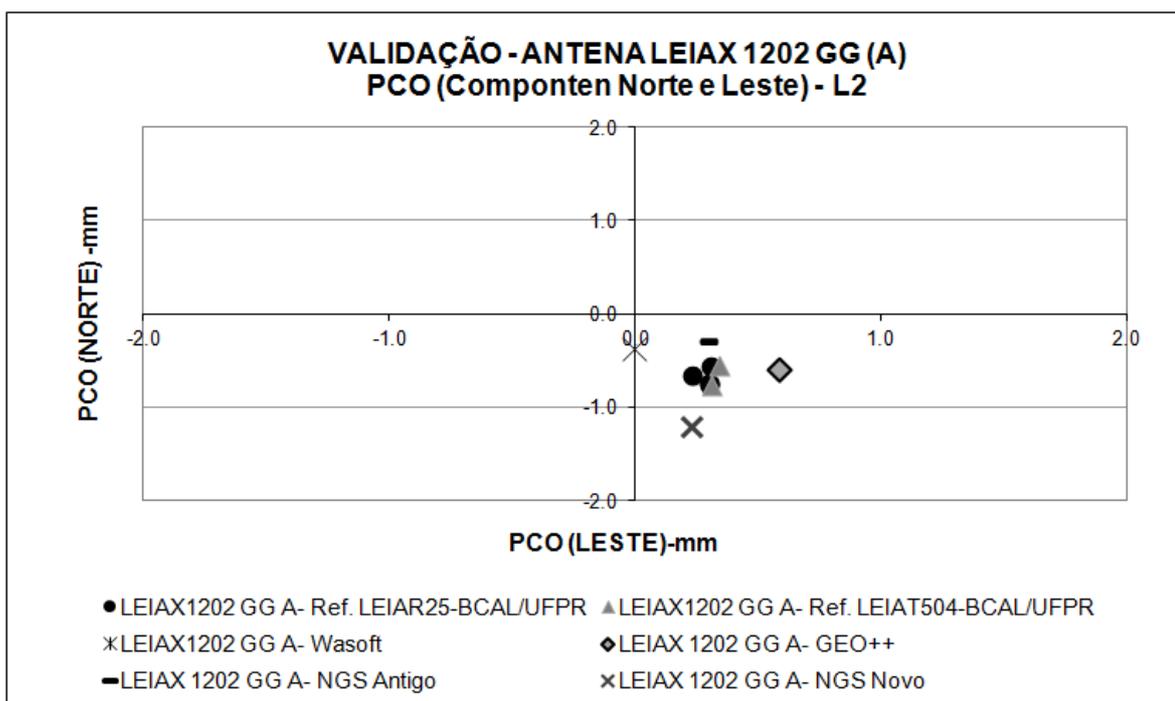


FIGURA 49- COMPARAÇÃO DOS VALORES DO PCO (NORTE E LESTE) -L2- LEIAX1202GG (A)
FONTE: AUTORA (2014)

Observa-se na FIGURA 48 que somente o parâmetro produzido pelo antigo formato do NGS (portadora L1), apresenta uma maior variação, diferença bidimensional de aproximadamente 1,1 mm.

Na FIGURA 49 percebe-se que as diferenças bidimensionais são inferiores a 1 mm.

Realizam-se diferenças tridimensionais para as portadoras L1 e L2 entre os parâmetros, as quais podem ser observadas nas FIGURAS 50 e 51. Trabalharam-se com as diferenças obtidas com: os valores médios da BCAL/UFPR, calculadas a partir dos experimentos realizados para a mesma época; com valores produzidos pela Wasoft, GEO++ e antigo e novo formato do NGS.

Visualiza-se na FIGURA 50 que as diferenças 3D (L1) para todos os experimentos, obtidos com os valores médios da BCAL/UFPR e com os valores do Wasoft são menores que 1 mm, exceto para o dia 244/11 (Antena de referência LEIAT504). Analisando as diferenças 3D obtidas com os valores da GEO++ verifica-se que para todos os experimentos essas são inferiores a 2 mm. As diferenças obtidas com os parâmetros médios do NGS (antigo e novo) variaram entre 2 e 3 mm. Os valores do PCO vertical para L1 obtidos na BCAL/UFPR podem ser observados também. Constata-se que as maiores variações ocorreram para os dias GPS 244 e 245/11, obtidos com a antena de referência LEIAT504.

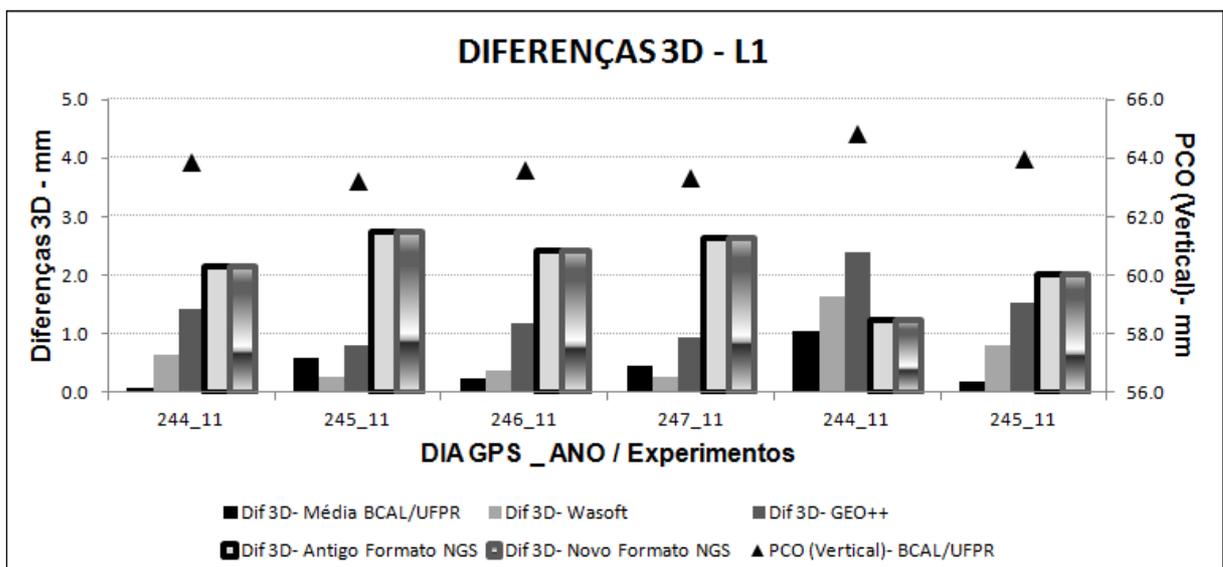


FIGURA 50- DIFERENÇAS 3D (L1) - BCAL/UFPR E OUTRAS INSTITUIÇÕES
 FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças 3D (L2) são observadas para a FIGURA 51. Percebe-se que as diferenças obtidas com valores médios da BCAL/UFPR e Wasoft são inferiores a 1 mm e que para o experimento do Dia GPS 245/11 (antena de referência LEIAT504) esse valor foi de 1.1 mm. Para as diferença obtidas com os valores da GEO++ tem-

se valores inferiores a 2 mm. As maiores variações das diferenças são obtidas a partir dos parâmetros do NGS (antigo e novo), os quais são maiores que 2 mm para o antigo formato do NGS. Os valores do PCO vertical para L2 determinados na BCAL/UFPR estão indicados nessa figura e apresentam uma maior variação para o Dia GPS 244/11 (antena de referência LEIAT504).

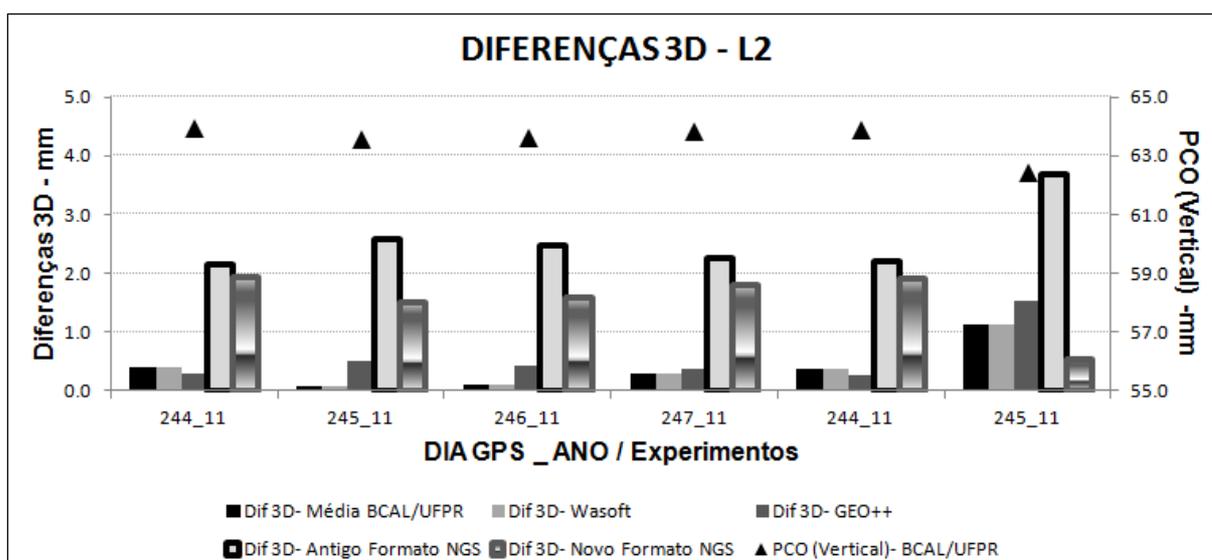


FIGURA 51- DIFERENÇAS 3D (L2) - BCAL/UFPR E OUTRAS INSTITUIÇÕES
 FONTE: AUTORA (2014)

4.2 IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS QUE PODEM INTERFERIR NA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO

Objetivando identificar as variáveis ambientais que podem interferir na determinação dos parâmetros de calibração determinados na BCAL/UFPR realizaram-se alguns experimentos, os quais são apresentados separadamente para cada antena. Esses experimentos são: variação dos valores do PCO, PCO versus variáveis meteorológicas e PCO versus efeito do multicaminho.

Analísaram-se a variação dos valores do PCO de cada antena obtidos em diferentes épocas e com diferentes condições meteorológicas. Correlaciona-se esses parâmetros de calibração (PCO) determinados anteriormente com as variáveis meteorológicas observadas durante o período dos experimentos. E por

último confrontaram-se os valores do PCO obtidos com o indicativo do efeito do multicaminho (MP1 e MP2) obtidos com o programa TEQC.

4.2.1 ANTENA TRM22020.00+GP

A antena TRM22020.00+GP (número de série: 0220030036), recebe sinais GPS na frequência da onda portadora L1 e L2, é fabricada pela empresa Trimble, e apresenta uma vida útil de aproximadamente 16 anos.

Os resultados da calibração dessa antena são apresentados na sequência. Dentre eles têm-se os valores do PCO (componentes norte, leste e vertical) para as ondas portadoras L1 e L2, empregando-se duas antenas como referência: LEIAT504 (FIGURA 46) e LEIAR25 (FIGURA 36).

4.2.1.1 PCO Obtido com a Antena de Referência LEIAT504 (TRM22020.00+GP)

Na Tabela 7 observam-se os valores obtidos para as componentes: norte, leste e vertical do PCO, para as ondas portadoras L1 e L2, empregando-se a antena de referência LEIAT504. Para que se pudessem realizar análises de variações dos parâmetros ao longo do tempo calcularam-se valores médios, desvio padrão, máximos e mínimos. Observa-se que os valores das componentes: norte, leste e vertical são variáveis para ambas as portadoras. Percebe-se que o menor desvio padrão calculado (0,9 mm) é para a componente norte da onda portadora L1, os desvios-padrão são de aproximadamente 2,0 mm para as outras componentes (leste e vertical). Pode-se ainda verificar que os desvios-padrão para a componente norte são inferiores a 1,5 mm para as portadoras L1 e L2.

TABELA 7 – TRM22020.00+GP - PCO (NORTE, LESTE E VERTICAL) – ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAT504

PCO (norte, leste, vertical) – mm							
Dia GPS/Ano	Experimentos	L1			L2		
		Norte	Leste	Vertical	Norte	Leste	Vertical
245/08	Experimento 1- setembro/08	0,1	-2,1	51,9	-0,3	2,7	60,8
247/08		0,2	-2,0	51,9	-0,5	2,5	60,6
248/08		0,3	-2,0	51,8	-0,6	2,6	60,4
072/09	Experimento 2- março/09	0,7	-1,8	51,5	-1,4	2,2	61,3
073/09		0,8	-1,8	51,2	-1,7	2,2	61,5
075/09		0,8	-1,8	51,1	-1,5	2,3	61,1
078/09		0,9	-1,9	51,4	-1,5	2,2	61,5
079/09		0,2	-2,0	51,2	-0,6	2,6	61,1
107/09	Experimento 3- abril/09	-0,1	-2,1	49,7	-0,1	2,6	60,4
108/09		-0,1	-2,1	49,4	-0,4	2,6	60,0
112/09		-0,1	-2,1	50,6	-0,4	2,7	60,8
278/10	Experimento 4- outubro/10	-0,4	2,3	53,9	0,9	-2,3	64,5
279/10		-0,4	2,4	54,7	1,1	-2,5	64,9
280/10		-0,8	2,2	53,3	1,3	-2,0	64,4
281/10		-3,3	-3,0	57,5	-3,6	1,1	68,9
283/10		-2,4	-3,5	58,4	-3,4	0,3	67,1
045/11	Experimento 5- fevereiro/11	-0,1	2,2	54,8	0,3	-2,4	64,5
047/11		-0,1	2,2	54,8	0,3	-2,4	64,5
050/11		0,0	2,3	55,9	0,5	-2,4	66,0
054/11		0,2	2,1	53,9	0,1	-2,6	64,1
284/11	Experimento 6- outubro/11	-0,7	2,0	51,2	1,4	-2,0	62,8
285/11		-1,1	2,2	51,1	1,3	-2,2	63,4
286/11		-1,2	2,2	50,3	1,0	-1,9	63,6
287/11		-1,0	1,9	50,5	1,7	-1,8	62,9
290/11		-1,0	2,0	49,3	1,7	-2,0	62,5
	Valor Médio	-0,3	-0,1	52,5	-0,2	0,1	62,9
	Desvio Padrão	0,9	2,2	2,4	1,4	2,3	2,3
	Valor Máximo	0,9	2,4	58,4	1,7	2,7	68,9
	Valor Mínimo	-3,3	-3,5	49,3	-3,6	-2,6	60,0

FONTE: AUTORA (2014)

Analisando os valores máximos e mínimos da Tabela 7 percebe-se que a amplitude da variação em módulo é superior a 1 mm para todas as componentes, sendo que a maior amplitude de variação é obtida para a componente vertical da portadora L1, valor aproximado de 9 mm.

Na FIGURA 52 têm-se os valores das componentes: norte e leste, da portadora L1, obtidos dos vinte e cinco experimentos realizados desde o ano de 2008.

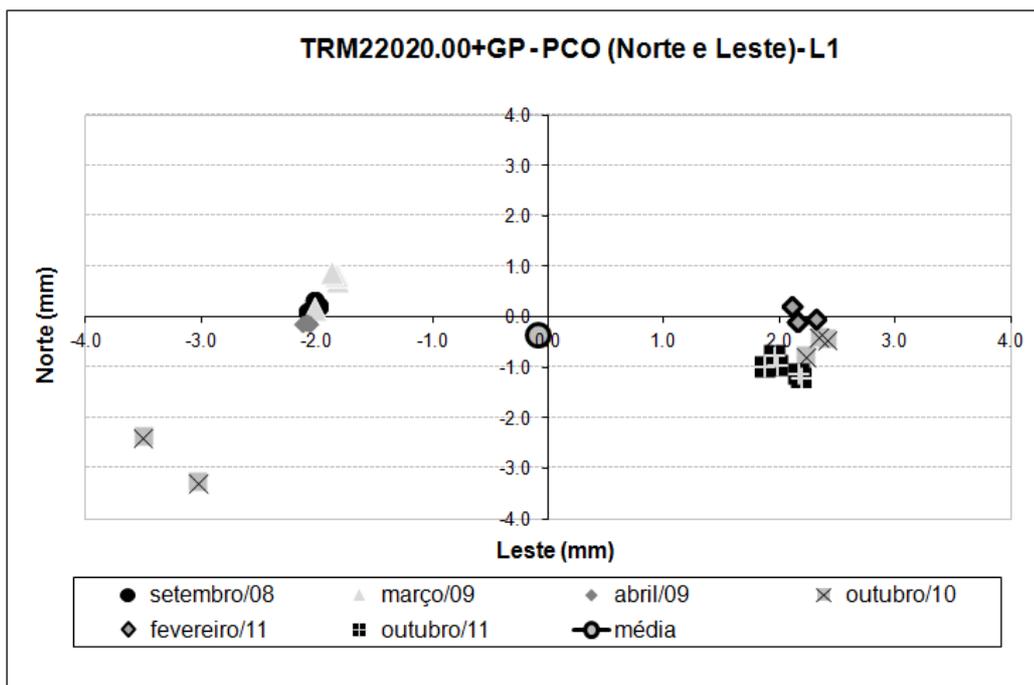


FIGURA 52- TRM22020.00+GP- PCO (NORTE E LESTE) DETERMINADOS COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAT504- L1
 FONTE: AUTORA (2014)

Visualiza-se na FIGURA 52 que os valores são variáveis, sendo então o valor médio mascarado em função dos experimentos, pois alguns valores obtidos nos anos de 2008 e 2009 são positivos e no ano de 2010 e 2011 são negativos. Analisando o conjunto de resultados com o valor médio (considerado como verdadeiro) observa-se que os valores não são precisos e tão pouco acurados. Comparando-se os valores obtidos nos anos de 2008 e 2009 percebe-se que eles variam no máximo 1 mm. Já analisando o conjunto de resultados obtidos nos anos de 2010 e 2011 com o valor médio obtido para essa época, percebe-se que eles em sua maioria são acurados, à exceção de dois experimentos do ano de 2010.

Na FIGURA 53 observam-se os valores da componente norte e leste da portadora L2. Percebe-se que os valores não são acurados e nem precisos quando comparados ao valor médio (valor verdadeiro). Observa-se que a menor variação é obtida quando se comparam os experimentos realizados no ano de 2008 com os do ano de 2009.

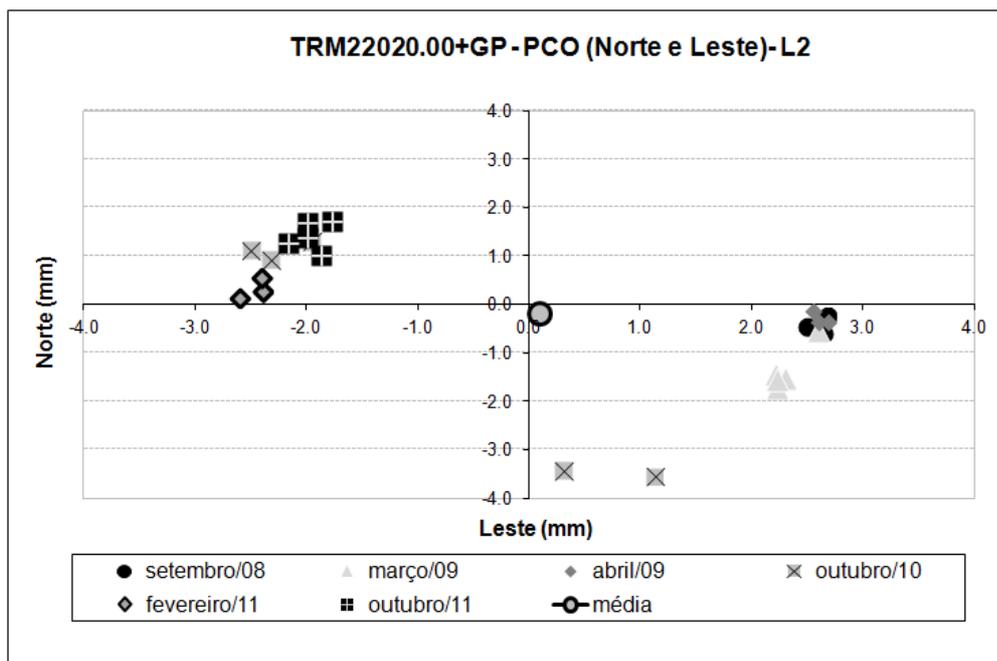


FIGURA 53- TRM22020.00+GP- PCO (NORTE E LESTE) DETERMINADOS COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAT504- L2
 FONTE: AUTORA (2014)

Observam-se nas FIGURAS 54 e 55, os valores da componente vertical para as portadoras L1 e L2, respectivamente. Percebe-se que em ambas as portadoras a amplitude da variação é de aproximadamente 9 mm. Visualiza-se que as menores variações ocorrem quando se comparam os experimentos realizados nos anos de 2008 e 2009.

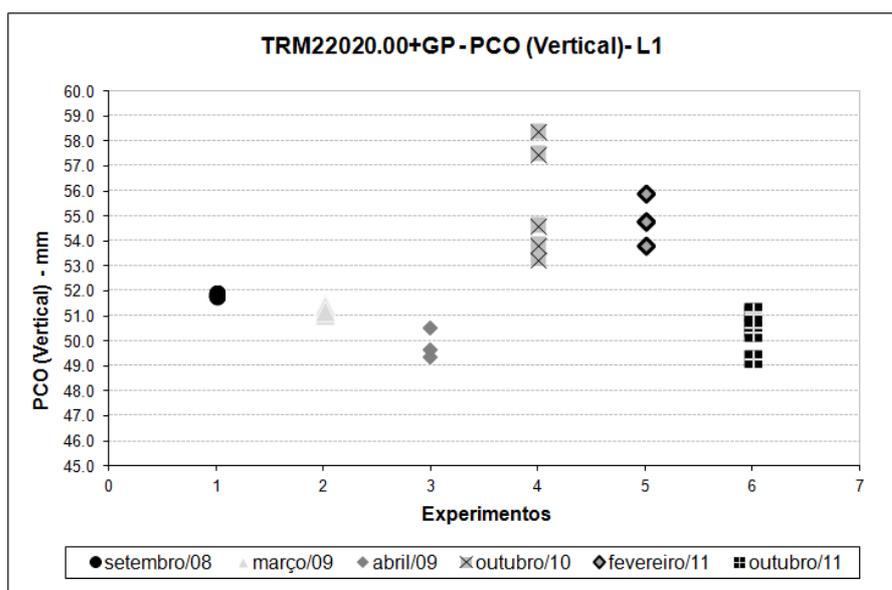


FIGURA 54- TRM22020.00+GP- PCO (VERTICAL) DETERMINADOS COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAT504- L1
 FONTE: AUTORA (2014)

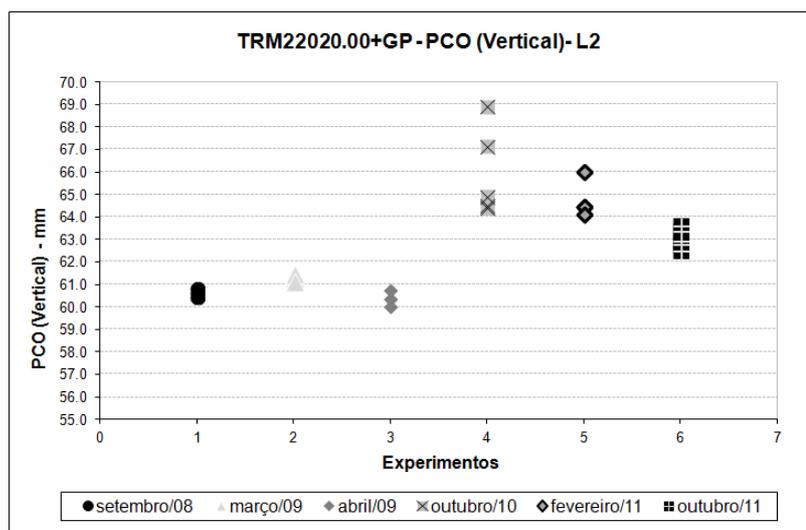


FIGURA 55- TRM22020.00+GP- PCO (VERTICAL) DETERMINADOS COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAT504- L2
 FONTE: AUTORA (2014)

Os valores das diferenças tridimensionais obtidas a partir dos valores médios, máximos e mínimos para ambas as portadoras, podem ser observados nas FIGURAS 56 e 57, respectivamente.

Na FIGURA 56 percebem-se os valores da diferença tridimensional para a portadora L1. Observa-se que a amplitude dessa variação é de aproximadamente 9 mm. Analisando-se as diferenças tridimensionais obtidas com os valores médios visualiza-se que as maiores variações são obtidas para o 5º e 6º dia do Experimento 4 - outubro de 2010.

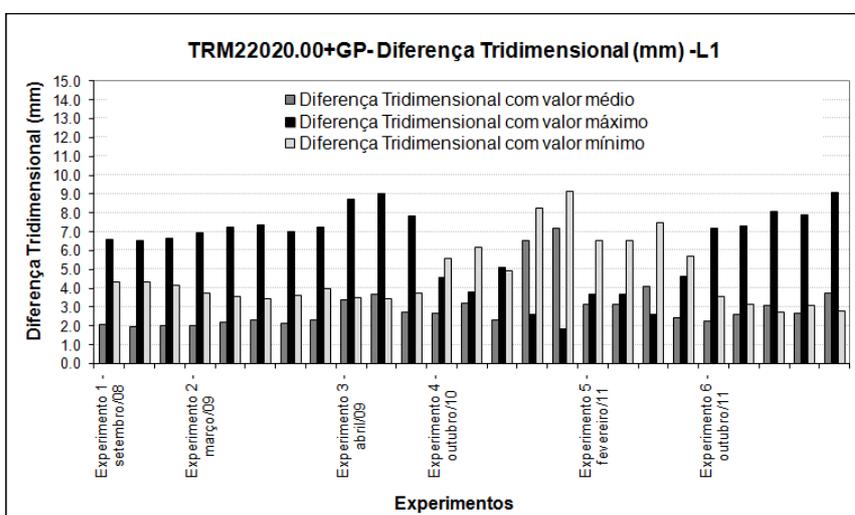


FIGURA 56- TRM22020.00+GP- DIFERENÇA TRIDIMENSIONAL COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAT504- L1
 FONTE: AUTORA (2014)

Os valores da diferença tridimensional para a portadora L2 podem ser observados na FIGURA 57. Percebe-se que a maior diferença observada é de 9 mm, o qual ocorre para o valor máximo observado (2º dia do Experimento 3-abril/09) e para o valor mínimo observado (4º dia do Experimento 4-outubro/10).

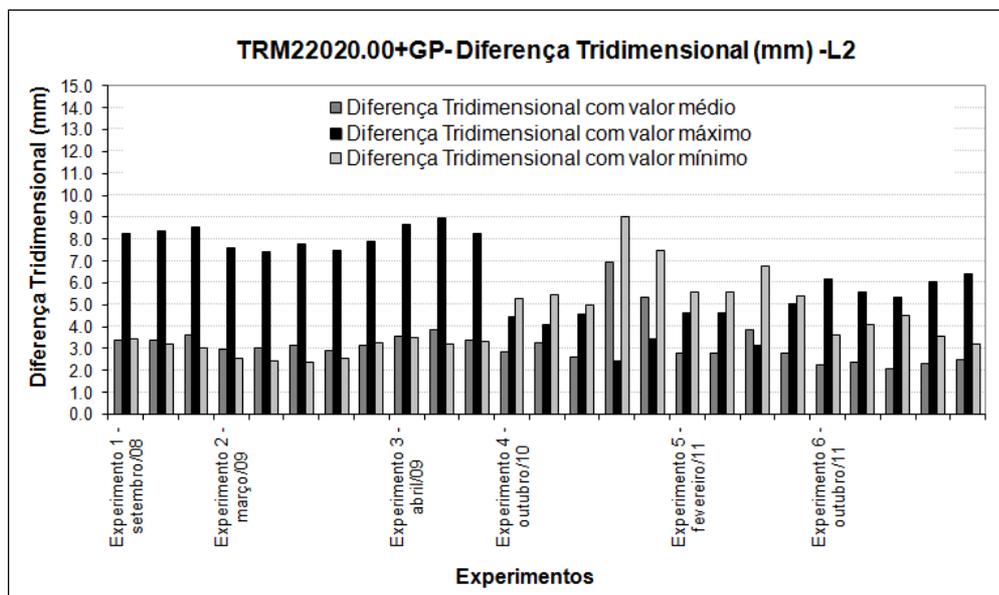


FIGURA 57- TRM22020.00+GP- DIFERENÇA TRIDIMENSIONAL COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAT504- L2
 FONTE: AUTORA (2014)

4.2.1.2 PCO Obtido com a Antena de Referência LEIAR25 (TRM22020.00+GP)

Os valores obtidos para as componentes: norte, leste e vertical do PCO, para as ondas portadoras L1 e L2, empregando-se a antena de referência LEIAR25 podem ser observados na Tabela 8. Verificam-se os valores médios, máximo, mínimos e o desvio padrão calculados para as observações. Os valores médios e o desvio padrão auxiliam na análise da variação entre os experimentos. Os valores máximos e mínimos permitem que se obtenham a amplitude de variação para cada componente.

Observando a Tabela 8 percebe-se que há variações e que as maiores encontram-se para a componente vertical para a portadora L1. Os menores desvios-padrão são verificados na componente leste e são inferiores a 0,1 mm e 0,3 mm para as portadoras L1 e L2, respectivamente.

TABELA 8 – TRM22020.00+GP- PCO (NORTE, LESTE E VERTICAL) –mm –REFERÊNCIA LEIAR25

PCO (norte, leste, vertical) – mm							
Dia GPS/Ano	Experimentos	L1			L2		
		Norte	Leste	Vertical	Norte	Leste	Vertical
045/11	Experimento 1- fevereiro/11	-0,2	2,3	52,1	0,6	-2,5	67,3
049/11		0,0	2,3	53,4	0,5	-2,5	65,4
053/11		0,2	2,2	54,9	0,2	-2,6	65,6
055/11		-0,2	2,1	54,6	0,6	-2,6	66,0
284/11	Experimento 2- outubro/11	-0,7	2,0	51,0	1,4	-2,0	64,1
285/11		-1,1	2,2	50,5	1,3	-2,1	64,2
286/11		-1,2	2,2	50,3	1,0	-1,9	64,1
287/11		-1,0	1,9	50,3	1,7	-1,8	63,2
290/11		-1,0	2,0	49,7	1,7	-2,0	63,1
014/13	Experimento 3- janeiro/13	-0,6	2,2	52,7	1,5	-2,1	64,4
Valor Médio		-0,6	2,1	51,9	1,0	-2,2	64,7
Desvio Padrão		0,5	0,1	1,8	0,5	0,3	1,2
Valor Máximo		0,2	2,3	54,9	1,7	-1,8	67,3
Valor Mínimo		-1,2	1,9	49,7	0,2	-2,6	63,1

FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 58 e 59 observam-se os valores das componentes: norte e leste, respectivamente para as portadoras L1 e L2.

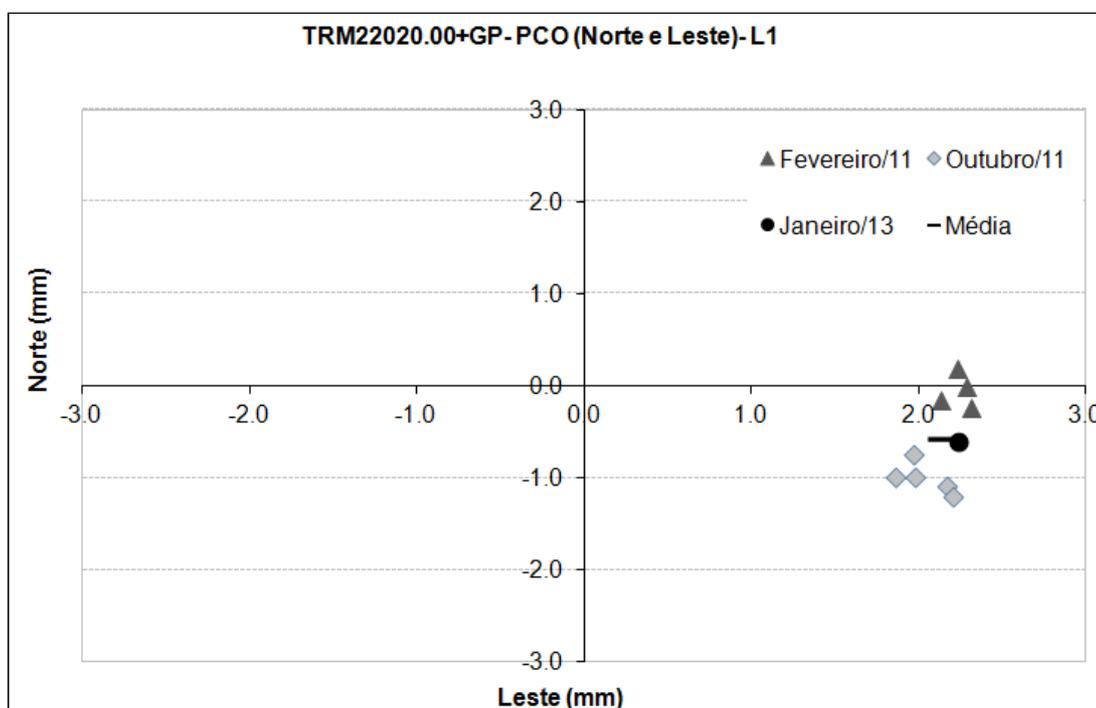


FIGURA 58- TRM22020.00+GP- PCO (NORTE E LESTE) DETERMINADOS COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAR25- L1
FONTE: AUTORA (2014)

Percebe-se que os valores para a portadora L2 (FIGURA 59) são mais dispersos quando comparados com a portadora L1 (FIGURA 58). Os valores das componentes bidimensionais (norte e leste) para a portadora L1 são mais precisos em relação ao valor médio utilizado como referência.

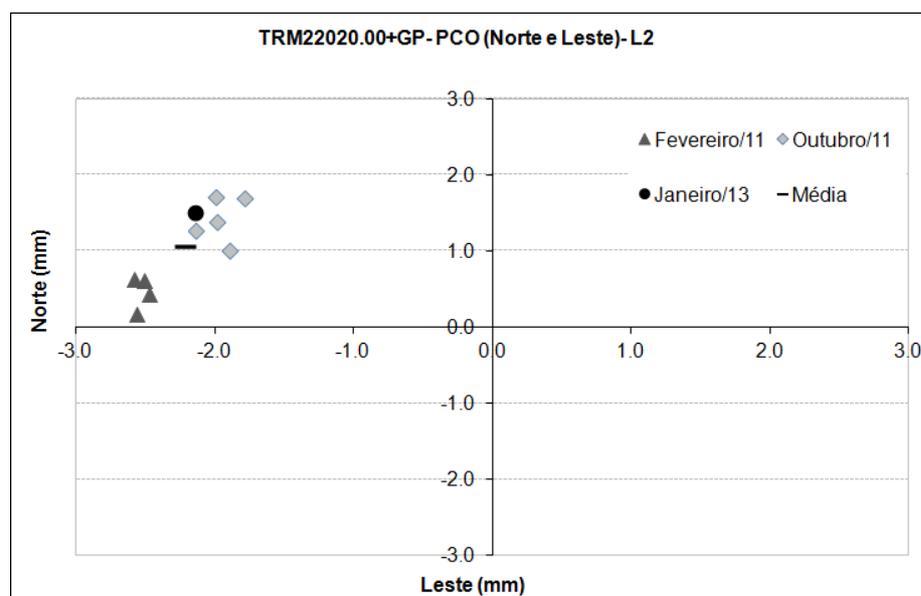


FIGURA 59- TRM22020.00+GP- PCO (NORTE E LESTE) DETERMINADOS COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAR25-L2
 FONTE: AUTORA (2014)

Nas FIGURAS 60 e 61 são apresentados os valores da componente vertical para a onda portadora L1 e onda portadora L2, respectivamente. Percebe-se que a amplitude da variação é de aproximadamente 5 mm para ambas as portadoras. Comparando os experimentos 1 e 2 (fevereiro e outubro/11) verifica-se que esses são os que apresentaram as maiores discrepâncias entre si. Três das calibrações realizadas no experimento 2 (outubro/11) apresentam aproximadamente o mesmo valor do PCO (vertical), para a portadora L2 (FIGURA 61), quando comparadas com a calibração de Janeiro de 2013 (experimento 3).

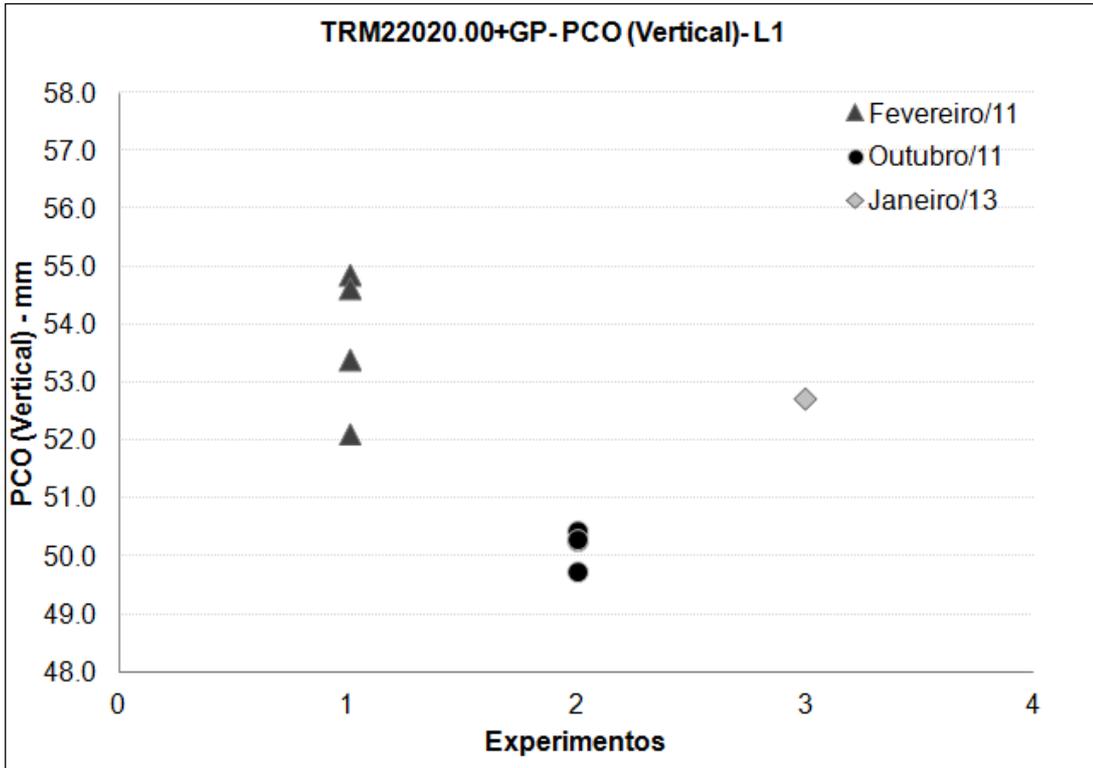


FIGURA 60- TRM22020.00+GP-PCO (VERTICAL) - L1 - REFERÊNCIA LEIAR25
 FONTE: AUTORA (2014)

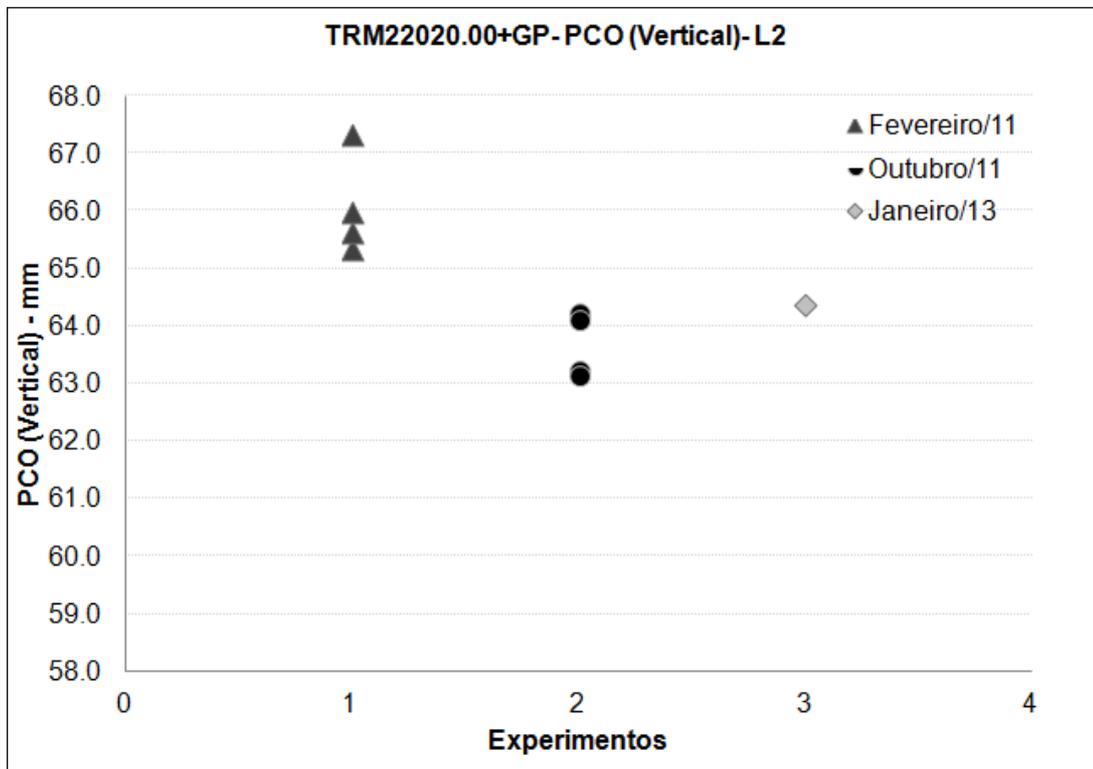


FIGURA 61- TRM22020.00+GP-PCO (VERTICAL) – L2 - REFERÊNCIA LEIAR25
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 62 são visualizadas as diferenças tridimensionais com os valores: médios, máximos e mínimos para a portadora L1. Observa-se que a maior diferença entre os valores máximo e mínimo é obtida para o 5º dia de calibração do experimento 2 (outubro/11 - Dia GPS 290/11, Tabela 8). As menores diferenças entre os valores máximo e mínimo são obtidas para as calibrações do experimento 3 (janeiro/13).

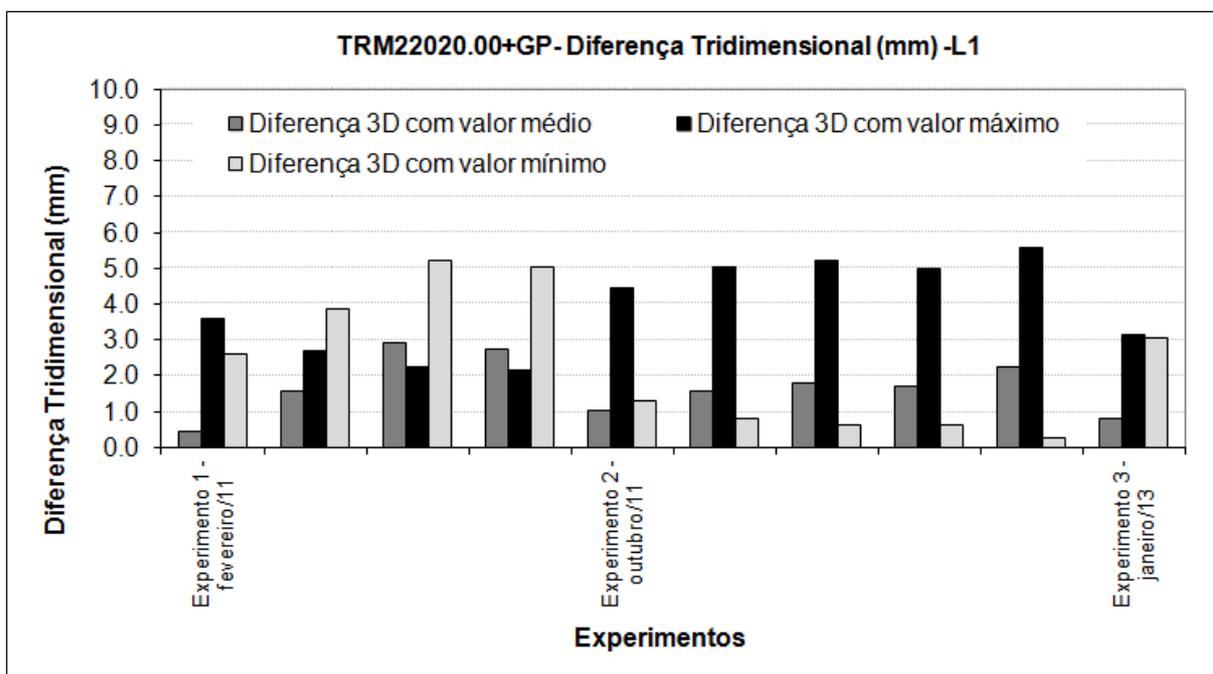


FIGURA 62- TRM22020.00+GP-DIFERENÇA TRIDIMENSIONAL COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAR25-L1
 FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças tridimensionais obtidas para a portadora L2 podem ser observadas na FIGURA 63. Percebe-se que as diferenças obtidas com os valores médios são inferiores a 3 mm. As diferenças obtidas com os valores mínimos e os valores máximos são inferiores a 4 mm e 5 mm, respectivamente. Observa-se que as maiores diferenças entre os valores máximo e mínimo foram obtidas para a 4ª e 5ª dia do experimento 2 (outubro/11, Tabela 8).

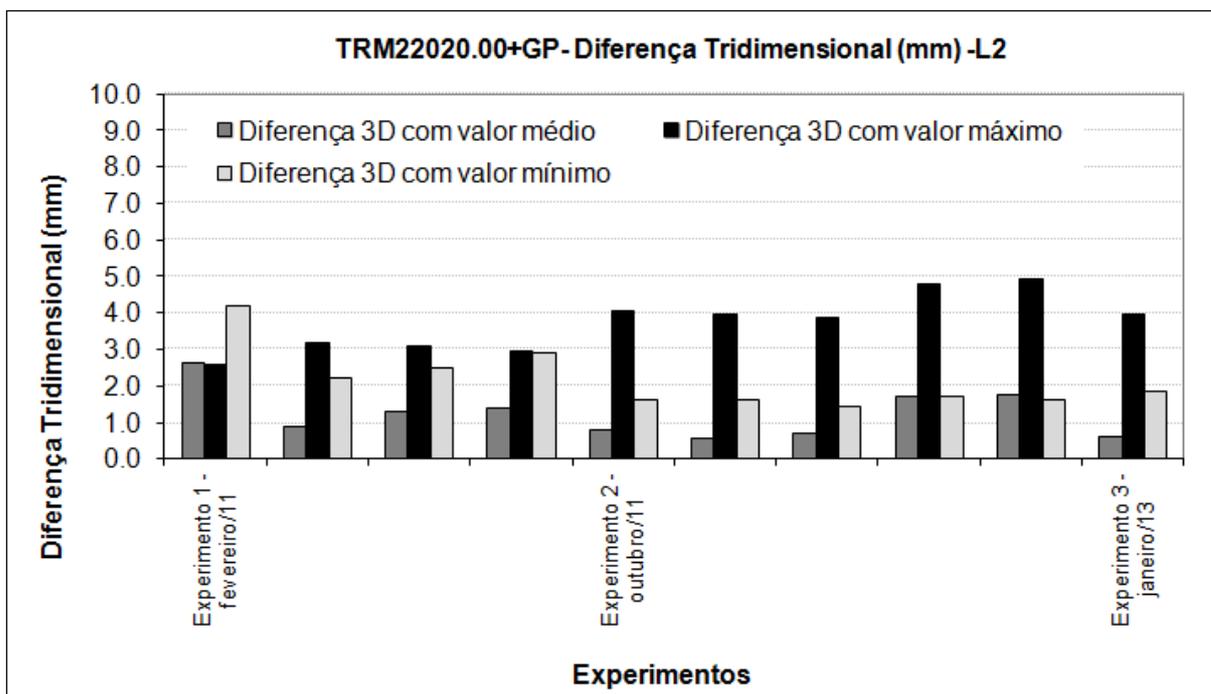
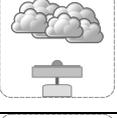
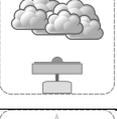
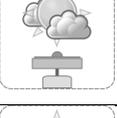
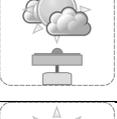
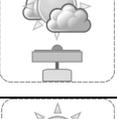


FIGURA 63- TRM22020.00+GP-DIFERENÇA TRIDIMENSIONAL COM A ANTENA DE REFERÊNCIA LEIAR25-L2
 FONTE: AUTORA (2014)

4.2.1.3. Comparação dos Valores PCO (Vertical) Obtidos com a antena de referência LEIAR25 versus Variáveis Meteorológicas (TRM22020.00+GP)

Mediante as análises realizadas na seção 4.2 e as figuras apresentadas se percebe que os valores do PCO (componente norte, leste e vertical), para ambas as portadoras, são variáveis quando obtidos em épocas distintas. A componente vertical (FIGURAS 60 e 61) é a que mostra maior variação, por esse motivo, esta seção irá correlacionar algumas variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação) com a componente vertical (L1 e L2).

Observa-se no QUADRO 4, valores médio, máximo e mínimos das variáveis meteorológicas (temperaturas, umidade relativa do ar, precipitação) observadas durante o período em que se realizou os experimentos de calibração relativa da antena TRM22020.00+GP.

Dia GPS/ Ano	Condição Meteorológica	Temperatura (°C)			Umidade Relativa do Ar (%)			Precipitação (mm)	
		Máx	Mín	Média	Máx	Mín	Média	Máx	% de Chuva
045/11		23,1	16,4	18,1	99,0	78	93,1	40,8	83,3
049/11		28,3	18,1	22,2	88,0	42	66,1	4,0	8,3
053/11		29,2	18,6	22,0	85,0	46	71,7	5,0	8,3
055/11		27,0	19,2	22,1	98,0	57	82,3	8,8	16,7
284/11		20,2	15,2	17,9	80,0	60	70,3	0,0	0,0
285/11		21,3	16,2	18,4	75,0	65	75,2	0,0	0,0
286/11		22,3	17,3	21,1	77,0	60	68,5	0,0	0,0
287/11		21,0	17,0	19,6	80,0	65	75,4	0,0	0,0
290/11		22,4	17,6	20,5	79,0	66,0	69,0	0,0	0,0
014/13		25,6	19,2	20,2	78,0	65	72,0	0,0	0,0

QUADRO 4- VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS – TRM22020.00+GP
 FONTE: AUTORA (2014)

Na coluna 1, do QUADRO 4, tem-se o Dia GPS e o ano da observação. Na coluna 2 um símbolo que representa a condição meteorológica de cada dia de calibração. Essa condição foi obtida a partir de informações observadas e anotadas

em cadernetas de campo. Os valores máximos, mínimos e médios da temperatura encontram-se indicados nas colunas 3, 4 e 5, respectivamente. Esses valores para a umidade relativa do ar estão indicados nas colunas 6,7 e 8, respectivamente. O valor máximo da precipitação e a porcentagem de chuva durante o período de calibração estão indicados nas colunas 9 e 10. Ressalta-se que as informações de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação foram obtidas através do site do INMET, da estação automática de Curitiba (seção 3.7.2). Quando se comparam os valores observados para a temperatura máxima verifica-se que houve uma variação de 9°C durante os dias dos experimentos. Analisando a temperatura mínima e média observada durante os experimentos percebe-se uma diferença entre os experimentos de 4°C. Visualiza-se que a maior variação para umidade relativa do ar observada é de aproximadamente 36% para a umidade relativa mínima. Quando se analisam os valores de precipitação percebe-se que em 4 dos 10 experimentos realizados houveram períodos de chuva, sendo a maior precipitação de 40 mm para o Dia GPS 045/11.

Na FIGURA 64 observam-se os valores da componente vertical do PCO para ambas as portadoras, confrontada com os valores máximos, mínimos e médios da temperatura para cada um dos experimentos. Visualiza-se uma variação de 3 mm (Dia GPS 045/11 e Dia GPS 014/13) na componente vertical (PCO) para a portadora L2 e uma variação de aproximadamente 2,5°C na temperatura máxima, mínima e média. Observa-se uma variação de 2 mm (Dia GPS 045/11 e Dia GPS 290/11) da componente vertical (PCO) para a portadora L1 e uma variação de aproximadamente 3°C para a temperatura média.

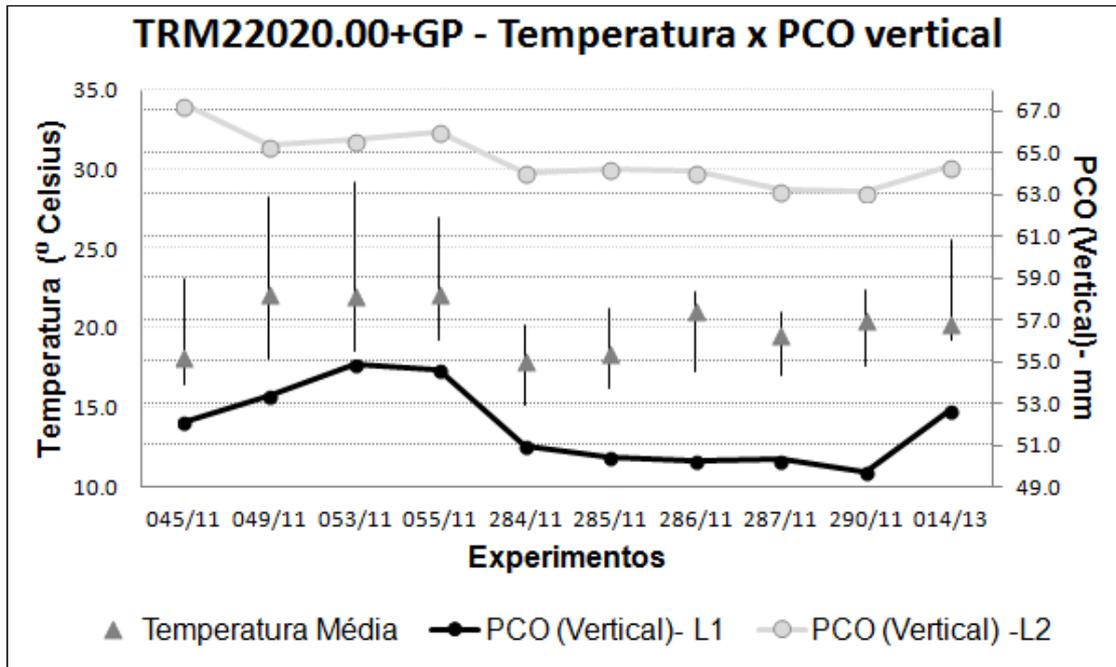


FIGURA 64- TRM22020.00+GP – PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E TEMPERATURA X EXPERIMENTOS
 FONTE: AUTORA (2014)

Analisando a FIGURA 65 percebe-se que os experimentos do Dia GPS 284 ao Dia GPS 287 do ano de 2011, são os que apresentam a menor variação tanto na componente vertical para ambas as portadoras quanto para a variação na umidade relativa do ar (máxima, mínima e média).

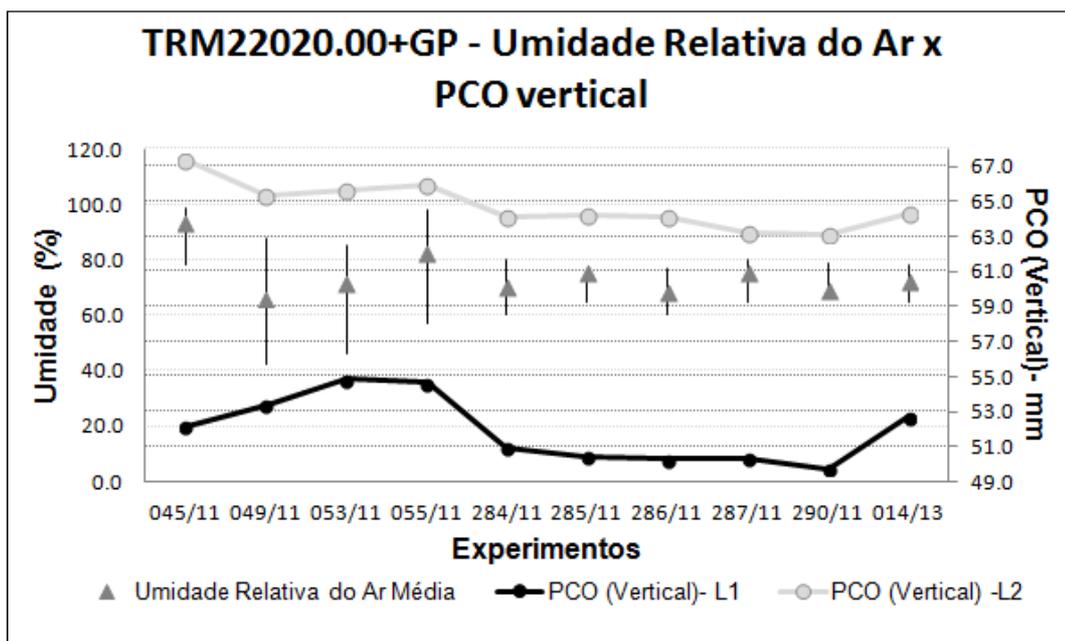


FIGURA 65- TRM22020.00+GP – PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E UMIDADE X EXPERIMENTOS
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 66 têm-se os valores máximos da precipitação e porcentagem de chuva durante o período de calibração confrontado com os valores das componentes verticais (PCO) para as portadoras L1 e L2. Comparando os experimentos Dia GPS 045/11 (o qual apresentou o maior valor de precipitação, bem como, a maior porcentagem de chuva durante o período de calibração) versus Dia GPS 284/11 (sem chuva) percebe-se uma variação de 1,2 mm e 3,3 mm para as portadoras L1 e L2, respectivamente. Comparando dois experimentos realizados em períodos sem chuva (Dia GPS 290/11 e Dia GPS 014/13) percebe-se uma variação 3 mm e 1,2 mm para as portadoras L1 e L2, respectivamente.

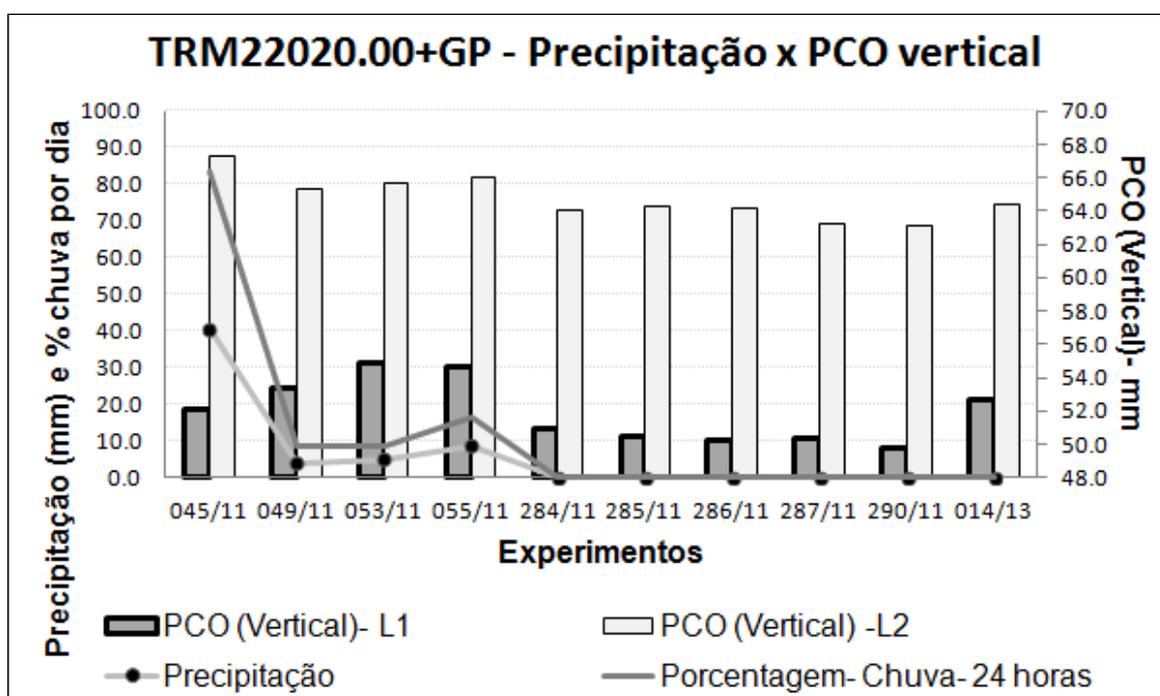


FIGURA 66- TRM22020.00+GP – PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E PRECIPITAÇÃO E % CHUVA POR DIA X EXPERIMENTOS
 FONTE: AUTORA (2014)

Na Tabela 9 observam-se os coeficientes de correlação (r) calculados para o PCO vertical para as portadoras L1 e L2 versus as variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação - Quadro 4). Percebe-se que há forte correlação entre o PCO vertical (L1) e a temperatura máxima ($r=0,9$) e uma fraca correlação entre o PCO vertical (L1) e a precipitação ($r=0,2$). Para o componente vertical (L2) observa-se uma forte correlação com a umidade máxima relativa do ar ($r=0,9$) e nenhuma correlação com a umidade mínima relativa do ar.

TABELA 9 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO - PCO VERTICAL VERSUS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS - TRM22020.00+GP

PCO Vertical (mm)	Temperatura (°)			Umidade Relativa do Ar (%)		Precipitação (mm)	
	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Máxima	% de Chuva
L1	0,9	0,7	0,6	0,6	-0,6	0,2	0,2
L2	0,5	0,2	0,1	0,9	0,0	0,7	0,8

FONTE: AUTORA (2014)

4.2.1.4. Comparação dos Valores PCO (Vertical) Obtidos com a antena de referência LEIAR25 versus Efeito do Multicaminho (TRM22020.00+GP)

A análise dos valores do multicaminho (MP1 e MP2) para a antena TRM22020.00+GP foi realizada baseada nos valores do PCO (vertical). Para o PCO (vertical) em L1 elegeram-se os dias GPS que apresentaram valores mais parecidos com os valores médios (Dia GPS 045/11 e Dia GPS 014/13) e o Dia GPS 053/11 que apresenta o maior valor e o Dia GPS 290/11 que apresenta o menor valor. Seguindo o mesmo raciocínio para o PCO (vertical) em L2 se emprega o Dia GPS 045/11 (que apresenta o maior valor), o Dia GPS 290/11 (que apresenta o menor valor) e os dias GPS 053/11 e 014/13 (por apresentarem valores mais parecidos com o valor médio).

Observam-se na Tabela 10 os valores médios de MP1 e MP2 obtidos com o programa TEQC (seção 3.3.4) e os valores do PCO (Vertical) obtidos para os mesmos dias GPS. Calculou-se o valor médio, máximo, mínimo e desvio padrão para esses conjuntos de valores de MP1 e MP2. O Dia GPS 053/11 e o Dia GPS 290/11 apresentam o maior e menor valor (médio) de MP1, respectivamente. Confrontando essas informações com os valores de PCO (vertical) percebe-se que o maior e menor valor de PCO (vertical) em L1 foram obtidos para estes mesmos dias GPS. Os valores médios de MP2 são na ordem de metros sendo que o maior valor e menor valor ocorrem para os dias GPS 290/11 e 053/11, respectivamente. Porém confrontando essas informações com os valores do PCO (vertical) em L2 percebe-se

que o DIA GPS 290/11 apresenta o menor valor e o dia GPS 053/11 um valor próximo ao valor médio de 64,7mm (Tabela 8).

TABELA 10 – TRM22020.00+GP- PCO (VERTICAL) L1 e L2 versus MP1 e MP2

Dia GPS/Ano	Multicaminho (m)		PCO (Vertical) (mm)	
	MP1	MP2	L1	L2
045/11	0,26	1,47	52,13	67,33
053/11	0,29	1,31	54,86	65,63
290/11	0,23	1,54	49,74	63,14
014/13	0,28	1,47	52,72	64,36
Média	0,27	1,45		
Desvio Padrão	0,03	0,10		
Máximo	0,29	1,54		
Mínimo	0,23	1,31		

FONTE: AUTORA (2014)

Após a análise dos valores médios comparou-se os dias GPS que apresentaram maior e menor valor de MP1 e MP2 para esta antena (TRM22020.00+GP). Visualizam-se nas FIGURAS 67 e 68 os valores máximos, mínimos, médios (seta) e desvio padrão de MP1 (representado no eixo secundário vertical) para os dias GPS 053/11 e 290/11, respectivamente.

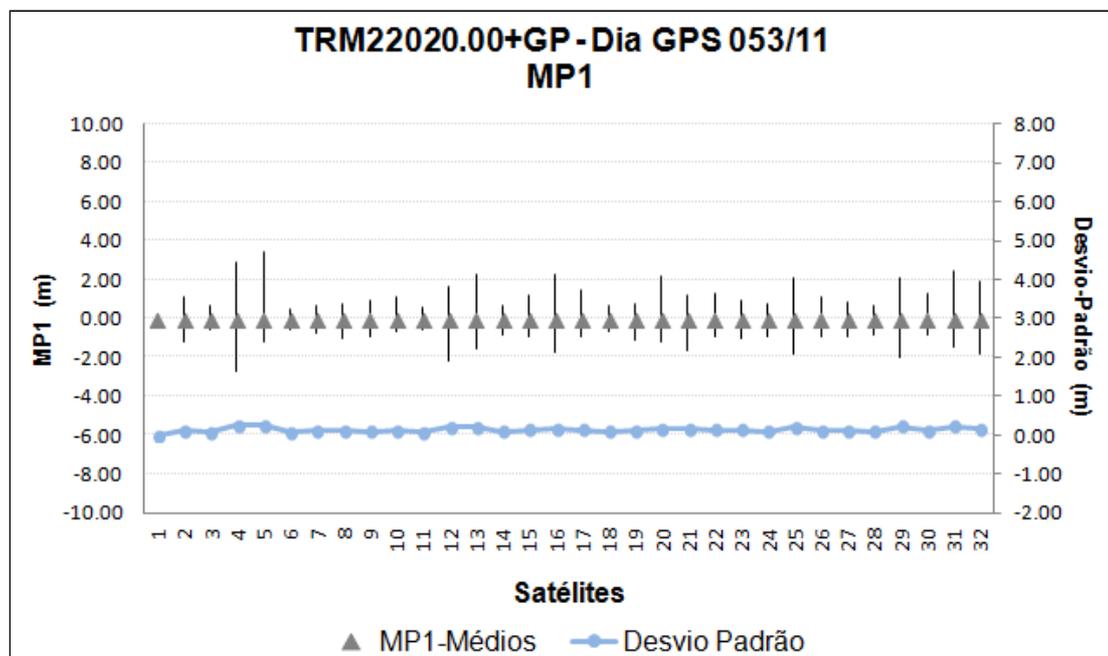


FIGURA 67- TRM22020.00+GP – MP1 E DESVIO PADRÃO VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 053/11
FONTE: AUTORA (2014)

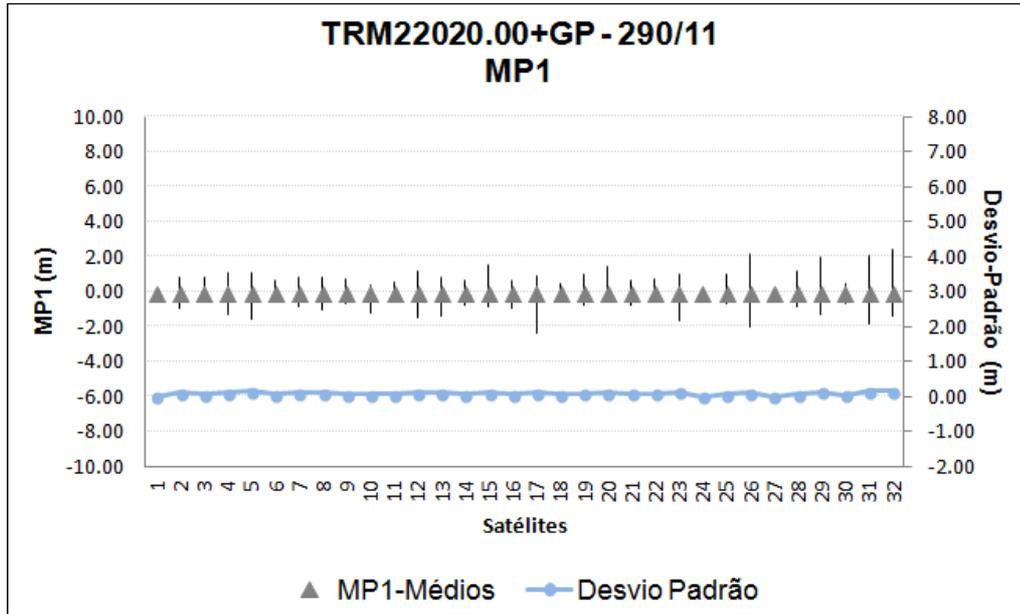


FIGURA 68- TRM22020.00+GP – MP1 E DESVIO PADRÃO VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 290/11
 FONTE: AUTORA (2014)

Calcularam-se as diferenças entre os valores máximos, mínimos, médios e de desvio padrão a partir da subtração dos valores do dia GPS 053/11 e Dia GPS 290/11 e esses podem ser visualizados na FIGURA 69. Percebe-se que as maiores diferenças máximas ocorrem para o Dia GPS 053/11, para o satélite 5 tem-se uma diferença de 2,3 m. As diferenças entre os valores médios e desvio padrão são inferiores a 25 cm.

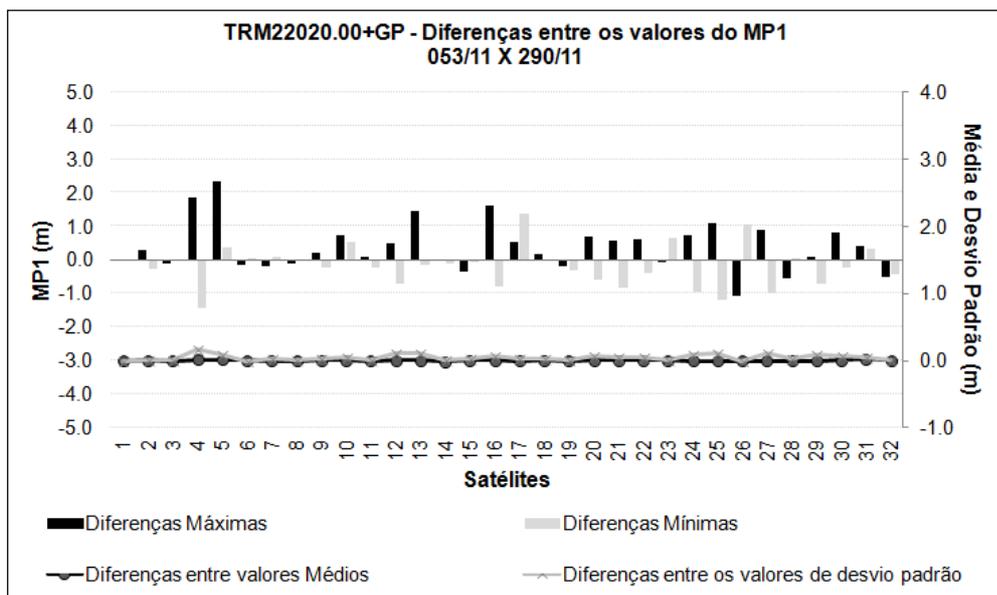


FIGURA 69- TRM22020.00+GP – MP1 COMPARAÇÃO DIA GPS 053/11 E DIA GPS 290/11
 FONTE: AUTORA (2014)

Nas FIGURAS 70 e 71 os valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão de MP2 para os dias GPS 053/11 e 290/11, respectivamente. Percebe-se que os valores são da ordem de metros e que as maiores variações do MP2 para cada satélite são observadas para o Dia GPS 290/11 (FIGURA 71).

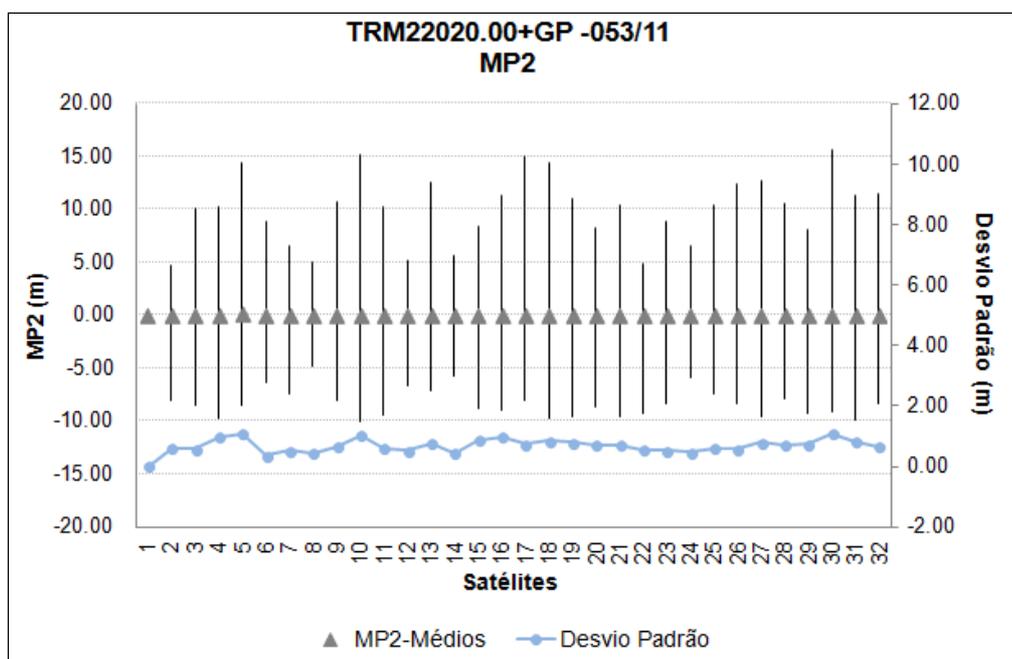


FIGURA 70- TRM22020.00+GP – MP2 E DESVIO PADRÃO VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES DO DIA GPS 053/11
FONTE: AUTORA (2014)

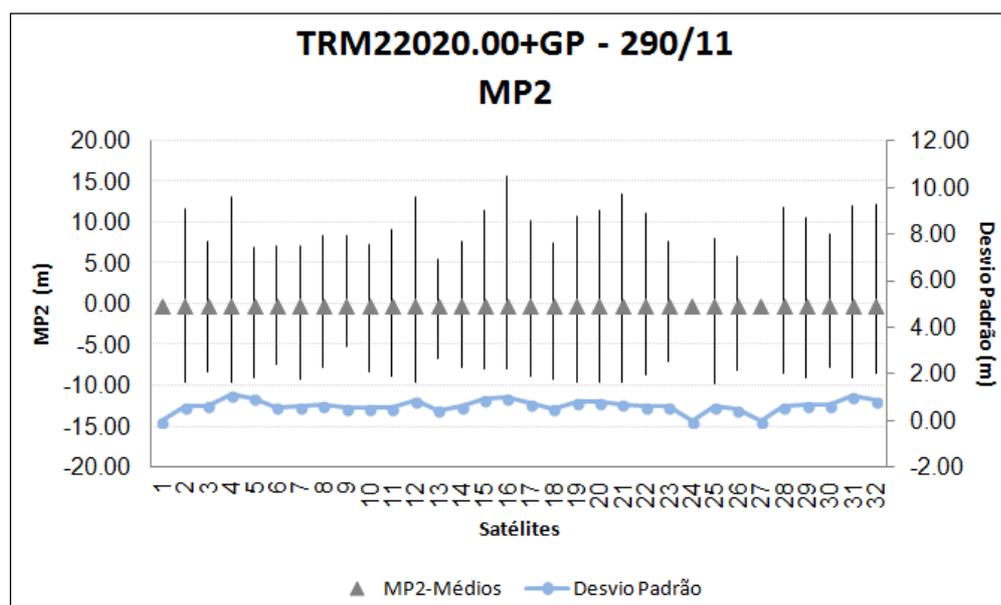


FIGURA 71- TRM22020.00+GP – MP2 E DESVIO PADRÃO VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES DO DIA GPS 290/11
FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças entre os valores máximos, mínimos, médios e de desvio padrão calculadas a partir da subtração dos valores dos experimentos (Dia GPS 053/11 e Dia GPS 290/11) podem ser visualizados na FIGURA 72. Percebe-se que os maiores diferenças máximas são observadas para o Dia GPS 053/11, tendo-se para o satélite 27 o valor de aproximadamente 13 m. As diferenças entre os valores médios e desvio padrão são inferiores a 1 m.

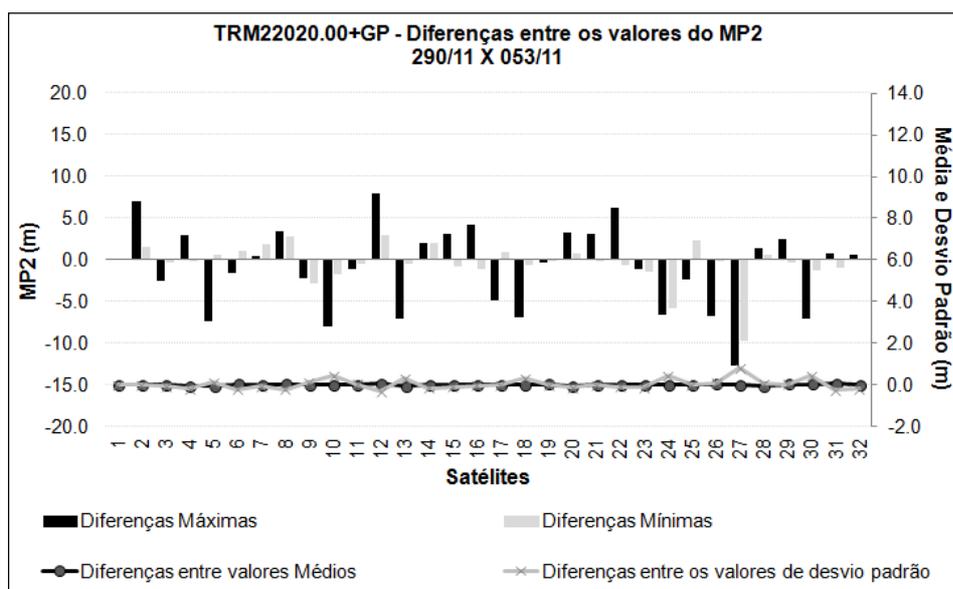


FIGURA 72- TRM22020.00+GP – MP2 COMPARAÇÃO DIA GPS 290/11 E DIA GPS 053/11
 FONTE: AUTORA (2014)

4.2.2 ANTENA LEIAX1202GG (A e B)

Nessa seção apresenta-se a comparação dos valores do PCO para as componentes: norte, leste e vertical para as portadoras L1 e L2 das duas antenas do modelo LEIAX1202GG (A e B), obtidos com a antena de referência LEIAR 25. Essas antenas são fabricadas pela *Leica Geosystems Products* e produzidas no ano de 2008. Desde o início do ano de 2011 vem sendo realizados experimentos visando determinar os parâmetros de calibração dessas antenas na BCAL/UFPR (seção 3.1).

Apresentam-se ainda nessa seção a comparação dos valores das componentes verticais (L1 e L2) confrontadas e correlacionadas com as variáveis meteorológicas e efeito do multicaminho.

4.2.2.1 PCO (LEIAX1202GG(A))

Na Tabela 11 têm-se os parâmetros de calibração da antena LEIAX1202GG-A obtidos através da calibração relativa. Foram realizados seis experimentos nos meses de maio, agosto e setembro de 2011, março e outubro de 2012 e janeiro de 2013. Obtiveram-se as componentes: norte, leste e vertical para o PCO, para ambas as portadoras; os valores médios; os desvios-padrão; valores máximos e mínimos. Comparando os valores das componentes do PCO observa-se que as maiores variações (9,4mm) ocorrem para a componente vertical da portadora L1, apresentando também o maior valor de desvio padrão (2,1 mm). Para a componente vertical da portadora L2 a diferença entre os valores máximo e mínimo foi de 8,0 mm, e um desvio padrão igual a 1,9 mm.

TABELA 11 – LEIAX1202GG (A) - PCO (NORTE, LESTE E VERTICAL)

Dia GPS/Ano	Experimentos	PCO (norte, leste, vertical) – mm - L1			PCO (norte, leste, vertical) – mm - L2		
		Norte	Leste	Vertical	Norte	Leste	Vertical
132/11	Experimento 1-março/11	0,7	-1,3	62,7	-0,1	0,7	63,2
133/11		0,7	-1,3	62,7	-0,1	0,7	63,0
134/11		1,1	-1,6	65,5	-0,4	0,7	63,8
242/11	Experimento 2-agosto/11	1,9	-0,3	65,5	-0,8	0,5	64,4
244/11	Experimento 3-setembro/11	1,5	-0,3	63,9	-0,6	0,3	64,0
245/11		1,6	-0,2	63,2	-0,8	0,3	63,6
246/11		1,4	-0,2	63,6	-0,7	0,3	63,7
247/11		1,5	-0,2	63,4	-0,7	0,2	63,9
269/11		1,5	-0,1	62,9	-0,6	0,2	63,3
270/11		1,3	-0,9	62,6	-0,4	0,5	62,7
271/11		1,2	-1,2	63,0	-0,4	0,5	63,2
273/11		1,2	-0,8	63,1	-0,4	0,5	63,0
274/11		1,2	-1,0	64,4	-0,4	0,5	64,0
093/12	Experimento 4-março/12	1,2	-1,0	64,4	-0,4	0,5	64,0
094/12		1,4	-0,6	63,4	-0,5	0,3	64,2
095/12		1,4	-0,5	63,6	-0,5	0,3	64,5
280/12	Experimento 5-outubro/12	1,3	-0,5	63,6	-0,5	0,3	64,4
283/12		1,2	-0,9	63,6	-0,5	0,4	63,8
284/12		1,1	-0,8	63,9	-0,4	0,5	64,2
007/13	Experimento 6-janeiro/13	1,0	-1,1	58,1	-0,5	0,6	58,2
008/13		1,0	-1,2	57,4	-0,5	0,7	57,5
Valor Médio		1,3	-0,8	63,2	-0,5	0,4	63,2
Desvio Padrão		0,3	0,4	2,1	0,2	0,2	1,9
Valor Máximo		1,9	-0,1	66,8	-0,1	0,7	65,5
Valor Mínimo		0,7	-1,6	57,4	-0,8	0,2	57,5

FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 73 observam-se os valores das componentes: norte e leste, para a portadora L1, dos experimentos realizados ao longo de dois anos.

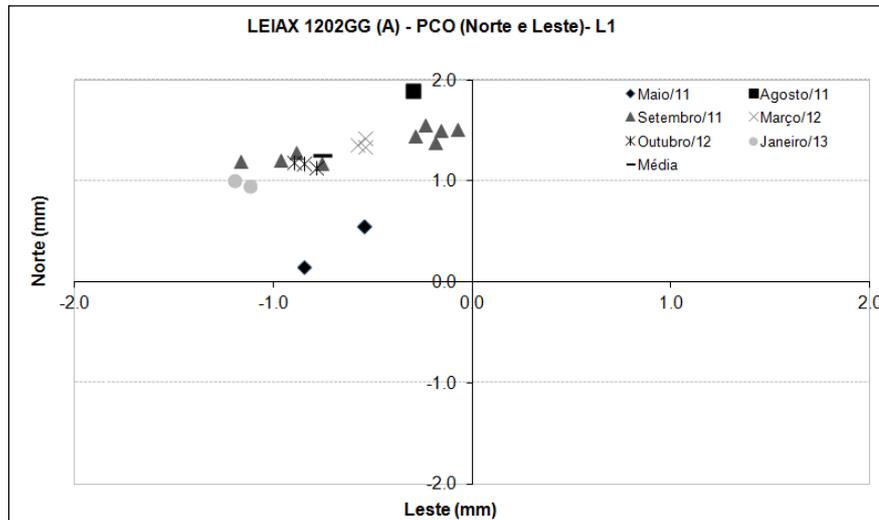


FIGURA 73- LEIAX1202GG (A) - COMPONENTES NORTE E LESTE (L1)
 FONTE: AUTORA (2014)

Verifica-se que as maiores variações do PCO (norte e leste) para a portadora L1 quando comparados com os valores médios são obtidas para os experimentos realizados em maio (Dia GPS 134/11) e agosto (Dia GPS 242/11), do ano de 2011.

Na FIGURA 74 observam-se os valores do PCO (norte e leste) para a portadora L2. Percebe-se uma variação bidimensional menor que 1 mm, todos os valores são precisos com relação ao valor médio utilizado como referência para essa análise.

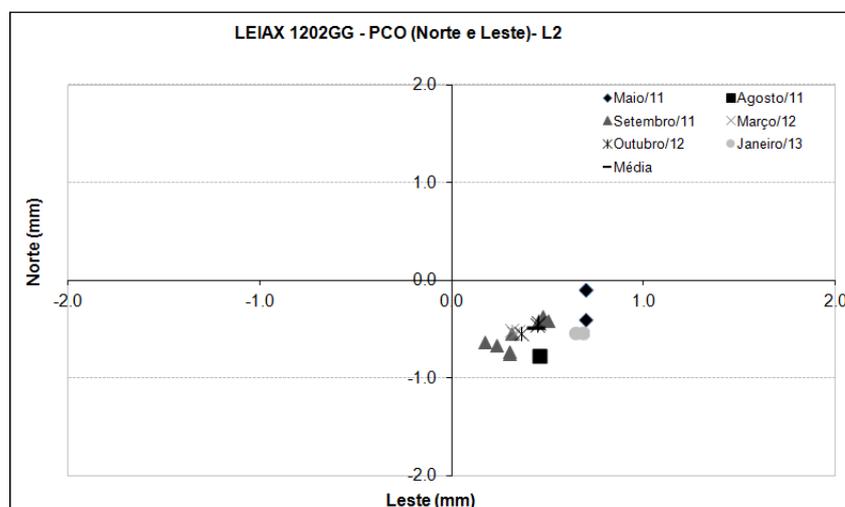


FIGURA 74- LEIAX1202GG (A) - COMPONENTES NORTE E LESTE (L2)
 FONTE: AUTORA (2014)

Nas FIGURAS 75 e 76 visualizam-se os valores da componente vertical do PCO para as portadoras L1 e L2, respectivamente. Verifica-se que os valores mais divergentes, para ambas as portadoras, foram os realizados em janeiro de 2013-experimento 6.

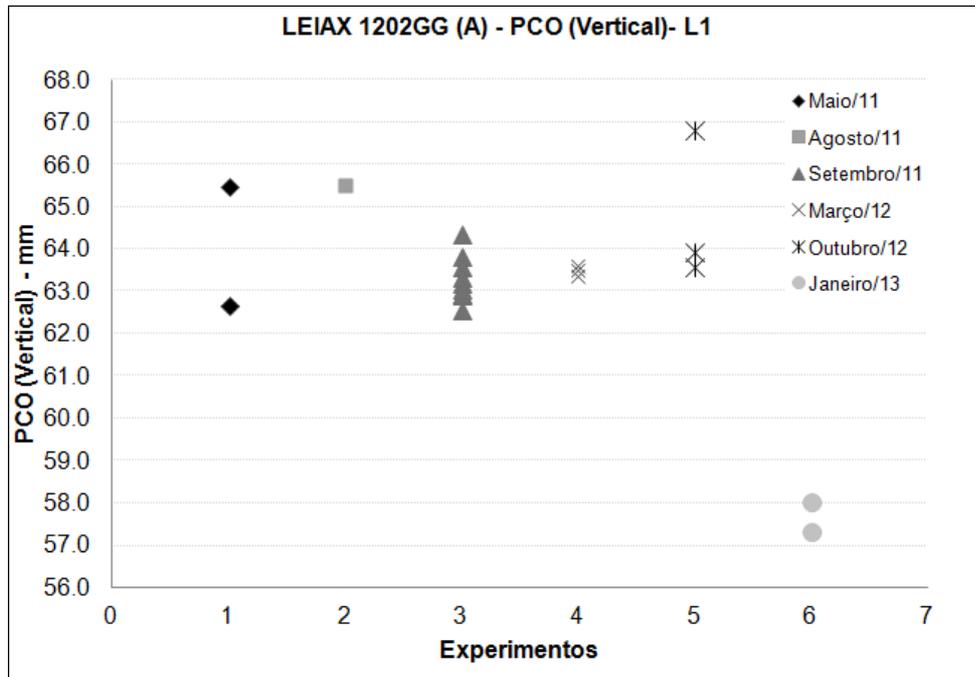


FIGURA 75- LEIAX1202GG (A) - COMPONENTE VERTICAL (L1)
 FONTE: AUTORA (2014)

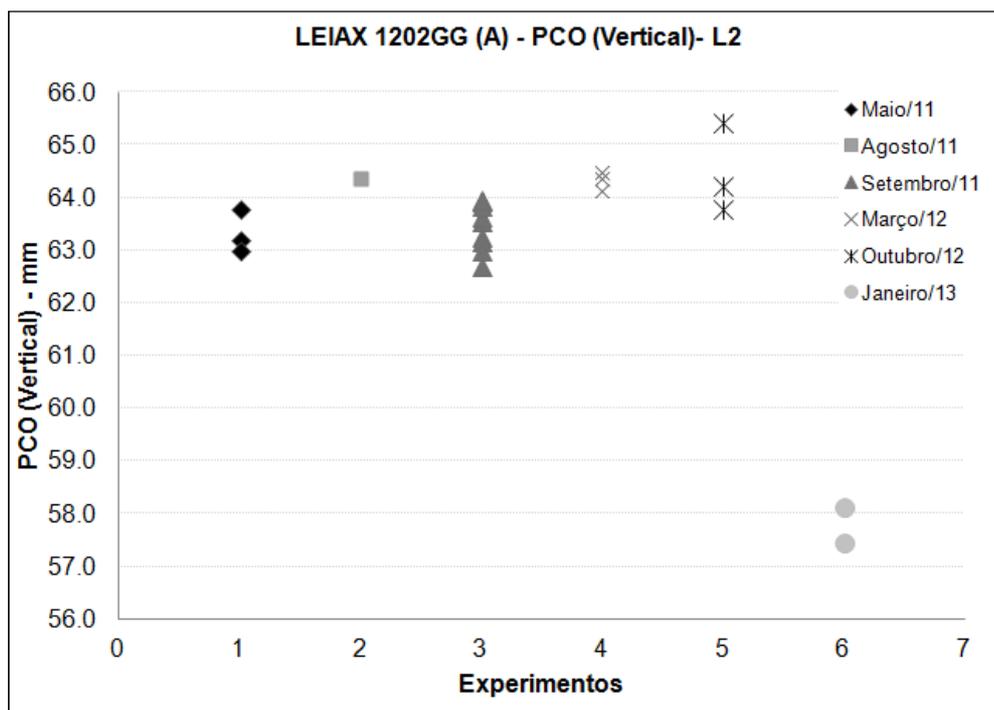


FIGURA 76- LEIAX1202GG (A) - COMPONENTE VERTICAL (L2)
 FONTE: AUTORA (2014)

Com os valores médios, máximos e mínimos (Tabela 11) calculados foram realizadas comparações entre os experimentos. Adotou-se como padrão o valor médio, máximo e mínimo e as diferenças entre esses valores e os valores obtidos para cada experimento foram calculadas. Visualizam-se na FIGURA 77 e FIGURA 78, as diferenças tridimensionais (3D) obtidas para as ondas portadoras L1 e L2, respectivamente.

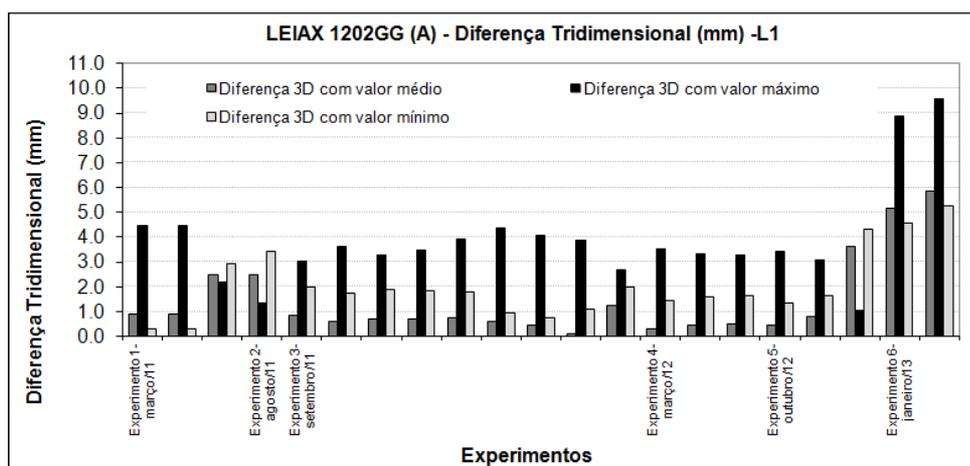


FIGURA 77- LEIAX1202GG (A) DIFERENÇA 3D (L1)
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 77 visualiza-se que em 15 dos 21 dias de experimentos realizados as diferenças 3D dos valores médios variam até 1 mm. Observa-se que os dois dias do experimento 6, realizados em janeiro de 2013, apresentam as maiores diferenças 3D obtidas com o valor médio, máximo e mínimo.

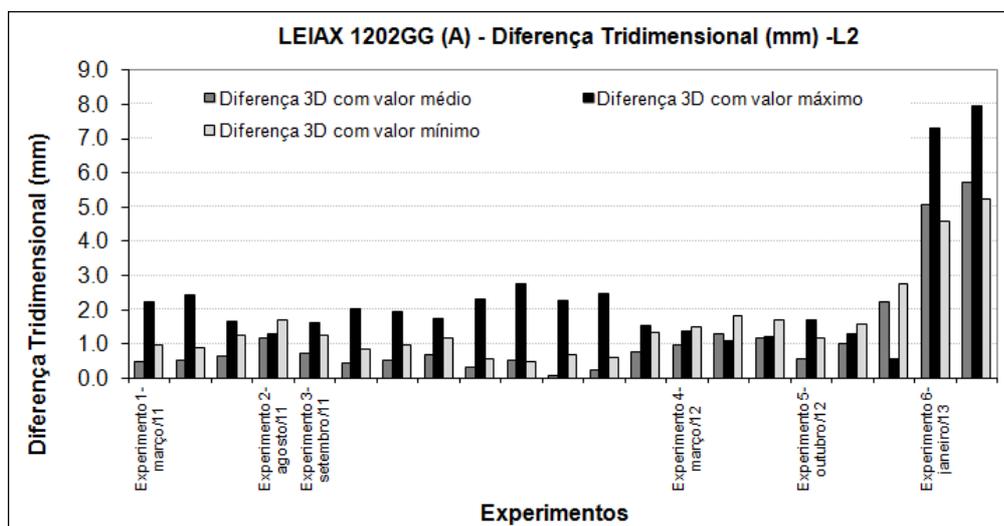


FIGURA 78- LEIAX1202GG (A) DIFERENÇA 3D (L2)
 FONTE: AUTORA (2014)

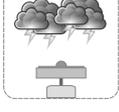
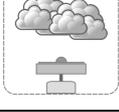
Observa-se na FIGURA 78 que as diferenças 3D obtidas com os valores médios são menores que 1 mm em 67% dos dias dos experimentos realizados.

Quando se comparam as FIGURAS 77 e 78 constata-se que as maiores variações 3D são para a onda portadora L1.

4.2.2.2 Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Variáveis Meteorológicas (LEIAX1202GG (A))

Nessa seção se correlaciona algumas variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação) com as componentes verticais (L1 e L2), seguindo-se as análises.

Os valores das variáveis meteorológicas de dezessete dias de experimentos realizados nos anos de 2011, 2012 e 2013 estão indicados no QUADRO 5.

Dia GPS/ Ano	Condição Meteorológica	Temperatura (°C)			Umidade Relativa do Ar (%)			Precipitação (mm)	
		Máx	Mín	Média	Máx	Mín	Média	Máx	% de Chuva
132/11		24,1	13,6	16,9	88,0	48,0	75,2	0,0	0,0
133/11		17,2	12,4	14,8	87,0	63,0	77,3	0,2	4,2
134/11		17,3	12,0	13,9	91,0	59,0	81,0	10,6	45,8
242/11		18,1	17,0	10,7	93,0	90,0	64,2	4,8	29,2
244/11		20,6	6,2	10,6	89,0	37,0	64,2	0,0	0,0
Continua									

245/11		28,1	7,1	16,5	93,0	20,0	60,8	0,0	0,0
246/11		29,5	12,6	20,7	94,0	17,0	52,1	2,6	12,5
247/11		17,4	11,0	13,4	91,0	62,0	77,8	0,2	4,2
269/11		25,1	8,8	15,7	88,0	25,0	64,2	0,0	0,0
270/11		23,9	8,8	15,6	88,0	32,0	64,7	0,0	0,0
271/11		26,7	10,9	16,5	81,0	24,0	62,3	0,0	0,0
273/11		31,8	13,8	22,9	78,0	18,0	49,2	0,0	0,0
274/11		32,0	14,6	18,2	93,0	22,0	77,6	4,8	0,0
280/12		31,4	15,0	20,9	92,0	28,0	71,0	0,0	0,0
284/12		29,6	18,7	23,5	67,0	14,0	46,7	0,0	0,0
007/13		29,0	19,1	23,9	86,0	49,0	69,4	1,4	16,7
008/13		27,1	18,1	20,9	92,0	49,0	78,2	1,4	8,3

Conclusão

QUADRO 5- VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS – LEIAX1202GG (A)

FONTE: AUTORA (2014)

Quadro 5 têm-se nas colunas 1 a 10 são indicados: o Dia GPS de cada experimento e ano; o símbolo que –representa as condições meteorológicas; os

valores máximos, mínimos e médios para a temperatura; os valores máximos, mínimos e médios da umidade relativa do ar; os valores máximos da precipitação e a porcentagem de chuva durante o período de calibração, respectivamente. Visualiza-se que há uma variação para a temperatura máxima de aproximadamente 14,7° C. A umidade relativa do ar tem uma variação para os valores máximos de aproximadamente 27 %. Analisando a precipitação máxima percebe-se que o valor máximo foi de 10,6 mm (Dia GPS 134/11) e para esse dia há a maior porcentagem de chuva, ou seja, 45 %.

Visando realizar análises e correlacionar a variação da componente vertical (L1 e L2) com as variáveis meteorológicas (QUADRO 5), têm se a FIGURAS 79, 80 e 81 apresentadas na sequência.

Os valores da componente vertical do PCO para as portadoras L1 e L2 (em milímetros) e os valores máximos, mínimos e médios da temperatura para cada dia de calibração estão indicados na FIGURA 79. Comparando o dia GPS 007/13 que apresenta uma variação maior para ambas as componentes verticais (L1 e L2) versus os experimentos realizados no Dia GPS 132/11 e Dia GPS 273/11 observa-se uma diferença de aproximadamente 5 mm para essas componentes (PCO vertical) e uma diferença entre as temperaturas mínimas de cerca de 4° C.

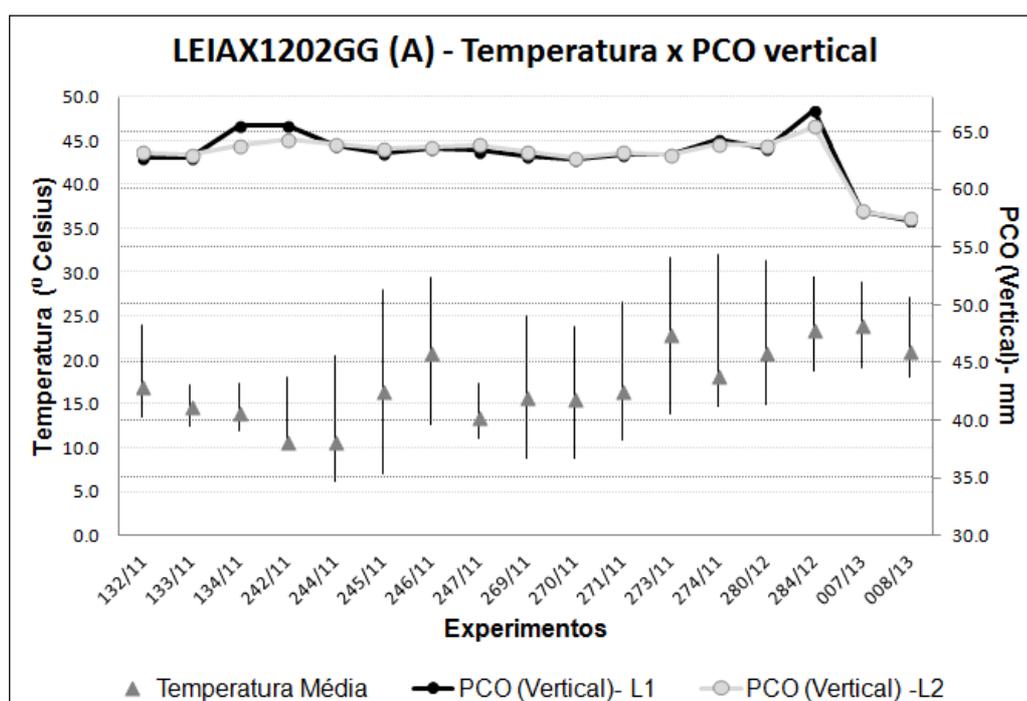


FIGURA 79- LEIAX1202GG (A) - PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E TEMPERATURA X EXPERIMENTOS
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 80 têm-se os valores da componente vertical do PCO para as portadoras L1 e L2 (em milímetros), e os valores máximos, mínimos e médios da umidade relativa do ar para cada experimento realizado. Visualiza-se que há uma variação maior para os valores médios da umidade relativa do ar. Comparando os valores do PCO vertical percebe-se que as menores variações ocorrem para os experimentos realizados do Dia GPS 270/11 ao Dia GPS 273/11.

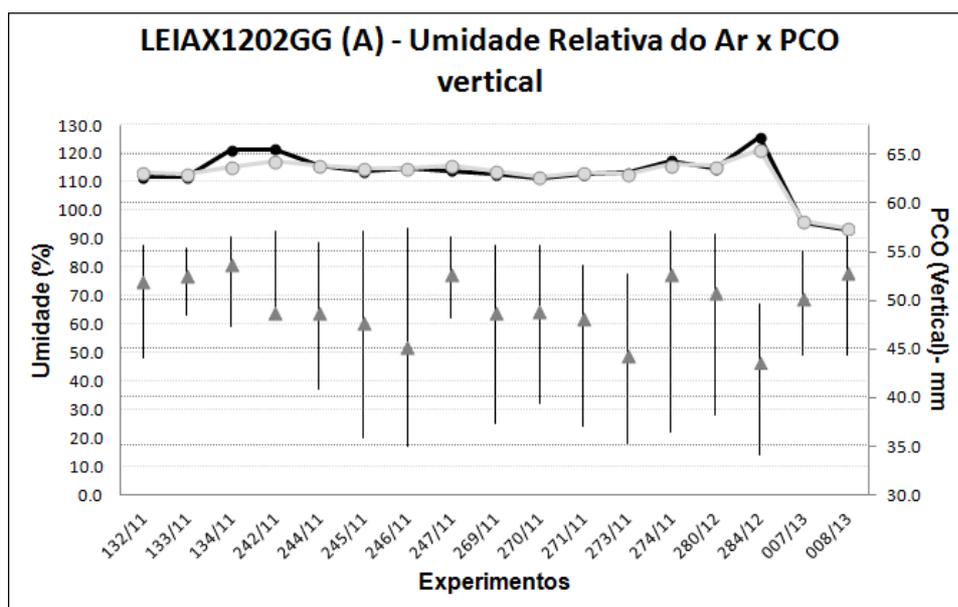


FIGURA 80- LEIAX1202GG (A)- PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E UMIDADE RELATIVA DO AR X EXPERIMENTOS
 FONTE: AUTORA (2014)

Os valores máximos de precipitação e porcentagem de chuva durante os períodos de calibração, bem como, com os valores da componente vertical do PCO (L1 e L2) podem ser observados na FIGURA 81. Percebe-se que durante os 17 dias de experimentos houve 8 dias com períodos de precipitação, sendo que a maior porcentagem de chuva ocorreu no Dia GPS 134/11. Visualiza-se que há variações do PCO vertical entre os experimentos em que há chuva e aqueles em que não ocorrem chuvas. Por exemplo, comparou-se o Dia GPS 134/11 com o Dia GPS 270/11 e se verificou uma variação de 2,9 mm e 1,1 mm para a componente vertical L1 e L2, respectivamente. Outra análise foi realizada entre o Dia GPS 134/11 e o Dia GPS 280/12 e obtiveram-se valores do PCO vertical iguais a 1,3 e 1,7 mm para L1 e L2, respectivamente. Analisando dois experimentos (Dia GPS 280/12 e Dia GPS 008/13) realizados em períodos sem chuva e com a precipitação inferior a 1 mm têm-se 5 mm de diferenças para o PCO vertical, para ambas as portadoras.

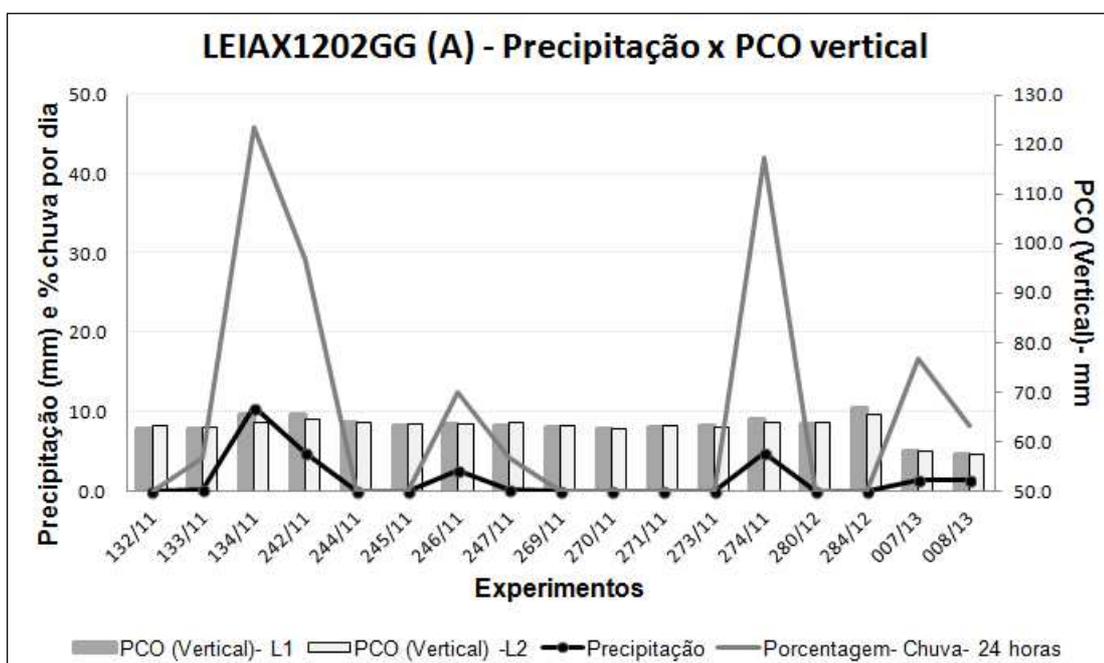


FIGURA 81- LEIAX1202GG (A) - PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E PRECIPITAÇÃO E % CHUVA POR DIA X EXPERIMENTOS
 FONTE: AUTORA (2014)

Observam-se na Tabela 12 os coeficientes de correlação (r) calculados para o PCO vertical para as portadoras L1 e L2 da antena LEIAX1202GG (A) versus as variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação - Quadro 5). Percebe-se que há uma fraca correlação entre PCO vertical (L1 e L2) e a temperatura (máxima, mínima e média), umidade (máxima e mínima) e a precipitação (mínima), coeficiente de correlação variou de -0,1 a -0,4. O coeficiente de correlação entre PCO Vertical (L1 e L2) versus precipitação máxima é positivo, porém fraco (r=0,1 a 0,3).

TABELA 12 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO - PCO VERTICAL VERSUS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS - LEIAX1202GG (A)

PCO Vertical (mm)	Temperatura (°)			Umidade Relativa do Ar (%)		Precipitação (mm)	
	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Máxima	% de Chuva
L1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,3	0,3
L2	-0,2	-0,4	-0,4	-0,2	-0,2	-0,3	0,1

FONTE: AUTORA (2014)

4.2.2.3 Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Efeito do Multicaminho (LEIAX1202GG (A))

Para a antena LEIAX1202GG (A) os valores do multicaminho (MP1 e MP2) foram realizados em sete experimentos, os quais apresentaram valores de PCO (vertical) mais discrepantes do conjunto de calibrações efetuadas. Optou-se por analisar os valores médio, máximo e mínimo do conjunto do PCO analisados. O Dia GPS 133/11 e Dia GPS 270/11 foram escolhidos por apresentarem valores mais parecidos com os valores médios, o Dia GPS 284/12 por ser o maior valor e o Dia GPS 008/13 por apresentar o menor valor.

Os valores médios de MP1 e MP2 obtidos com o programa TEQC e os valores do PCO (Vertical) obtidos para os mesmos dias GPS estão indicados na Tabela 7. Calculou-se o valor médio, máximo, mínimo e desvio padrão para esses conjuntos de valores de MP1 e MP2. Pode-se observar que os dias GPS que apresentam o maior e o menor valor de MP1 são Dia GPS 008/13 e Dia GPS 133/11, respectivamente. Para o MP2 observam-se valores máximos e mínimos para os dias Dia GPS 008/13 e Dia GPS 274/11, respectivamente. Comparando essas informações com os valores do PCO vertical em L1 e L2 percebe-se que os dias que apresentam menores valores de PCO vertical foram os que apresentam maiores valores de MP1 e MP2.

TABELA 13 – LEIAX1202GG (A)- PCO (VERTICAL) L1 e L2 versus MP1 e MP2

Dia GPS/Ano	Multicaminho (m)		PCO (Vertical) (mm)	
	MP1	MP2	L1	L2
133/11	0,53	0,55	62,70	63,00
242/11	0,57	0,55	65,52	64,36
270/11	0,54	0,61	62,59	62,70
274/11	0,57	0,54	64,38	63,97
284/12	0,57	0,58	66,82	65,45
007/13	0,64	0,61	58,05	58,15
008/13	0,69	0,86	57,35	57,49
Média	0,59	0,61		
Desvio Padrão	0,06	0,11		
Máximo	0,69	0,86		
Mínimo	0,53	0,54		

FONTE: AUTORA (2014)

Posterior à análise dos dias GPS que apresentaram os maiores e menores valores de MP1 e MP2. Visualizam-se nas FIGURAS 82 e 83 os valor máximos,

mínimos, médios de MP1, bem como, o desvio padrão para o Dia GPS 008/13 e Dia GPS 133/11, respectivamente. Percebe-se que os maiores valores ocorreram para o Dia GPS 008/13.

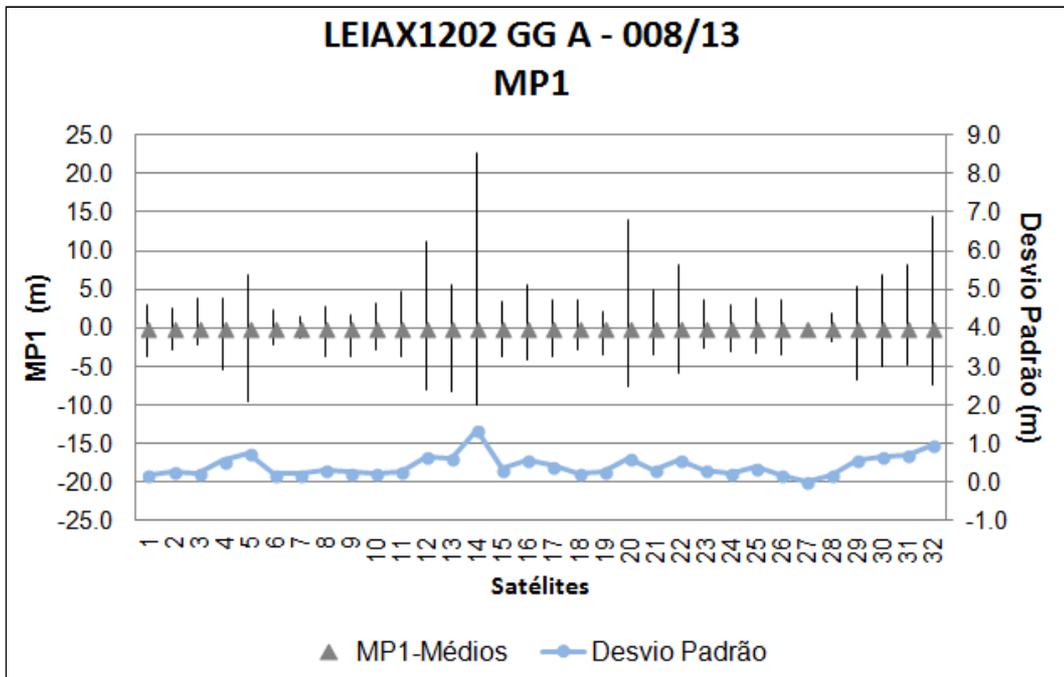


FIGURA 82- LEIAX1202GG (A) – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 008/13
 FONTE: AUTORA (2014)

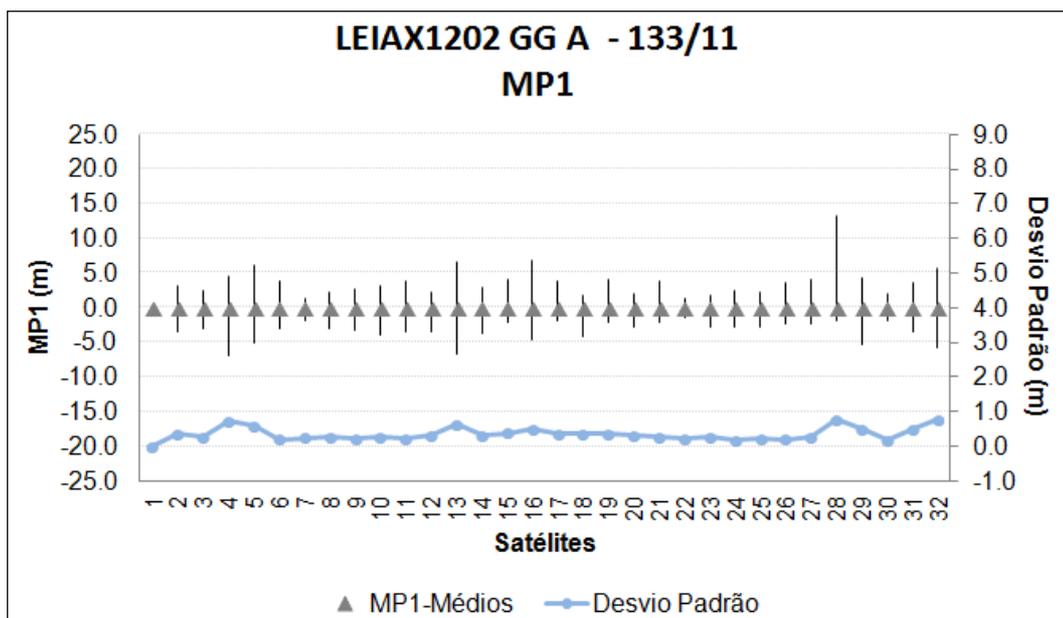


FIGURA 83- LEIAX1202GG (A) – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 133/11
 FONTE: AUTORA (2014)

Para verificar a magnitude da variação do MP1 para identificar a contribuição do efeito do multicaminho na determinação dos parâmetros de calibração realizaram-se algumas análises comparando as diferenças entre os valores máximos, mínimos, médios e de desvio padrão entre os experimentos Dia GPS 008/13 e Dia GPS 133/11. Essas análises podem ser visualizadas na FIGURA 84.

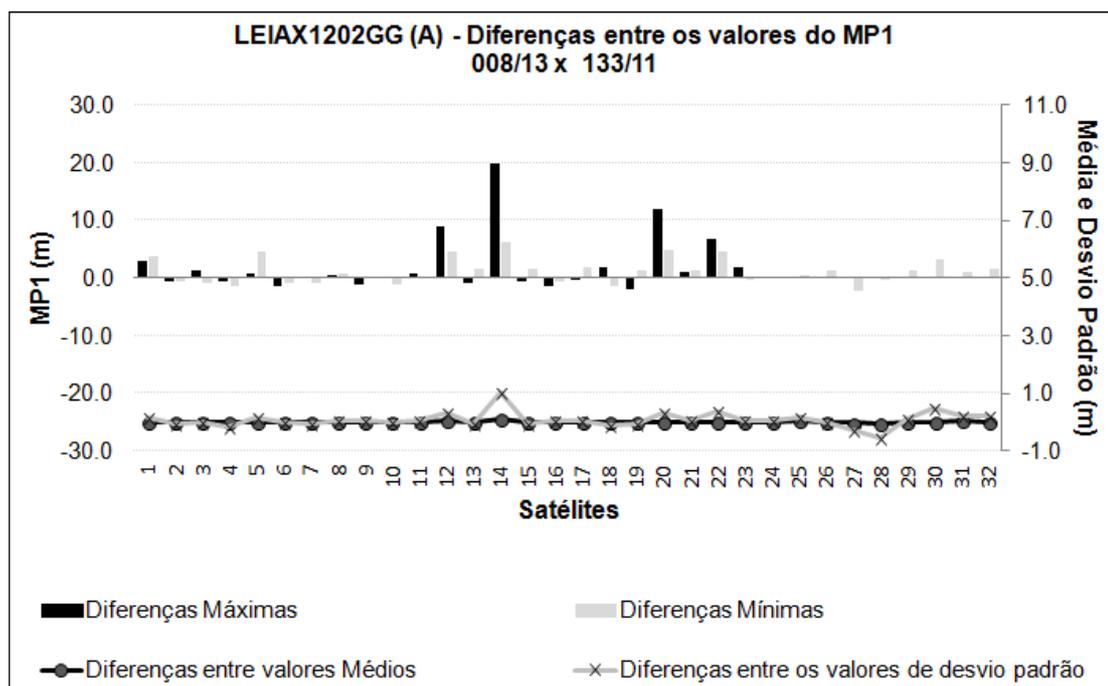


FIGURA 84- LEIAX1202GG (A) – MP1 COMPARAÇÃO PARA DIAS GPS 008/13 E 133/11
 FONTE: AUTORA (2014)

As maiores diferenças máximas e mínimas calculadas a partir da subtração entre os dias GPS 008/13 e 133/11 são observadas para os experimentos realizados para o Dia GPS 008/13. Para o satélite 14 a diferença máxima obtida do MP1 foi de 20 m. As diferenças entre os valores médios e desvio padrão são inferiores a 1 m.

Nas FIGURAS 85 e 86 têm-se os valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão para o MP2 do Dia GPS 008/13 e Dia GPS 274/11, respectivamente. Percebe-se que os valores são da ordem de metros e que as maiores variações são observadas para Dia GPS 008/13 (FIGURA 85).

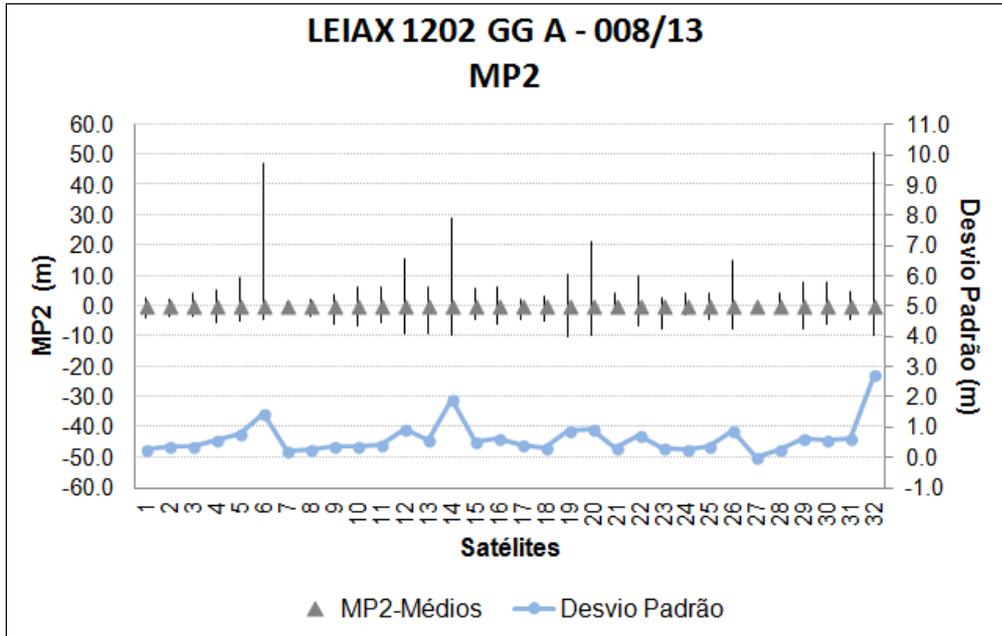


FIGURA 85- LEIAX1202GG (A) – MP2 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 008/13
 FONTE: AUTORA (2014)

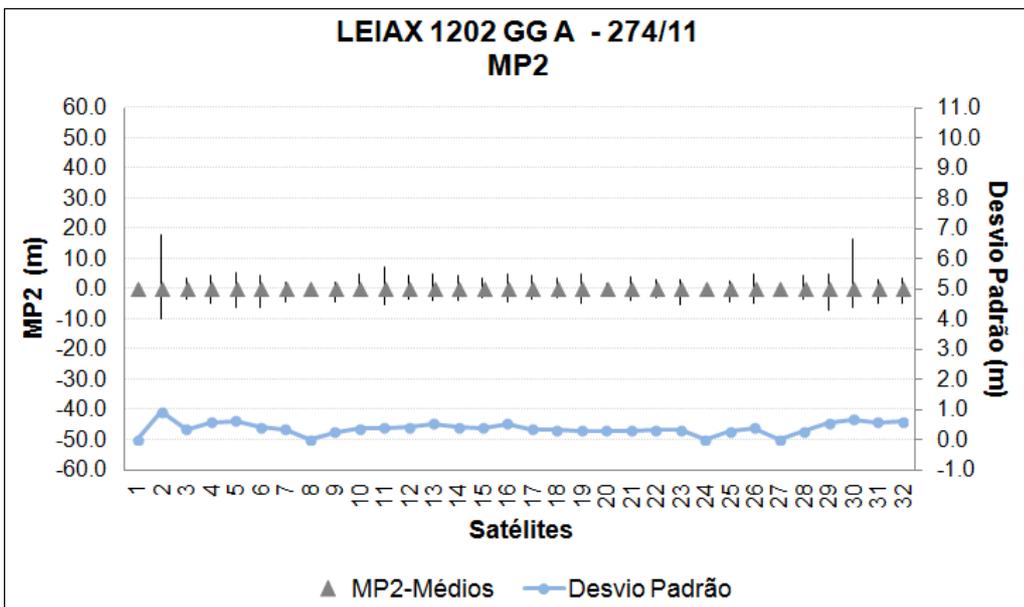


FIGURA 86- LEIAX1202GG (A) – MP2 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 274/11
 FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças entre os valores máximos, mínimos, médios e de desvio padrão entre os experimentos realizados no Dia GPS 008/13 e Dia GPS 274/11 podem ser visualizadas na FIGURA 87.

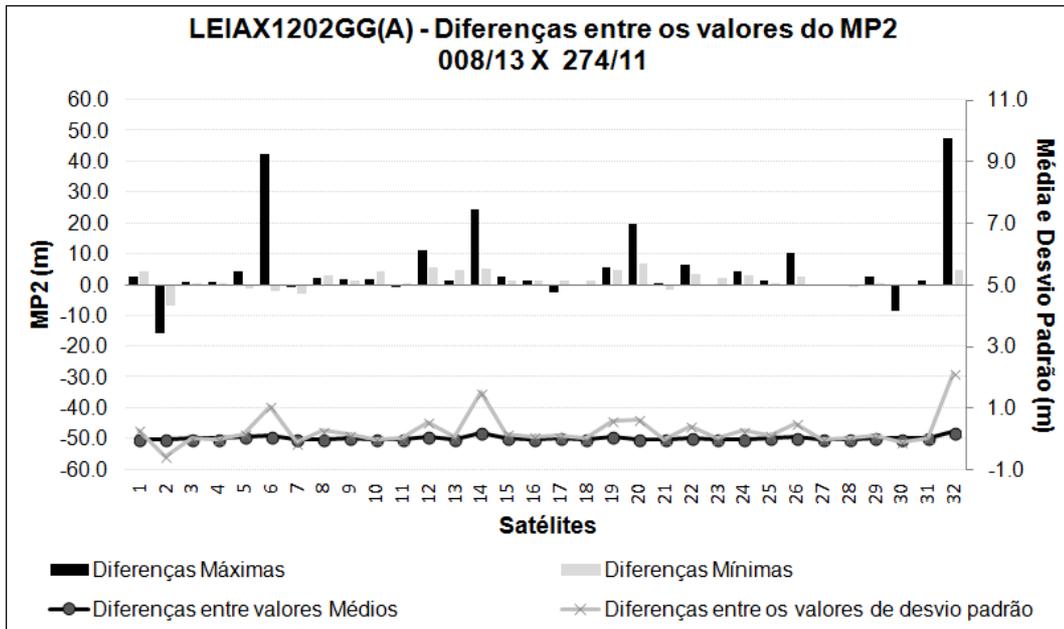


FIGURA 87- LEIAX1202GG (A) – MP2 DIA GPS 008/13 E DIA GPS 274/11
 FONTE: AUTORA (2014)

As maiores diferenças máximas e mínimas são observadas para os experimentos realizados no Dia GPS 008/13, valores esses retirados a partir da subtração entre os valores do Dia GPS 008/13 e Dia GPS 274/11. Os satélites 6 e 32 apresentam os maiores valores máximos, cerca de 45 m e as diferenças entre os valores de desvio padrão são superiores a 1 m, para esses satélites.

4.2.2.4 PCO (LEIAX1202GG B)

Na Tabela 14 observam-se os valores norte, leste e vertical do PCO para as portadoras L1 e L2, e verificam-se também os valores médios, desvios padrão, máximos e mínimos, esses que auxiliaram as análises para verificar da magnitude da variação. Para esta antena foram realizados 2 experimentos nos anos de 2011 (5 calibrações) e 2013 (2 calibrações). Efetuando uma comparação entre os experimentos constata-se que o desvio padrão é inferior a 1 mm para todas as componentes.

TABELA 14 – LEIAX1202GG (B)- PCO (NORTE, LESTE E VERTICAL)

PCO (norte, leste, vertical) – mm							
Dia GPS/Ano	Experimentos	L1			L2		
		Norte	Leste	Vertical	Norte	Leste	Vertical
264/11	Experimento 1- setembro/11	0,8	-0,9	64,2	-0,1	1,0	62,3
265/11		0,7	-1,1	64,1	-0,3	1,3	62,7
266/11		1,2	-1,2	63,4	-0,5	1,1	62,4
267/11		1,0	-1,0	63,1	-0,6	1,3	61,4
268/11		1,5	-0,1	62,9	-0,6	0,2	63,3
007/13	Experimento 2- janeiro/11	0,9	-1,0	64,8	-0,8	1,4	63,3
008/13		1,0	-1,0	65,0	-0,8	1,4	63,2
Valor Médio		1,0	-0,9	63,9	-0,5	1,1	62,6
Desvio Padrão		0,3	0,3	0,8	0,2	0,4	0,7
Valor Máximo		1,5	-0,1	65,0	-0,1	1,4	63,3
Valor Mínimo		0,7	-1,2	62,9	-0,8	0,2	61,4

FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 88 visualizam-se as diferenças 3D obtidas com os valores máximos, mínimos e médios para a portadora L1. As maiores diferenças (máximas, mínimas e médias) foram obtidas para os experimentos realizados em janeiro de 2013. Essas maiores diferenças variaram de 1 mm a 7 mm.

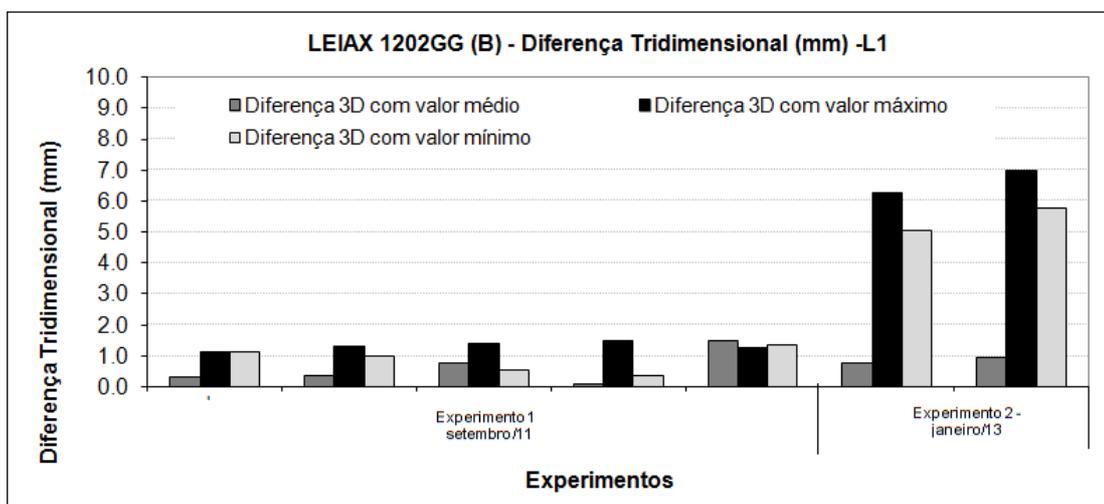


FIGURA 88- LEIAX1202GG (B)- DIFERENÇA 3D (L1)

FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças 3D obtidas com os valores máximos, mínimos e médios para a portadora L2 estão representadas na FIGURA 89. Observa-se que as maiores diferenças obtidas com os valores máximos ocorrem para os experimentos realizados em janeiro de 2013. Conclui-se então que esses experimentos apresentam os maiores valores da componente vertical, visto que essa componente é a que mais influência na determinação do valor tridimensional. Ao se comparar as

FIGURAS 88 e 89 observou-se que as maiores variações encontram-se para a portadora L2.

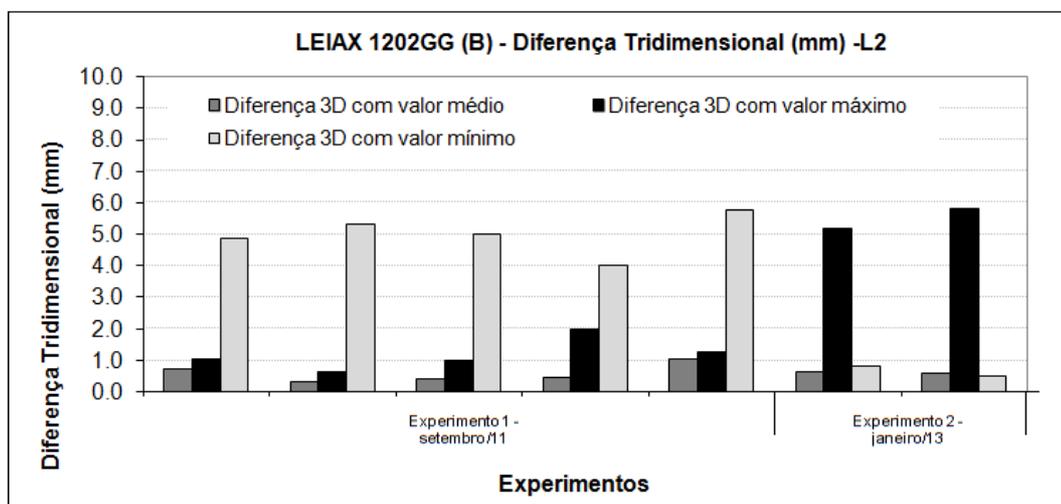


FIGURA 89- LEIAX1202GG (B)- DIFERENÇA 3D (L2)
 FONTE: AUTORA (2014)

4.2.2.5 Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Variáveis Meteorológicas (LEIAX1202GG (B))

Nessa seção são relacionadas as variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação) observadas durante a calibração da antena LEIAX1202GG (B) com as componentes verticais para as portadoras L1 e L2.

O QUADRO 6 apresenta em suas colunas informações quanto as variáveis meteorológicas para os 7 experimentos realizados nos anos de 2011 e 2013, sendo composto das seguintes informações: Dia GPS e ano da calibração; simbologia indicativa das condições meteorológicas observadas durante a calibração; valores máximos, mínimos e médios para a temperatura; valores máximos, mínimos e médios para umidade relativa do ar; os valores máximos da precipitação e a porcentagem de chuva durante o período de calibração.

Dia GPS/Ano	Condição Meteorológica	Temperatura (°C)			Umidade Relativa do Ar (%)			Precipitação (mm)	
		Máx	Mín	Média	Máx	Mín	Média	Máx	% de Chuva
264/11		24,7	12,5	15,7	85,0	37,0	73,1	0,0	0,0
265/11		24,7	12,5	16,7	85,0	27,0	68,8	0,0	0,0
266/11		17,6	12,5	14,3	89,0	54,0	77,0	0,0	0,0
267/11		13,9	9,7	11,4	89,0	67,0	78,7	0,2	0,2
268/11		21,7	11,0	14,0	91,0	41,0	75,6	0,2	0,2
009/13		28,8	16,4	20,1	88,0	43,0	70,5	0,2	0,2
010/13		24,2	13,1	17,8	83,0	41,0	68,0	0,0	0,0

QUADRO 6- VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS – LEIAX1202GG (B)
 FONTE: AUTORA (2014)

Analisando o Quadro 6 percebe-se que as variáveis meteorológicas que apresentam uma maior variação entre as calibrações (Experimentos 1 a 7) é a temperatura máxima (4,9° C) e umidade relativa do ar mínima (20 %). Houve precipitação em 3 dos 7 experimentos, valor esse inferior a 0,2 mm.

Na FIGURA 90 observam-se os valores de temperaturas (máximas, mínimas e médias) para cada experimento confrontado com os valores do PCO Vertical (para L1 e L2). Uma variação de 2 mm nos valores do PCO Vertical, para ambas as portadoras, entre os experimentos Dia GPS 267/11 e Dia GPS 009/13 é verificada. Tendo ocorrido um aumento de 15° C para a temperatura máxima e uma variação da temperatura média de 9° C.

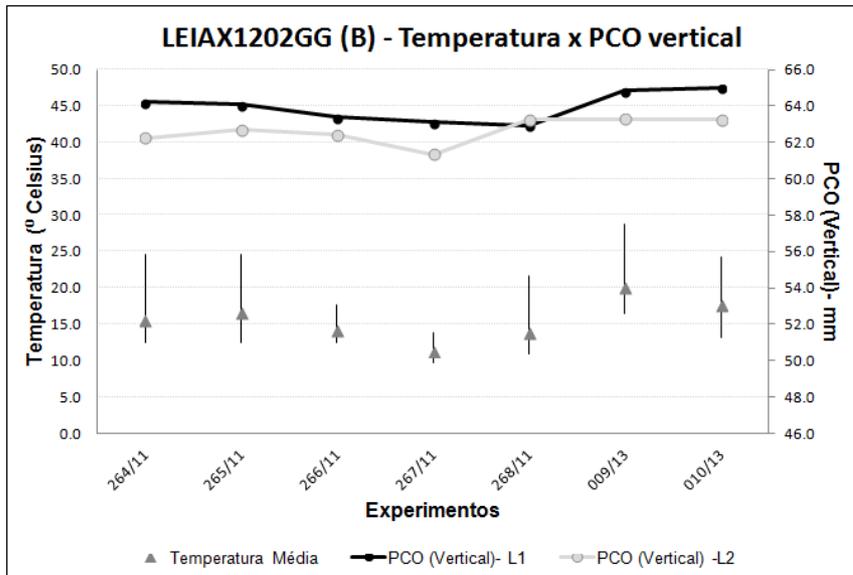


FIGURA 90- LEIAX1202GG (B) - PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E TEMPERATURA X EXPERIMENTOS
 FONTE: AUTORA (2014)

Os valores da umidade relativa do ar (máxima, mínima e média) confrontado com os valores do PCO Vertical para as portadoras L1 e L2 podem ser visualizados na FIGURA 91. Observa-se uma amplitude maior (de 60%) entre os valores máximos e mínimos para o experimento realizado Dia GPS 26/11. Comparando esse experimento com o realizado no Dia GPS 009/13, o qual apresenta maior variação do PCO vertical (L1 e L2), têm-se uma variação de 2 mm para a PCO Vertical para a portadora L2.

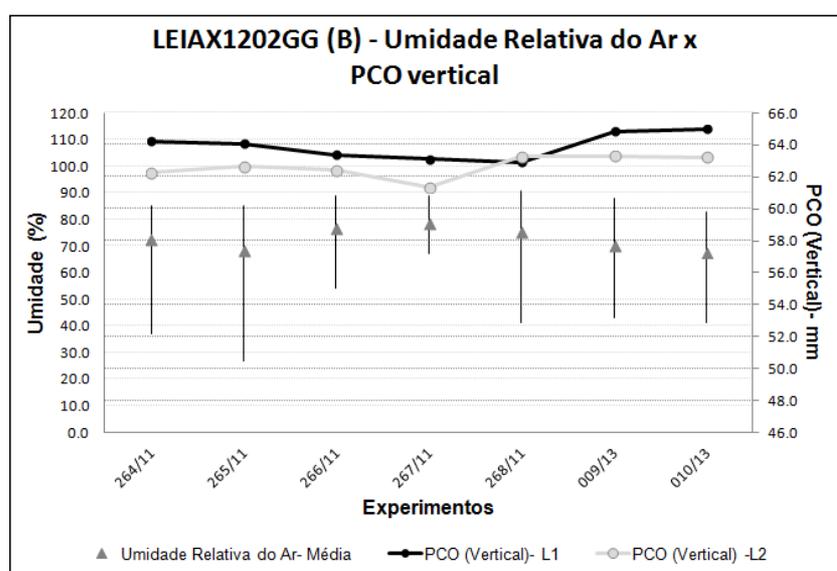


FIGURA 91- LEIAX1202GG (B) - PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E UMIDADE RELATIVA DO AR X EXPERIMENTOS
 FONTE: AUTORA (2014)

Os valores da precipitação e porcentagem de chuva durante o período de realização de cada uma das calibrações, bem como, os valores do PCO Vertical para ambas as portadoras podem ser visualizados na FIGURA 92. Em 3 experimentos houve pequenos períodos de precipitação e elas não foram superiores a 0,2 mm. Comparando os valores do PCO Vertical para esses mesmos experimentos (Dia GPS 267/11, Dia GPS 268/11 e Dia GPS 009/13) verificou-se que a maior variação ocorreu para o Dia GPS 009_13, sendo igual a 1,31 mm para o PCO Vertical em L1 e de 1,26 mm para o experimento 267/11 para o PCO Vertical em L2.

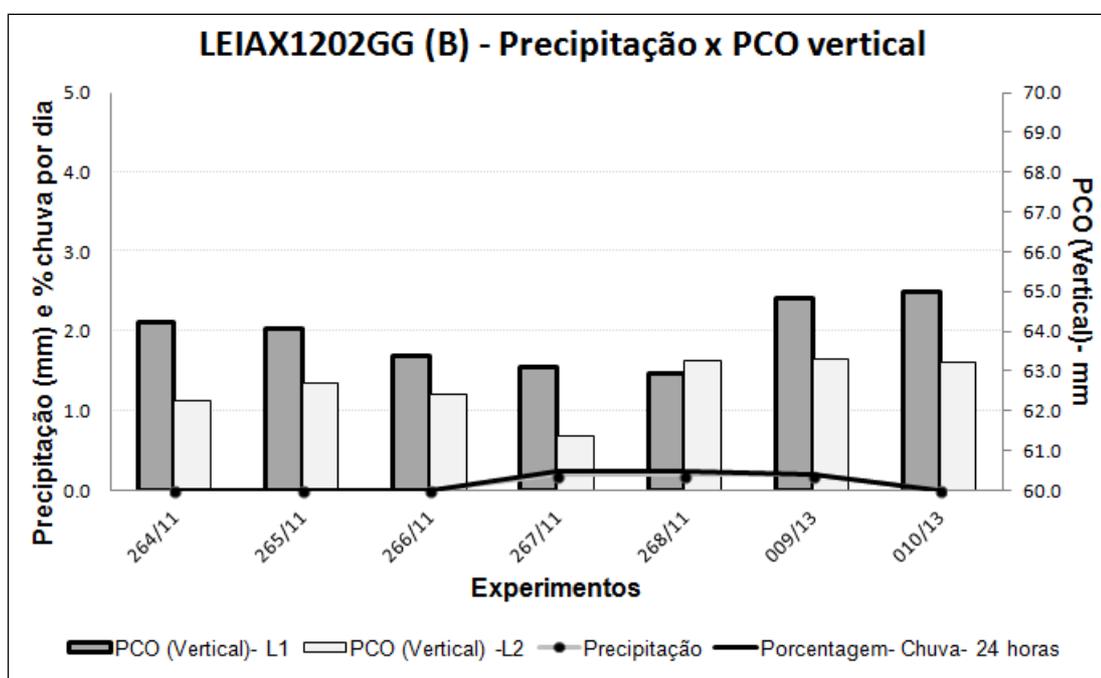


FIGURA 92- LEIAX1202GG (B) - PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E PRECIPITAÇÃO E % CHUVA POR DIA X EXPERIMENTOS
 FONTE: AUTORA (2014)

Observam-se na Tabela 15 os coeficientes de correlação (r) calculados para o PCO vertical para as portadoras L1 e L2 da antena LEIAX1202GG (B) versus as variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação - Quadro 6).

TABELA 15 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO - PCO VERTICAL VERSUS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS - LEIAX1202GG (B)

PCO Vertical (mm)	Temperatura (°)			Umidade Relativa do Ar (%)		Precipitação (mm)	
	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Máxima	% de Chuva
L1	0,8	0,8	0,9	-0,8	-0,5	-0,9	-0,4
L2	0,8	0,6	0,7	-0,1	-0,6	-0,6	0,0

FONTE: AUTORA (2014)

Percebe-se que há uma forte correlação entre PCO vertical (L1) e a temperatura (máxima, mínima e média), valores que variam de 0,8 a 0,9. Observa-se uma forte correlação negativa entre PCO vertical (L1) e umidade (máxima) e o PCO vertical (L1) e a precipitação (média). Para o PCO Vertical (L2) versus temperatura máxima visualiza-se uma forte correlação e nenhuma correlação com a precipitação máxima.

4.2.2.6 Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Efeito do Multicaminho (LEIAX1202GG (B))

A análise dos valores do multicaminho (MP1 e MP2) foi realizada para três dias de calibrações (Dia GPS 267/11, Dia GPS 268/11 e Dia GPS 010/11) que apresentaram PCO (vertical) mais discrepantes para o conjunto de dados. Para o PCO vertical em L1 os dias que apresentam valor mais próximo ao médio, maior e menor valor são: dia GPS 267/11, dia GPS 268/11 e dia GPS 268/11, respectivamente. O valor do PCO (vertical), em L2, apresentou o maior valor, o menor valor e o valor mais próximo do valor médio para os dias Dia GPS 010/11, Dia GPS 267/11 e Dia GPS 268/11, respectivamente.

Na Tabela 16 são apresentados os valores de MP1 e MP2 obtidos com o programa TEQC e os valores do PCO (Vertical) para as portadoras L1 e L2, para as três calibrações anteriormente citadas. Confrontando os valores de PCO (vertical) em L1 com os valores de MP1 verifica-se que o Dia GPS 268/11 apresenta menores valores de MP1 e MP2, ressalta que para esse dia têm-se o menor valor de PCO vertical em L1.

TABELA 16 – LEIAX1202 GG B- PCO (VERTICAL) L1 e L2 versus MP1 e MP2

Dia GPS/Ano	Multicaminho (m)		PCO (Vertical) (mm)	
	MP1	MP2	L1	L2
267/11	0,64	0,75	63,1	61,4
268/11	0,53	0,53	62,9	63,3
010/11	0,55	0,56	65,0	63,2
Média	0,57	0,61		
Desvio Padrão	0,06	0,12		
Máximo	0,64	0,75		
Mínimo	0,53	0,53		

FONTE: AUTORA (2014)

Nas FIGURAS 93 e 94 são apresentados os valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão de MP1 para Dia GPS 267/11 e para o Dia GPS 268/11, respectivamente. Comparando as duas figuras percebe-se que os maiores valores máximos de MP1 ocorrem para o Dia GPS 267/11, visíveis na FIGURA 93. Para esse dia de experimento a temperatura máxima é menor que para o dia do experimento 268/11 (FIGURA 90).

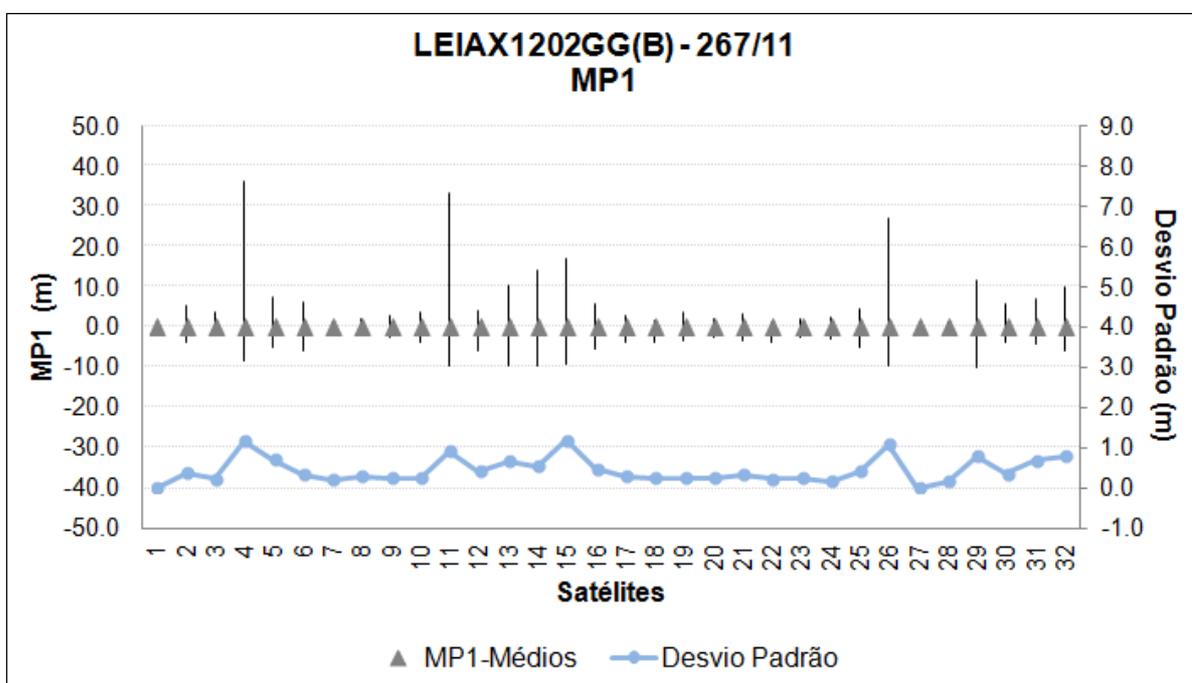


FIGURA 93- LEIAX1202GG (B) – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 267/11

FONTE: AUTORA (2014)

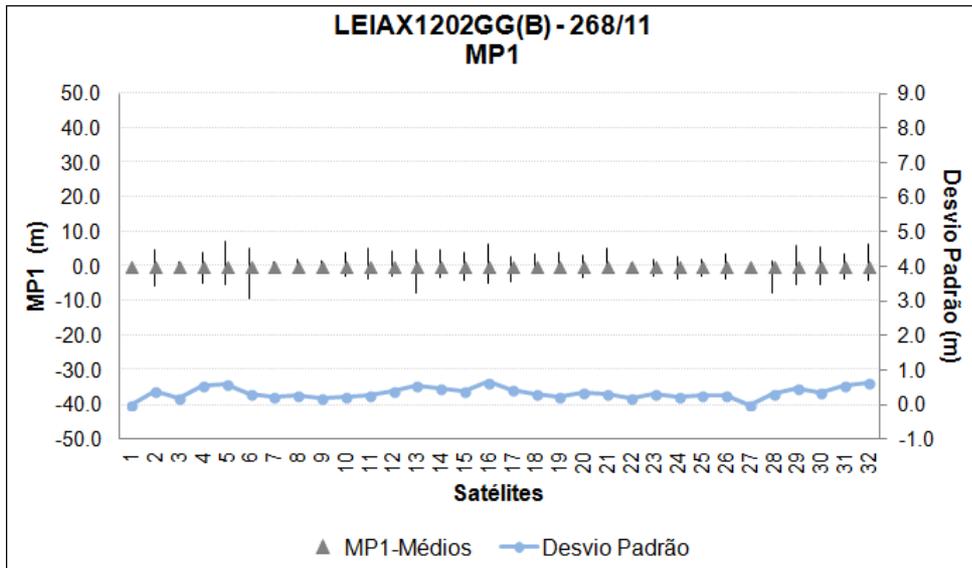


FIGURA 94- LEIAX1202GG (B) – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 268/11

FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças 3D entre os valores máximos, mínimos, médios e de desvio padrão entre os experimentos do Dia GPS 267/11 e do Dia GPS 268/11 podem ser visualizados na FIGURA 95. As maiores diferenças máximas são observadas quando se subtrai os valores provenientes do Dia GPS 267/11 e do dia 268/11, sendo os sinais dos satélites 4 e 11 que apresentam diferenças de aproximadamente 30 m. As diferenças entre os valores médios e desvio padrão são inferiores a 1 m.

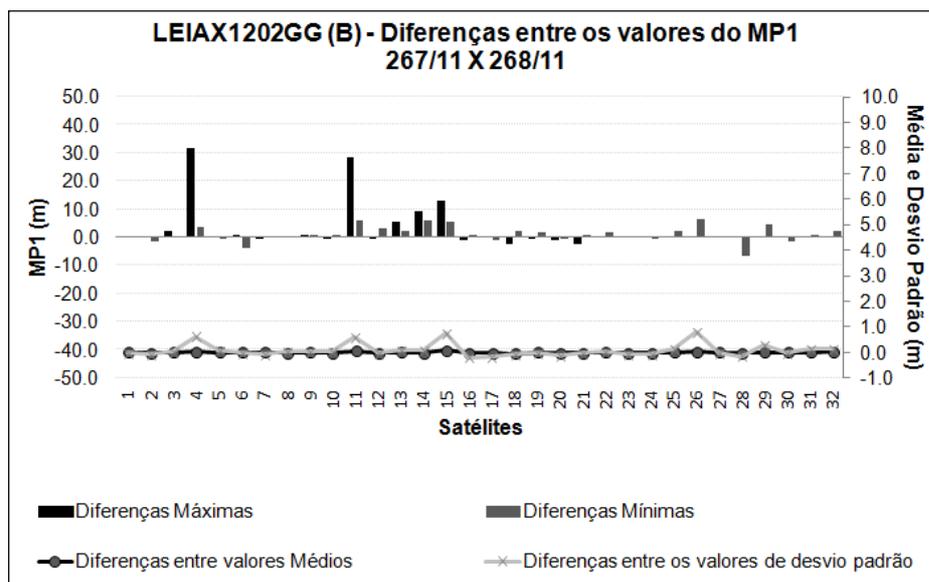


FIGURA 95- LEIAX1202GG (B) – MP1 COMPARAÇÃO DIAS GPS 267 E 268/11

FONTE: AUTORA (2014)

Os valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão de MP2 para Dia GPS 267/11 e Dia GPS 268/11 estão indicados nas FIGURAS 96 e 97, respectivamente. Percebe-se que os valores são da ordem de metros e que as maiores variações ocorrem para o Dia GPS 267/11 (FIGURA 96). Dos 32 satélites observados constata-se que 7 deles apresentam as maiores variações nesse dia.

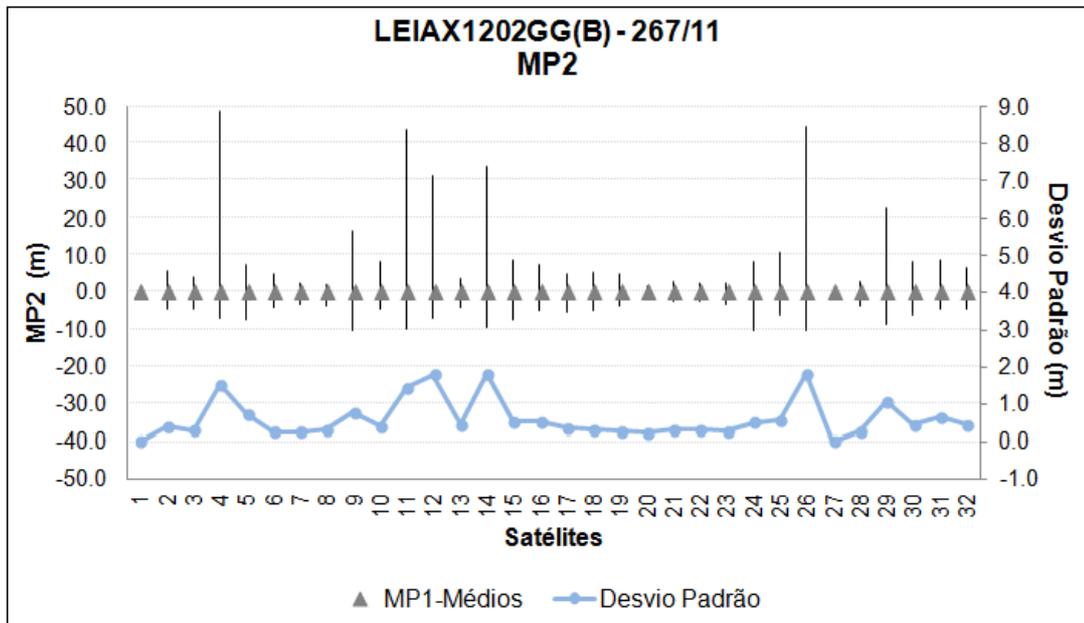


FIGURA 96 LEIAX1202GG (B) – MP2 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 267/11
 FONTE: AUTORA (2014)

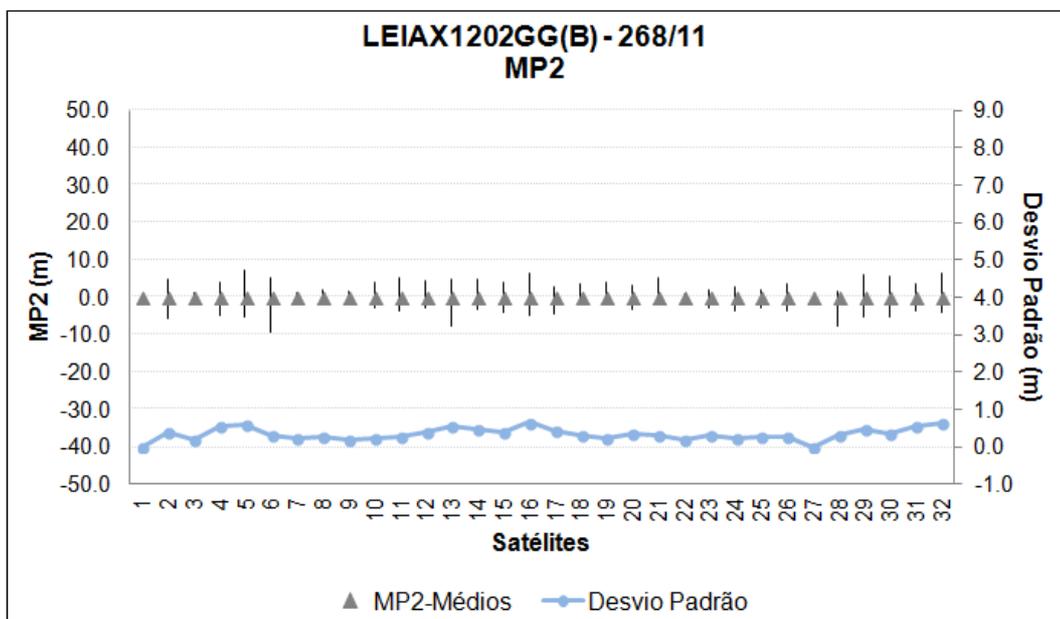


FIGURA 97- LEIAX1202GG (B) – MP2 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 268/11
 FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças entre os valores máximos, mínimos, médios e de desvio padrão entre os experimentos do Dia GPS 267/11 e do Dia GPS 268/11 podem ser visualizadas na FIGURA 98.

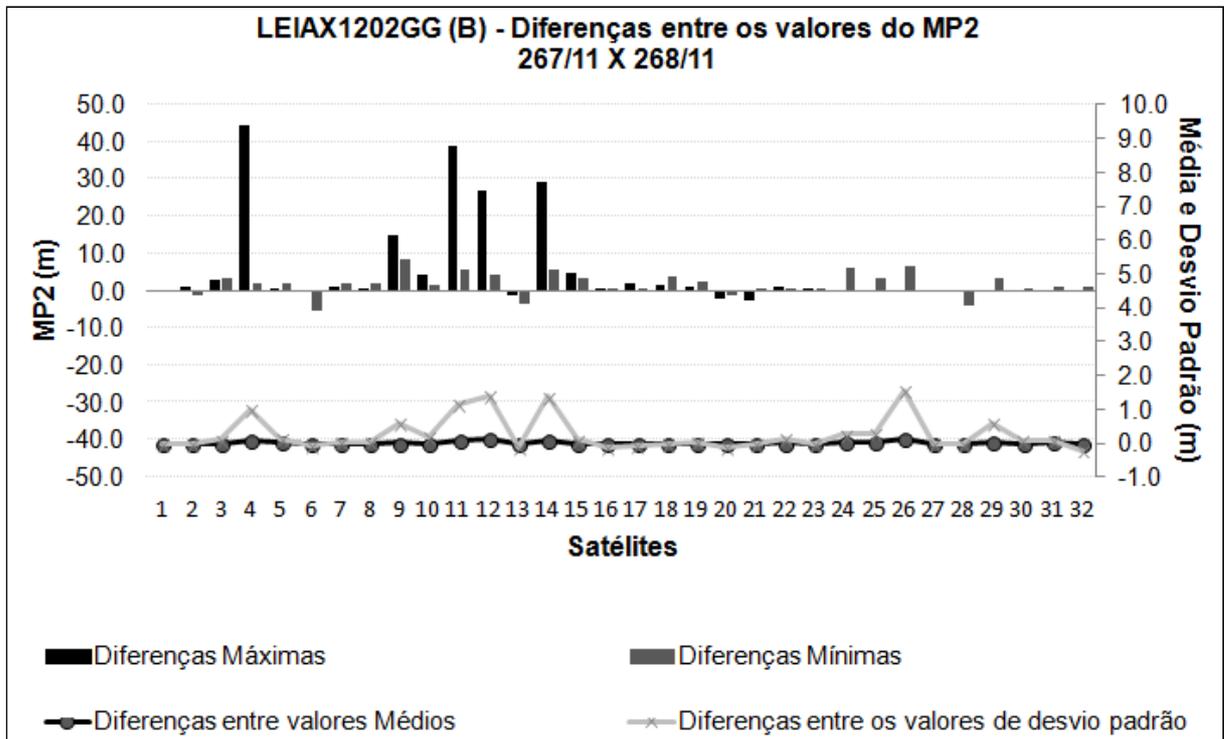


FIGURA 98- LEIAX1202GG (B) – MP2 COMPARAÇÃO DIA GPS 267/11 E DIA GPS 268/11
 FONTE: AUTORA (2014)

Percebe-se que os maiores diferenças máximas são observadas para a calibração efetuada no Dia GPS 267/11, pois para esse dia os valores são maiores. Os sinais dos satélites 4,12 e 14 apresentam valores de MP2 superiores a 30 m. As diferenças entre os valores médios são inferiores a 1 m. As diferenças entre os desvios-padrão são superiores a 1m para os sinais dos satélites 14 e 26.

4.2.3 ANTENA LEIAX1203 GNSS

Nessa seção são apresentadas as comparações dos valores do PCO (componente norte, leste e vertical) para as portadoras L1 e L2 da antena LEIAX1203 GNSS obtidos ao longo de 11 calibrações efetuadas entre os anos de 2011 à 2013. Como os valores do PCO não apresentaram desvio padrão superior a

1 mm, então não foram confrontados estes valores com as variáveis meteorológicas. Os valores do PCO (vertical) para L1 e L2 são analisados conjuntamente com os valores do multicaminho médio de MP1 e MP2 obtidos com o programa TEQC (seção 3.3.4).

4.2.3.1 PCO (LEIAX1203 GNSS)

Os valores das componentes do PCO (norte, leste e vertical), para as portadoras L1 e L2, obtidos por meio do método de calibração relativo em campo podem ser visualizados na Tabela 17. Calculou-se o valor médio, desvio padrão, valores máximo e mínimo para cada componente, indicados no final desta tabela. Percebe-se que estes valores não diferem mais do que 1 mm. O desvio padrão máximo foi de 0,6 mm para a componente vertical da portadora L1, seguido do desvio padrão da componente norte em L2 cujo valor foi de 0,5mm.

TABELA 17 – LEIAX1203GNSS- PCO (NORTE, LESTE E VERTICAL)

PCO (norte, leste, vertical) – mm							
Dia GPS/Ano	Experimentos	L1			L2		
		Norte	Leste	Vertical	Norte	Leste	Vertical
276/11	Experimento 1- setembro/11	-0,5	1,6	60,8	-1,1	-2,2	56,2
277/11		-0,7	1,4	60,6	-0,7	-2,4	56,1
278/11		-0,8	1,2	59,9	-0,2	-2,4	55,3
280/11		-0,7	1,5	60,6	-0,8	-2,3	56,0
281/11		-0,6	1,4	60,0	-0,9	-2,3	56,6
086/12	Experimento 2- março/12	-0,8	1,3	58,8	-0,2	-2,5	56,3
087/12		-1,0	1,2	59,4	-0,1	-2,6	56,0
090/12		-0,9	1,2	59,3	0,2	-2,5	56,0
091/12		-1,0	1,1	59,4	0,3	-2,6	56,0
011/13	Experimento 3- janeiro/13	-0,5	1,3	60,6	-1,1	-2,2	56,2
012/13		-0,5	1,4	60,5	-1,2	-2,0	56,3
Valor Médio		-0,7	1,3	60,0	-0,5	-2,4	56,1
Desvio Padrão		0,2	0,1	0,6	0,5	0,2	0,3
Valor Máximo		-0,5	1,6	60,8	0,3	-2,0	56,6
Valor Mínimo		-1,0	1,1	58,8	-1,2	-2,6	55,3

FONTE: AUTORA (2014)

Calcularam-se as diferenças tridimensionais média, máxima e mínima para cada uma das calibrações efetuadas com esta antena. Essas diferenças podem ser observadas nas FIGURAS 99 e 100, para as portadoras L1 e L2, respectivamente.

Para a portadora L1 (FIGURA 99) observa-se que a diferença 3D com o valor médio é inferior a 1 mm para as calibrações efetuadas, exceto para o Dia GPS 086/12 (1º Experimento de Março de 2012). Verifica-se nesta figura que as diferenças 3D com valores máximo e mínimo são inferiores a 2,0 mm para todos os experimentos.

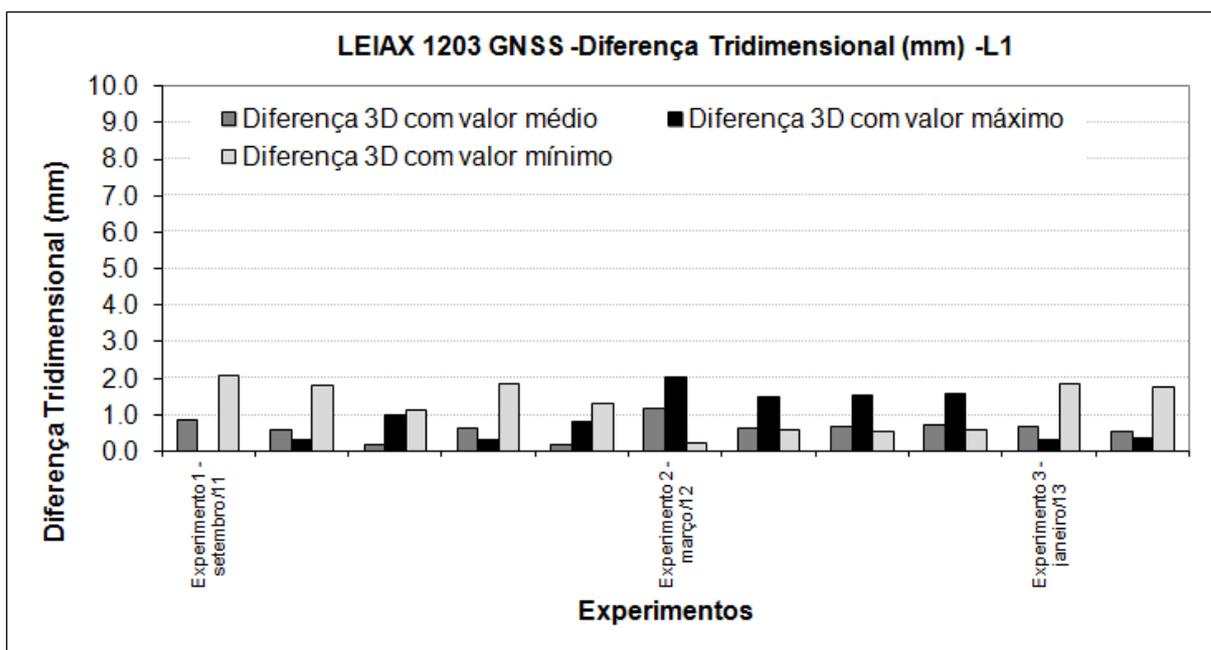


FIGURA 99- LEIAX1203 GNSS- DIFERENÇA 3D (L1)
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 100 visualizam-se as diferenças 3D calculadas com os valores médio, mínimo e máximo para a portadora L2 para todos os experimentos realizados com esta antena (LEIAX1203 GNSS). As diferenças 3D com valor médio são inferiores a 1 mm; com valor máximo apenas o 3º experimento de setembro de 2011 tem um valor superior a 1 mm e com o valor mínimo cinco experimentos apresentam valores inferiores a 1,5 mm.

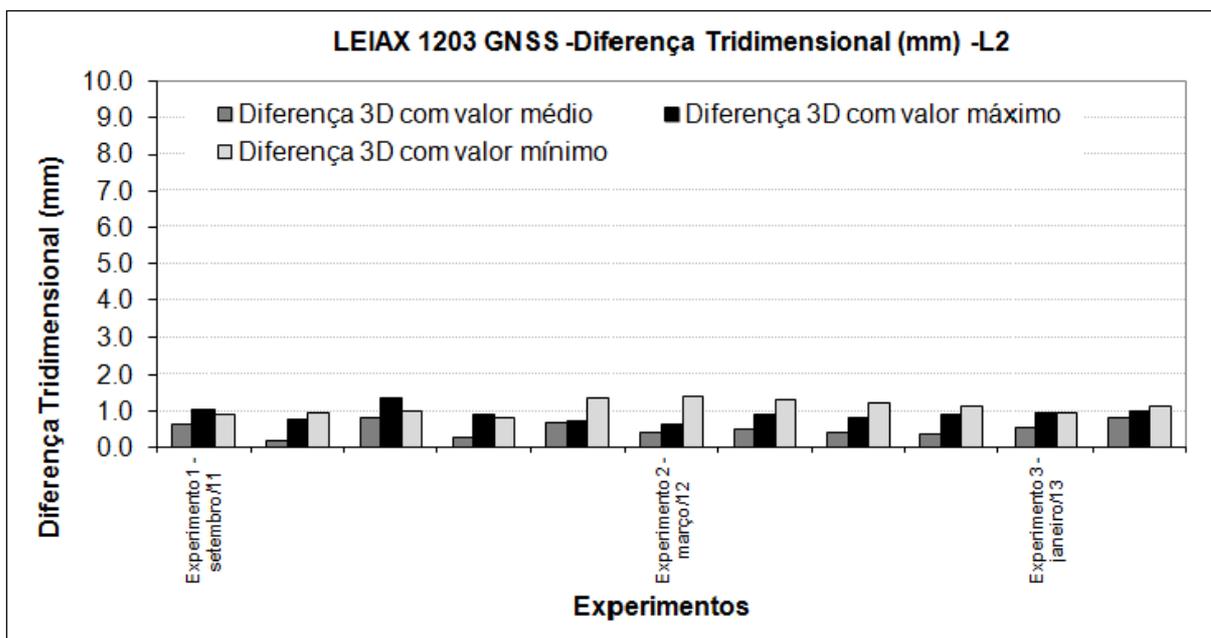


FIGURA 100- LEIAX1203 GNSS- DIFERENÇA 3D (L2)
 FONTE: AUTORA (2014)

4.2.3.2 Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Efeito do Multicaminho (LEIAX1203 GNSS)

Realizou-se uma análise conjunta dos valores do PCO (vertical) para L1 e L2 com os valores MP1 e MP2, para a antena LEIAX1203 GNSS. Observou-se que duas calibrações apresentaram os valores de PCO (vertical) mais discrepantes do conjunto de dados. São eles: Dia GPS 276/11 (maior valor-60,8 mm) e 086/12 (menor valor 58,8 mm). Analisaram-se também PCO (vertical) para o Dia GPS 011/13, pois para esse dia tem-se o valor mais próximo do médio deste PCO (60,6 mm). No caso do PCO (vertical) em L2 têm-se os dias GPS: 086/12 por apresentar o maior valor (56,3 mm), 276/11 e 011/13 por serem mais parecidos com o valor médio (56,2 mm).

Os valores médios de MP1 e MP2 calculados e os valores do PCO (Vertical) estão indicados na Tabela 18. Foram calculados os valores médio, máximo, mínimo e desvio padrão para as três calibrações selecionadas.

TABELA 18 – LEIAX1203 GNSS- PCO (VERTICAL) L1 e L2 versus MP1 e MP2

Dia GPS/Ano	Multicaminho (m)		PCO (Vertical) (mm)	
	MP1	MP2	L1	L2
276/11	0,96	1,01	60,8	56,2
086/12	0,73	0,67	58,8	56,3
011/13	0,77	0,92	60,6	56,2
Média	0,82	0,87		
Desvio Padrão	0,12	0,17		
Máximo	0,96	1,01		
Mínimo	0,73	0,67		

FONTE: AUTORA (2014)

Na Tabela 18 observa-se que o maior e o menor valor médio de MP1 e MP2 ocorreram para Dia GPS 276/11 e Dia GPS 086/12, respectivamente. Estes são os mesmos dias de calibração em que se percebe o maior e o menor valor de PCO (Vertical) em L1.

Nas FIGURAS 101 e 102 estão indicados os valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão de MP1 para Dia GPS 276/11 e Dia GPS 086/12, respectivamente. Os maiores valores máximos de MP1 ocorrem no Dia GPS 276/11 (FIGURA 101), percebe-se que sinais provenientes de três satélites apresentam valores superiores a 10,0 m.

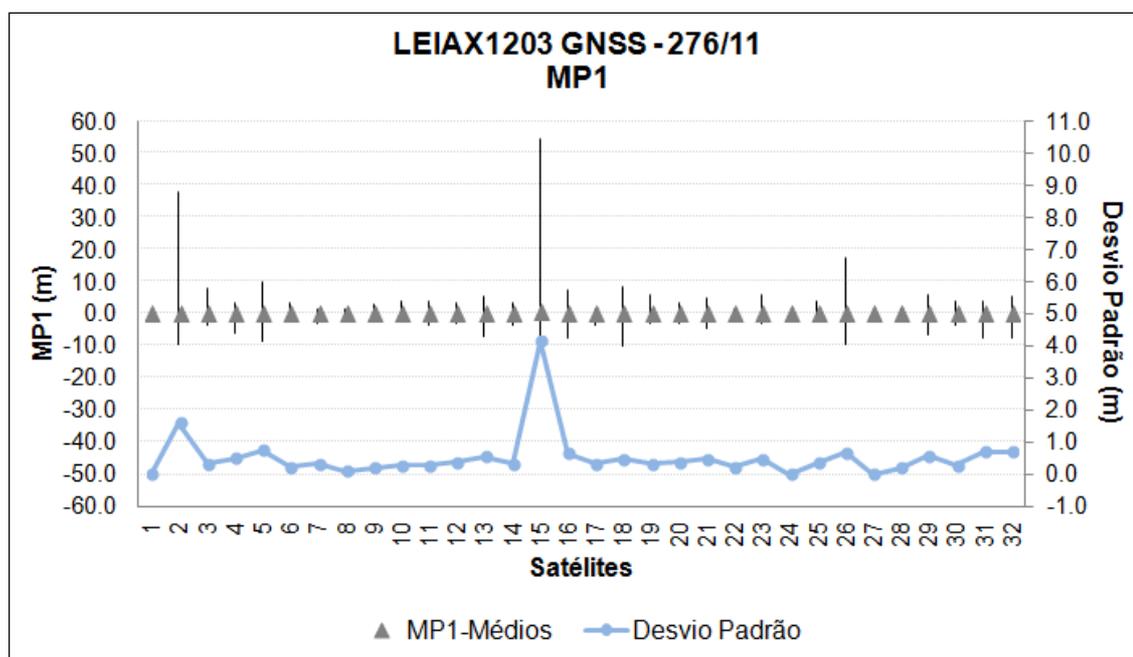


FIGURA 101- LEIAX1203 GNSS – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 276/11

FONTE: AUTORA (2014)

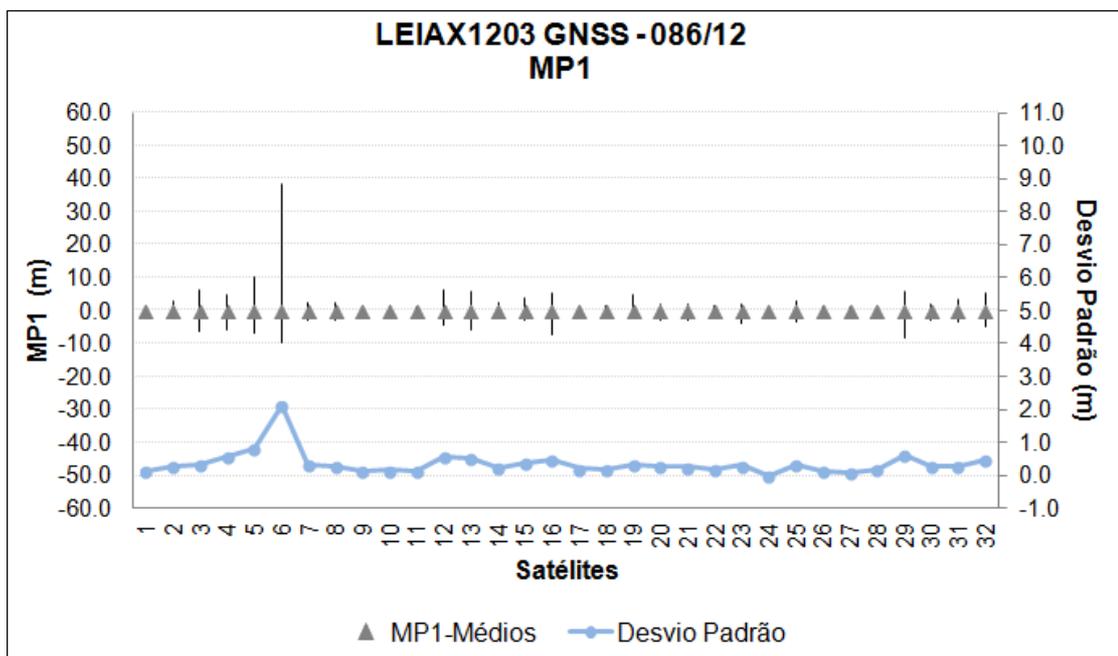


FIGURA 102- LEIAX1203 GNSS – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 086/12
 FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças entre os valores máximos, mínimos, médios e de desvio padrão entre os experimentos realizados nos dias GPS 276/11 e 086/12 podem ser visualizadas na FIGURA 103.

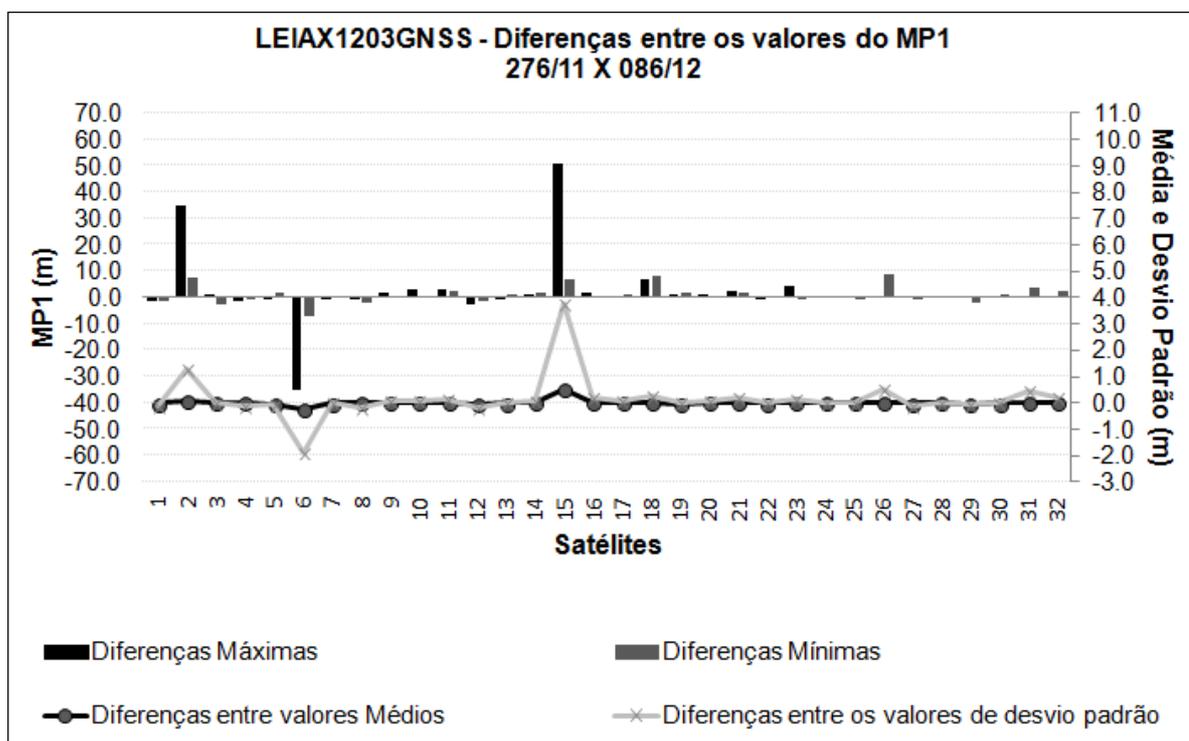


FIGURA 103- LEIAX1203 GNSS – MP1 COMPARAÇÃO DIA GPS 276/11 E DIA GPS 086/12
 FONTE: AUTORA (2014)

As maiores diferenças ocorreram para Dia GPS 276/11, percebe-se que o MP1 para o sinal do satélite 2 apresenta um valor inferior a 35 m e para o sinal do satélite 15 inferior a 50 m. Os demais sinais dos satélites observados tem valores de MP1 inferiores a 10 m. As maiores diferenças entre os valores de desvio padrão são superiores a 1 m e ocorrem para os sinais dos satélites 2, 6 e 15 observados durante as calibrações.

Nas FIGURAS 104 e 105 são visualizados os valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão de MP2 para Dia GPS 276/11 e Dia GPS 086/12, respectivamente. Percebe-se que os valores são da ordem de metros e que as maiores variações são observadas para o Dia GPS 276/11 (FIGURA 104).

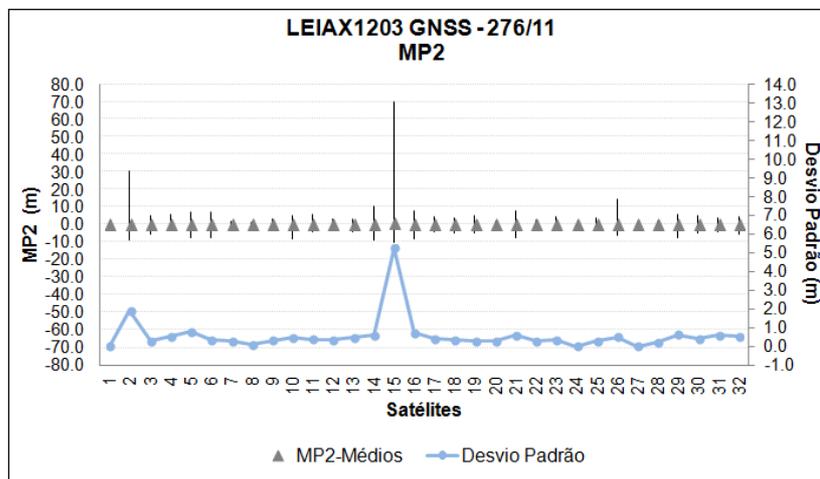


FIGURA 104- LEIAX1203 GNSS – MP2 VERSUS NÚMERO DOS SATÉLITES PARA O DIA GPS 276/11
FONTE: AUTORA (2014)

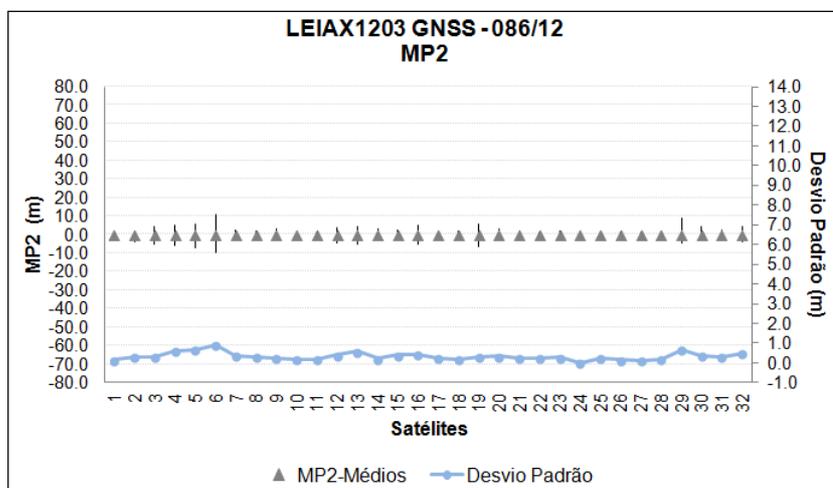


FIGURA 105- LEIAX1203 GNSS – MP2 VERSUS NÚMERO DO SATÉLITES PARA O DIA GPS 086/12
FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças entre os valores máximos, mínimos, médios e de desvio padrão entre as calibrações realizadas no Dia GPS 276/11 e Dia GPS 086/12 podem ser visualizados na FIGURA 106.

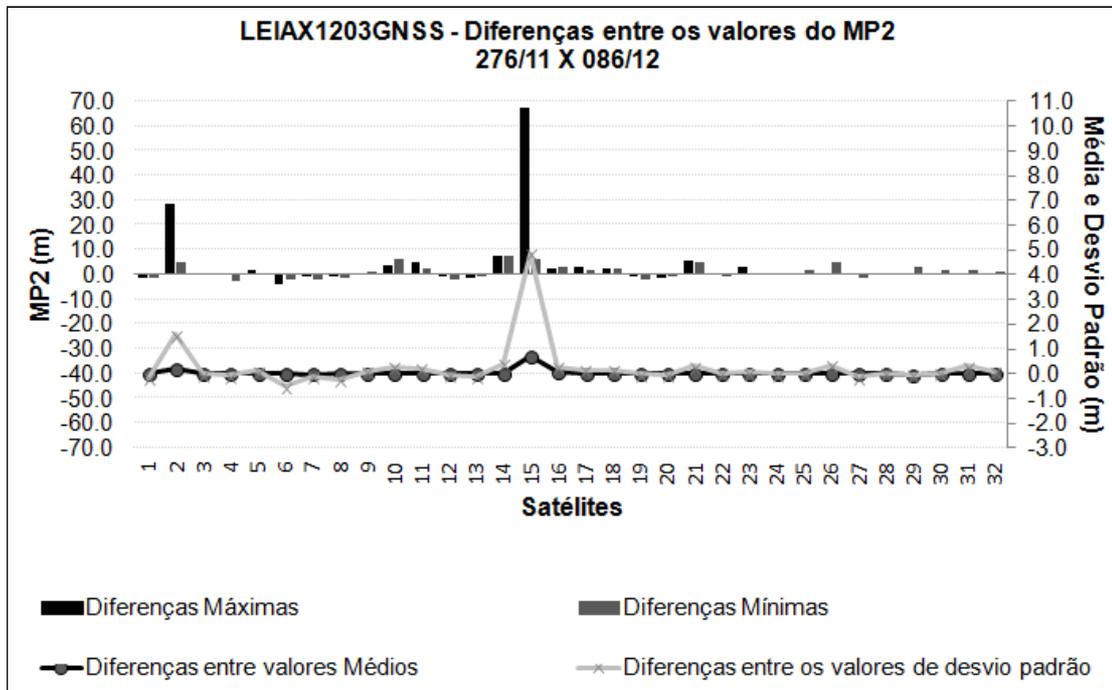


FIGURA 106- LEIAX12003 GNSS – MP2 COMPARAÇÃO DIA GPS 276/11 E DIA GPS 086/12
FONTE: AUTORA (2014)

Percebe-se que os maiores diferenças máximas são observadas para a calibração efetuada no Dia GPS 276/11, os valores de MP2 são superiores a 20 m para os sinais dos satélites 2 e 15. As diferenças entre os valores de desvio padrão são inferiores a 20 cm, exceto para os sinais dos satélites 2 e 15, os quais apresentam diferenças superiores a 1 m.

4.2.4 ANTENA LEIAT504

Nessa seção comparam-se os parâmetros próprios de calibração para a antena LEIAT504 calibrada com a antena de referência LEIAR25 ao longo de 2 anos (2011 e 2012). Os valores do PCO vertical para ambas as portadoras foram confrontados com os valores das variáveis meteorológicas e com os valores do efeito do multicaminho.

4.2.4.1 PCO (LEIAT504)

Na Tabela 19 são indicados os valores das componentes (norte, leste, vertical) do PCO, para as portadoras L1 e L2. Foram realizadas 18 dias de calibrações desta antena, denominados de (Experimento 1- maio/11, Experimento 2- setembro/12 e Experimento 3- outubro/12) .

TABELA 19 – LEIAT504 - PCO (NORTE, LESTE E VERTICAL)

PCO (norte, leste, vertical) – mm							
Dia GPS/Ano	Experimentos	L1			L2		
		Norte	Leste	Vertical	Norte	Leste	Vertical
137/11	Experimento 1 - maio/11	1,4	0,7	99,8	-0,5	0,7	124,0
138/11		1,5	0,7	99,8	-0,5	0,7	124,0
140/11		1,4	0,7	99,7	-0,5	0,7	124,2
141/11		1,5	0,7	99,7	-0,5	0,7	124,3
142/11		1,3	0,7	99,8	-0,5	0,7	124,0
271/12	Experimento 2 - setembro/12	1,3	0,8	98,7	-0,5	0,6	123,9
272/12		1,3	0,9	98,6	-0,5	0,7	123,9
273/12		1,3	0,9	98,5	-0,5	0,7	124,0
276/12		1,3	0,9	98,5	-0,6	0,7	123,6
277/12		1,3	0,9	98,6	-0,6	0,7	124,0
278/12	Experimento 2 - setembro/12	1,3	0,9	98,8	-0,6	0,7	124,1
279/12		1,2	0,8	98,3	-0,6	0,7	123,7
298/12	Experimento 3- outubro/12	1,1	1,0	98,2	-0,7	0,6	123,4
299/12		1,1	1,0	98,9	-0,7	0,6	123,6
300/12		1,2	1,0	98,1	-0,7	0,6	123,9
303/12		1,2	1,0	98,2	-0,7	0,6	123,7
304/12		1,1	1,0	98,6	-0,6	0,6	124,0
305/12	1,1	1,0	98,5	-0,7	0,6	123,7	
Valor Médio		1,3	0,9	98,9	-0,6	0,7	123,9
Desvio Padrão		0,1	0,1	0,6	0,1	0,1	0,2
Valor Máximo		1,5	1,0	99,8	-0,5	0,7	124,3
Valor Mínimo		1,1	0,7	98,2	-0,7	0,6	123,4

FONTE: AUTORA (2014)

Observa-se na Tabela 19 que as maiores discrepâncias ocorridas para este conjunto de calibrações aconteceram para as calibrações efetuadas no ano de 2011, para a componente vertical das portadoras L1 e L2.

Na FIGURA 107 visualizam-se as componentes verticais para a portadora L1. Percebe-se uma variação de aproximadamente 1,8 mm quando se compara os experimentos realizados em 2011 (Experimento 1 - maio/11) e 2012 (Experimento 2- setembro/12 e Experimento 3- outubro/12).

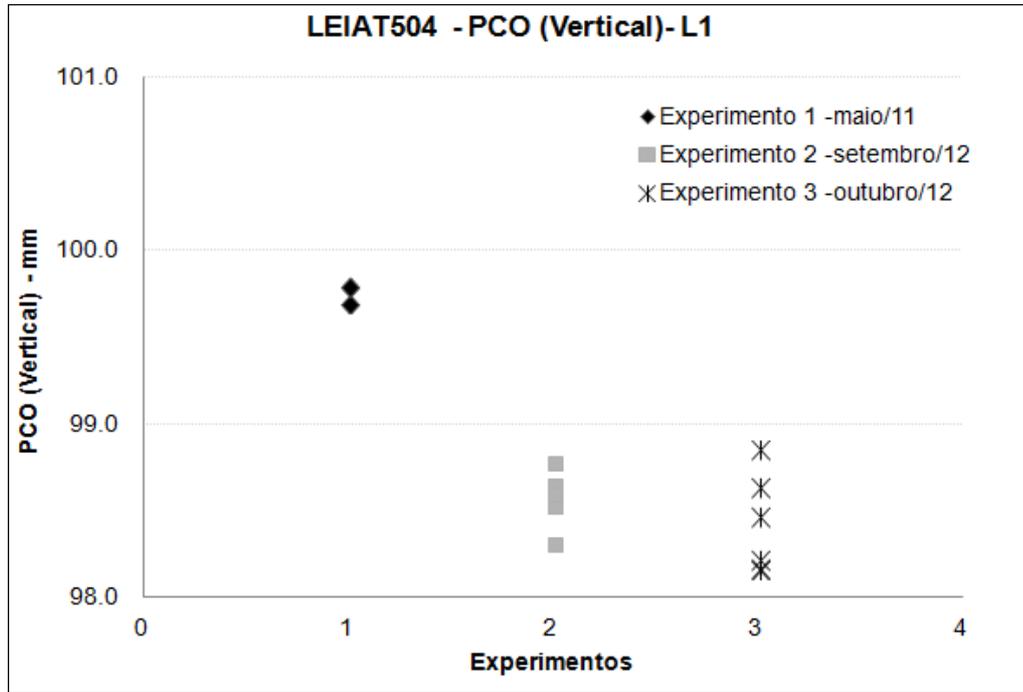


FIGURA 107- LEIAT504 - COMPONENTE VERTICAL (L1)
 FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças tridimensionais obtidas com o valor médio, máximo e mínimo para as portadoras L1 e L2 podem ser observada nas FIGURAS 108 e 109, respectivamente. As diferenças obtidas com o valor médio para a portadora L1 (FIGURA 108) é de aproximadamente 1 mm. As diferenças entre os valores máximos e mínimos variam de 1 a 2 mm.

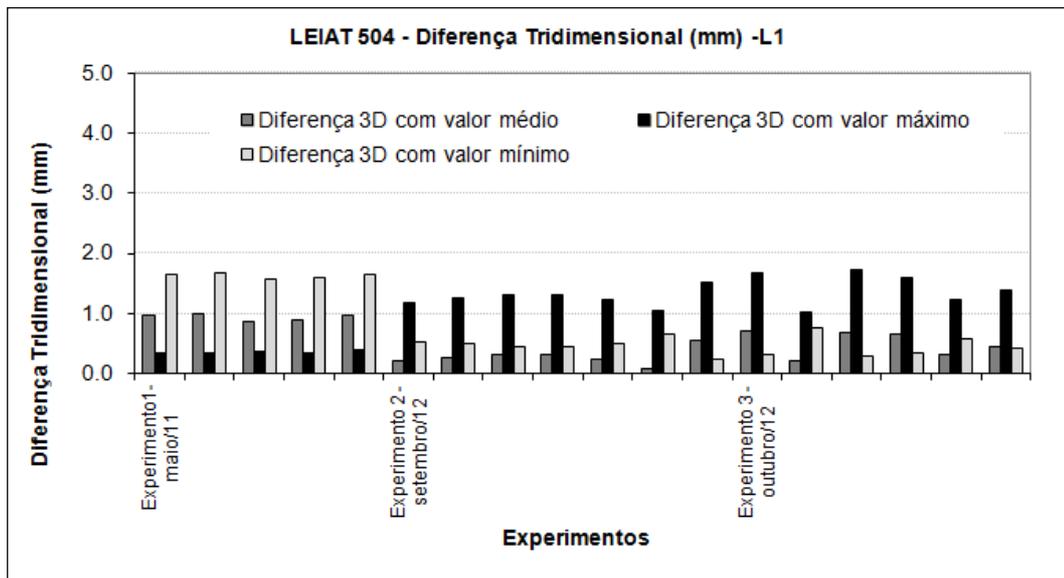


FIGURA 108- LEIAT504- DIFERENÇA 3D (L1)
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 109 observam-se as diferenças tridimensionais obtidas com o valor médio, máximo e mínimo para a portadora L2. Essas diferenças foram inferiores a 1 mm para todos experimentos realizados.

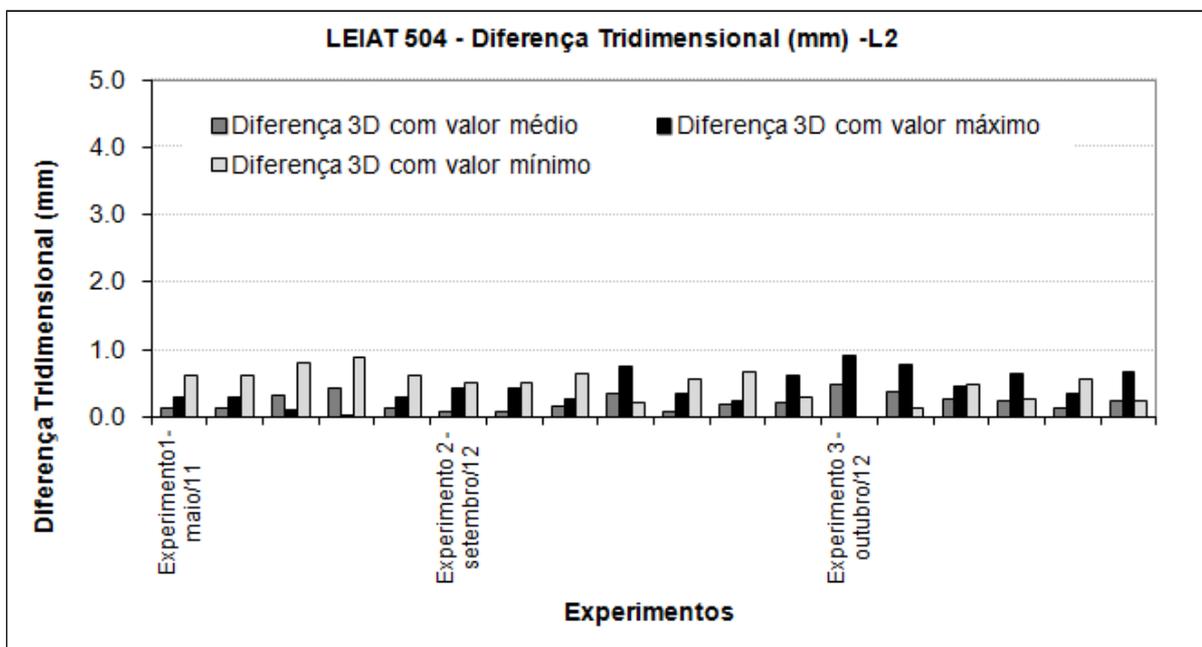
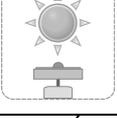


FIGURA 109- LEIAT504- DIFERENÇA 3D (L2)
 FONTE: AUTORA (2014)

4.2.4.2 Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Variáveis Meteorológicas (LEIAT504)

No QUARDO 7 indicam-se as variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação) observadas nos períodos de calibração. Estes valores são correlacionados com os valores do PCO vertical (L1 e L2). Analisando esse Quadro verifica-se que: entre as temperaturas (máximas, médias e mínimas) a temperatura máxima é a que mais varia entre os experimentos, a média calculada é de 24°C e um desvio padrão de 7°C. Comparando as umidades relativas do ar observadas nas calibrações percebe-se uma maior variação para o valor mínimo, que é de aproximadamente 25%. Dentre as calibrações realizadas tem-se em apenas uma delas períodos de chuva, o Dia GPS 298/12, com 1,8 mm de precipitação máxima e uma porcentagem de 1,2 % de períodos de chuva durante as 24 horas de observação, isso é resultante de 5 observações realizadas em períodos de precipitação.

Dia GPS/ Ano	Condição Meteorológica	Temperatura (°C)			Umidade Relativa do Ar (%)			Precipitação (mm)	
		Máx	Mín	Média	Máx	Mín	Média	Máx	% de Chuva
137/11		17,1	7,0	11,3	90,0	54,0	76,3	0,0	0,0
140/11		21,1	11,4	15,3	91,0	48,0	73,9	0,0	0,0
271/12		15,9	8,7	11,0	82,0	55,0	73,7	0,0	0,0
279/12		30,0	17,2	21,8	93,0	32,0	70,5	0,0	0,0
298/12		27,2	14,7	18,7	89,0	32,0	69,0	1,8	1,2
304/12		34,2	18,3	25,3	80,0	20,0	51,7	0,0	0,0

QUADRO 7- VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS – LEIAT504
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 110 visualizam-se os valores de temperatura (máxima, mínima e temperatura) versus os valores do PCO vertical para ambas as portadoras. Observam-se um acréscimo nos valores das temperaturas a partir das calibrações do Dia GPS 279/12. Os valores do PCO vertical variam menos que 1 mm.

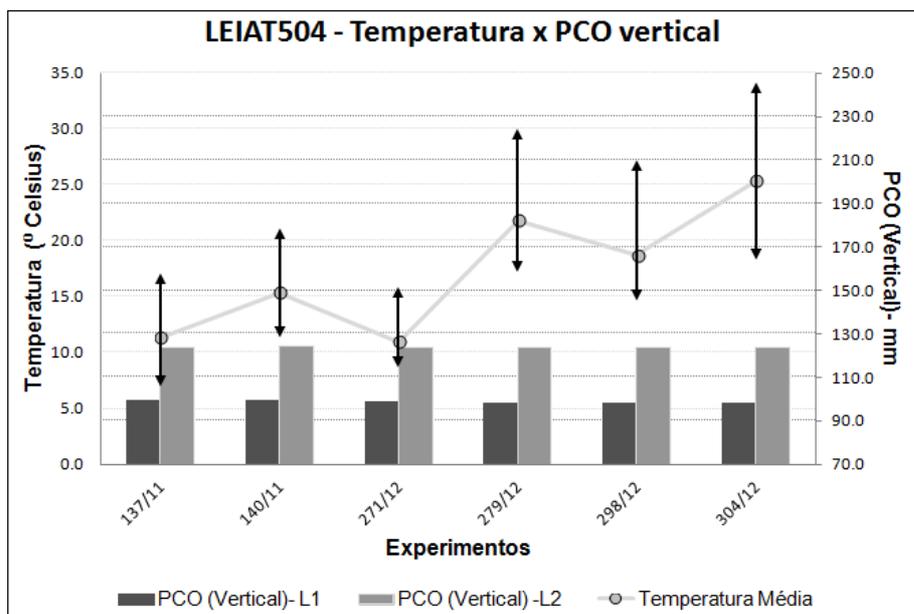


FIGURA 110- LEIAT504 - PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E TEMPERATURA X EXPERIMENTOS
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 111 tem-se a umidade relativa do ar (máximo, médio e mínimo) com os valores do PCO (Vertical) L1 e L2 e na FIGURA 112 a precipitação e a porcentagem de chuva ocorrida durante as calibrações com os valores do PCO (Vertical) L1 e L2. As maiores amplitudes de umidade relativa do ar ocorreram para as calibrações realizadas em Dia GPS 279/12, Dia GPS 298/12 e Dia GPS 304/12. A maior precipitação e porcentagem de chuva ocorreram no Dia GPS 298/12.

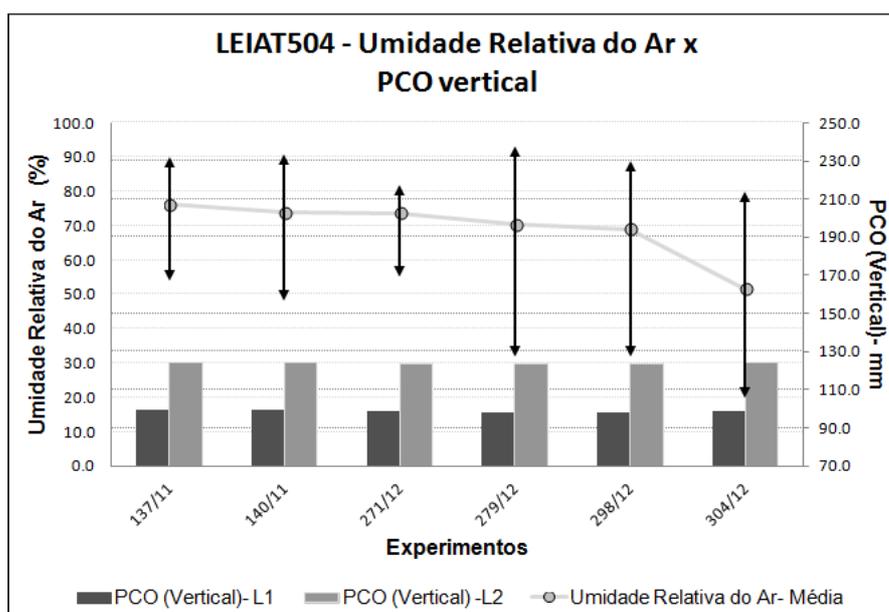


FIGURA 111- LEIAT504 - PCO (VERTICAL) X EXPERIMENTOS E UMIDADE RELATIVA DO AR X EXPERIMENTOS
 FONTE: AUTORA (2014)

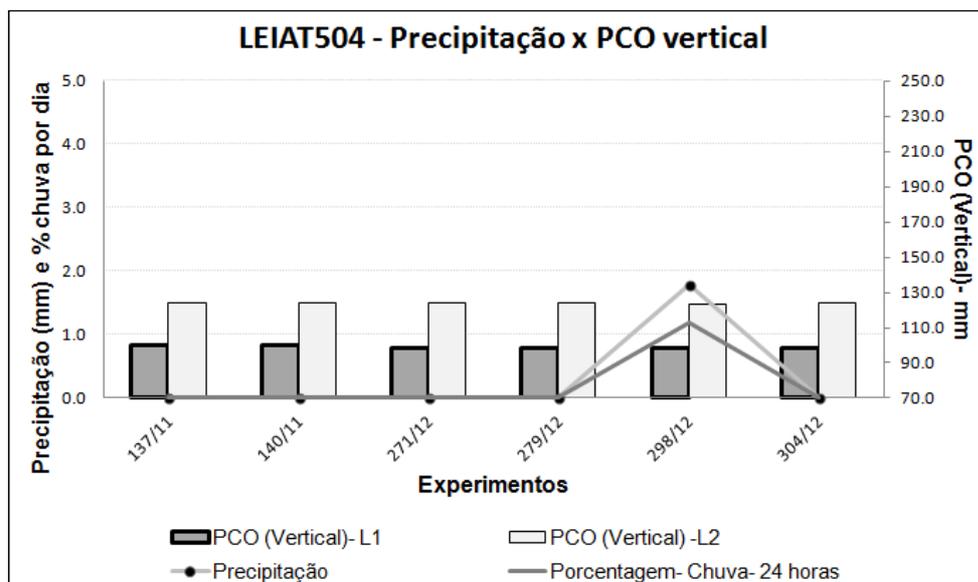


FIGURA 112- LEIAT504 - PCO (VERTICAL) X PRECIPITAÇÃO
 FONTE: AUTORA (2014)

Observam-se na Tabela 20 os coeficientes de correlação (r) calculados para o PCO vertical para as portadoras L1 e L2 da antena LEIAT504 versus as variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação - Quadro 7).

TABELA 20 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO - PCO VERTICAL VERSUS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS - LEIAT504

PCO Vertical (mm)	Temperatura (°)			Umidade Relativa do Ar (%)		Precipitação (mm)	
	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Máxima	% de Chuva
L1	-0,6	-0,7	-0,6	0,2	0,6	-0,5	-0,5
L2	-0,9	-0,9	-0,9	0,2	1,0	-0,3	-0,3

FONTE: AUTORA (2014)

Verifica-se que há correlação negativa entre PCO vertical (L1) e a temperatura (máxima, mínima e média), valores que variam de -0,6 a 0,7. Observa-se uma forte correlação negativa entre PCO vertical (L2) e a variável temperatura (máxima, mínima e média) valor esse de -0,9. Correlacionando o PCO vertical (L1 e L2) há uma forte correlação entre umidade relativa do ar mínima, valor de 1,0 e 0,6, respectivamente. Correlacionando o PCO (L2) com a precipitação observa-se uma fraca correlação negativa com a % de precipitação observada durante as observações, valores que variaram de -0,3 à -0,5.

4.2.4.3 Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Efeito do Multicaminho (LEIAT504)

As análises dos valores médios de multicaminho (MP1 e MP2) para a antena LEIAT504 foram realizadas apenas para os dois dias GPS que apresentaram PCO (vertical) mais próximos dos valores máximo e mínimo. Para análise do PCO (vertical) em L1 e L2 emprega-se: Dia GPS 300/12 por apresentarem valores mais parecidos com os valores mínimos e o Dia GPS 137/11 por ser o maior valor. Na Tabela 21 indicam-se os valores médios de MP1 e MP2, obtidos com o programa TEQC, e os valores do PCO (Vertical) obtidos para as calibrações efetuadas nos dias selecionados. Calcularam-se o valor médio, máximo, mínimo e desvio padrão para esses conjuntos de valores de MP1 e MP2.

TABELA 21 – LEIAT504- PCO (VERTICAL) L1 e L2 versus MP1 e MP2

Dia GPS/Ano	Multicaminho (m)		PCO (Vertical) (mm)	
	MP1	MP2	L1	L2
137/11	0,47	0,41	99,8	124,0
300/12	0,57	0,59	98,1	123,9
Média	0,52	0,50		
Desvio Padrão	0,07	0,13		
Máximo	0,57	0,59		
Mínimo	0,47	0,41		

FONTE: AUTORA (2014)

Na Tabela 21 observam-se que os maiores valores de MP1 e MP2 ocorrem para o Dia GPS 300/12. Para esse dia GPS têm-se os menores valores de PCO (Vertical) entre as duas calibrações analisadas.

Nas FIGURAS 113 e 114 estão indicados os valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão de MP1 para Dia GPS 137/11 e Dia GPS 300/12, respectivamente. As maiores variações ocorrem para a calibração efetuada no Dia GPS 300/12 (FIGURA 114).

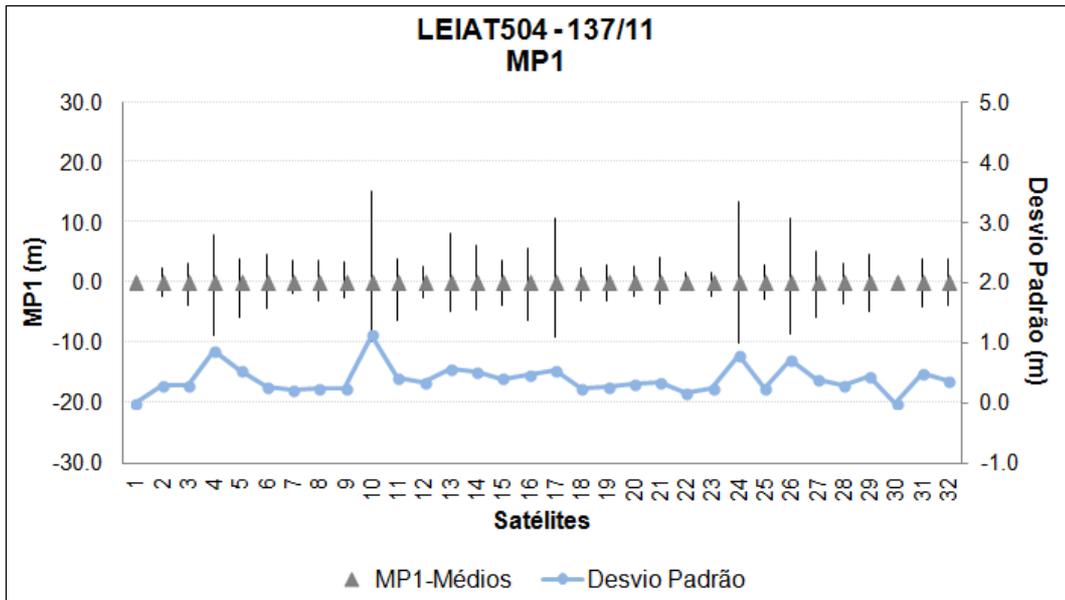


FIGURA 113- LEIAT504 – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 137/11
 FONTE: AUTORA (2014)

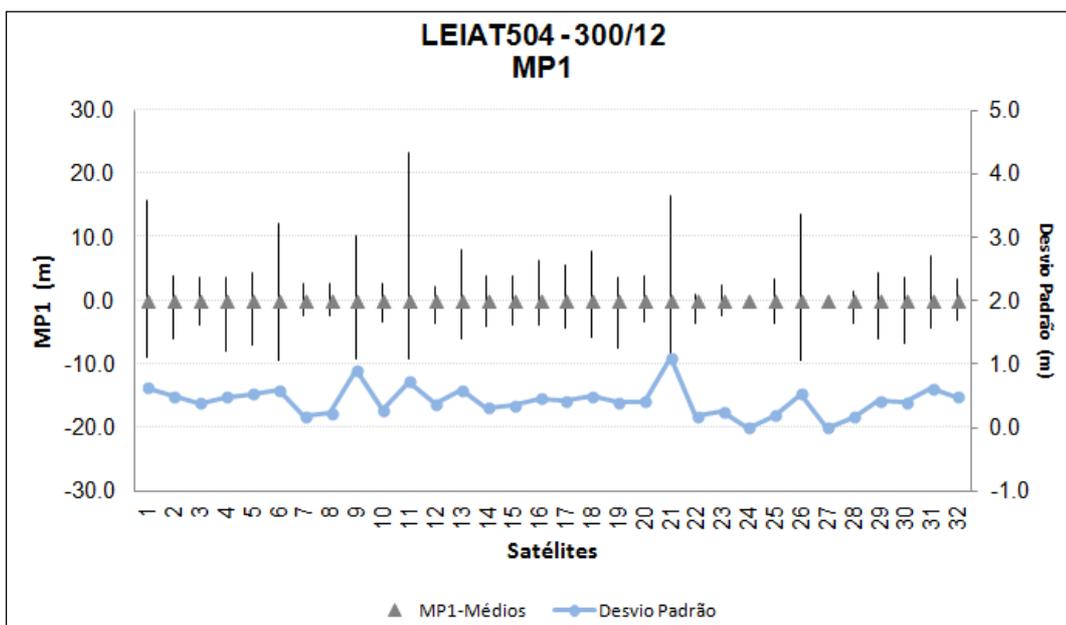


FIGURA 114- LEIAT504 – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 300/12
 FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças entre os valores máximos, mínimos, médios e de desvio padrão entre as calibrações efetuadas no Dia GPS 137/11 e Dia GPS 300/12 podem ser visualizados na FIGURA 115. Percebe-se que as maiores diferenças máximas ocorreram para os experimentos realizados para o dia GPS 300/12. Os satélites 1, 11 e 21 apresentam valores máximos superiores a 10 m. As maiores diferenças entre os valores de desvio padrão variam de -1 a 0,80 m.

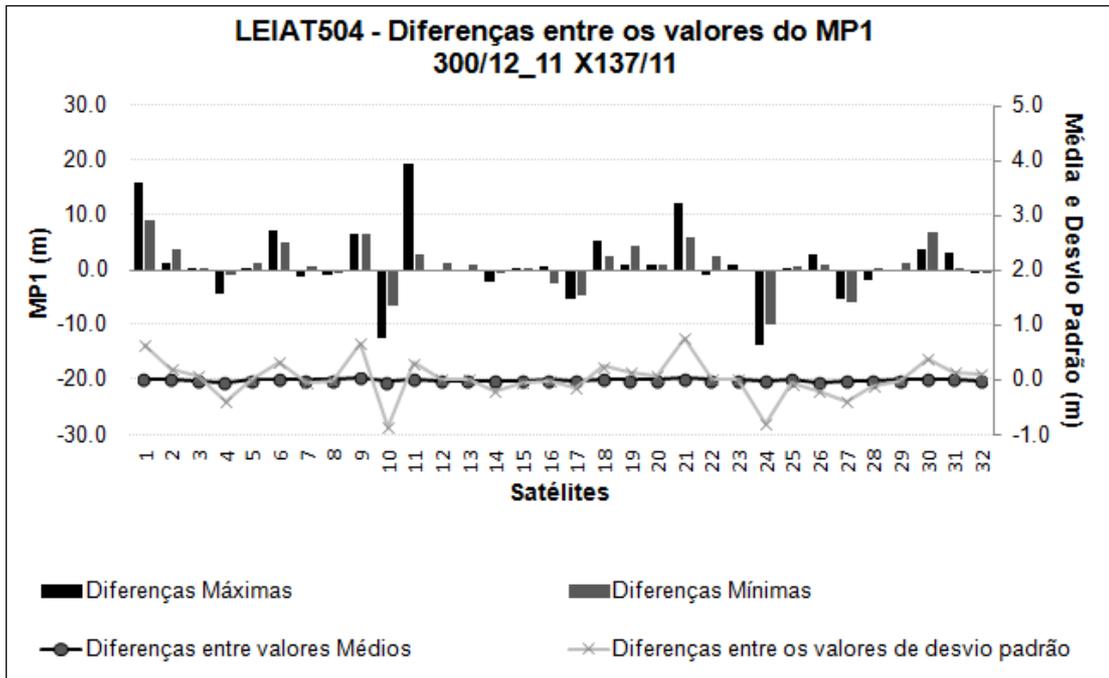


FIGURA 115- LEIAT504– MP1 COMPARAÇÃO DIAS GPS 300/12 E 137/11
 FONTE: AUTORA (2014)

Nas figuras apresentadas na sequencia (FIGURA 116 e FIGURA 117) estão indicados os valor máximos, mínimos, médios e desvio padrão de MP2 para o Dia GPS 137/11 e Dia GPS 300/12, respectivamente. Percebe-se que as variações entre os dois dias GPS apresentam grandezas parecidas.

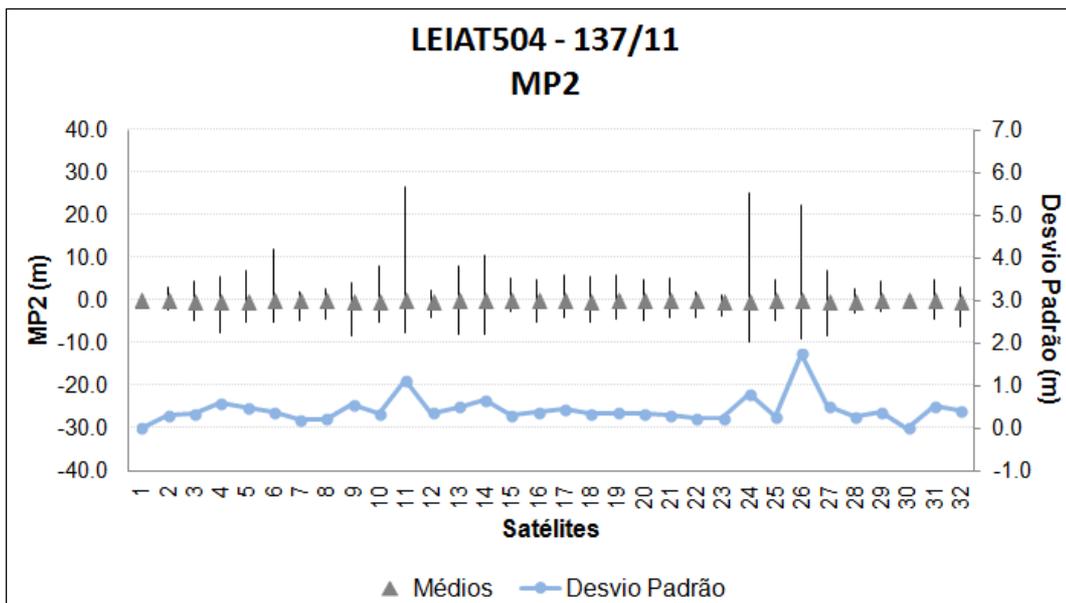


FIGURA 116- LEIAT504 – MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 137/11
 FONTE: AUTORA (2014)

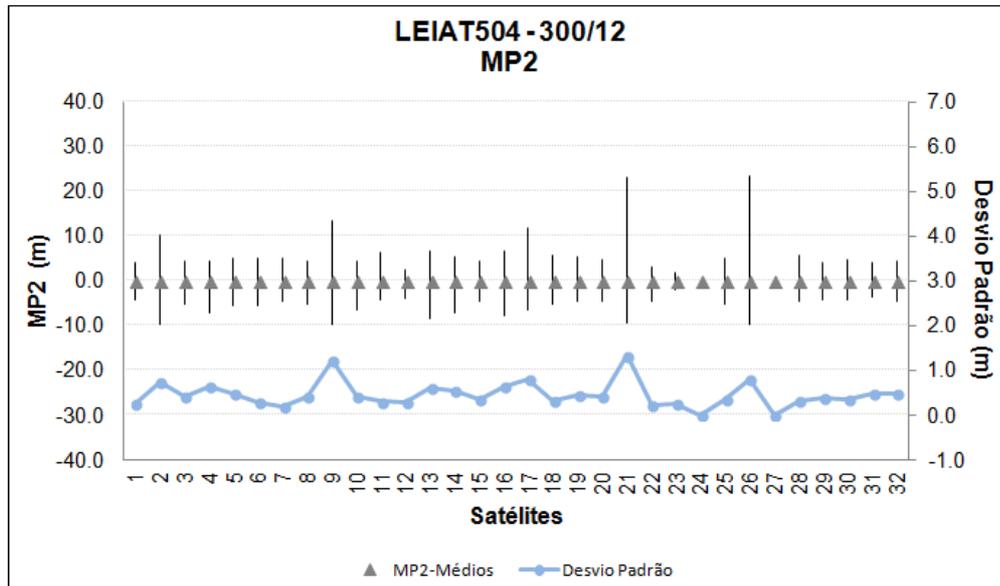


FIGURA 117- LEIAT504– MP1 VERSUS NÚMERO DE SATÉLITES PARA O DIA GPS 300/12
 FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças entre os valores máximos, mínimos, médios e de desvio padrão entre as calibrações efetuadas no Dia GPS 300/12 e no Dia GPS 137/11 podem ser visualizados na FIGURA 118. Percebe-se que as maiores diferenças máximas foram obtidas para a calibração efetuada no Dia GPS 300/12. Para o sinal do satélite 21 estes valores são superiores a 10 m. As diferenças entre os valores de desvio padrão variam aproximadamente entre 1 e -1 m.

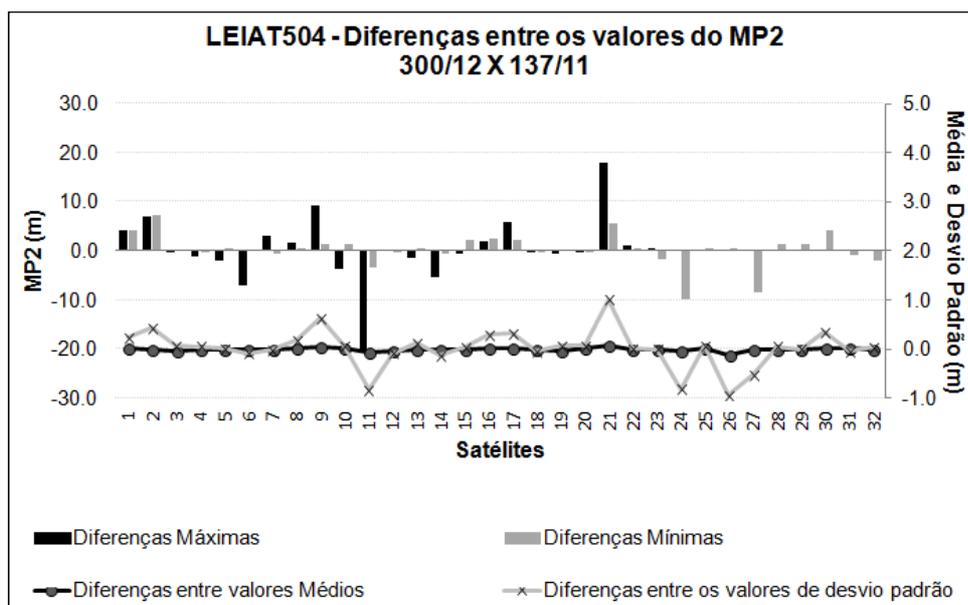


FIGURA 118- LEIAT504– MP2 COMPARAÇÃO DIAS GPS 300/12 E 137/11
 FONTE: AUTORA (2014)

4.3 MATERIAL A SER EMPREGADO NO MONITORAMENTO DO AMBIENTE E DO EFEITO DO MULTICAMINHO

Nesta pesquisa um dos objetivos específicos é monitorar as variáveis meteorológicas visando correlacioná-las com a calibração relativa. Desta forma buscou-se uma estrutura (seção 3.6.1 e seção 3.6.2) que controlasse as variáveis (temperatura e umidade) para cada um dos pilares de calibração e que não provocasse alterações no efeito do multicaminho. Para atingir esse objetivo alguns experimentos foram conduzidos na BCAL/UFPR com este fim.

4.3.1. Experimentos Visando identificar o Melhor Material Para Construção das Estruturas

Vinte e nove experimentos foram realizados visando identificar os melhores materiais para a construção das estruturas, esses foram concretizados no PILAR 3000 da BCAL/UFPR (seção 3.5). Para cada experimento coletou-se dados GPS em vários dias consecutivos, tendo cada sessão de observação com duração de 24 horas.

Os dados brutos foram processados pelo programa Leica Geo Office (seção 3.3.6) visando à obtenção das coordenadas geodésicas por meio de um processamento relativo estático. Os valores médios do multicaminho foram obtidos com o TEQC, os quais propiciaram uma verificação quanto o aumento deste efeito mediante o emprego de cada uma das estruturas.

No primeiro experimento foram realizadas observações GPS empregando a antena a ser testada e nos demais experimentos empregou-se as estruturas construídas com diferentes tamanhos e materiais (isopor, madeira, isopor e espuma). Na Tabela 22 têm-se os experimentos realizados e os respectivos valores médios de multicaminho obtidos para MP1 e MP2.

TABELA 22 – VALOR MÉDIO DO EFEITO DO MULTICAMINHO PARA CADA EXPERIMENTO VISANDO A ESCOLHA DO MATERIAL

Valor Médio do Efeito do Multicaminho obtido para cada experimento			
Experimentos		Multicaminho na Portadora L1 (MP1) - m	Multicaminho na Portadora L2 (MP2) - m
Experimento 1 Só antena - LEIAX1202 GG (A)	Dia 1	0,723	0,647
	Dia 2	0,776	0,820
	Dia 3	1,038	1,200
	Dia 4	1,065	1,101
Experimento 2 Caixa Pequena de Isopor	Dia 1	0,711	0,827
	Dia 2	0,954	1,029
	Dia 3	0,812	0,872
	Dia 4	0,876	0,977
	Dia 5	0,763	0,834
	Dia 6	0,954	0,866
Experimento 3 Estrutura de Madeira	Dia 1	0,842	1,053
	Dia 2	0,724	0,780
Experimento 4 Caixa Pequena de Isopor + Espuma	Dia 1	0,941	0,889
	Dia 2	0,916	0,880
Experimento 5 Caixa Pequena de Isopor+Estrutura de Madeira+Espuma	Dia 1	1,012	1,149
	Dia 2	0,922	0,989
Experimento 6 Caixa Pequena de Isopor+Estrutura de Madeira+Espuma + Plástico Filme na Tampa	Dia 1	1,220	1,049
	Dia 2	1,020	1,079
Experimento 7 Antena+Plástico filme	Dia 1	0,974	1,040
	Dia 2	0,917	0,821
	Dia 3	0,861	0,826
	Dia 4	0,892	0,803
	Dia 5	0,845	0,813
	Dia 6	0,845	0,808
	Dia 7	0,931	0,879
Experimento 8 Caixa Pequena de Isopor + Isopor Plástico	Dia 1	0,849	0,884
	Dia 2	0,889	0,794
	Dia 3	0,915	0,708
Experimento 9 Caixa Grande Completa	Dia 1	0,629	0,646
	Dia 2	0,651	0,657

FONTE: AUTORA (2014)

Observa-se na Tabela 22 uma variação máxima do efeito médio de 0,59 m para a portadora L1 e de 0,54 m para a portadora L2. Para ilustrar os valores do efeito médio do multicaminho para as portadoras L1 e L2 elaboraram-se as FIGURAS 119 e 120, respectivamente.

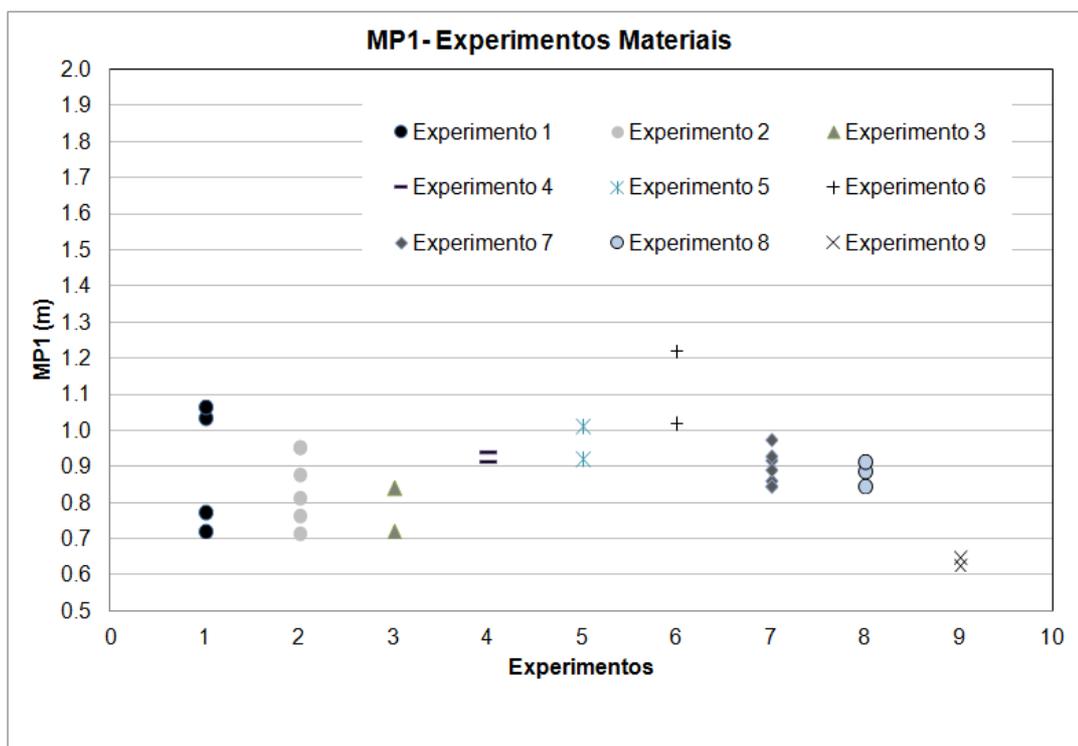


FIGURA 119- MP1 DOS EXPERIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DOS MATERIAIS
 FONTE: AUTORA (2014)

Analisando-se a FIGURA 119 percebe-se que os experimentos realizados somente com a antena (Experimento 1) diferem entre si de 0,40 m. Observa-se que o Experimento 6 (Caixa Pequena de Isopor+Estrutura de Madeira+Espuma + Plástico Filme na Tampa) é o que tem os valores mais altos de MP1. No último experimento (Experimento 9) testou-se um conjunto de materiais (estrutura mais completa) e se pode perceber que ele apresentou os menores valores de multicaminho para o MP1 dentre todos os experimentos realizados.

Os valores médios do efeito do multicaminho para a portadora L2 podem ser observados na Figura 120. O experimento que emprega apenas a antena (Experimento 1) apresentou uma variação de MP1 entre os dias de aproximadamente 0,60 m. Nesta figura verifica-se que os experimentos em que o efeito médio do multicaminho apresentou menor variação foram aqueles em que se

empregou a configuração da estrutura mais completa de materiais (isopor, madeira, espuma) (Experimento 9).

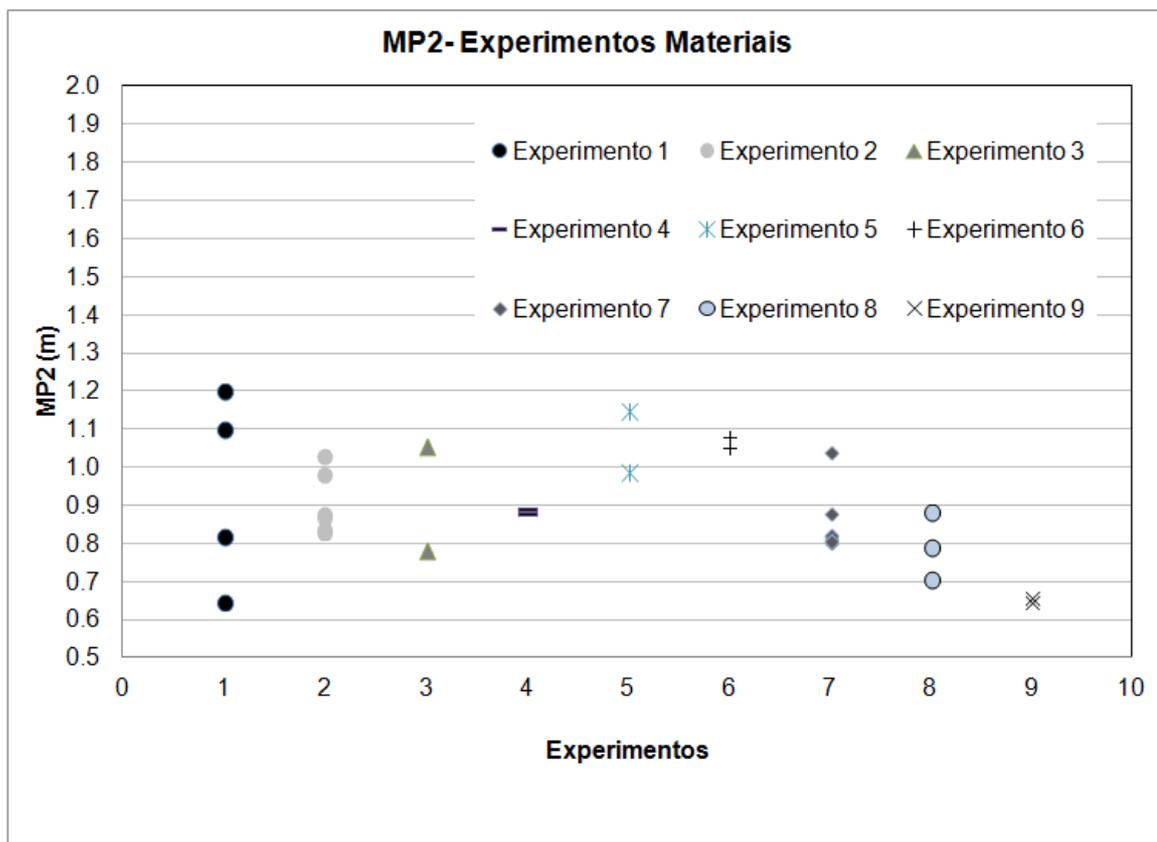


FIGURA 120- MP2 DOS EXPERIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DOS MATERIAIS
 FONTE: AUTORA (2014)

Conforme exposto anteriormente os dados foram processados com o programa Leica Geo Office visando à obtenção das coordenadas geodésicas de cada um dos experimentos realizados. Desta forma pode-se correlacionar a degradação da posição com o emprego de cada uma das estruturas (Tabela 22). Na FIGURA 121 apresentam-se as coordenadas planimétricas (latitude e longitude) e na Figura 122 tem-se as altitudes elipsoidais obtidas.

Mediante uma análise da FIGURA 120 verifica-se que o experimento que mais diverge dos demais é o Experimento 6 (caixa de isopor pequena+estrutura de madeira+espuma+plástico filme). Tomando-se a coordenada proveniente do Experimento 1 como a correta (valor verdadeiro) pode-se dizer que os demais experimentos (exceto o Experimento 6) são precisos e os mais acurados são os Experimentos 3 e 9. A variação das coordenadas planimétricas foi inferior a 0,03 mm.

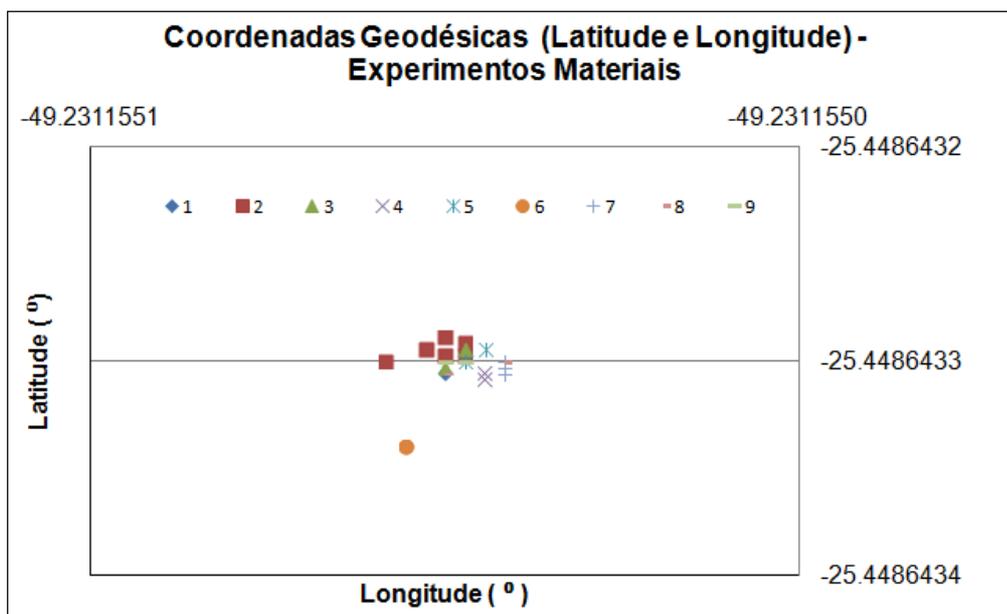


FIGURA 121- LATITUDE X LONGITUDE - DIFERENTES MATERIAIS
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 122 verifica-se que a variação máxima é de 6 cm devido há dois experimentos: o Experimento 2 (caixa pequena de isopor) e o Experimento 3 (estrutura de madeira), desconsiderando-se esses experimentos tem-se uma variação inferior a 1 cm.

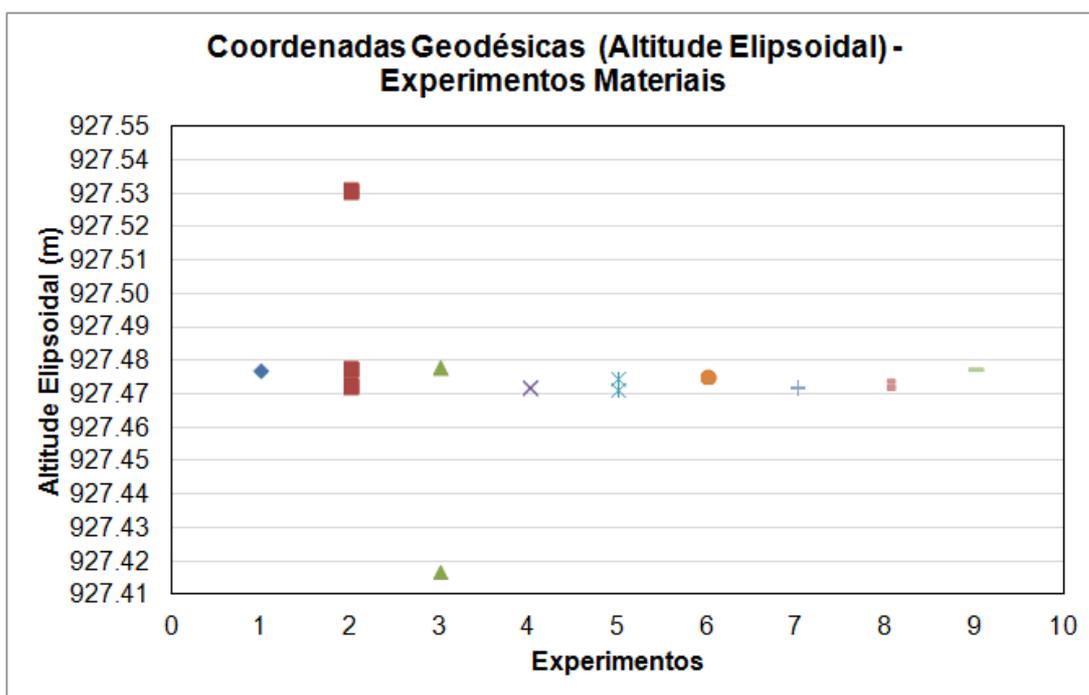


FIGURA 122- VARIAÇÃO NA ALTITUDE ELIPSOIDAL - EXPERIMENTOS MATERIAIS
 FONTE: AUTORA (2014)

Mediante as análises efetuadas com relação ao efeito médio do multicaminho e as coordenadas geodésicas obtidas para cada um dos experimentos (estruturas) constata-se que o Experimento 9 (estrutura composta de Caixa Grande Completa, Tabela 22) é a que apresentou os melhores resultados. Para esta estrutura têm-se as menores discrepâncias entre as coordenadas geodésicas e os menores efeitos médios de multicaminho para portadora L1 e L2. Essas análises possibilitaram a validação da estrutura montada, o que indica que ela não irá comprometer a coleta dos dados GPS durante a calibração das antenas em ambiente controlado.

Concluídas as análises das estruturas elaboradas para monitorar a temperatura e umidade procedeu-se a construção das estruturas que foram instaladas nos pilares 1000 (pilar de referência para a calibração das antenas) e 2000 (pilar para a antena a ser calibrada) da BCAL/UFPR (seção 3.1).

4.3.2. Estrutura para o PILAR 1000 (Pilar da antena de Referência)

Para o PILAR 1000 foi confeccionada uma estrutura denominada, ora vante, de Estrutura 1 (caixa maior azul). Inicialmente optou-se por testar o efeito médio do multicaminho neste pilar com a aplicação desta estrutura. Conforme indicado na seção 3.6.1 foram coletados dados GPS com a antena LEIAR25, que será utilizada como antena de referência no processo de calibração, intervalo de gravação dos dados de 15 segundos, coletaram-se dados durante três dias consecutivos com duração de 24 horas cada uma das sessões. Foram avaliados dados coletados de três formas distintas (seção 3.6.1): só com a antena devidamente instalada; Estrutura 1 (caixa maior azul) e o AEM-LAGEH e com a antena e a Estrutura 1 (Caixa Maior Azul).

Observam-se na Tabela 23 os valores médios obtidos da média do indicativo efeito de multicaminho (MP1 e MP2) para cada uma das observações realizadas.

TABELA 23 – VALOR MÉDIO DO EFEITO DO MULTICAMINHO PARA CADA EXPERIMENTO NO PILAR 1000

Experimentos	Dia GPS	MP1 (m)	MP2 (m)
Só Antena - LEIAR25	007/13	0,555	0,503
	008/13	0,768	0,644
	012/13	0,525	0,474
Estrutura 1 (Caixa Maior Azul) e AEM-LAGEH	023/13	0,553	0,472
	038/13	0,847	0,710
	037/13	0,653	0,558
Estrutura 1 (Caixa Maior Azul) e Sem AEM-LAGEH	043/13	0,773	0,699
	044/13	0,713	0,552
	045/13	0,635	0,563

FONTE: AUTORA (2014)

A análise do efeito médio do multicaminho foi realizada tomando-se como referência os valores obtidos para o Experimento 1 (só com antena) comparando com os demais experimentos realizados (Tabela 23) FIGURAS 123 e 124. Na FIGURA 123 observa-se que o Experimento 1 (Dia GPS 007/13, Dia GPS 008/13 e Dia GPS 012/13) apresenta uma variação de aproximadamente 30 cm para o MP1 entre dois dias de observação. Esta mesma variação de MP1 é detectada entre os experimentos 2 (Dia GPS 037/13, Dia GPS 038/13 e Dia GPS 023/13). Para os experimentos 3 (Dia GPS 043/13, Dia GPS 044/13 e Dia GPS 045/13) percebe-se uma variação de MP1 de cerca de 12 cm.

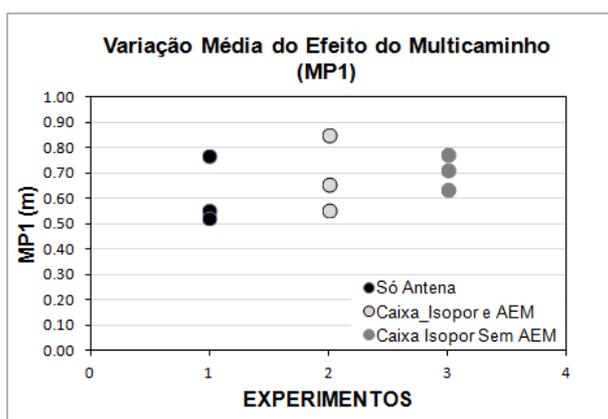


FIGURA 123- MP1-PILAR 1000
FONTE: AUTORA (2014)

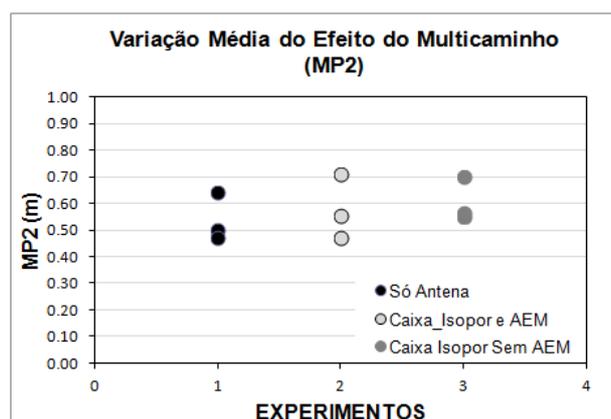


FIGURA 124- MP2-PILAR 1000
FONTE: AUTORA (2014)

Os valores de MP2 podem ser observados na FIGURA 124. Verifica-se uma discrepância maior entre duas das observações e a terceira observação para cada um dos experimentos efetuados. Constata-se uma amplitude de MP2 de 20 cm para as observações que compõem os experimentos 1 e 2 e uma amplitude de MP2 de

cerca de 15 cm para as observações que compõem o experimento 3. Na sequência realiza-se uma análise dos valores médios de multicaminho para cada satélite para os experimentos que apresentaram os menores valores deste efeito. Gráficos com informações dos valores médio, máximo, mínimo e desvio padrão do multicaminho para cada satélite foram gerados e são apresentados nas FIGURAS 125 a 130.

Na FIGURA 125 têm-se os valores de MP1 para o Dia GPS 012/13 que compõem os experimentos com o emprego só da antena. Percebe-se que o valor máximo observado do MP1 é de aproximadamente 35 m para o sinal do satélite 16 e que o valor mínimo é de -10 m para os sinais dos satélites 12, 16, 19 e 31. Observe-se que os valores médios não são superiores a 1 m e que o desvio padrão varia entre 0,16 e 1,0 m exceto para o sinal do satélite 16 que apresenta um valor de 1,8 m.

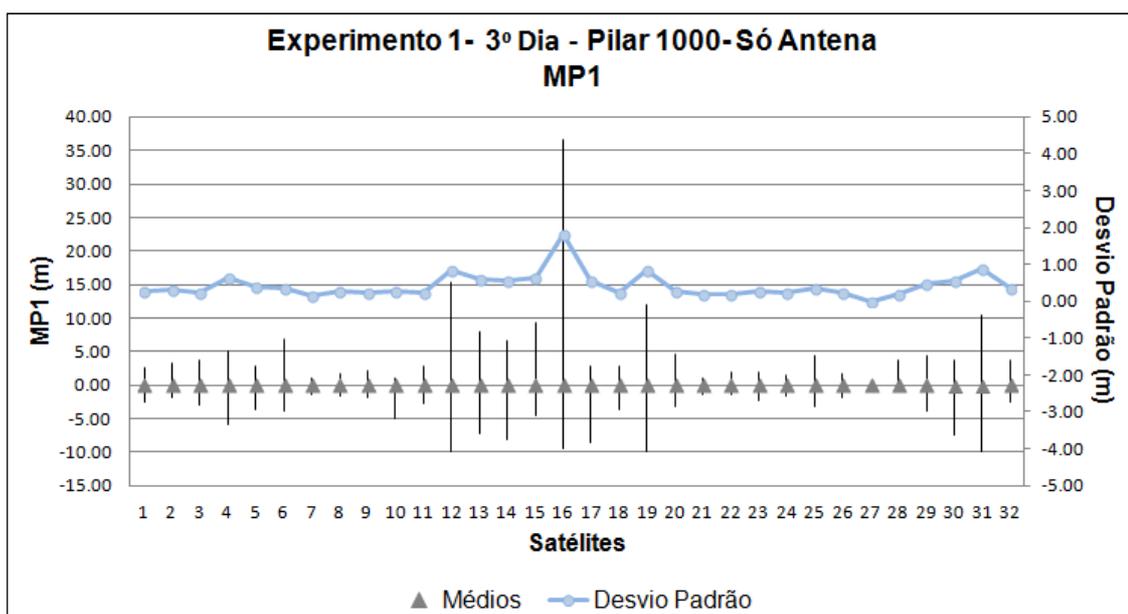


FIGURA 125- EXPERIMENTO 1- SÓ COM ANTENA - VALORES DO MP1 PARA CADA SATÉLITE - PILAR 1000
 FONTE: AUTORA (2014)

Os valores de MP1 para o Dia GPS 023/13 que compõem os experimentos com o emprego da Estrutura 1 + AEM-LAGEH estão representados na FIGURA 126. Nessa figura observa-se que os valores máximos são inferiores a 25 m. Os desvios padrão tem variações entre 0 e 1 m.

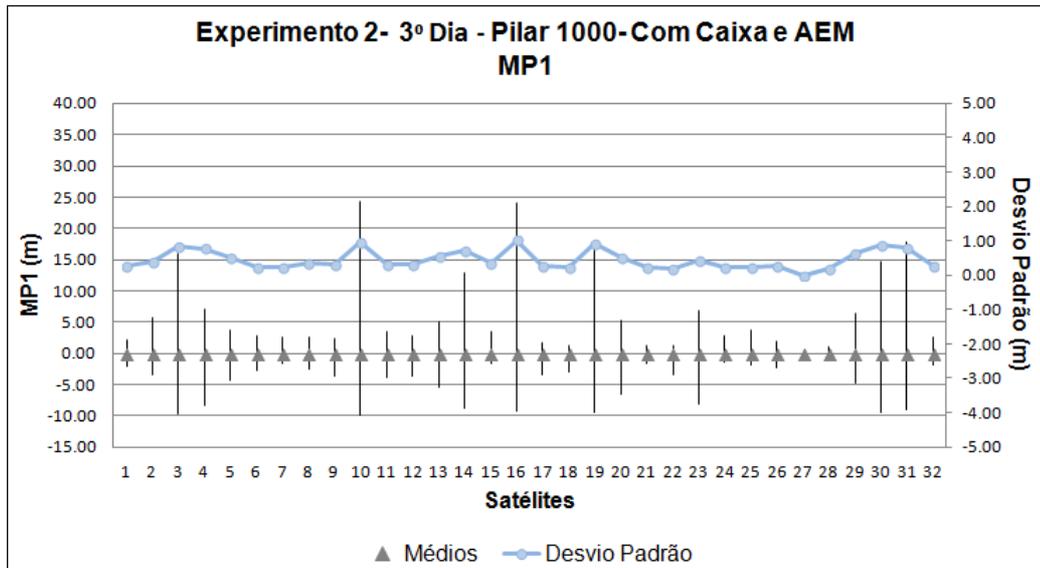


FIGURA 126- Experimento 2 - Valores do MP1 para cada satélite -PILAR 1000
 FONTE: AUTORA (2014)

Os valores do MP1 para os sinais dos satélites observados para o Dia GPS 045/13 do experimento 3 (Estrutura 1 sem AEM) podem ser visualizados na FIGURA 127. Percebe-se que os valores máximos tem uma menor variação do que ocorreu com os experimentos anteriores (FIGURAS 125 e 126). Apenas o sinal do satélite 13 apresenta um valor máximo superior a 40 m, os demais apresentam estes valores inferiores a 15m. Os valores médios são da ordem de 0,2 m e o maior desvio padrão foi obtido para o satélite 13, cerca de 2,4 m. Para os demais sinais dos satélites este valor é inferior a 1 m.

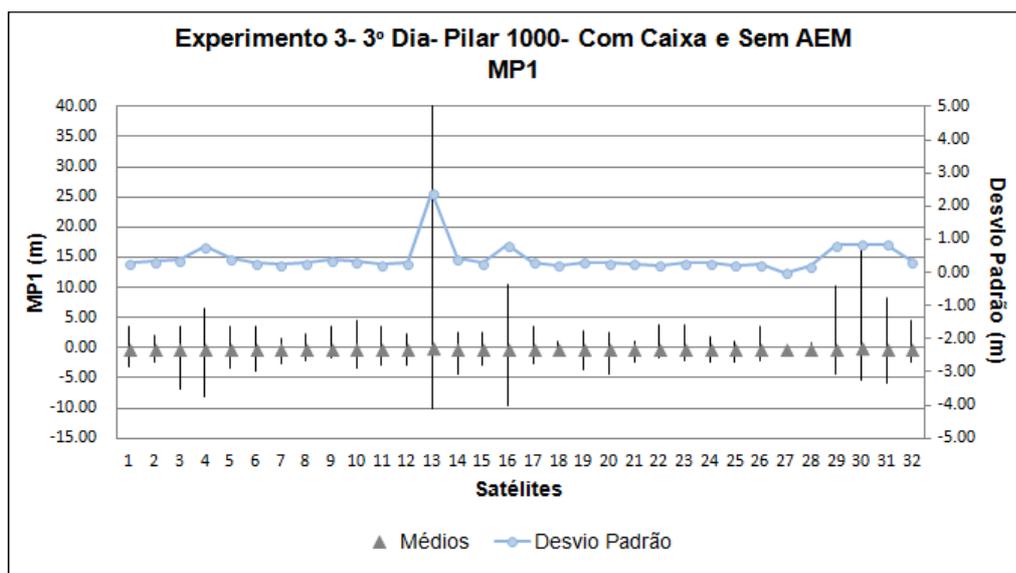


FIGURA 127- EXPERIMENTO 3 - VALORES DO MP1 PARA CADA SATÉLITE -PILAR 1000
 FONTE: AUTORA (2014)

Os valores do MP2 para os experimentos selecionados (Tabela 23) podem ser visualizado nas FIGURAS 128 a 130. Na FIGURA 128 observam-se os valores do MP2 para o Dia GPS 012/13, experimento 1 (só antena). Verifica-se que o valor máximo de MP2 ultrapassa 50 m para o sinal do satélite 16 e os valores do desvio padrão estão entre 0 e 1 m para todos os sinais dos satélites, exceto o sinal dos satélite 16 cujo valor atingiu cerca de 2,2 m .

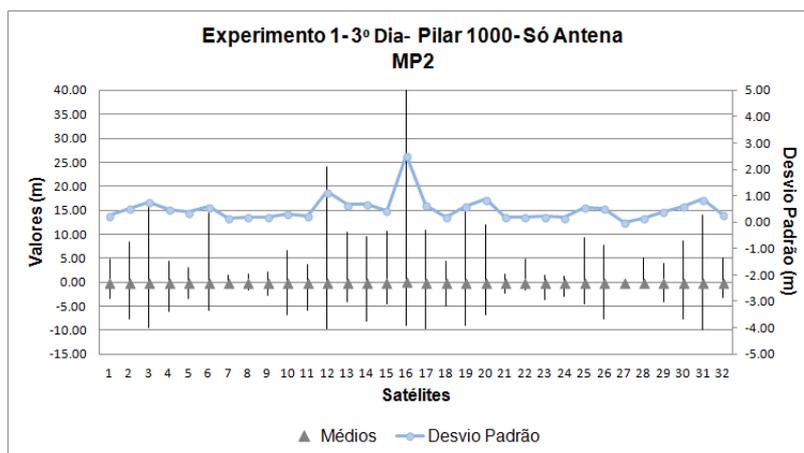


FIGURA 128- EXPERIMENTO 1 - VALORES DO MP2 PARA CADA SATÉLITE -PILAR 1000
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 129 mostram-se os valores do MP2 para o Dia GPS 023/13 experimento 2 (antena + caixa de isopor + madeira +AEM). Comparando esta figura com a FIGURA 128 percebe-se uma diminuição dos valores de MP2 máximos, bem como, os valores do desvio padrão, esses variam de 0 a 1 m. As maiores amplitudes de MP2 ocorrem para sinais de nove satélites dos 32 observados.

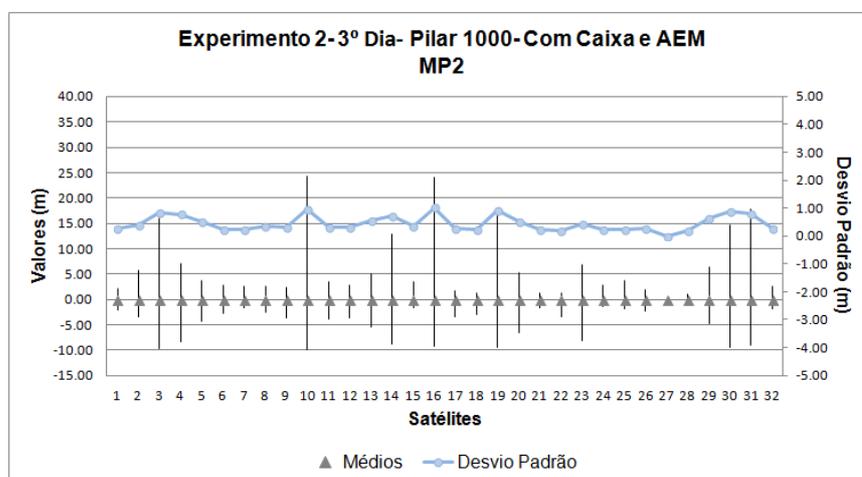


FIGURA 129- EXPERIMENTO 2 - VALORES DO MP2 PARA CADA SATÉLITE -PILAR 1000
 FONTE: AUTORA (2014)

Finalizando as análises do efeito médio do multicaminho para os experimentos realizados no PILAR 1000 (Tabela 22) tem-se a FIGURA 130. Ela apresenta os valores do MP2 para o Dia GPS 045/13 experimento 3 (Estrutura 1 - caixa maior azul sem AEM-LAGEH). Observa-se uma diminuição dos valores máximo do MP2 exceto para os sinais dos satélites 18,20 e 26. Para os sinais dos satélites 30 e 31 os valores máximos conservaram aproximadamente o mesmo valor indicado na FIGURA 130.

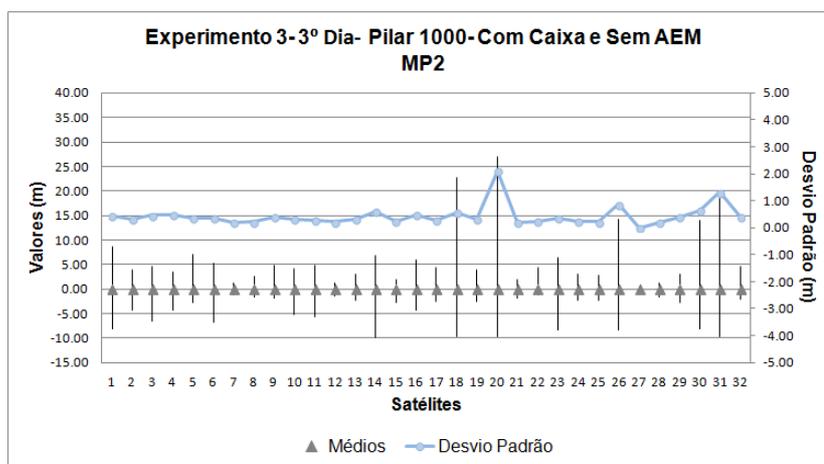


FIGURA 130- EXPERIMENTO 3 - VALORES DO MP2 PARA CADA SATÉLITES -PILAR 1000
 FONTE: AUTORA (2014)

São analisadas as diferenças entre os valores máximos do MP1 (FIGURA 131) obtidos com os experimentos Dia GPS 012/13 (experimento1, só antena) e Dia GPS 045/13 (experimento 3 - Estrutura 1 e sem AEM-LAGEH). Para essa análise aplicou-se como referência o experimento 1 menos os valores máximos do experimento 3.

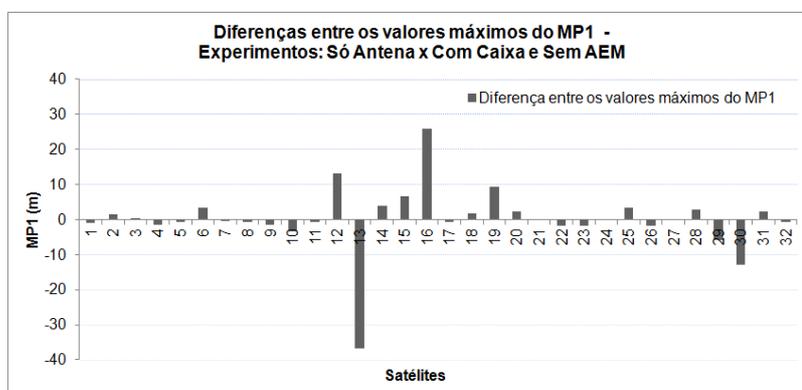


FIGURA 131- DIFERENÇAS ENTRE OS VALORES MÁXIMOS DE MP1 ENTRE OS EXPERIMENTOS 1 E 3 -PILAR 1000
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 131 percebe-se uma variação positiva para sinais de 13 satélites, isto é, o experimento 1 produziu valores de MP1 maiores que aqueles obtidos com o experimento 3. As variações mais significativas ocorrem para o sinal do satélite 12, valor de cerca de 12 m e para o satélite 16, variações de cerca de 25 m. Para o experimento 3 percebe-se uma variação negativa para sinais de 16 satélites, os valores do MP1 foram maiores. As variações calculadas são inferiores a 10 m com exceção aos sinais dos satélites 13 e 30.

As variações do MP1 para os satélites 13 e 16 ocorridas no Dia GPS 012/13 (experimento1) e Dia GPS 045/13 (experimento 3) foram representadas com a elevação para cada um deles. Na FIGURA 132 têm-se os valores do MP1 e elevação do satélite 13, experimento 3. As maiores variações de MP1 ocorrem no início da observação por aproximadamente 40 minutos. Neste intervalo de tempo verifica-se que o satélite 13 possui ângulo de elevação menor que 20°.

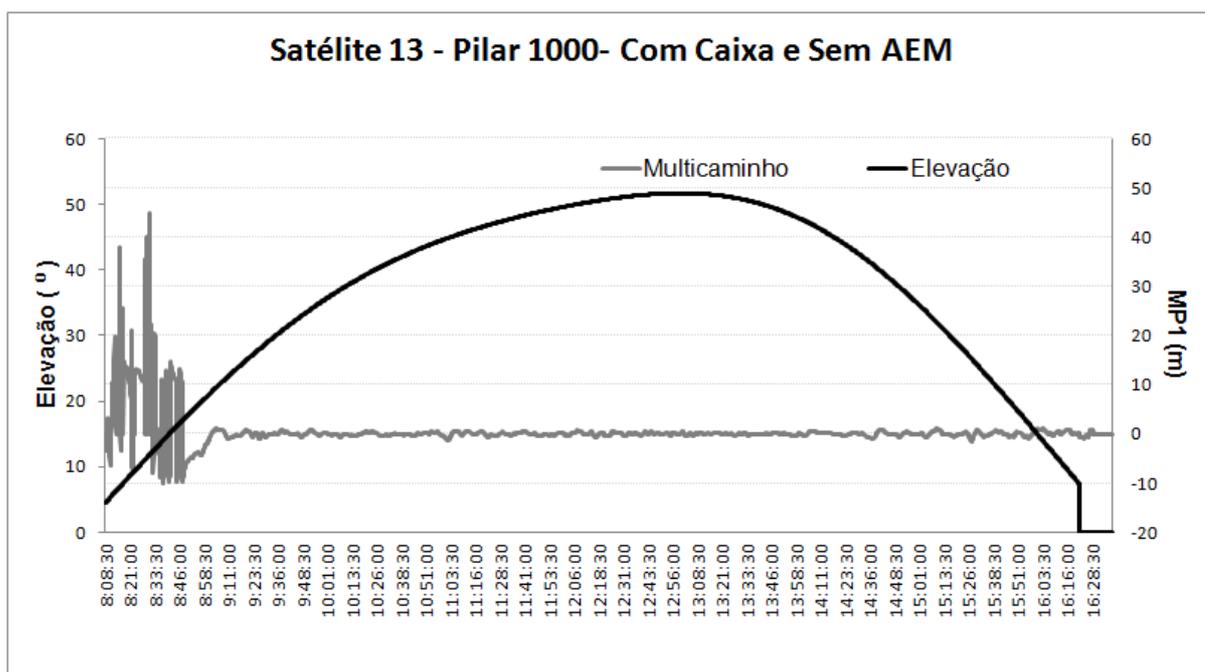


FIGURA 132- SATÉLITE 13- ELEVÇÃO X TEMPO DE OBSERVAÇÃO E MP1 X TEMPO DE OBSERVAÇÃO
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 133 são apresentados os valores do MP1 e elevação para o satélite 16, para o experimento 1. Observa-se que uma maior variação do MP1 ocorre no final do primeiro período em que o satélite está visível para este local de observação (das 2h43min45s até as 3h39min45s) e depois no início do segundo

período de visibilidade do satélite para este local de observação (das 5h51min00s até as 6h47min15s). Nesses dois intervalos de tempo o ângulo de elevação do satélite 16 é menor que 40°.

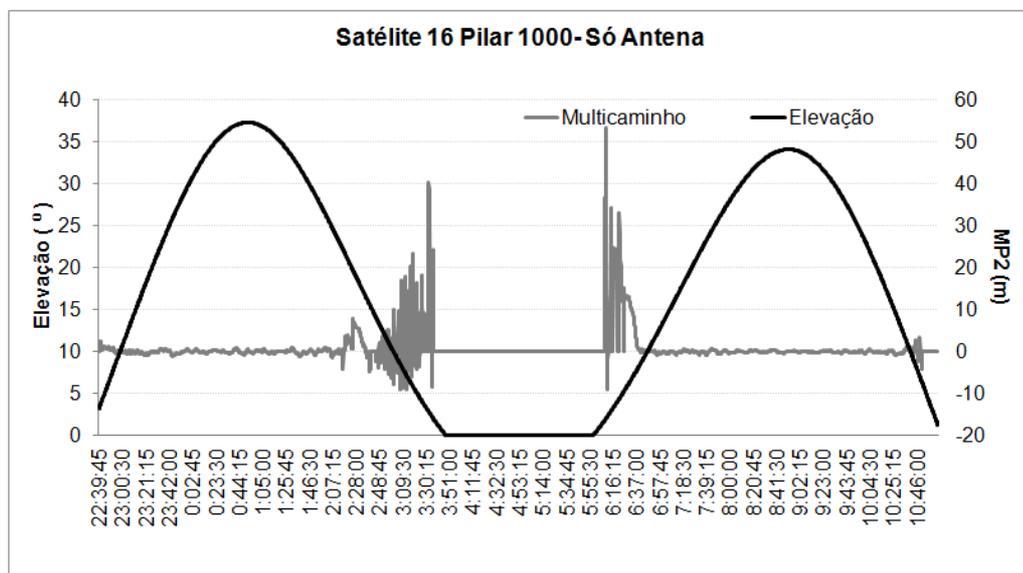


FIGURA 133- SATÉLITE 16- ELEVÇÃO X TEMPO DE OBSERVAÇÃO E MP1 X TEMPO DE OBSERVAÇÃO
 FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças entre os valores máximos do MP2 obtidos para os experimentos 1-só antena (Dia GPS 012/13) e 3 - com caixa e sem AEM (Dia GPS 045/13) podem ser observados na FIGURA 134. Ressalta-se que para essa análise empregou-se como referência o experimento 1 menos os valores dos experimentos 3.

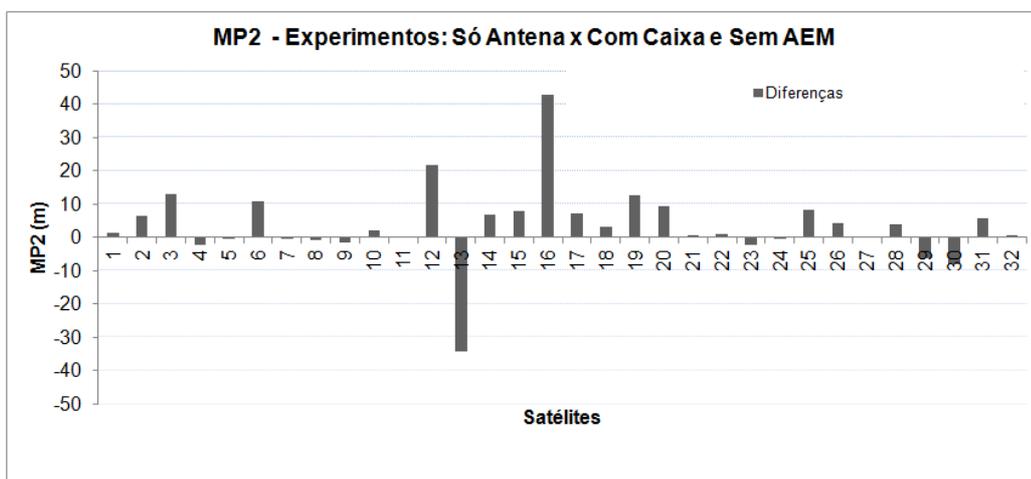


FIGURA 134- DIFERENÇAS ENTRE OS VALORES MÁXIMOS DE MP2 ENTRE OS EXPERIMENTOS 1 E 3 - PILAR 1000
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 134 visualiza-se uma variação maior para as diferenças máximas entre os valores o experimento 1 (só antena, Dia GPS 012/13), neste caso tem-se um maior número de satélites com valores de MP2 superiores para este experimento. O satélite 16 apresenta o maior valor de MP2, ou seja, cerca de 42 m (FIGURA 129). Já para o experimento 3 (Estrutura 1 sem AEM-LAGEH) (FIGURA 130) as diferenças são menores e ocorrem para um menor número de satélites.

Na FIGURA 135 observam-se as elevações para o satélite 16 para o experimento 1. Esse satélite está abaixo 40° de elevação e percebe-se que a variação do MP2 é maior nos períodos que este satélite está abaixo de 10° . Apenas o satélite 16 apresenta uma diferença para MP2 maior que 40 m (FIGURA 135).

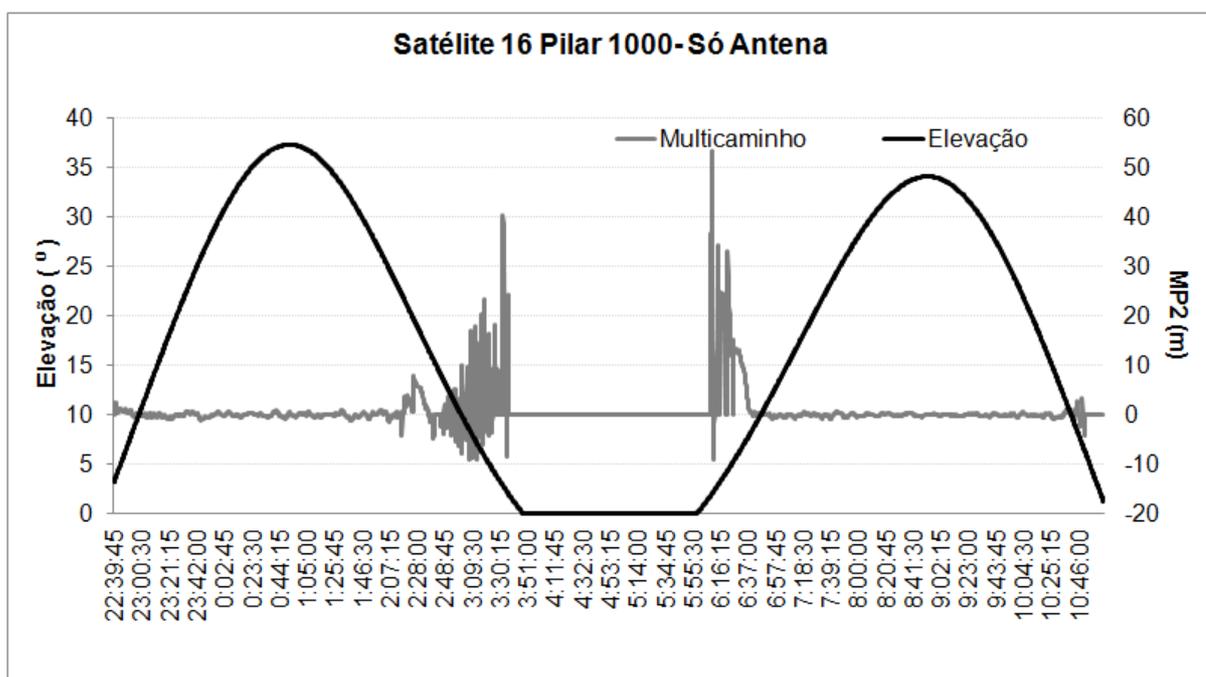


FIGURA 135- SATÉLITE 16- ELEVÇÃO X TEMPO DE OBSERVAÇÃO E MP2 X TEMPO DE OBSERVAÇÃO
 FONTE: AUTORA (2014)

Mediante uma análise das FIGURAS 131 a 134 pode-se observar que os valores do multicaminho não sofreram interferências da recepção do sinal utilizando a estrutura 1- Caixa Maior Azul. Comparando os experimentos 1 e 3 foi possível verificar que houve uma diminuição dos valores máximos do multicaminho, bem como, dos desvios padrão. Os experimentos 2 e 3 mostram que a utilização do AEM com a antena LEIAR25 não foi eficiente para esta configuração pois a

minimização dos valores de MP1 e MP2 não foi significativa. Desta forma a estrutura adotada para a realização da calibração controlada no PILAR 1000 é a empregada no experimento 3, isto é, estrutura 1 - Caixa Maior Azul e sem AEM.

4.3.3. Estrutura para o PILAR 2000 (Antena a ser Calibrada)

Conforme exposto na seção 3.6.2 visando avaliar a estrutura confeccionada para o PILAR 2000, no qual a antena será calibrada, foram realizados alguns experimentos. Esses foram importantes para que fosse possível definir uma estrutura capaz de controlar as variáveis meteorológicas, minimização do efeito do multicaminho e que tivesse espaço suficiente para a rotação da antena com o DRB. Foram testadas duas estruturas conforme descrição na seção 3.6.2.

As diferenças entre os valores do MP1 e MP2 dos experimentos 1-6 (Estrutura 1 com Antena, Estrutura 2 - Versão 1 e Estrutura 2 - Versão 2) podem ser observadas nas FIGURAS 136 e 137, respectivamente.

Na FIGURA 136 verifica-se que existem seis experimentos com diferentes estruturas e modelos de antenas.

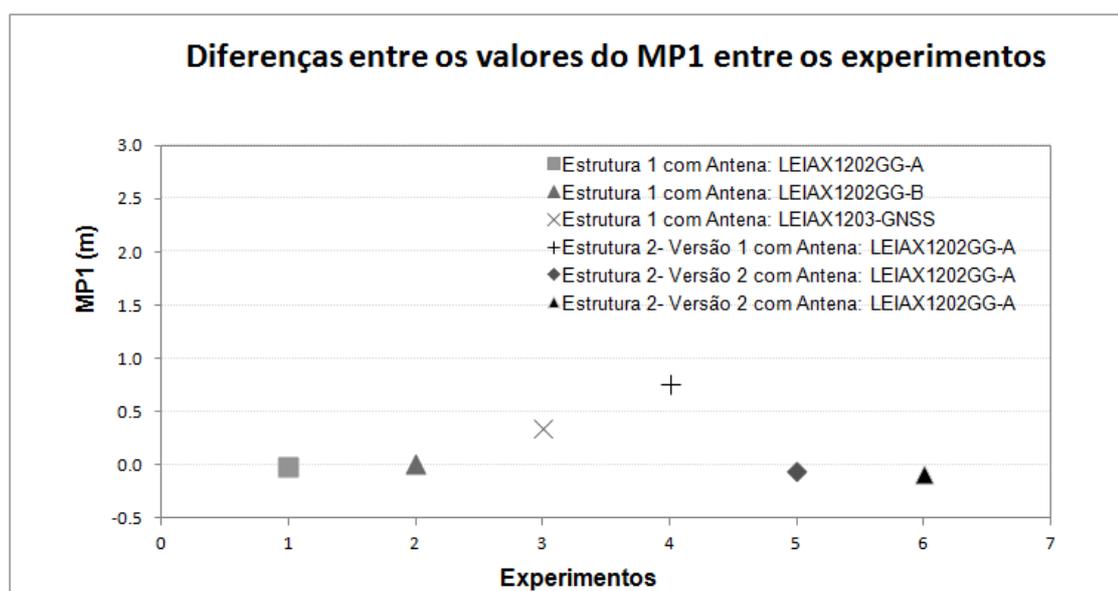


FIGURA 136- DIFERENÇAS MP1 ENTRE OS VALORES MÉDIOS OBTIDOS SOMENTE COM ANTENA E ESTRUTURA NO PILAR 2000
FONTE: AUTORA (2014)

Os experimentos 1, 2 e 3 indicam estas diferenças para MP1 com a Estrutura 1 e com as antenas LEIAX 1202-GG (A), LEIAX 1202-GG (B) e LEIAX 1203-GNSS (C). O experimento 4 refere-se a essas diferenças de MP1 com a Estrutura 2- Versão 1 com a antena LEIAX1202-GG (A) e os experimentos 5 e 6 referem-se a essas diferenças de MP1 com a Estrutura 2- Versão 2 e com a antena LEIAX1202-GG (A). A maior diferença ocorre para o experimento 4, sendo de cerca de 0,80 m. Fato esse que contribuiu para a elaboração da Estrutura 2 - Versão 2. Nos experimentos 5 e 6 apresentam uma diferença de aproximadamente 0,10 m. Com esses experimentos comprova-se que a Estrutura 2 - Versão 2 é a mais eficiente no que diz respeito ao efeito do multicaminho.

As diferenças do MP2 podem ser visualizadas na FIGURA 137. Observa-se uma diferença de 0,80 m para o experimento 4 e que as diferenças entre os experimentos 1 e 2 quando comparados com os experimentos 5 e 6 são da ordem de 0,10 m.

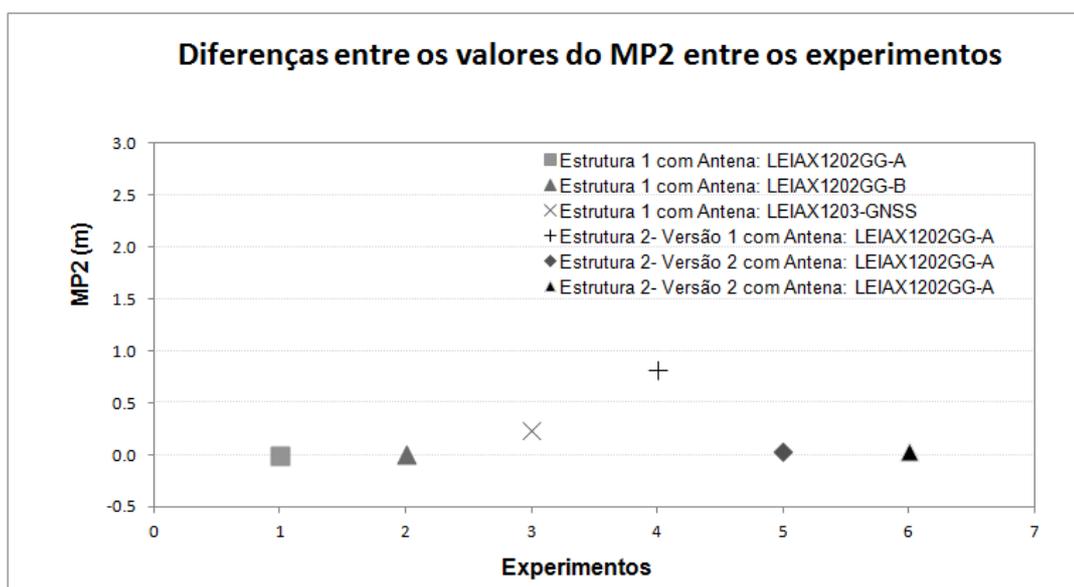


FIGURA 137- DIFERENÇAS MP2 ENTRE OS VALORES MÉDIOS OBTIDOS SOMENTE COM ANTENA E ESTRUTURA NO PILAR 2000
 FONTE: AUTORA (2014)

Realizou-se uma análise dos valores do MP1 para cada satélite. Optou-se em avaliar três experimentos, sendo o primeiro somente com os dados coletados com a antena (LEIAX 1202-GG (A)); no segundo experimento coletou-se dados com a antena dentro da Estrutura 1 e o terceiro experimento consistiu da análise dos dados coletados com a antena dentro da Estrutura 2 - Versão 2.

Os valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão do MP1 calculados a partir dos dados coletados somente com a antena LEIAX1202GG (A) podem ser observados na FIGURA 138. Percebe-se que os maiores valores máximos e para o desvio padrão ocorrem para os sinais dos satélites 12 e 14.

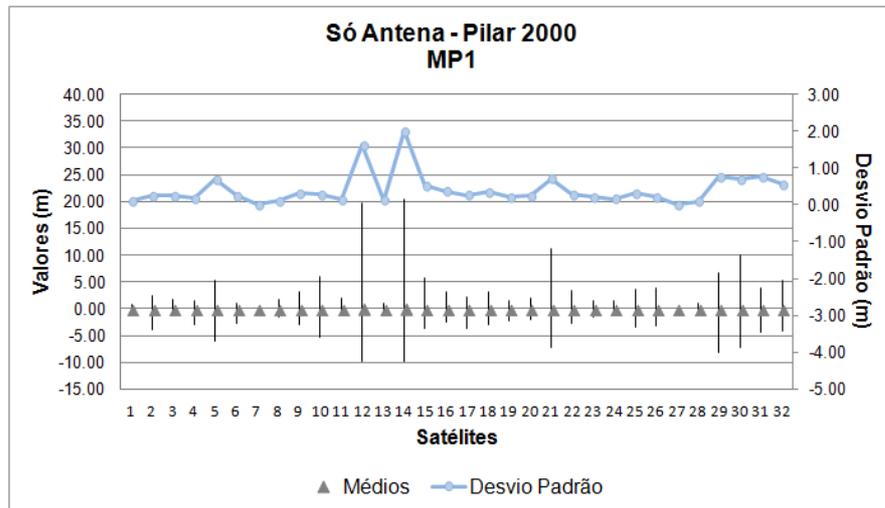


FIGURA 138- MP1 SOMENTE COM ANTENA NO PILAR 2000
 FONTE: AUTORA (2014)

Os valores (máximos, mínimos, médios e desvio padrão) do MP1 calculados a partir dos dados coletados com a antena LEIAX1202GG (A) dentro da Estrutura 1 podem ser observados na FIGURA 139. Verifica-se que somente para o satélite 5 os valores são superiores a 15 m. Percebe-se que o desvio padrão varia de 0 a 1,5 m.

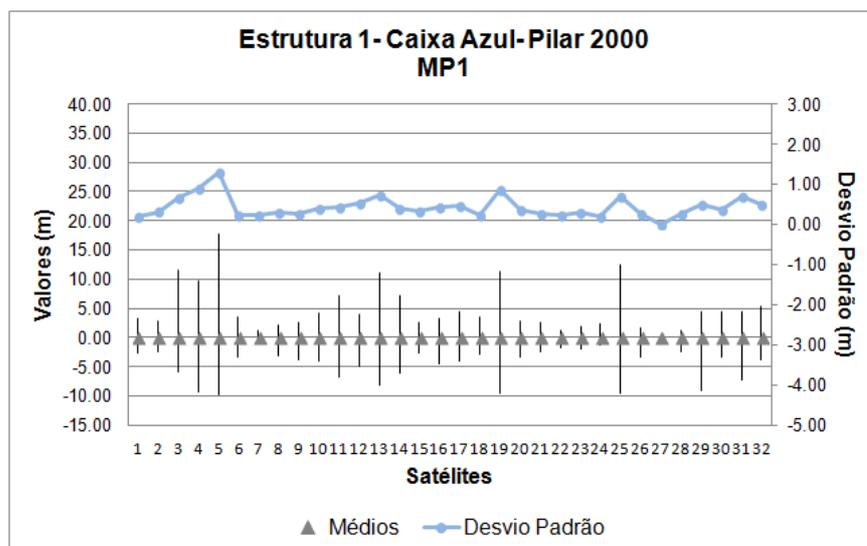


FIGURA 139- MP1 CALCULADO A PARTIR DOS DADOS OBIDOS COM A ESTRUTURA 1 NO PILAR 2000
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 140 observam-se os valores (máximos, mínimos, médios e desvio padrão) do MP1 calculados a partir dos dados coletados com a antena LEIAX1202GG (A) dentro da Estrutura 2- Versão 2. Verifica-se que os valores máximos (superiores a 15 m) apresentam-se para os sinais dos satélites 5 e 26 e que o desvio padrão varia entre 0 a 1 m.

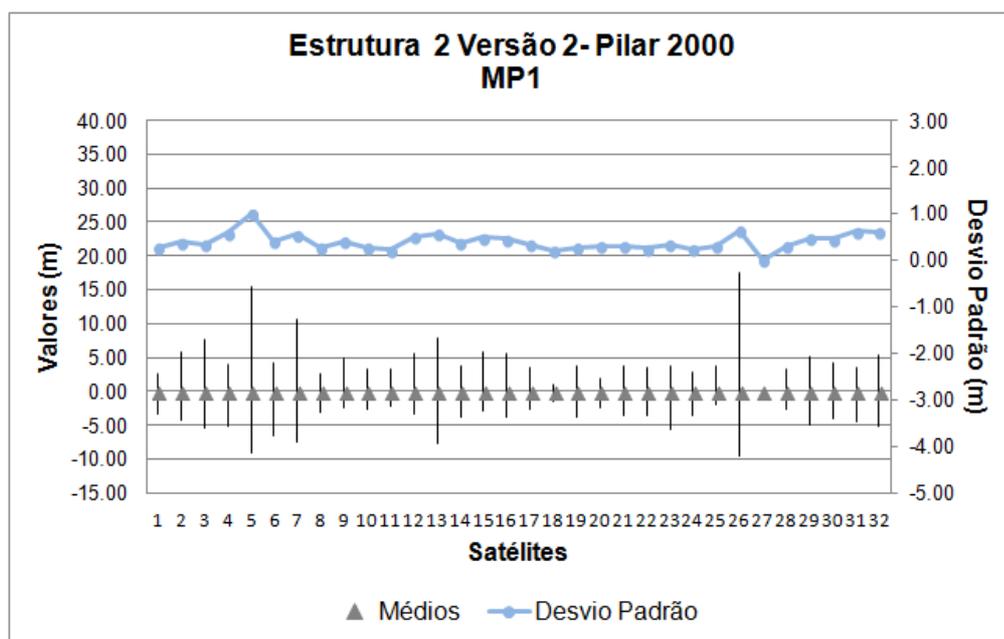


FIGURA 140- MP1 CALCULADO A PARTIR DOS DADOS OBIIDOS COM A ESTRUTURA 2 VERSÃO 2 NO PILAR 2000
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 141 observam-se os valores máximos e o desvio padrão do MP1 para três experimentos (Só antena, Estrutura 1 e Estrutura 2 - Versão 2). Ao se comparar os valores máximos para os experimentos 1 e 2 verifica-se que 32% dos valores máximos pertencem ao experimento 1 e 58% dos satélites apresentam valores máximos para o experimento 2. Comparando os experimentos 1 e 3 observa-se que 25% dos valores máximos pertencem ao experimento 1 e 61% dos satélites apresentam valores máximos para o experimento 3. Quando se compara os valores máximos dos experimentos 2 e 3 pode se observar que 42% dos valores máximos pertencem aos satélites dos experimentos 2 e que 48% dos valores máximos pertencem ao experimento 3. Comparando os valores do desvio padrão percebe-se que a há uma variação maior para o experimento 1, realizado somente com a antena LEIAX 1202 GG (A).

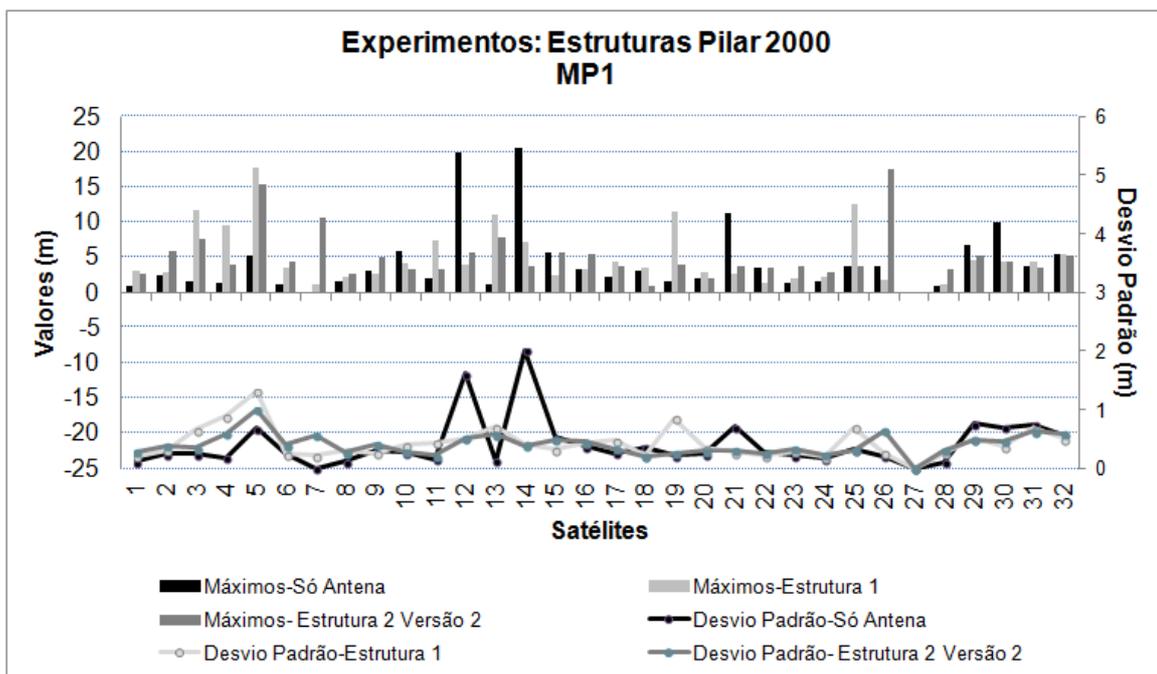


FIGURA 141- VALORES MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DOS EXPERIMENTOS PARA MP1
 FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças entre os valores máximos para MP1 estão indicadas na FIGURA 142 para os experimentos Só antena e Estrutura 2 - Versão 2. Essa análise é resultante da diminuição dos valores máximos entre os experimentos Só antena e Estrutura 2. Os sinais dos satélites 12 e 14 indicam as maiores diferenças para o experimento realizado com Estrutura 2 - Versão 2.

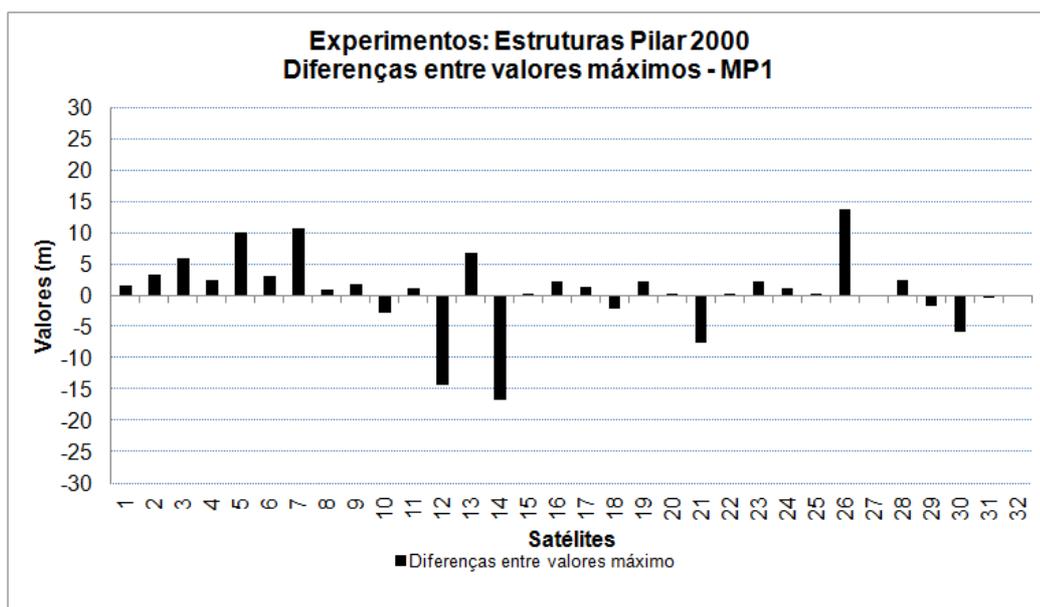


FIGURA 142- DIFERENÇAS ENTRE VALORES MÁXIMOS E PARA EXPERIMENTOS PARA MP1
 FONTE: AUTORA (2014)

Os valores máximos, mínimos, médios e o desvio padrão dos valores do MP2 para o experimento Só antena podem ser visualizados na FIGURA 143. O maior valor máximo para o MP2 ocorre para o sinal do satélite 6, sendo de aproximadamente 35 m. Os valores do desvio padrão variaram de 0 a 2,4 m.

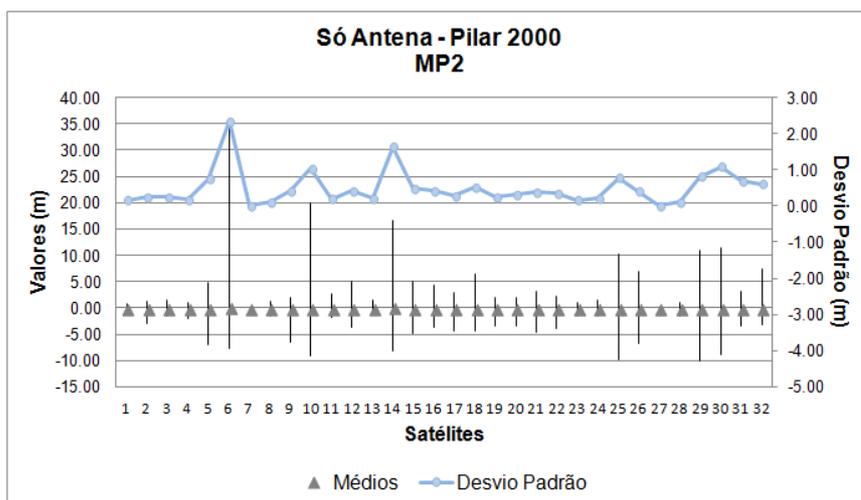


FIGURA 143- VALORES DO MP2 CALCULADO A PARTIR DOS DADOS OBIDOS SÓ COM A ANTENA PARA O PILAR 2000
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 144 percebe-se os valores máximos, mínimos, médios e o desvio padrão do MP2 para o experimento com a Estrutura 2- Versão 2 . Observa-se que o maior valor máximo do MP2 ocorre para o sinal do satélite 7, valor esse de aproximadamente 21 m. Os valores do desvio padrão variaram de 0 a 1,5 m.

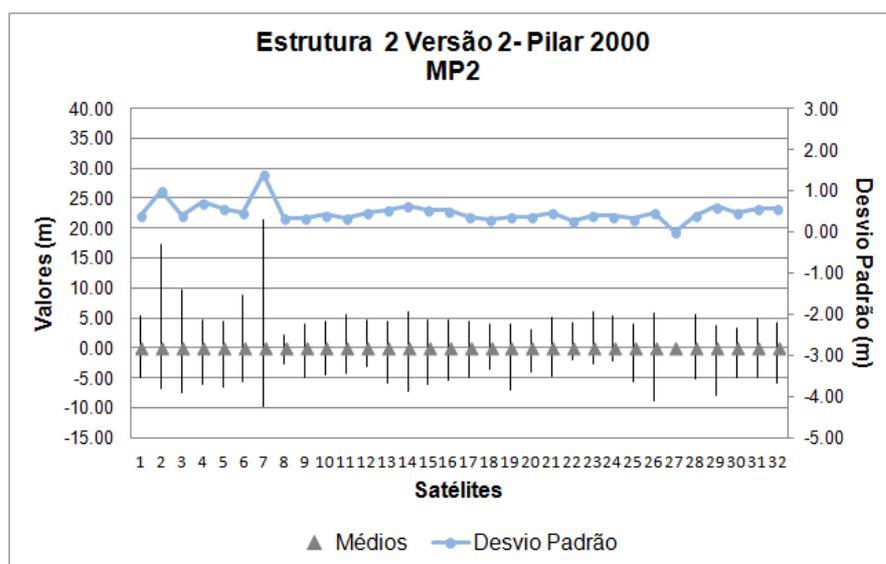


FIGURA 144- VALORES DO MP2 CALCULADO A PARTIR DOS DADOS OBIDOS COM A ESTRUTURA 2 VERSÃO 2 NO PILAR 2000
 FONTE: AUTORA (2014)

Comparando as FIGURAS 143 e 144 visualiza-se que os maiores valores do MP2 acontecem para o experimento em que se empregou apenas a antena instalada no PILAR 2000. Essa comparação auxiliou na comprovação de que a estrutura construída (Estrutura 2 - Versão 2) não aumentou o efeito do multicaminho nas observações.

Os valores máximos e desvio padrão dos valores do MP2 dos três experimentos podem ser observados na FIGURA 145. A maior variação do desvio padrão foi obtida para o experimento Só antena. Comparando o experimento 1 com o experimento 2 têm-se que 58% dos valores máximos pertencem ao experimento 2 e 32% para o experimento 1. Comparando o experimento 1 com o experimento 3 têm-se 32% e 68% dos valores máximos, respectivamente. Comparando os experimentos 2 e 3 observam-se que os maiores valores máximos ocorrem para o experimento 2, apresentando 6% a mais do valores máximos.

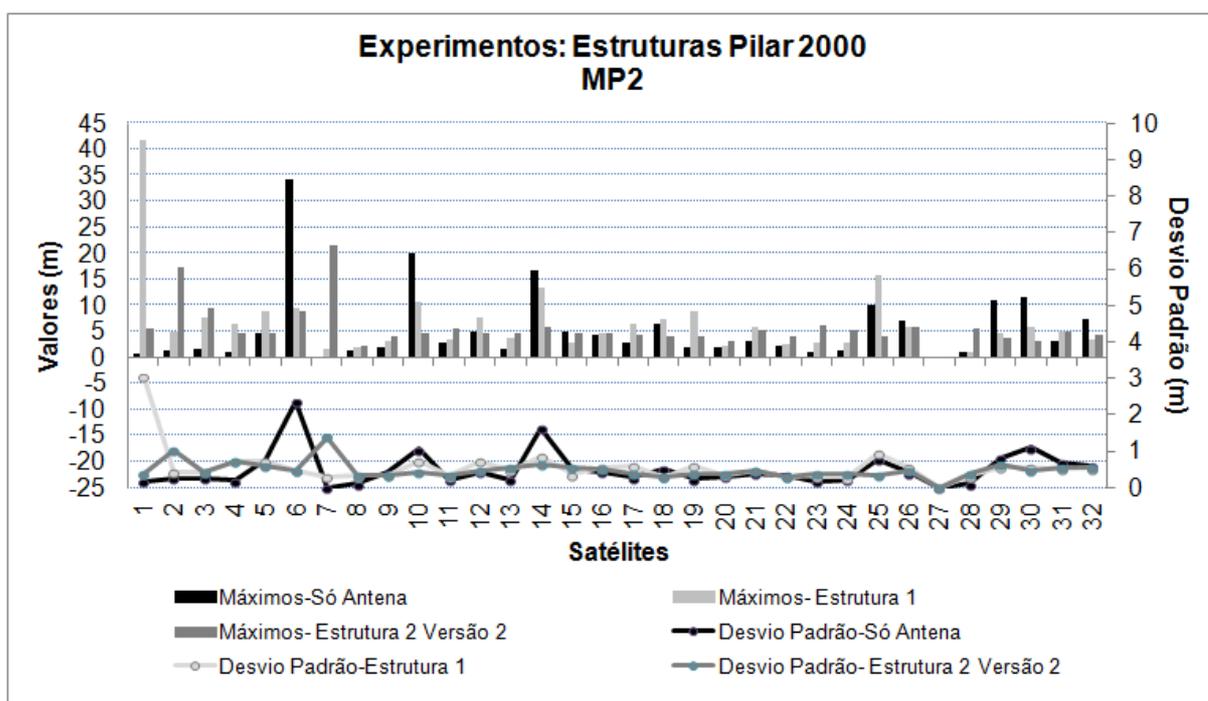


FIGURA 145- VALORES MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DOS EXPERIMENTOS PARA MP2
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 146 têm-se as diferenças entre os valores máximos para MP2 para os experimentos Só antena e Estrutura 2 - Versão 2. O maior número de satélites com diferenças entre valores máximos ocorrem para o experimento Só antena.

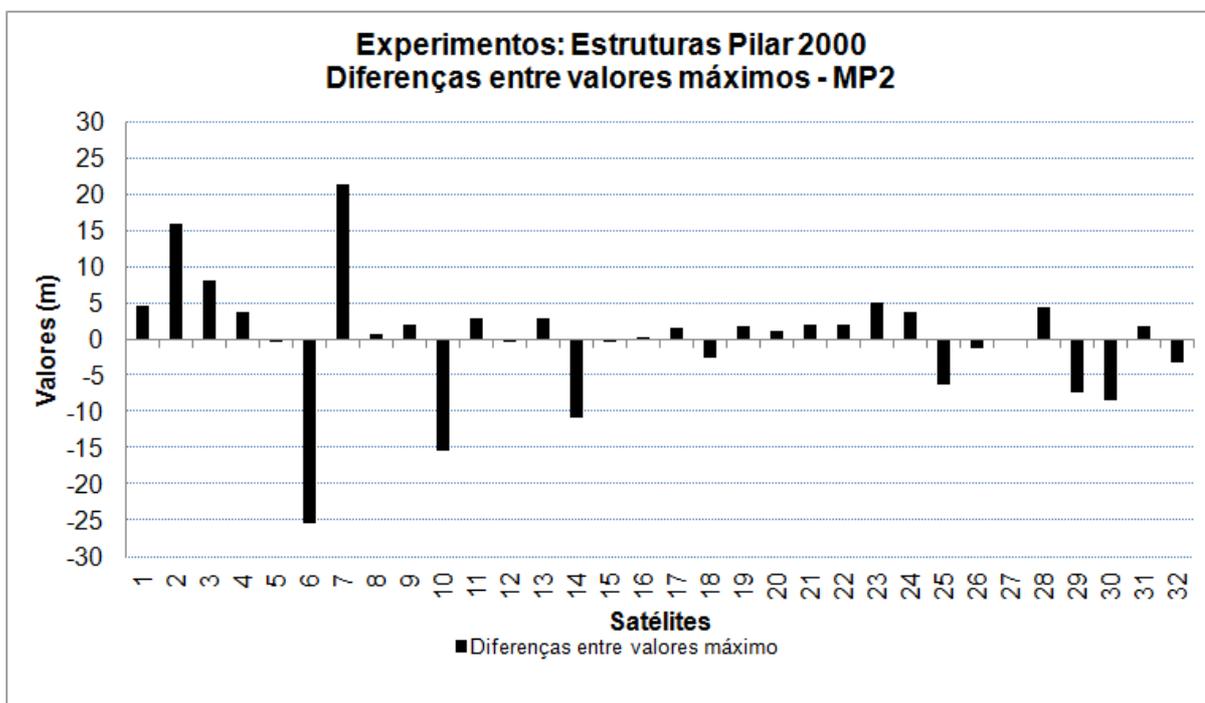


FIGURA 146- DIFERENÇAS ENTRE VALORES MÁXIMOS E PARA EXPERIMENTOS PARA MP2
 FONTE: AUTORA (2014)

4.4 MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NO INTERIOR DAS ESTRUTURAS

Visando realizar o monitoramento das variáveis meteorológicas (temperatura e umidade relativa do ar) observadas durante os processos de calibração das antenas GPS foram efetuados alguns experimentos em maio, junho e julho de 2013. Duas antenas do mesmo modelo (LEIAX1202 GG) foram calibradas, na mesma época do ano, e em ambientes controlados (estruturas definidas e testadas, seções 3.6.1 e 3.6.2). As variáveis meteorológicas internas são comparadas com as variáveis meteorológicas externas, observadas na Estação Curitiba (INMET) (seção 3.7.2).

4.4.1 Comparação dos Ambientes Controlados (PILAR 1000 e 2000)

Durante a calibração da antena LEIAX1202GG (A) em ambiente controlado foram observadas as variáveis (temperatura e umidade) internas. Dez experimentos foram realizados. Conforme apresentado na seção 3.7.1 foram registradas as variáveis internas de 20 em 20 minutos nos Pilares 1000 e 2000, ambos com as estruturas de controle. Os valores internos foram comparados visando identificar qual ambiente apresentou um controle mais eficiente. Nessa comparação analisam-se os valores máximos, mínimos, médios e de desvio padrão observados para cada dia de calibração.

Observam-se nas FIGURAS 147-150 o monitoramento das variáveis: umidade relativa do ar e temperatura dos dez dias de experimentos nos ambientes monitorados (PILAR 1000 e PILAR 2000).

Nas FIGURAS 147 e 148 comparam-se a variável umidade relativa do ar confrontado com o tempo de observação nos pilares 1000 e 2000, respectivamente. Percebe-se que existem diferenças entre os dois ambientes monitorados, por exemplo, para o dia 29/05/2013 essas diferenças são de aproximadamente 30 %.

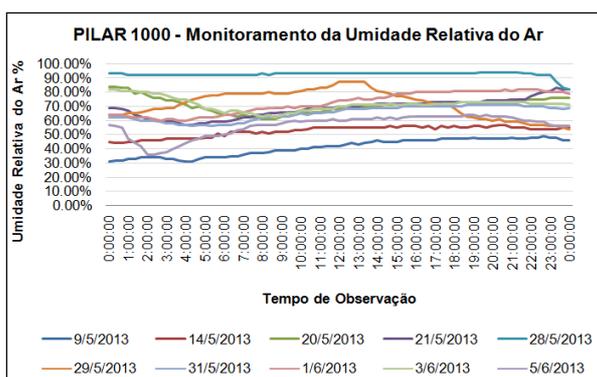


FIGURA 147- MONITORAMENTO NO PILAR 1000 DA VARIÁVEL DA UMIDADE RELATIVA DO AR
FONTE: AUTORA (2014)

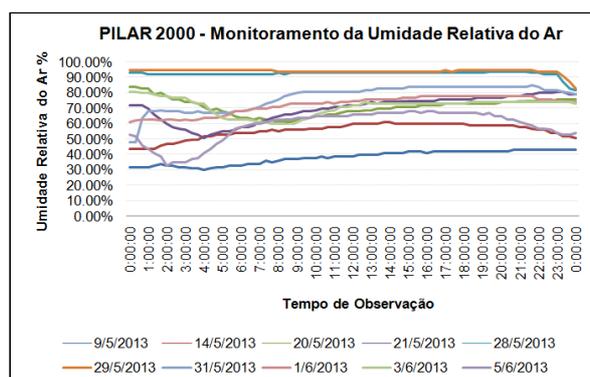


FIGURA 148- MONITORAMENTO NO PILAR 2000 DA VARIÁVEL DA UMIDADE RELATIVA DO AR
FONTE: AUTORA (2014)

Nas FIGURAS 149 e 150 comparam-se a variável temperatura confrontada com o tempo de observação nos pilares 1000 e 2000, respectivamente. Observa-se que existem diferenças entre os dois ambientes monitorados, por exemplo, para o dia 29/05/2013 essas diferenças são de aproximadamente 7°C.

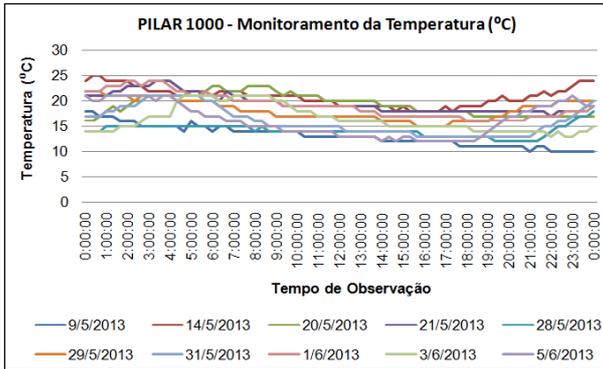


FIGURA 149- MONITORAMENTO NO PILAR 1000 DA VARIÁVEL TEMPERATURA
 FONTE: AUTORA (2014)

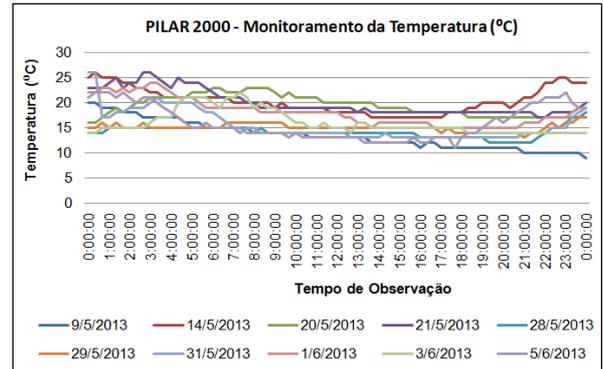


FIGURA 150- MONITORAMENTO NO PILAR 2000 DA VARIÁVEL TEMPERATURA
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 151 observa-se que em dois dos dez experimentos realizados a diferença entre os valores médios da umidade relativa do ar foram superiores a 10%.

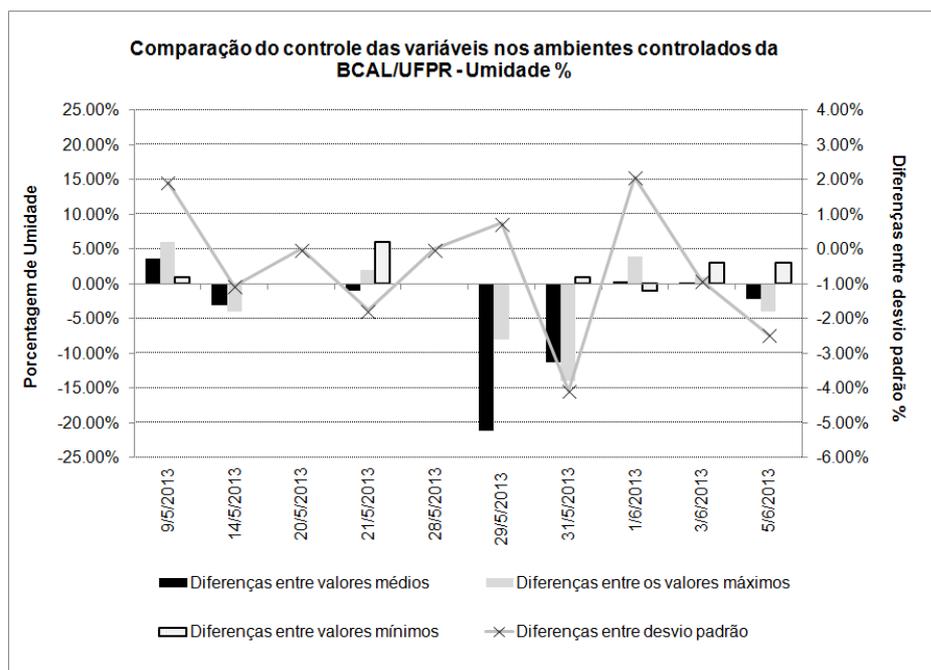


FIGURA 151- DIFERENÇA ENTRE O MONITORAMENTO DA UMIDADE ENTRE OS DOIS AMBIENTES (PILAR 1000 E PILAR 2000) DURANTE A CALIBRAÇÃO DA ANTENA LEIAX 1202GG (A)
 FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças entre os valores máximos e mínimos da umidade relativa do ar variaram de -5% a +5%. As diferenças entre os desvios padrão variaram de -4% a 2%. Esses valores de desvios padrão foram calculados a partir dos valores médios. Foram comparados os valores das variáveis obtidas no ambiente controlado do PILAR 1000 com as variáveis obtidas no ambiente controlado do PILAR 2000.

Verificou-se que as maiores diferenças ocorreram para o ambiente controlado do PILAR 2000, nesse pilar houve as maiores diferenças negativas. Constatou-se que no dia 29/05/2013 ocorreram períodos de chuva e no 31/05/2013 houve períodos de umidade relativa externa próxima a 90%, fato estes que devem ter contribuído para a geração de valores tão discrepantes. Para os experimentos realizados a partir do mês de junho de 2013 (1/6/2013) foram adicionadas sílica no interior dos ambientes controlados. Na FIGURA 151 observaram, as menores diferenças em média, máxima e mínima para estes experimentos.

A comparação entre os valores da temperatura observada durante as calibrações da antena LEIAX1202GG (A) pode ser visualizada na FIGURA 152. Houve uma variação entre as diferenças máximas de temperatura de -5°C e 3°C e uma variação entre as diferenças mínimas de temperatura de -1°C a 2°C. No dia 29/05/2013 verifica-se a maior diferença entre os valores médios 3°C e para o dia 31/05/2013 uma maior diferença entre os valores máximos.

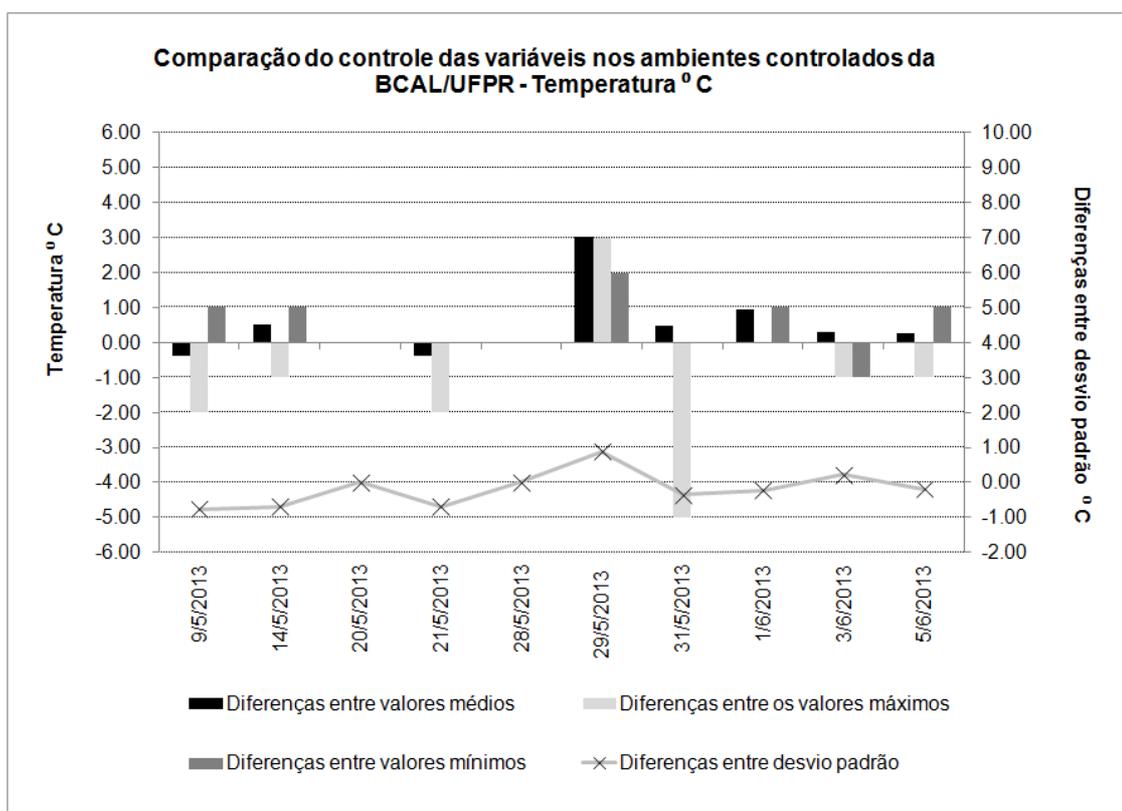


FIGURA 152- DIFERENÇA ENTRE O MONITORAMENTO DA TEMPERATURA ENTRE OS DOIS AMBIENTES (PILAR 1000 E PILAR 2000) DURANTE A CALIBRAÇÃO DA ANTENA LEIAX 1202GG (A)

FONTE: AUTORA (2014)

Foram escolhidos quatro dias de experimentos para comparar a temperatura e umidade observadas nos ambientes controlados durante os períodos de calibração. Seleccionaram-se os dias que apresentaram as menores variações entre os dois ambientes, sendo: dias 14/05/2013 e 05/06/2013 (FIGURAS 153 e 154). O comportamento de ambas as variáveis (temperatura e umidade) são iguais nos ambientes controlados do PILAR 1000 e 2000, exceto para a última hora de observação a umidade (dia 14/05/2013- FIGURA 153).

Comparando os dias que apresentam as maiores variações, dia 29/05/2013 e 31/05/2013 (FIGURA 155 e 156), observou-se que os valores da temperatura são menos variáveis do que as variações obtidas para a umidade. Percebe-se que o ambiente controlado do PILAR 2000 apresenta os maiores valores de umidade e os menores valores de temperatura. Conclui-se que esse pilar teve um melhor controle da umidade do que da temperatura interna. Já o ambiente controlado do PILAR 1000 apresentou os menores valores de umidade e os maiores valores de temperatura interna.

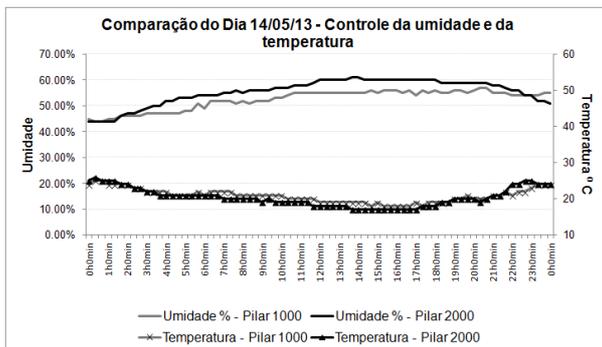


FIGURA 153- COMPARAÇÃO DIA 14/05/2013 - UMIDADE E TEMPERATURA - LEIAX 1202GG (A)
 FONTE: AUTORA (2014)

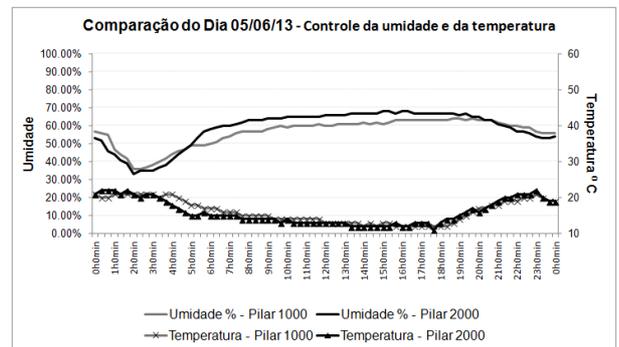


FIGURA 154- COMPARAÇÃO DIA 05/06/2013 - UMIDADE E TEMPERATURA - LEIAX1202 GG (A)
 FONTE: AUTORA (2014)

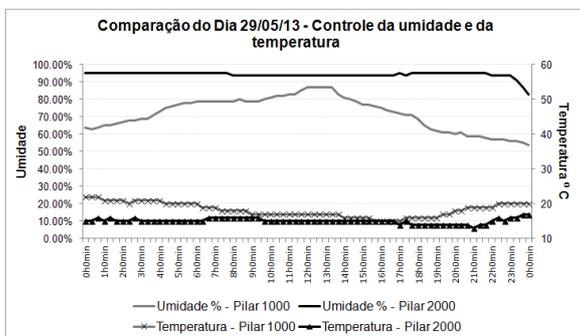


FIGURA 155- COMPARAÇÃO DIA 29/05 - UMIDADE E TEMPERATURA - LEIAX1202GG (A)
 FONTE: AUTORA (2014)

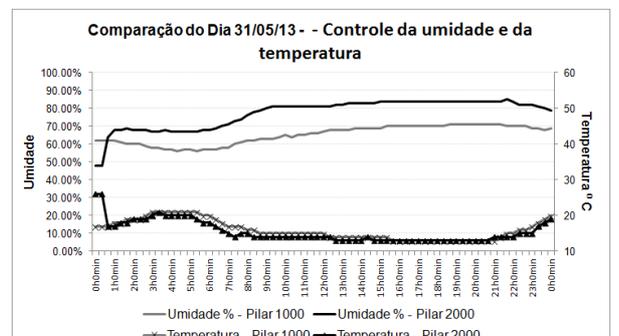


FIGURA 156- COMPARAÇÃO DIA 31/05 - UMIDADE E TEMPERATURA - LEIAX1202GG (A)
 FONTE: AUTORA (2014)

Foram realizados quinze experimentos com o controle de temperatura e umidade durante as calibrações da antena LEIAX 1202GG (B). Observa-se na FIGURA 157 as diferenças máximas, mínimas, médias e de desvio padrão entre os ambientes controlados (PILAR 1000 e 2000) para a umidade relativa do ar. Verificam-se variações de +20% a -11% entre as diferenças máximas, mínimas e médias. Para o desvio padrão as diferenças variaram de -10% a 10%. Nos dias 20/06/2013 e 26/06/2013 houveram períodos de precipitação intensa. No dia 27/06/2013 não choveu, porém as caixas estavam úmidas, principalmente no ambiente controlado montado no PILAR 1000, pois ocorreram as maiores diferenças positivas.

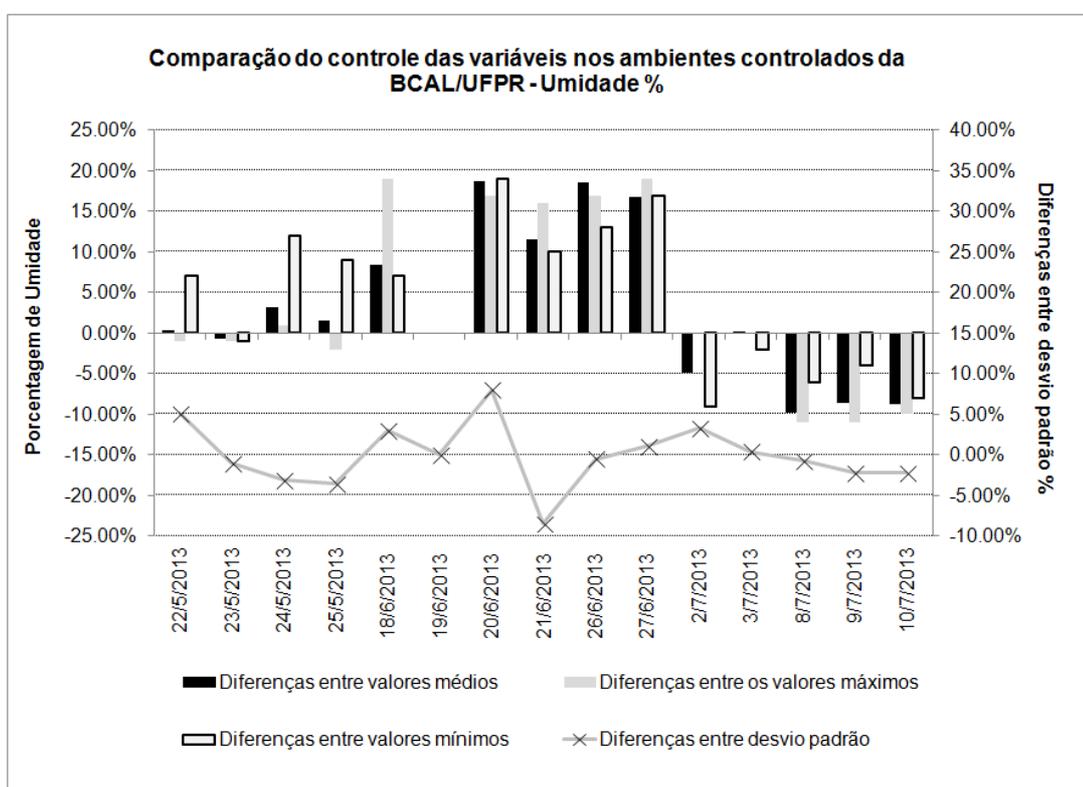


FIGURA 157- DIFERENÇA ENTRE O MONITORAMENTO DA UMIDADE ENTRE OS DOIS AMBIENTES (PILAR 1000 E PILAR 2000) DURANTE A CALIBRAÇÃO DA ANTENA LEIAX1202GG (B)
 FONTE: AUTORA (2014)

As variações máximas, mínimas, médias de temperatura e de desvio padrão podem ser verificadas na FIGURA 158. Nessa figura visualizam-se variações médias de 2° C, em módulo. Percebe-se que a maior diferença entre os valores mínimos ocorreu para o dia 10/07/2013, valor esse de aproximadamente 6°C. As diferenças entre valores de desvio padrão na temperatura variaram de 0°C a -2°C.

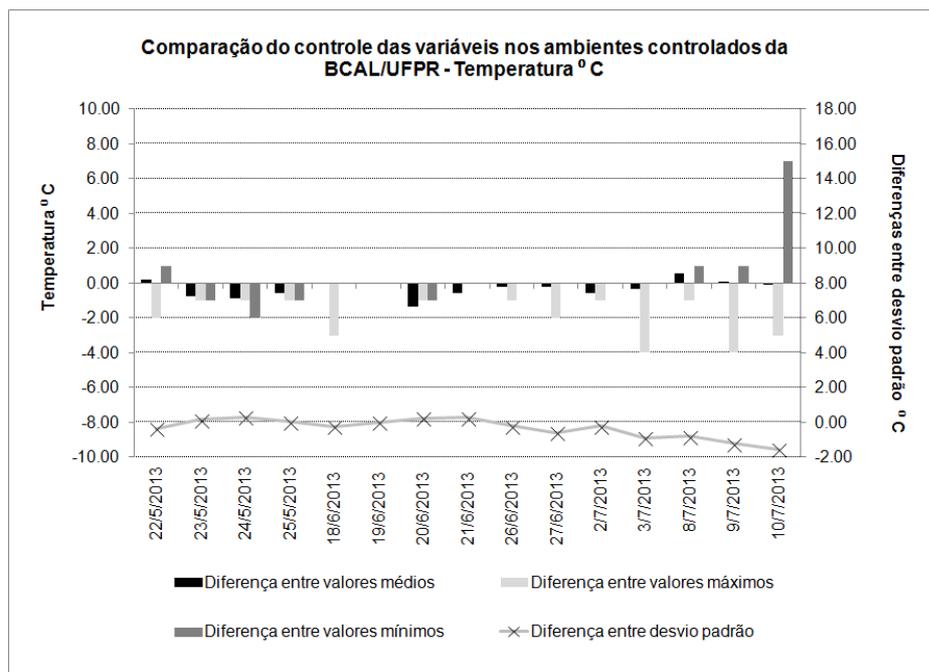


FIGURA 158- DIFERENÇA ENTRE O MONITORAMENTO DA TEMPERATURA ENTRE OS DOIS AMBIENTES (PILAR 1000 E PILAR 2000) DURANTE A CALIBRAÇÃO DA ANTENA LEIAX 1202GG (B)
 FONTE: AUTORA (2014)

Elegeram-se quatro dias de experimento que apresentaram as menores diferenças (23/05/2013 - FIGURA 159), as maiores diferenças (20/06/2013- FIGURA 160) e diferenças médias (09/07/2013 - FIGURA 161 e 10/07/2013 - FIGURA 162) de temperatura e umidade relativa do ar, para comparar as variáveis dos períodos de calibração (FIGURAS 159 a 162).

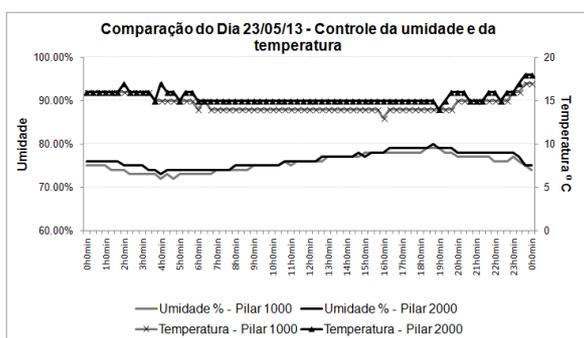


FIGURA 159- COMPARAÇÃO DIA 23/05 - UMIDADE E TEMPERATURA - LEIAX1202GG (B)
 FONTE: AUTORA (2014)

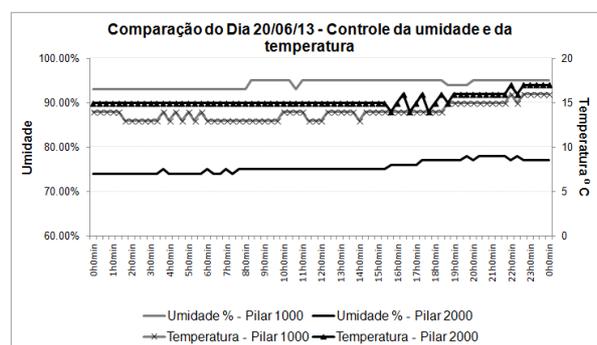


FIGURA 160- COMPARAÇÃO DIA 20/06 - UMIDADE E TEMPERATURA - LEIAX1202GG (B)
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 159 têm-se as menores variações em temperatura e umidade entre os dois pilares, percebem-se temperaturas menores que 10°C e umidade relativa do ar média de 75%. Verifica-se que para o PILAR 2000 a umidade foi de aproximadamente a 95%, observação 4h0min e depois das 19h0min.

As maiores variações em umidade e temperatura são visualizadas na FIGURA 160, para o dia 20/06/2013. Nesse dia verificou períodos de precipitação, isso é evidenciado para o ambiente controlado do PILAR 1000, visto que apresenta umidade superior a 90%.

Analisando as FIGURAS 161 e 162 percebe-se que há uma variação menor em temperatura e para a umidade existe uma variação entre os ambientes controlados de 10%. Nesses dias de experimentos não houve períodos de precipitação.

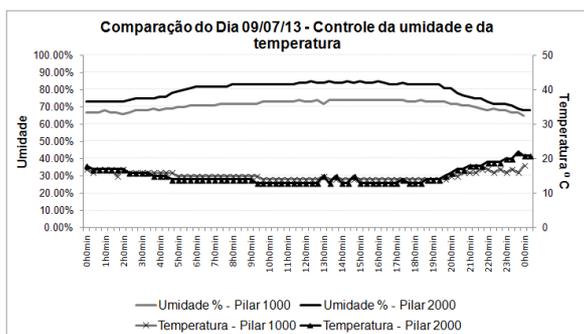


FIGURA 161- COMPARAÇÃO DIA 09/07 - UMIDADE E TEMPERATURA - LEIAX1202GG (B)
 FONTE: AUTORA (2014)

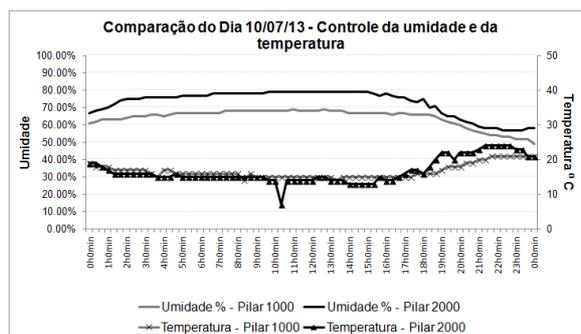


FIGURA 162- COMPARAÇÃO DIA 10/07 - UMIDADE E TEMPERATURA - LEIAX1202GG (B)
 FONTE: AUTORA (2014)

4.4.2 Comparação das Variáveis Monitoradas (Internas) Versus Variáveis Externas

Visando identificar o comportamento durante o período de observação das variáveis nos ambientes controlados, temperatura e umidade realizaram-se análises confrontando essas variáveis com as variáveis externas observadas na estação Curitiba do INMET.

Nas FIGURAS 163-166 podem ser visualizados os valores de temperatura e umidade relativa do ar para o dia de experimento 14/05/13, nesse dia têm-se as

menores variações entre os dois ambientes e para esse dia de experimento não há períodos de precipitação.

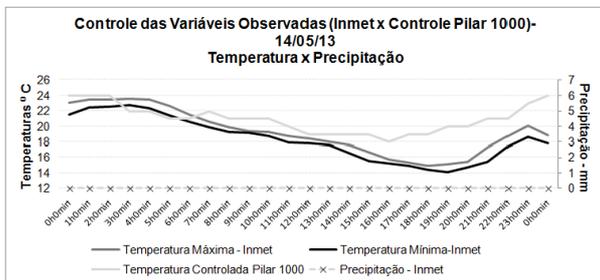


FIGURA 163- COMPARAÇÃO DIA 14/05 - TEMPERATURA CONTROLADA VS INMET- PILAR 1000
 FONTE: AUTORA (2014)

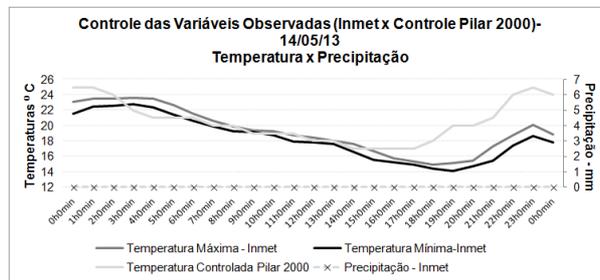


FIGURA 164- COMPARAÇÃO DIA 14/05 - TEMPERATURA CONTROLADA VS INMET- PILAR 2000
 FONTE: AUTORA (2014)

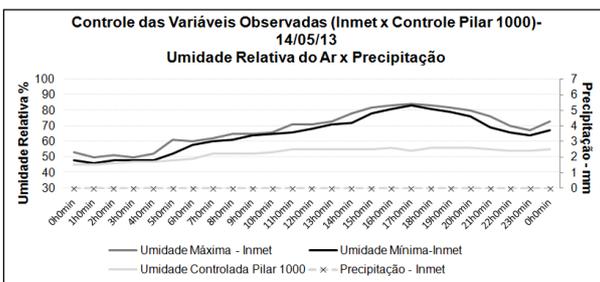


FIGURA 165- COMPARAÇÃO DIA 14/05 - UMIDADE CONTROLADA VS INMET- PILAR 1000
 FONTE: AUTORA (2014)

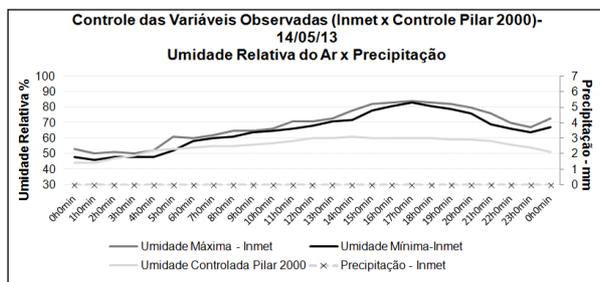


FIGURA 166- COMPARAÇÃO DIA 14/05 - UMIDADE CONTROLADA VS INMET- PILAR 2000
 FONTE: AUTORA (2014)

Analisando as FIGURAS 163 e 164 constatou-se que as temperaturas (PILAR 1000 e PILAR 2000) são superiores as temperaturas máximas obtidas da estação Curitiba do INMET. Visualizam-se as FIGURAS 165 e 166 que a umidade monitorada é menor no ambiente controlado do que a umidade externa (estação automática de Curitiba).

As variáveis monitoradas foram confrontadas com as variáveis externas para o dia 29/05/2013, visto que neste dia de calibração houveram períodos de precipitação. As FIGURAS 167 a 170 apresentam as comparações efetuadas para os ambientes controlados dos pilares 1000 e 2000.

Nas FIGURAS 167 e 168 observam-se os valores de temperaturas (controladas e externas) versus precipitação para os pilares 1000 e 2000, respectivamente. Percebe-se que a variação da temperatura é menor para o PILAR 1000 (FIGURA 167). O maior valor de precipitação observado foi de 7 mm. Para o PILAR 2000 (FIGURA 168) visualizam-se diferenças da ordem de 4°C (com a

temperatura mínima do INMET) e essas diferenças diminuem nas últimas 4 horas de observação.

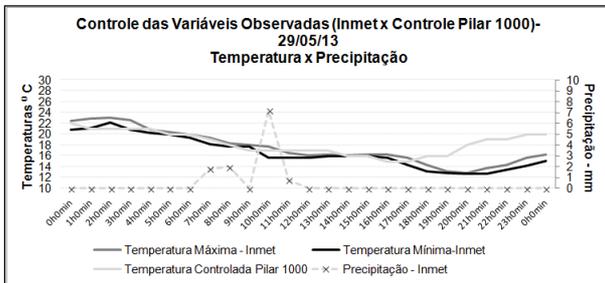


FIGURA 167- COMPARAÇÃO DIA 29/05 - TEMPERATURA CONTROLADA VS INMET-PILAR 1000
 FONTE: AUTORA (2014)

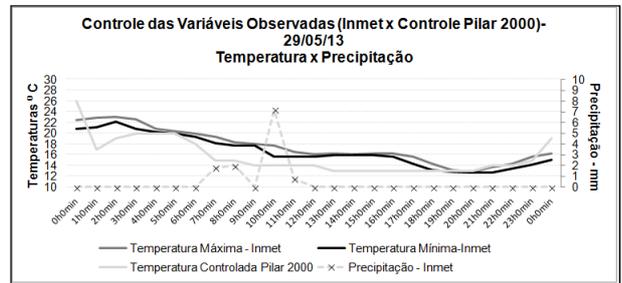


FIGURA 168- COMPARAÇÃO DIA 29/05 - TEMPERATURA CONTROLADA VS INMET-PILAR 2000
 FONTE: AUTORA (2014)

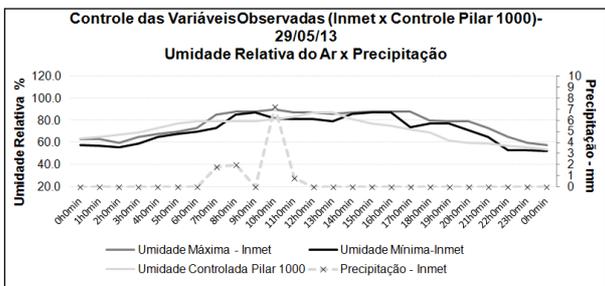


FIGURA 169- COMPARAÇÃO DIA 29/05 - UMIDADE RELATIVA DO AR VS INMET-PILAR 1000
 FONTE: AUTORA (2014)

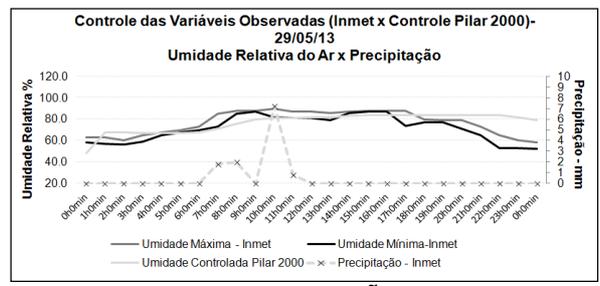


FIGURA 170- COMPARAÇÃO DIA 29/05 - UMIDADE RELATIVA DO AR VS INMET-PILAR 2000
 FONTE: AUTORA (2014)

Nas FIGURAS 169 e 170 observam-se os valores de umidade (controladas e externas) versus precipitação para os pilares 1000 e 2000, respectivamente. Percebe-se que para o PILAR 1000 (FIGURA 169) no período de precipitação a umidade controlada no pilar apresentou menores valores que a umidade externa (INMET). Verifica-se também que a umidade observada nesse pilar após o período de precipitação apresentou menores valores quando comparadas a umidade mínima (INMET). Na FIGURA 170 percebe-se que a umidade no ambiente controlado após algumas horas do período de precipitação aumentou quando comparada a umidade externa (INMET).

Apresentam-se as análises para o dia 05/06 (FIGURAS 171-174), durante esse experimento a temperatura máxima externa variou de 10°C a 15°C e a umidade nos ambientes controlados variou de 55% a 60%.

Na FIGURA 171 e 172 verifica-se a temperatura para os ambientes controlados (PILAR 1000 e 2000). A temperatura se manteve estável no período das 10 horas às 17:00 horas. Durante os períodos o qual houve variações comparando a temperatura interna com a temperatura máxima externa essas não foram superiores a 5°C.

A análise da umidade relativa do ar pode ser verificada nas FIGURAS 173 e 174. Comparando a umidade interna com a umidade externa apresentam as mesmas variações para os dois ambientes controlados. Observa-se que para esse dia de experimento não houve períodos de precipitação.

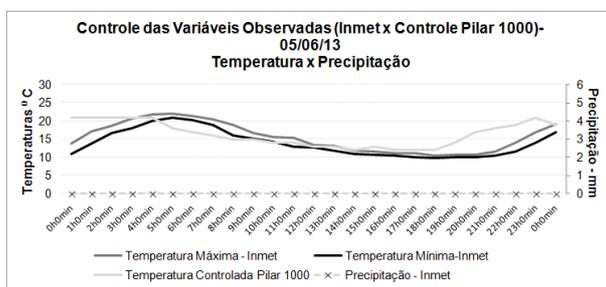


FIGURA 171- COMPARAÇÃO DIA 05/06 - UMIDADE CONTROLADA VS INMET- PILAR 1000 FONTE: AUTORA (2014)

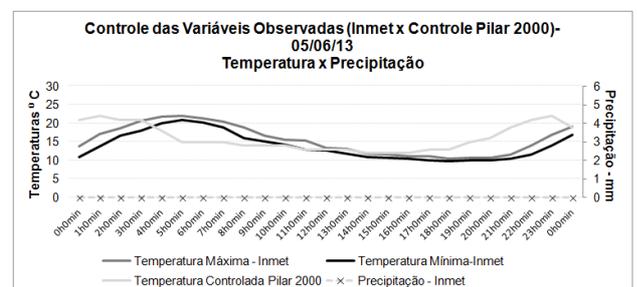


FIGURA 172- COMPARAÇÃO DIA 05/06 - UMIDADE CONTROLADA VS INMET- PILAR 2000 FONTE: AUTORA (2014)

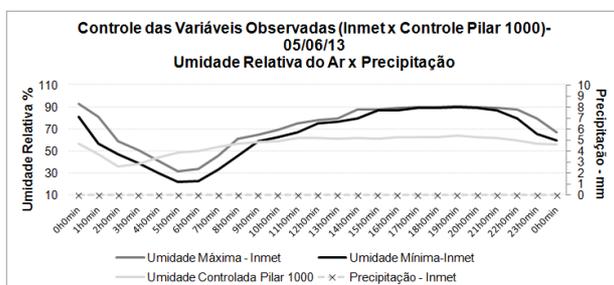


FIGURA 173- COMPARAÇÃO DIA 05/06 - TEMPERATURA CONTROLADA VS INMET-PILAR 1000 FONTE: AUTORA (2014)

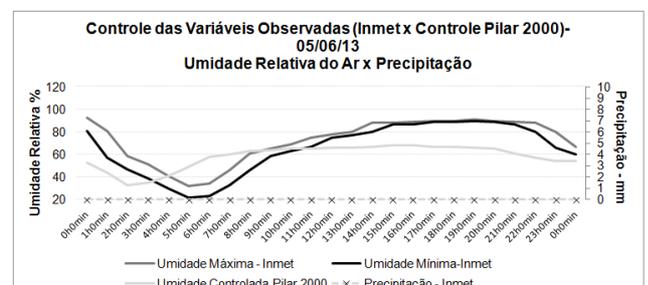


FIGURA 174- COMPARAÇÃO DIA 05/06 - TEMPERATURA CONTROLADA VS INMET- PILAR 2000 FONTE: AUTORA (2014)

4.5 VARIAÇÃO DO PCO OBTIDOS EM AMBIENTES CONTROLADOS

Nessa seção apresentam-se os valores do PCO (mm) obtidos por meio de calibrações relativas efetuadas em ambientes monitoradas, denominados de

ambiente controlado. Foram realizados experimentos com a antena LEIAX 1202 GG (A e B) durante os meses de maio, junho e julho do ano de 2013.

Observa-se na Tabela 24 os valores do PCO para as portadoras L1 e L2, da antena LEIAX 1202GG (A), em ambientes controlados. Foram realizados onze experimentos, tendo se iniciado esses experimentos com a Estrutura 2 - Versão 2. Posteriormente em face de períodos de precipitação essa estrutura sofre novas alterações, ou seja, foi acrescentado plástico preto, plástico filme e isopor plástico, conforme exposto na seção 3.8. Variações no PCO (componente norte, leste e vertical) para ambas as portadoras ocorreram conforme se pode verificar na Tabela 24.

TABELA 24 – PCO (NORTE, LESTE, VERTICAL) PARA AMBAS PORTADORAS DA ANTENA LEIAX 1202GG (A) OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO

ANTENA LEIAX 1202GG (A)									
Dia	Dia/ GPS	Série	Estrutura Estrutura 2 - Versão 2	PCO (L1) - mm			PCO (L2) - mm		
				N	L	V	N	L	V
09/5/13	129/13	1	Plástico Preto	1,46	-0,41	45,47	-0,72	0,37	48,16
14/5/13	134/13	1	Plástico Preto	1,45	-0,37	48,45	-0,63	0,34	50,01
20/5/13	140/13	1	Plástico Preto	1,43	-0,42	41,90	-0,62	0,39	46,03
21/5/13	141/13	1	Plástico Preto	1,42	-0,44	38,35	-0,64	0,39	44,21
28/5/13	148/13	1	Plástico Preto	1,69	0,24	16,98	-0,49	0,04	27,98
29/5/13	149/13	2	Plástico Filme	0,82	-0,89	2,47	-0,51	0,96	-0,43
31/5/13	151/13	2	Plástico Filme	0,80	-0,93	9,45	-0,29	0,32	21,50
01/6/13	152/13	3	Isopor Plástico	0,85	-1,14	34,58	-0,33	0,48	40,83
03/6/13	154/13	3	Isopor Plástico	0,96	-1,11	39,12	-0,29	0,50	44,34
04/6/13	155/13	3	Isopor Plástico	0,96	-1,15	36,98	-0,32	0,58	44,98
05/6/13	156/13	3	Isopor Plástico	0,91	-1,14	39,05	-0,32	0,58	44,21

FONTE: AUTORA (2014)

Os valores da Tabela 24 foram comparados com o determinado na calibração realizada em agosto de 2013 (só com antena). Na FIGURA 175 podem-se observar as componentes horizontais obtidas para cada experimento realizado para as portadoras L1 e L2. Percebe-se que para os dias GPS 148/13 e 149/13 os quais se empregaram plástico filme em cima da estrutura montada no PILAR 2000 os valores do PCO vertical divergiram muito dos outros experimentos, ressalta-se que para esses dias houveram períodos de precipitação, portanto acúmulo de água em cima da estrutura e umidade interna.

Comparando-se o PCO (norte e leste) obtido sem ambiente controlado (Só antena) e aqueles provenientes do ambiente controlado (FIGURA 175) pode se verificar que as maiores variações são obtidas para um dia de experimento obtido com o plástico preto (losango cheio preto (L1) e losango preto (L2)).

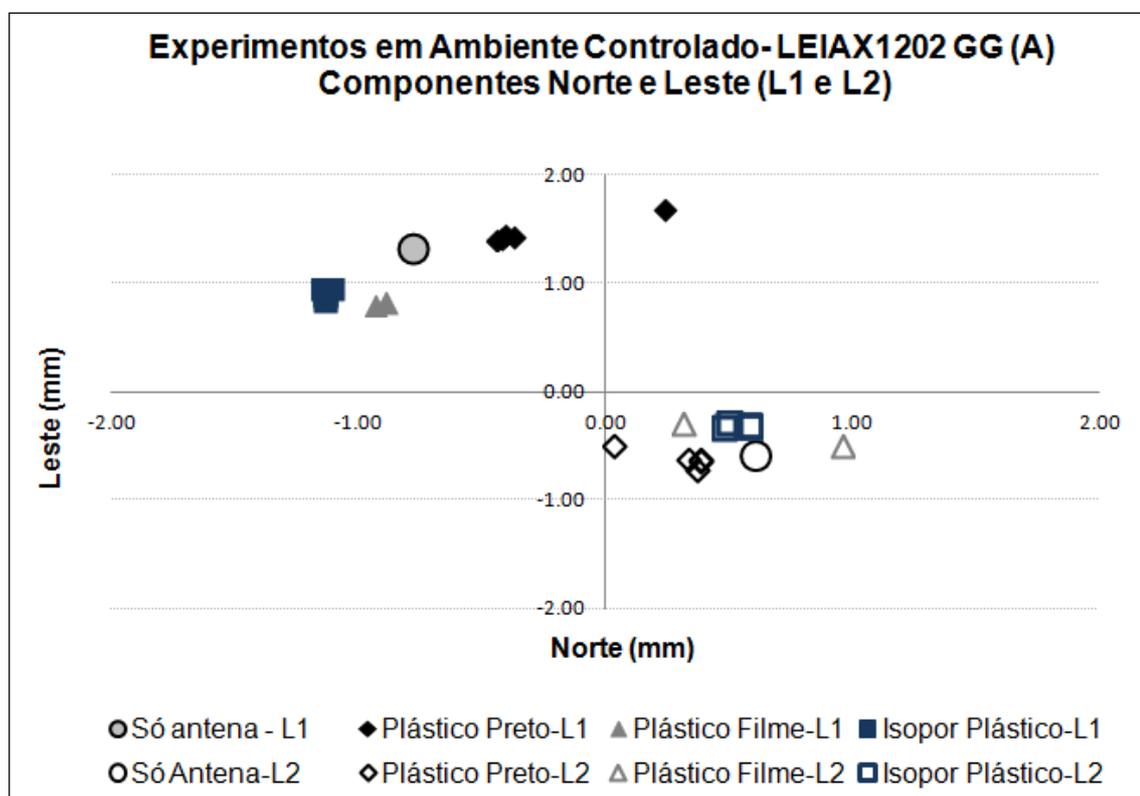


FIGURA 175- PCO (NORTE E LESTE) OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO DA ANTENA LEIAX1202GG (A)
FONTE: AUTORA (2014)

Os valores do PCO (vertical) para ambas as portadoras (FIGURA 176) foram comparados. Os maiores valores desta componente ocorreram para o Dia GPS 129/13 e Dia GPS 134/13. Nesses dias foi empregada a estrutura controlada (Estrutura 2 - Versão 2) acrescida de plástico preto, conforme indicado na seção 3.8. O menor valor do PCO vertical ocorreu para o Dia GPS 149/13, neste experimento foi empregada a estrutura acrescida do plástico filme, conforme indicado na seção 3.8.

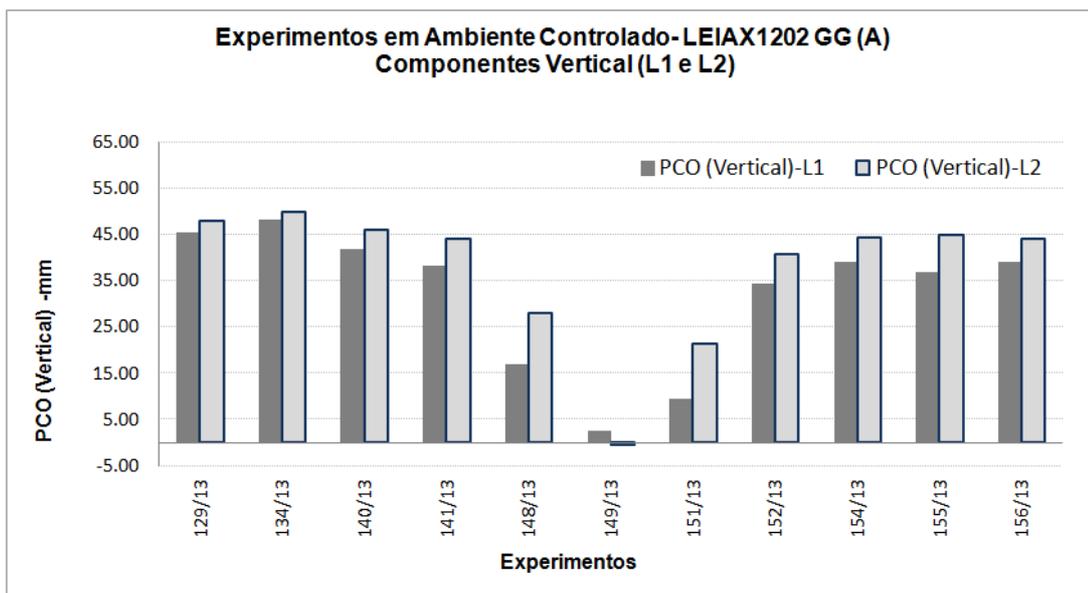


FIGURA 176- PCO (VERTICAL) OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO DA ANTENA LEIAX 1202GG (A)
FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças tridimensionais para L1 e L2 podem ser observadas na FIGURA 177, essas foram obtidas do resultado entre os dias de experimento em ambiente controlado e só antena. Estas diferenças são da ordem de aproximadamente 5,5 cm, sendo que as maiores foram obtidas do Dia GPS 148/13 ao Dia GPS 151/13. Conforme exposto na seção 4.4.1 nestes dias ocorreram as maiores variações de temperatura, umidade e períodos de precipitação.

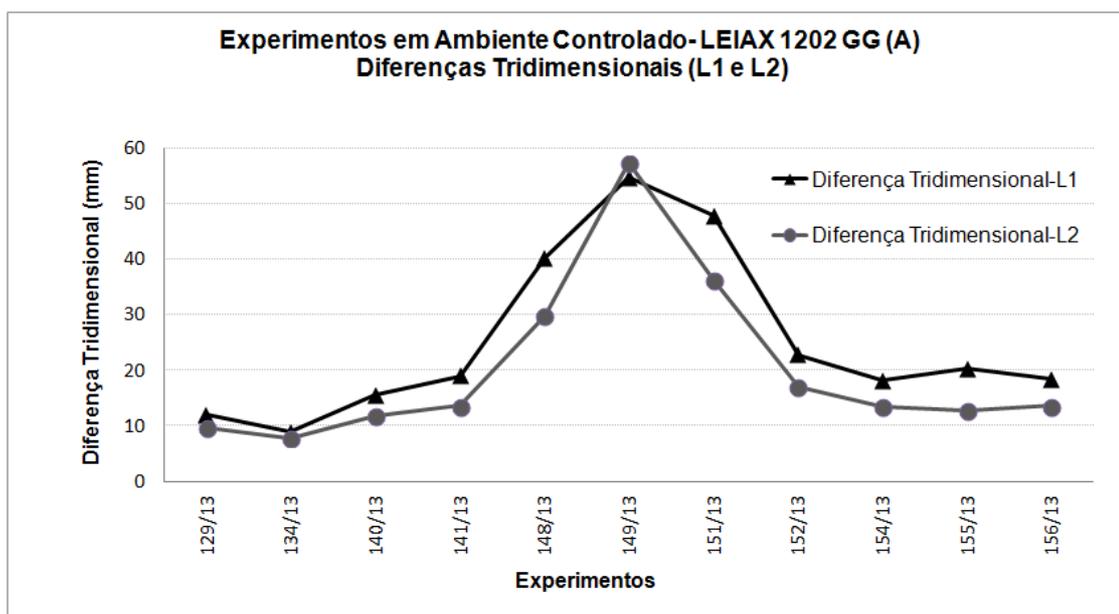


FIGURA 177- DIFERENÇA TRIDIMENSIONAL EM AMBIENTE CONTROLADO DA ANTENA LEIAX 1202GG (A)
FONTE: AUTORA (2014)

Na Tabela 25 têm-se os valores do PCO, para as portadoras L1 e L2, para a antena LEIAX1202GG (B) em ambientes controlados. Foram realizados doze experimentos iniciados com Estrutura 2 - Versão 2; posteriormente essa estrutura foi modificada tendo sido acrescentada a ela um isopor plástico. Esta alteração na estrutura se fez necessária em face dos períodos de precipitação. Percebe-se que existem variações na componente norte, leste e vertical para ambas as portadoras.

TABELA 25 – PCO (NORTE, LESTE, VERTICAL) PARA AMBAS PORTADORAS DA ANTENA LEIAX1202GG (B) OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO

ANTENA LEIAX 1202GG (B)									
Dia	Dia/ GPS	Série	Estrutura Estrutura 2 - Versão 2	PCO (L1) - mm			PCO (L2) - mm		
				N	L	V	N	L	V
22/5/13	142/13	1	*****	0,25	-0,09	33,92	-0,23	0,26	35,97
23/5/13	143/13	1	*****	1,24	-0,59	39,06	-1,00	1,08	38,78
24/5/13	144/13	1	*****	1,27	-0,57	41,44	-1,01	1,11	42,72
25/5/13	145/13	1	*****	1,20	-0,53	43,97	-1,03	1,10	44,94
18/6/13	169/13	2	Isopor Plástico	1,21	-0,57	33,99	-0,84	0,90	33,80
04/7/13	185/13	2	Isopor Plástico	1,33	-0,50	35,37	-0,67	0,80	32,49
08/7/13	189/13	2	Isopor Plástico	1,03	-0,79	47,75	-0,59	1,06	48,81
09/7/13	190/13	2	Isopor Plástico	1,03	-0,77	47,79	-0,59	1,07	49,02
10/7/13	191/13	2	Isopor Plástico	1,03	-0,80	48,25	-0,59	1,05	49,79
15/7/13	196/13	2	Isopor Plástico	0,99	-0,78	55,01	-0,49	0,98	50,35
16/7/13	197/13	2	Isopor Plástico	1,01	-0,81	53,49	-0,50	0,97	48,54
17/7/13	198/13	2	Isopor Plástico	1,03	-0,79	57,77	-0,57	1,08	56,56

FONTE: AUTORA (2014)

Os valores indicados na Tabela 25 foram comparados com aqueles obtidos com os valores médios de duas campanhas realizadas em agosto de 2013, só antena sem estruturas de controle. Visualizam-se na FIGURA 178 as componentes: norte e leste, obtidas para cada experimento realizado, para as portadoras L1 e L2. Analisando os valores das componentes horizontais verifica-se que essas não diferem mais que 1 mm, o experimento mais discrepante refere-se ao dia GPS 142/13, nesse experimento utilizou-se somente a Estrutura 2- Versão 2. Para a componente vertical essa variação é maior, aproximadamente 8 mm para L1 e L2.

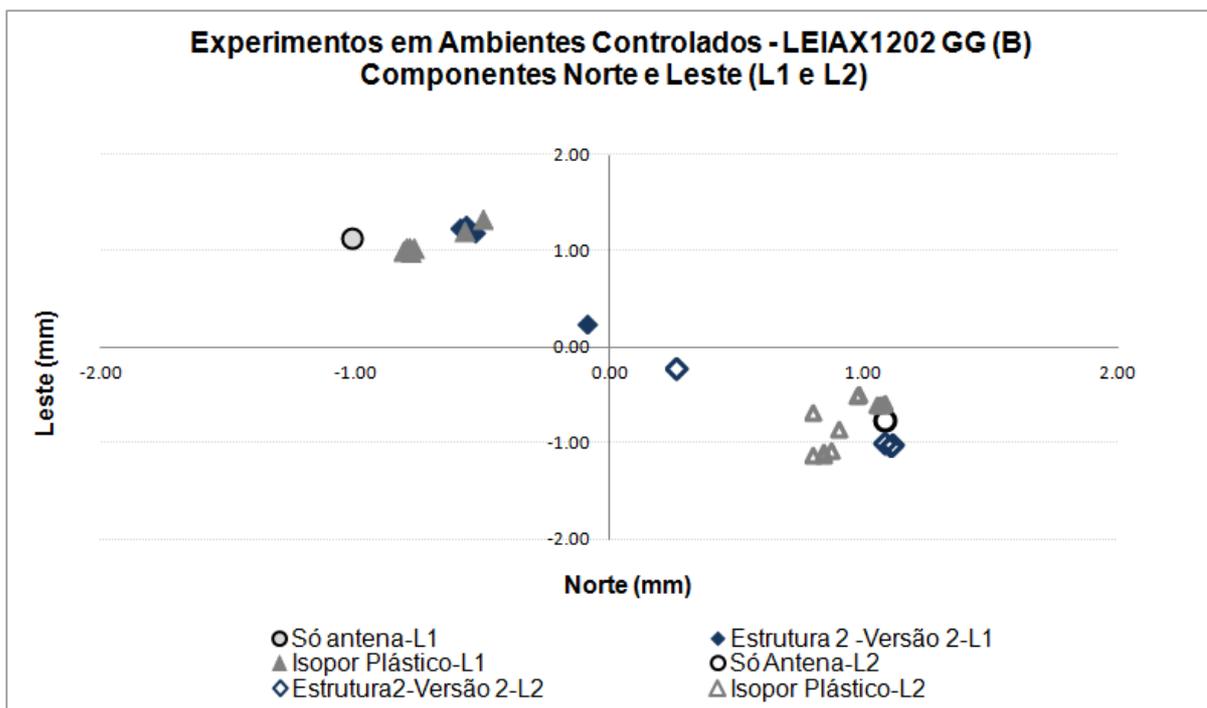


FIGURA 178- PCO (NORTE E LESTE) OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO DA ANTENA LEIAX1202GG (B)
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 179 observam-se valores do PCO (vertical) para ambas as portadoras. Percebe-se que os maiores valores ocorreram do Dia GPS 189/13 ao Dia GPS 198/13. Nestas calibrações foram empregadas a Estrutura 2 - Versão 2 acrescida do isopor plástico.

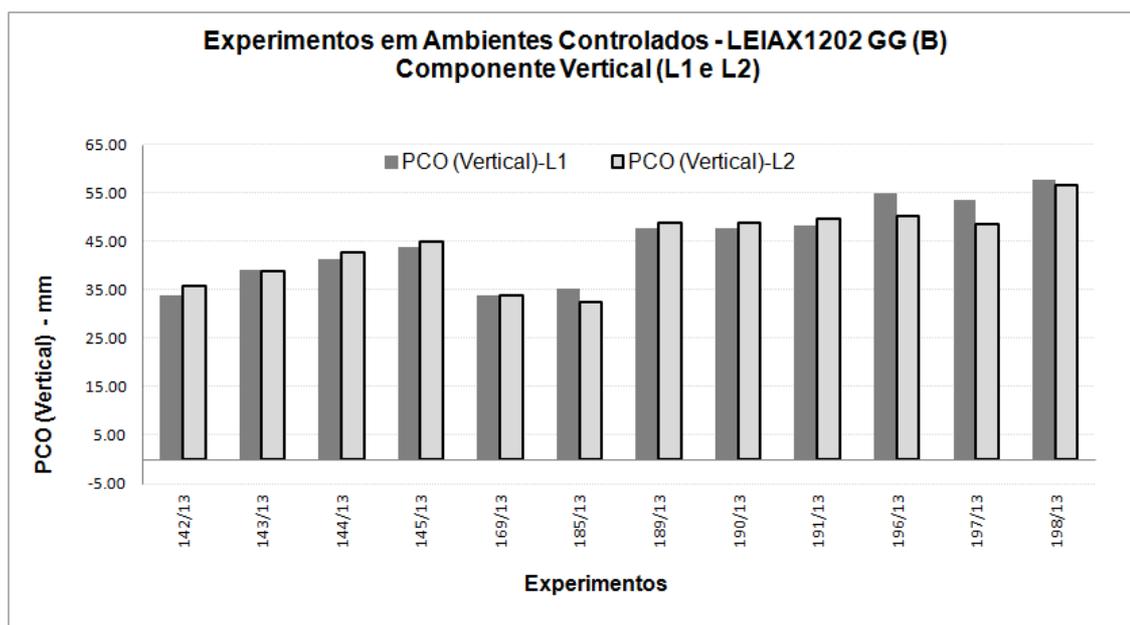


FIGURA 179- PCO (VERTICAL) OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO DA ANTENA LEIAX1202GG (B)
 FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças tridimensionais do PCO para L1 e L2 obtidas a partir das resultantes das componentes (norte, leste e vertical) em ambiente controlado e o ambiente sem controle (só antena) estão indicadas na FIGURA 180. A maior variação ocorreu para a calibração efetuada entre o Dia GPS 142/13 versus 169/13 e Dia GPS 142/13 versus 185/13, nesses dias houveram períodos de precipitação. Percebe-se nesta figura (FIGURA 180) que as diferenças tridimensionais do PCO em L1 e L2 foram diminuindo com o aumento do dia GPS em que se realizou a calibração, nesses dias para tentar controlar o ambiente empregou-se isopor plástico. Os últimos dois experimentos realizados (calibrações efetuadas no Dia GPS 197/13 e Dia GPS 198/13) estas diferenças para L1 e L2 foram inferiores a 10 mm. Do Dia GPS 189/13 até o Dia GPS 191/13 as diferenças tridimensionais apresentam valores constantes.

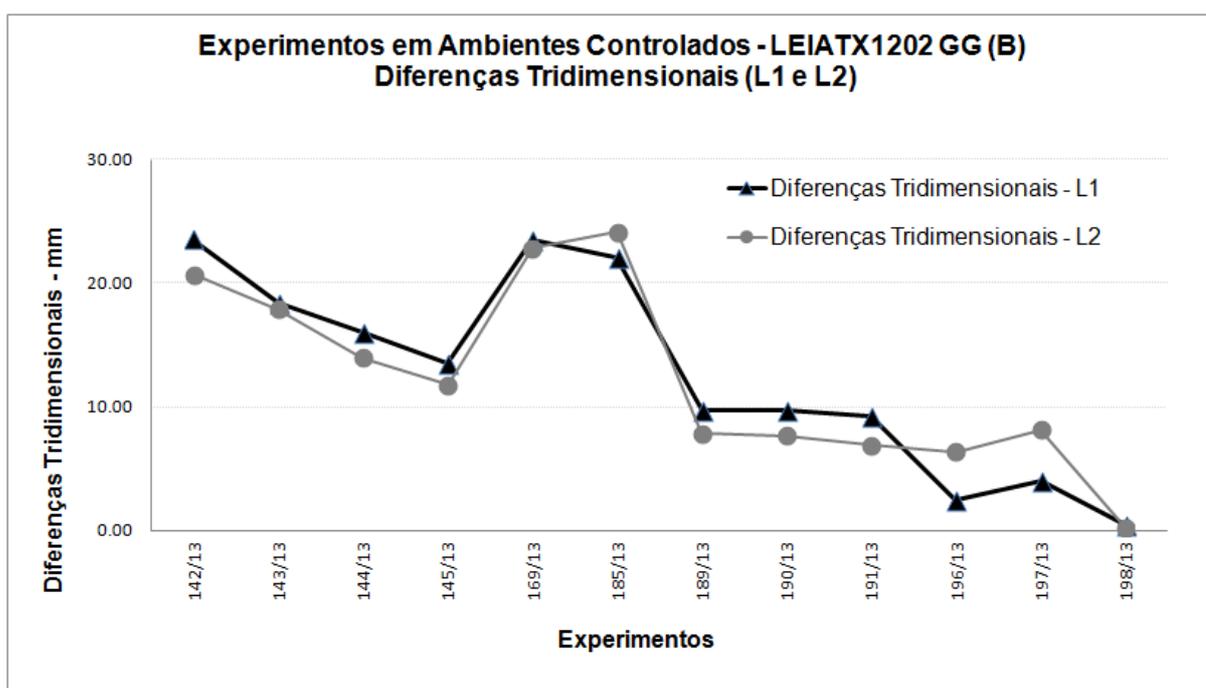


FIGURA 180- DIFERENÇAS TRIDIMENSIONAIS EM AMBIENTE CONTROLADO DA ANTENA LEIAX1202GG (B)
FONTE: AUTORA (2014)

4.5.1 Variação do PCO obtido em Ambiente Controlado Versus Variáveis Meteorológicas Internas

Os valores do PCO para as portadoras L1 e L2, com a antena LEIAX1202 GG (B) em ambiente controlado, apresentados na seção 4.5 são correlacionados com as variáveis meteorológicas nesta seção.

No Quadro 8 tem-se 16 colunas, nas quais estão indicados: a data da calibração, o Dia GPS seguido do ano, os valores das componentes do PCO para ambas as portadoras (em milímetros); os valores médios, de desvio padrão, máximos e mínimos da umidade relativa do ar (em porcentagem) e os valores médios, de desvio padrão, máximos e mínimos da temperatura (em graus Celsius).

Data	Dia GPS/Ano	PCO (L1) -mm			PCO (L2) -mm			Umidade %				Temperatura ° C			
		Norte	Leste	Vertical	Norte	Leste	Vertical	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
22/5/2013	142/13	0,25	-0,09	33,92	-0,23	0,26	35,97	76	4	80	68	17	2	23	14
23/5/2013	143/13	1,24	-0,59	39,06	-1,00	1,08	38,78	76	3	80	73	15	1	18	14
24/5/2013	144/13	1,27	-0,57	41,44	-1,01	1,11	42,72	69	10	77	43	17	2	23	14
25/5/2013	145/13	1,20	-0,53	43,97	-1,03	1,10	44,94	62	9	71	45	17	3	23	14
18/6/2013	169/13	1,21	-0,57	33,99	-0,84	0,90	33,80	69	5	73	56	16	2	24	14

Continuação

QUADRO 8- VALORES DE PCO OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO VERSUS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS- LEIAX1202GG (B)
 FONTE: AUTORA (2014)

Data	Dia GPS/Ano	PCO (L1) -mm			PCO (L2) -mm			Umidade %				Temperatura ° C			
		Norte	Leste	Vertical	Norte	Leste	Vertical	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
8/7/2013	189/13	1,03	-0,79	47,75	-0,59	1,06	48,81	79	2	84	73	14	2	18	12
9/7/2013	190/13	1,03	-0,77	47,79	-0,59	1,07	49,02	80	5	85	68	15	2	22	13
10/7/2013	191/13	1,03	-0,80	48,25	-0,59	1,05	49,79	73	8	79	57	17	4	24	7
15/7/2013	196/13	0,99	-0,78	55,01	-0,49	0,98	50,35	70	7	76	41	15	3	23	11
16/7/2013	197/13	1,01	-0,81	53,49	-0,50	0,97	48,54	60	12	71	21	15	4	23	10
18/7/2013	198/13	1,03	-0,79	57,77	-0,57	1,08	56,56	56	12	71	26	17	3	23	13
Conclusão															

QUADRO 8- VALORES DE PCO OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO VERSUS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS- LEIAX1202GG (B)
 FONTE: AUTORA (2014)

Nas FIGURAS 181 e 182 as componentes verticais em L1 e L2 foram representadas conjuntamente com os valores máximos e mínimos da umidade relativa do ar e com os valores máximos e mínimos da temperatura, respectivamente.

As maiores variações da componente vertical, principalmente para a portadora L1 ocorreram nos dias 18/6/2013, 15/7/2013, 16/7/2013 e 18/7/2013 em relação ao conjunto de calibrações realizadas (FIGURA 181). A amplitude entre o valor máximo e o mínimo da umidade para a calibração efetuada no dia 18/6/2013 é menor do que aquela obtida no dia 25/5/2013. Nos dias 16/7/2013 e 18/7/2013 têm-se amplitudes de umidade relativa do ar entre máximo e mínimo da ordem de 50%.

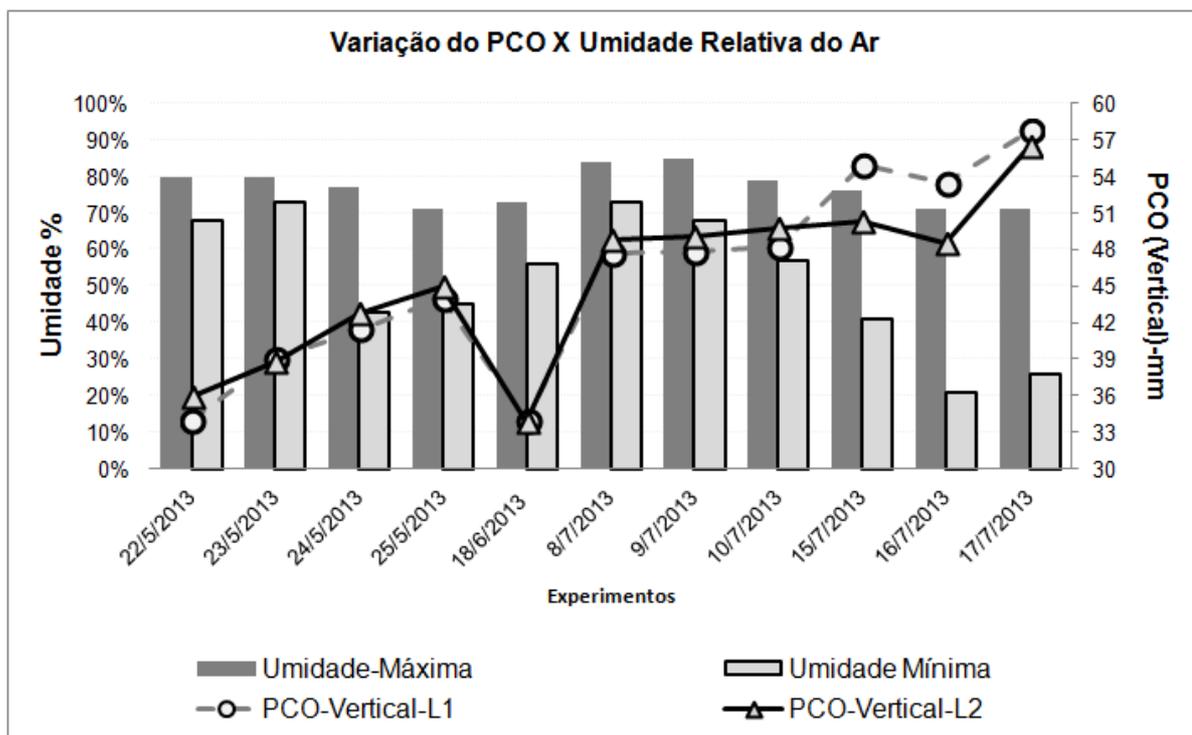


FIGURA 181- PCO (VERTICAL) OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO DA ANTENA LEIAX1202GG (B) E UMIDADE VERSUS EXPERIMENTOS
 FONTE: AUTORA (2014)

Os valores do PCO vertical (L1 e L2) conjuntamente com a variação máxima e mínima da temperatura podem ser observados na FIGURA 182.

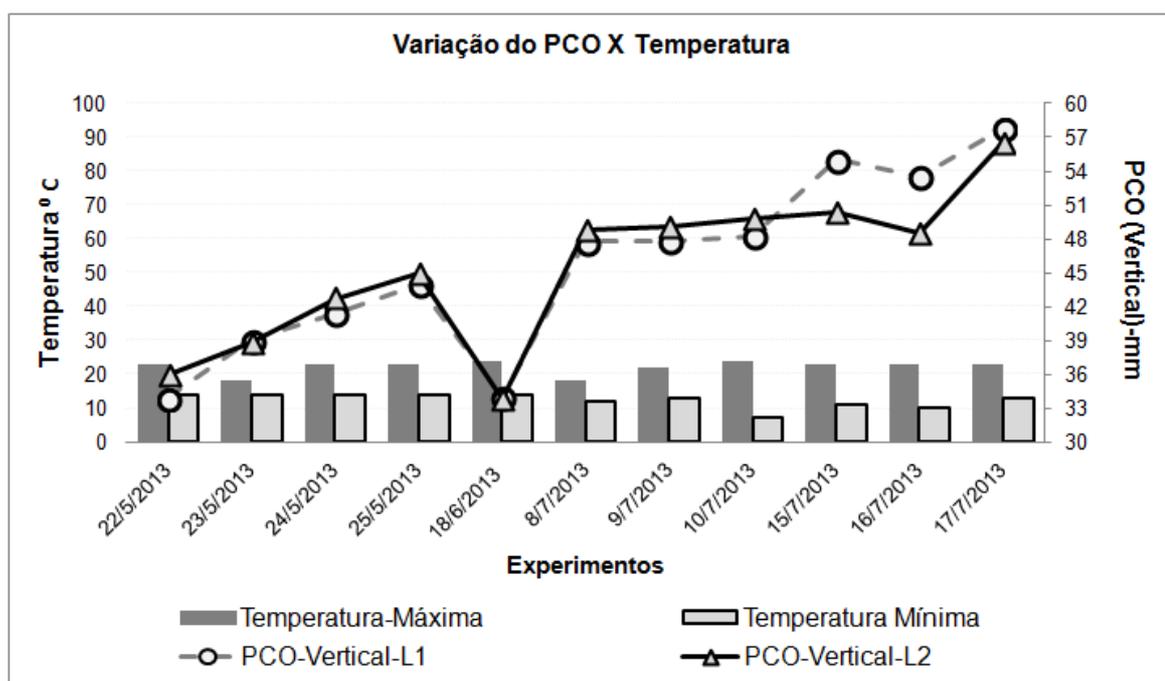


FIGURA 182- PCO (VERTICAL) OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO DA ANTENA LEIAX1202GG (B) E TEMPERATURA VERSUS EXPERIMENTOS
 FONTE: AUTORA (2014)

Comparando a temperatura com os valores do PCO vertical (L1 e L2) verifica-se que a temperatura máxima e mínima permaneceu constante ao longo dos experimentos, exceto para o dia 10/07/2013 (FIGURA 182). Nessa data a temperatura mínima é inferior as demais temperaturas observadas durante as calibrações.

Na sequência são apresentadas algumas análises que comparam os experimentos que proporcionaram as menores variações dos valores do PCO vertical para Estrutura 2 - Versão 2, com isopor plástico (experimentos realizados nos dias 08/07/2013 a 15/07/2013) com as variações máxima e mínima entre umidade e temperatura. Estas análises foram realizadas com base nas FIGURAS 175 e 176. Nessas figuras verifica-se que a maior variação no valor do PCO vertical para a portadora L1 foi obtida no dia 10/07/2013, sendo de 1,54 mm. Para a onda portadora L2 a maior variação foi de aproximadamente 1,1 mm entre os dias 10/07/2013 e 08/07/2013. Quando se comparou os dias 08 a 10 de julho com o dia 15/07/2013 visualiza-se uma variação de cerca de 5 mm para as portadoras L1 e L2, para a componente vertical do PCO. A umidade máxima foi de aproximadamente 80% para todos os experimentos (FIGURA 181). A temperatura máxima (FIGURA 182) é constante e a mínima apresenta uma variação de 2°C. Para o dia 10/07/2013 têm-se uma amplitude maior entre a temperatura máxima e mínima quando se analisa o conjunto de calibrações efetuadas.

Nova análise foi realizada no que tange a variação do PCO vertical versus temperatura e umidade no período de observação. Foram escolhidos os dias 25/05/2013 (Dia GPS 145/13), 18/06/2013 (Dia GPS 169/13) e 18/7/2013 (Dia GPS 198/13). Nas FIGURAS 183 e 184 percebe-se que entre os dias 25/5/2013 e 18/06/2013 houve uma variação significativa dos valores do PCO em L1 e L2, conforme exposto anteriormente. Os dias 18/06/2013 (Dia GPS 169/13) e 18/7/2013 (Dia GPS 198/13) também foram comparados, visto que, são dias em que os valores do PCO nas portadoras L1 e L2 têm comportamentos distintos das demais calibrações efetuadas.

Na FIGURA 183 está apresentada a comparação da temperatura e da umidade dos dias 25/05/2013 (Dia GPS 145/13) e 18/06/2013 (Dia GPS 169/13). Para este dia constata-se que a umidade relativa do ar observada é aproximadamente 10% menor que a umidade relativa do ar para o dia 25/05/2013

(Dia GPS 145/13). A temperatura entre estes dois dias é aproximadamente a mesma, verifica-se que nas primeiras quatro horas da calibração a temperatura ficou em torno de 20°C reduzindo posteriormente de 5°C. Mediante uma análise do PCO vertical entre esses dois dias percebe-se que para o dia 18/06/2013 (Dia GPS 169/13) têm-se maiores discrepâncias entre os seus valores (FIGURA 181 ou FIGURA 182).

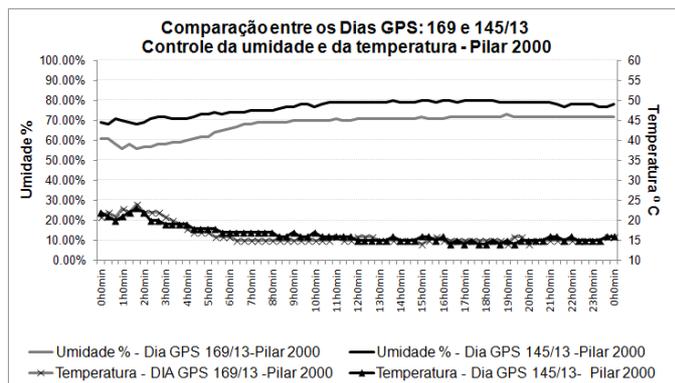


FIGURA 183- COMPARAÇÃO ENTRE OS DIAS GPS 169/13 X 145/13 - TEMPERATURA E UMIDADE
 FONTE: AUTORA (2014)

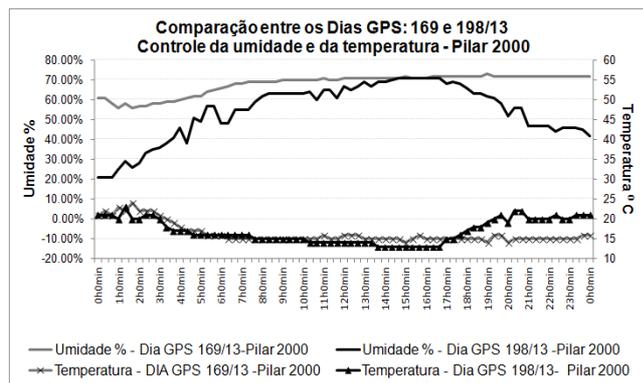


FIGURA 184- COMPARAÇÃO ENTRE OS DIAS GPS 169/13 X 198/13 - TEMPERATURA E UMIDADE
 FONTE: AUTORA (2014)

Ao se comparar o dia 18/06/2013 (Dia GPS 169/13) com o dia 18/07/2013 (Dia GPS 198/13) constata-se que o valor do PCO vertical foi maior para o primeiro destes dias. Verifica-se que a umidade relativa do ar para o dia 18/07/2013 (Dia GPS 198/13) foi variável durante todo o período (FIGURA 184). Para este mesmo dia percebe-se que no início desta calibração tem-se uma umidade relativa do ar igual a 20%, com um pico de aproximadamente 60% e finalizando com 40% de umidade. A temperatura observada durante os dois dias de experimentos é praticamente a mesma, exceto para as quatro últimas horas de observação que houve uma variação de 5°C.

Calcularam-se o coeficiente de correlação (r) entre os valores do PCO obtidos do ambiente controlado versus as variáveis observadas durante o período de calibração. Observa-se na Tabela 26 que os coeficientes de correlação são negativos exceto para a temperatura máxima, portanto indicam que a correlação é negativa. Sendo o maior valor observado de - 0,6 para a umidade mínima.

TABELA 26 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO - PCO VERTICAL OBTIDO EM AMBIENTE CONTROLADO VERSUS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS - LEIAX1202GG (B)

PCO Vertical (mm)	Temperatura (°)			Umidade Relativa do Ar (%)		
	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média
L1	0,1	-0,5	-0,2	-0,2	-0,6	-0,4
L2	0,0	-0,5	-0,1	-0,1	-0,5	-0,3

FONTE: AUTORA (2014)

4.6 VARIAÇÃO DO PCO OBTIDOS COM ANTENA REVESTIDA COM PLÁSTICO FILME

Visando diminuir a umidade depositada em cima da antena LEIAX1202 GG (B) sem a necessidade de empregar um ambiente controlado, ela foi revestida de plástico filme conforme exposto na seção 3.9. Desta forma algumas análises foram realizadas quanto à variação dos valores do PCO para as portadoras L1 e L2.

Na FIGURA 185 estão representados os valores das componentes horizontais para estes experimentos. Nesta figura também estão indicados os valores do PCO (componentes horizontais) obtidos com a calibração efetuada apenas com o emprego da antena, ambos foram desenvolvidos em agosto de 2013. As variações do PCO foram inferiores a 1 mm.

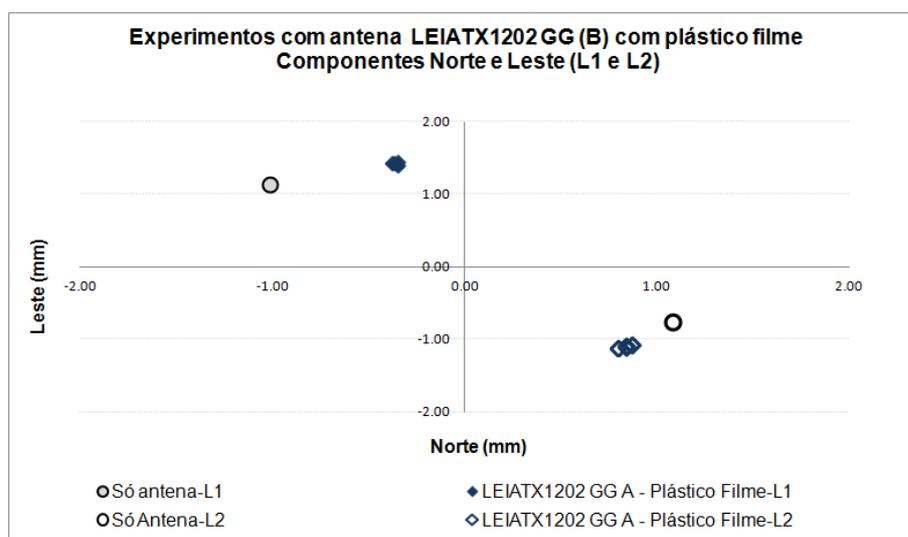


FIGURA 185- EXPERIMENTOS COM A ANTENA LEIAX1202GG (B) COM PLÁSTICO FILME
FONTE: AUTORA (2014)

As diferenças tridimensionais foram calculadas entre o PCO, com portadoras L1 e L2, obtido para a antena e aqueles provenientes do emprego da antena com plástico filme, estas diferenças podem ser visualizadas na FIGURA 186. Os valores obtidos para a componente vertical, para ambas as portadoras, estão indicados nesta figura, tendo-se valores de PCO (vertical) em L1 e de PCO (vertical) em L2, iguais a 57,45 mm e 56,68 mm, respectivamente.

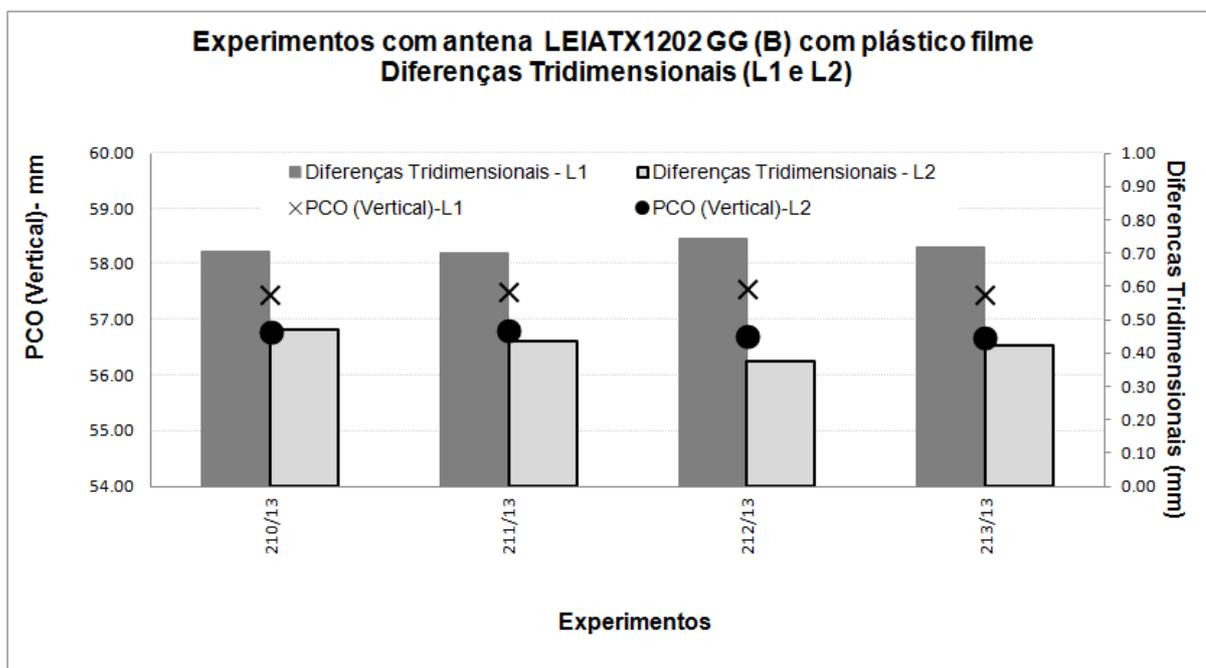


FIGURA 186- DIFERENÇAS TRIDIMENSIONAIS DA ANTENA LEIAX1202GG (B) COM PLÁSTICO FILME
 FONTE: AUTORA (2014)

Na FIGURA 186 verifica-se que as diferenças tridimensionais do PCO (vertical) em L1 e L2 não são superiores a 1 mm. Comparando os valores do PCO vertical para ambas as portadoras percebe-se que os valores não variam mais que 1 mm. As calibrações desta antena revestida de plástico filme mostraram-se viável, visto que os valores foram estáveis mesmo com o emprego do plástico filme.

4.7 DETERMINAÇÃO DE NOVOS VALORES DO PCO MEDIANTE A ANÁLISE DO MULTICAMINHO

Após a análise dos valores de MP1 e MP2 correlacionados com a variação dos valores de PCO vertical para ambas as portadoras verificaram-se quais eram os sinais dos satélites mais afetados por esse efeito. De posse dos resultados foram efetuados novos processamentos dos dados GPS gerando novos valores da componente do PCO para estas portadoras.

No Quadro 9 está indicado em três colunas o modelo das antenas, o dia GPS e o ano de cada experimento realizado e o PRN dos sinais dos satélites retirados visando a determinação dos novos valores das componente do PCO.

ANTENA	Dia GPS/Ano do Experimento	PRN dos Satélites retirados para nova determinação dos valores PCO
TRM22020.00+GP	290/11	26 e 27
LEIAX1202 GG A	008/13	14 e 32
LEIAX1202 GG B	267/11	4 e 11
LEIAX1203 GNSS	276/11	2 e 15
LEIAT504	300/12	11, 21 e 26

QUADRO 9- CARACTERÍSTICAS DOS EXPERIMENTOS PARA A DETERMINAÇÃO DE NOVOS VALORES DE PCO SEM OS SINAIS SATÉLITES QUE APRESENTAM OS MAIORES VALORES DE MP1 E MP2

FONTE: AUTORA (2014)

Visualiza-se na Tabela 27 os novos valores do PCO para ambas as portadoras para a antena TRM22020.00+GP. Foram realizados três experimentos. No primeiro deles foi retirado o satélite PRN26, no segundo experimento o satélite PRN27 e no último deles retiraram-se estes sinais dos satélites simultaneamente (PRN26 e PRN27). Analisando e comparando os valores destes PCO (L1 e L2) com seus valores originais verifica-se que não houve nenhuma diferença entre os valores destas componentes.

TABELA 27 – NOVOS VALORES DE PCO OBTIDOS COM A RETIRADA DOS SINAIS DOS SATÉLITES QUE APRESENTARAM MAIORES VALORES DE MP1 E MP2 PARA A ANTENA TRM22020.00+GP

Antena: TRM22020.00+GP Dia GPS: 290/11

Experimentos	PCO (L1) - mm			PCO (L2) - mm		
	Norte	Leste	Vertical	Norte	Leste	Vertical
Dado original	-1,0	2,0	49,7	1,7	-2,0	63,1
Sem Sinal Satélite 26	-1,0	2,0	49,7	1,7	-2,0	63,1
Sem Sinal Satélite 27	-1,0	2,0	49,7	1,7	-2,0	63,1
Sem Sinal Satélite 26 e 27	-1,0	2,0	49,7	1,7	-2,0	63,1

FONTES: AUTORA (2014)

Os novos valores do PCO L1 e L2 para a antena LEIAX1202GG (A) podem ser observados na Tabela 28. No primeiro experimento foi retirado o sinal do satélite PRN14, no segundo foi excluído o sinal do satélite PRN32 e no último experimento retiraram-se estes dois sinais dos satélites simultaneamente (PRN14 e PRN32). Analisando estes novos valores do PCO (para ambas as portadoras) com os seus valores originais foi possível verificar que as componentes do PCO não apresentaram diferenças. Sendo assim conclui-se que para esse dia GPS e para antena (LEIAX1202GG (A)) a retirada dos sinais dos satélites para a determinação dos novos valores do PCO não alteraram esses valores.

TABELA 28 – NOVOS VALORES DE PCO OBTIDOS COM A RETIRADA DOS SINAIS DOS SATÉLITES QUE APRESENTARAM MAIORES VALORES DE MP1 E MP2 PARA A ANTENA LEIAX1202 GG (A)

Antena: LEIAX1202 GG (A) Dia GPS: 008/13

Experimentos	PCO (L1) - mm			PCO (L2) - mm		
	Norte	Leste	Vertical	Norte	Leste	Vertical
Dado original	1,0	-1,2	57,4	-0,5	0,7	57,5
Sem Sinal Satélite 14	1,0	-1,2	57,4	-0,6	0,7	57,5
Sem Sinal Satélite 32	1,0	-1,2	57,4	-0,5	0,7	57,5
Sem Sinal Satélite 14 e 32	1,0	-1,2	57,4	-0,5	0,7	57,5

FONTES: AUTORA (2014)

Na Tabela 29 visualizam-se os novos valores do PCO, para ambas as portadoras, para a antena LEIAX1202GG (B). Foram realizados três experimentos, sendo que: no primeiro foi retirado o sinal do satélite PRN4, no segundo foi removido o sinal do satélite PRN11 e no último experimento foram retirados ambos os sinais dos satélites (PRN4 e PRN11). Analisando os novos valores do PCO com os seus valores originais, percebe-se que as componentes horizontais (norte e leste) não apresentam diferenças. As diferenças ocorrem para as componentes verticais, sendo que as maiores variações acontecem para a portadora L2.

Os valores de PCO (componentes norte, leste e vertical) obtidos com o terceiro experimento foram comparados com o conjunto de PCO determinados ao longo das calibrações. Houve uma diminuição 0,2 mm no desvio padrão para a portadora L1 e de 0,5 mm para a portadora L2.

TABELA 29 – NOVOS VALORES DE PCO OBTIDOS COM A RETIRADA DOS SINAIS DOS SATÉLITES QUE APRESENTARAM MAIORES VALORES DE MP1 E MP2 PARA A ANTENA LEIAX1202 GG (B)

Antena: LEIAX1202 GG (B) Dia GPS: 267/11

Experimentos	PCO (L1) - mm			PCO (L2) - mm		
	Norte	Leste	Vertical	Norte	Leste	Vertical
Dado original	1,0	-1,0	63,1	-0,6	1,3	61,4
Sem Sinal Satélite 4	1,0	-1,0	64,0	-0,5	1,3	62,5
Sem Sinal Satélite 11	1,0	-1,0	63,1	-0,6	1,3	61,3
Sem Sinal Satélite 4 e 11	1,0	-1,0	64,0	-0,6	1,3	62,4

FONTE: AUTORA (2014)

Empregando a mesma metodologia procede-se a análise da antena LEIAX1203GNSS e os novos valores de PCO podem ser visualizados na Tabela 30.

TABELA 30 – NOVOS VALORES DE PCO OBTIDOS COM A RETIRADA DOS SINAIS DOS SATÉLITES QUE APRESENTARAM MAIORES VALORES DE MP1 E MP2 PARA A ANTENA LEIAX1203 GNSS (B)

Antena: LEIAX1203 GNSS Dia GPS: 276/11

Experimentos	PCO (L1) - mm			PCO (L2) - mm		
	Norte	Leste	Vertical	Norte	Leste	Vertical
Dado original	-0,5	1,6	60,8	-1,1	-2,2	56,2
Sem Sinal Satélite 02	-0,5	1,6	60,8	-1,1	-2,2	56,1
Sem Sinal Satélite 15	-0,5	1,6	60,6	-1,1	-2,3	56,3
Sem Sinal Satélite 02 e 15	-0,5	1,6	60,6	-1,1	-2,3	56,2

FONTE: AUTORA (2014)

Comparando os valores do PCO obtidos para ambas portadoras indicados na Tabela 30 verificaram-se que variações ocorrem para as componentes leste e vertical para a portadora L2 e para a portadora L1 apenas na componente vertical. Contudo essas diferenças são da ordem de 0,2 mm.

Na Tabela 31 estão indicados os valores do PCO (norte, leste e vertical) para a antena LEIAT504. Analisando essa tabela verifica-se que apenas as componentes verticais são variáveis. Para a portadora L1 a maior variação foi de 0,2 mm e para a portadora L2 foi de 0,3 mm.

TABELA 31 – NOVOS VALORES DE PCO (NORTE, LESTE, VERTICAL) OBTIDOS COM A RETIRADA DOS SINAIS DOS SATÉLITES QUE APRESENTARAM MAIORES VALORES DE MP1 E MP2 PARA A ANTENA LEIAT504

Antena: LEIAT504 Dia GPS: 300/12

Experimentos	PCO (L1) - mm			PCO (L2) - mm		
	Norte	Leste	Vertical	Norte	Leste	Vertical
Dado original	1,2	1,0	98,1	-0,7	0,6	123,9
Sem Sinal Satélite 11	1,2	1,0	98,2	-0,7	0,6	124,1
Sem Sinal Satélite 21	1,2	1,0	98,0	-0,7	0,6	123,8
Sem Sinal Satélite 26	1,2	1,0	98,2	-0,7	0,6	124,0
Sem Sinal Satélites 11, 21 e 26	1,2	1,0	98,2	-0,7	0,6	124,1

FONTE: AUTORA (2014)

Comparando os valores do PCO obtidos sem os sinais dos satélites 11, 21 e 26 (apresentaram sinais mais afetados pelo efeito do multicaminho) com aqueles gerados na mesma época de observação, Dia GPS 298 a 305/12, outubro de 2012, foi possível verificar que houve coincidência entre estes valores e um dos cinco experimentos anteriormente realizados. Este fato é um indicativo de que a remoção dos sinais dos satélites que apresentam maiores valores de multicaminho pode proporcionar valores do PCO mais acurados quando comparados com valores verdadeiros.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os objetivos (geral e específico) indicados na seção 1.1 e 1.2 foram atingidos com êxito. Essa pesquisa possibilitou a validação da metodologia de calibração relativa em campo empregada na BCAL/UFPR, bem como, os parâmetros de calibração determinados nesta base de calibração por meio de comparações com parâmetros próprios provenientes de outras instituições (GEO ++ e WaSoft).

Diversos experimentos em campo foram realizados visando à identificação das variáveis ambientais que poderiam atuar durante o processo de calibração, a saber: temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, porcentagem de chuva e efeito do multicaminho. Mediante esta identificação foi possível correlacioná-las com os parâmetros próprios de antenas calibradas na BCAL/UFPR.

Estruturas foram construídas visando o controle dos ambientes internos onde as antenas foram instaladas durante a calibração relativa (referência e a ser calibrada). Inicialmente foram realizados diversos experimentos empregando diferentes materiais visando detectar o melhor a ser utilizado, ou seja, aquele que proporcionaria o melhor isolamento térmico e não contribuiria significativamente na elevação do efeito do multicaminho nas observações. Definido os materiais que poderiam ser empregados na estrutura procedeu-se a sua idealização, a qual foi composta de isopor, armação de madeira e espuma. Duas estruturas foram construídas para atender o PILAR 1000 e o PILAR 2000, as quais sofreram pequenas alterações ao longo da realização dos diversos experimentos. Essas estruturas possibilitaram de forma satisfatória o monitoramento das variáveis meteorológicas durante o processo de calibração. As variáveis meteorológicas internas foram comparadas com as externas provenientes da estação automática de Curitiba (INMET). Mediante estas comparações verificou-se que apenas em períodos intensos de precipitação o controle das variáveis internas não foi muito eficiente.

Mediante as comparações da variação dos parâmetros de calibração das diversas antenas calibradas na BCAL/UFPR provenientes de diferentes fabricantes e com idades distintas, foi possível verificar que eles são variáveis quando obtidos em épocas diferentes e sob condições meteorológicas diversas. As antenas analisadas

foram TRM22020.00+GP, LEIAX1202 GG (A e B), LEIAX1203GNSS e LEIAT504.

Constatou-se que a antena TRM22020.00+GP apresenta variações entre os valores do PCO calculados ao longo de cinco anos. A componente vertical foi a que apresentou as maiores variações. Para o conjunto de calibrações realizadas obteve-se uma diferença tridimensional máxima para a onda portadora L1 e L2 de cerca de 9 mm. Quando se avaliou as diferenças tridimensionais com os valores médios obteve-se para a onda portadora L1 e L2 uma diferença máxima de 7 mm. Ressalta-se que essa antena tem cerca de dezesseis anos, o que pode contribuir com variações mais significativas dos parâmetros de calibração. Comparando os valores de PCO vertical com as temperaturas externas (máximas, médias e mínimas) verificou-se que nos dias de calibração que apresentaram uma amplitude maior entre os valores máximos e mínimos dessa variável os valores do PCO vertical em L1 foram os que apresentaram maiores variações. Também foi verificado que em períodos com maior valor de precipitação, bem como, maior porcentagem de chuva os valores do PCO vertical em L1 apresentaram maiores variações. Calcularam-se os coeficientes de correlação (r) para o PCO vertical (L1 e L2) versus as variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação). Concluiu-se que há forte correlação entre o PCO vertical (L1) e a temperatura máxima ($r=0,9$) e uma fraca correlação entre o PCO vertical (L1) e a precipitação ($r=0,2$). Para o componente vertical (L2) observa-se uma forte correlação com a umidade máxima relativa do ar ($r=0,9$) e nenhuma correlação com a umidade mínima relativa do ar. Com a análise do efeito médio do multicaminho para essa antena foi possível detectar que o MP2 apresenta valores métricos.

Para a antena LEIAX1202 GG (A) têm-se valores de desvio padrão de 2,1 mm e 1,9 mm para a componente vertical do PCO (L1 e L2), respectivamente. Mediante a análise conjunta desta componente com a variação da umidade e da temperatura média, variáveis meteorológicas observadas durante as calibrações concluiu-se que a diminuição da umidade associada a uma elevação da umidade média proporcionou um aumento da componente vertical do PCO. O desvio padrão do efeito médio do multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 foram iguais a 0,06 m e 0,11 m, respectivamente. Com o cálculo do coeficiente de correlação percebeu-se que há uma fraca correlação entre PCO vertical (L1 e L2) e a temperatura (máxima, mínima e média), umidade (máxima e mínima) e a

precipitação (mínima), pois o coeficiente de correlação variou de -0,1 a -0,4. Correlacionando a precipitação máxima versus PCO Vertical (L1 e L2) percebeu-se que ele é fraco ($r=0,1$ a $0,3$).

Com as soluções geradas para a componente vertical do PCO para a antena LEIAX1202 GG (B) obteve-se desvio padrão igual a 0,8 mm para a portadora L1 e 0,7 mm para a portadora L2. Os dados de calibração correlacionados com as variáveis meteorológicas indicaram que mediante uma redução da umidade média associada a elevação da temperatura média os valores da componente vertical do PCO aumentam. Na análise do coeficiente de correlação percebe-se que há uma fraca correlação entre PCO vertical (L1 e L2) e a temperatura (máxima, mínima e média), umidade (máxima e mínima) e a precipitação (mínima), pois esse coeficiente de correlação variou de -0,1 a -0,4. O coeficiente de correlação entre PCO Vertical (L1 e L2) versus precipitação máxima é positivo, porém fraco ($r=0,1$ a $0,3$). Para esta antena quando realizada a análise do efeito médio do multicaminho tem-se valores de desvios padrão iguais a 0,06 m e 0,12 m para as ondas portadoras L1 e L2, respectivamente.

Ao se comparar os valores provenientes das calibrações da antena do mesmo modelo LEIAX1202 GG (A e B) verifica-se que os valores do desvio padrão que apresentam maior variação é a da antena LEIAX1202 GG (A). Mediante as análises dos gráficos (PCO componentes horizontais e verticais) observa-se que essas antenas mesmo sendo do mesmo modelo apresentam comportamento distinto, isso é cada antena tem o seu próprio parâmetro de calibração.

A antena LEIAX1203GNSS apresentou desvio padrão igual a 0,6 mm e 0,3 mm para as componentes verticais do PCO para as ondas portadoras L1 e L2, respectivamente. Como as componentes do PCO com seus respectivos desvio padrão apresentaram pequenas variações não foram realizadas comparações destes valores com as variáveis meteorológicas. Para o efeito médio do multicaminho obteve-se um desvio padrão igual a 0,12 m e 0,17 m para as portadoras L1 e L2, respectivamente.

O desvio padrão para a componente vertical do PCO foi igual a 0,6 mm e 0,2 mm para as portadoras L1 e L2, respectivamente, quando realizadas calibrações para a antena LEIAT504. Comparando as variáveis meteorológicas com os valores do PCO vertical dessa antena, observou-se que a variação de temperatura e

umidade relativa do ar não proporcionaram variações dessa componente. Determinaram-se o coeficiente de correlação entre PCO vertical (L1 e L2) e as variáveis meteorológicas observadas durante a calibração da antena LEIAT504. Verifica-se que há uma correlação negativa entre PCO vertical (L1) e a temperatura (máxima, mínima e média), valores que variam de -0,6 a -0,7. Observa-se uma forte correlação negativa entre PCO vertical (L2) e a variável temperatura (máxima, mínima e média) valor esse de -0,9. Correlacionando o PCO vertical (L1 e L2) há uma forte correlação entre umidade relativa do ar mínima, valor de 1,0 e 0,6, respectivamente. Correlacionando o PCO (L2) com a precipitação observa-se uma fraca correlação negativa com a % de precipitação observada durante as observações, valores que variaram de -0,3 à -0,5. Conclui-se que mesmo não havendo variação significativa nos valores do PCO vertical que essas são altamente correlacionadas, principalmente com a temperatura e umidade.

Quando analisado o ambiente monitorado, denominado de controlado, composto pela Estrutura 2- Versão 2 acrescida do plástico preto (em função de períodos de precipitação) obteve-se maiores variações do PCO para a antena LEIAX1202GG (A). Esta estrutura acrescida então de isopor plástico proporcionou variações no PCO inferiores a 1 mm para as antenas LEIAX1202GG (A e B), exceto em período em que a umidade interna aumentou.

Além das análises realizadas nos ambientes monitorados (controlados) e das análises dos coeficientes de correlação entre os valores do PCO e umidade máxima decidiu-se efetuar experimentos aplicando plástico filme em cima e em volta da antena LEIAX1202 GG (B). Com esses experimentos pretendeu-se minimizar o depósito de umidade em cima das antenas. Novos parâmetros de calibração foram determinados. Constatou-se que as variações do PCO foram inferiores a 1 mm quando comparadas com valores do PCO obtidos somente com o emprego da antena. Variações essas não significativas quando comparados com o mesmo método de calibração.

Após a análise dos sinais dos satélites que apresentavam maiores valores de multicaminho optou-se pela remoção desses e a geração de novos parâmetros de calibração. Para antena LEIAX1202GG (B) constatou-se uma diminuição dos valores de desvios padrão do PCO vertical de 0,2 mm para a portadora L1 e de 0,5 mm para

a portadora L2. Variações da ordem de 0,2 mm na componente leste e vertical do PCO para onda portadora L2 foram detectadas para a antena LEIAX1203GNS.

Com base na análise das calibrações destas antenas tiram-se algumas conclusões gerais, sendo:

- Com o passar dos anos as antenas apresentam maiores variações com relação aos parâmetros de calibração. Desta forma quando se almeja empregá-las em levantamentos de alta precisão calibrações devem ser realizadas no mesmo período.
- A idade das antenas pode estar correlacionada com os componentes eletrônicos usados na época de fabricação e esses podem ser a causa da variação. Por exemplo, a antena TRM22020.00+GP tem aproximadamente 16 anos e apresenta maiores valores de PCO.
- Valores da componente vertical do PCO sofrem maiores variações em períodos de chuva e de máxima umidade relativa do ar.
- Para antenas de diferentes modelos, quando se verifica uma redução da umidade média associada a elevação da temperatura média percebe-se que os valores da componente vertical do PCO aumentam.
- Um indicativo capaz de contribuir para obtenção de parâmetros de calibração mais próximos ao valor verdadeiro é a análise do efeito médio do multicaminho para cada satélite, cuja retirada desses sinais dos satélites processo de calibração pode ser positiva.

As recomendações deste trabalho para futuras pesquisas são:

a) Dar continuidade a calibrações periódicas das antenas analisadas neste trabalho, realizando registro fotográfico dos experimentos e observações das condições meteorológicas e clima durante o procedimento de calibração;

b) Realizar calibrações criando um ambiente perturbado por sinais eletromagnéticos visando identificar se esse ambiente altera os parâmetros de calibração;

c) Realizar processamento de dados GPS visando determinar coordenadas geodésicas aplicando parâmetros obtidos em ambiente controlado e verificar sua variação;

d) Com os resultados dessas calibrações e de calibrações futuras elaborar um banco de dados visando a modelagem das variáveis ambientais que atuam na variação dos parâmetros de calibração;

e) Determinar parâmetros de calibração de uma mesma antena para dias com chuva e sem chuva, gerando parâmetros para serem aplicados no processamento dos dados para levantamentos efetuados em períodos chuvosos e sem chuva;

f) Comparar as coordenadas geodésicas de marcos aplicando os parâmetros da recomendação do item d;

g) Realizar mais experimentos de calibração com a antena revestida de plástico filme e correlacionar esses valores com as variáveis ambientais (meteorológicos e multicaminho);

h) Determinar novos parâmetros de calibração após a remoção de sinais dos satélites que apresentam uma maior variação do efeito do multicaminho;

i) Processar os dados de calibrações de antenas com máscara de elevação de 15° para determinar novos valores de PCO e comparar com parâmetros determinados com máscara de 10° . Com essa análise poderá se verificar quanto esses parâmetros são diferentes e tentar correlacionar essa diferença com o efeito do multicaminho provenientes de satélites de baixo ângulo de elevação;

j) Analisar estatisticamente os resultados de calibração. Efetuando um teste de médias para comparar valores do PCO objetivando comprovar que estatisticamente esses são diferentes ou não. Realizar análise da variância e do erro médio quadrático;

k) Realizar uma análise multivariada dos parâmetros de calibração determinados em ambientes monitorados e sem monitoramento.

l) Transformar os valores de PCV dependente de elevação e dependente de azimute e elevação para um PCO de referência para cada época de observação e realizar novas análises;

m) Transformar os valores de PCV dependente de elevação e dependente de azimute e elevação obtidos em ambiente controlado para

um PCO de referência determinado em ambiente com baixa e alta umidade e realizar novas análises;

n) Realizar calibração de algumas antenas que compõe a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) e RIBaC (Rede INCRA de Bases Comunitárias do GPS) e determinar novas coordenadas precisas aplicando parâmetros próprios de calibração. Comparar essas novas coordenadas com as coordenadas determinadas com os parâmetros médios do NGS.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEMU, G T. **Assessments on the effects of mixing different types of GPS antennas and receivers.** Master's of Science Thesis in Geodesy No. 3106 . School of Architecture and the Built Environment. Royal Institute of Technology (KTH) Stockholm, Sweden. September 2008.

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.

BECKER, D. **Mehrwegeeinfluß bei GPS.** Zeitschrift für Satellitengestützte Positionierung, Navigation und Kommunikation (SPN), 4/94. (1994)

BECKER, M; ZEIMETZ, P; SCHÖNEMANN, E. **Anechoic chamber calibrations of phase center variations for new and existing GNSS signals and potential impacts in IGS processing.** IGS Workshop 28 June - 2 July 2010, Newcastle upon Tyne, England.

BEHAR, V; KABAKCHIEV, C; GARVANOV, I; ROHLING, H. **Performance Analysis of Adaptive GPS Signal Detection in Urban Interference Environment using the Monte Carlo Approach.** Applications of Monte Carlo Method in Science and Engineering, ISBN 978-953-307-691-1, publishing date: February 2011.

BILICH, A; MADER, G.L. **GNSS Absolute Antenna Calibration at the National Geodetic Survey.** 23rd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, Portland, OR, September 21-24, 2010

BÖDER, V.; MENGE, F.; SEEBER, 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 (2008). Disponível em <<http://space.gc.ca/about/fag/df1/default.asp#17>>. Acesso em: 23 de outubro de 2008.

EC.EUROPA.EU (2014). Disponível em <http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/galileo/index_en.htm>. Acesso em: 28 de setembro de 2014.

ESTEY, L.H.; MEERTENS, C.M. TEQC: **The multi-purpose toolkit for GPS/GLONASS Data**. GPS Solutions, v. 3, n. 1, p. 42-49, 1999.

EVEN-TZUR, G; SHAKED, D. **GPS Antenna Height and Its Influence on Pseudorange Multipath**. ProceedingS of FIG Working Week 2008 – Integrating Generations.

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 2011.

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 (2011). 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 2011.

GLONASS-IANC.RSA. (2014). Disponível em <<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/en/GLONASS/index.php>>. Acesso em: 28 de setembro de 2014.

GOOGLE EARTH (2014). Disponível em <<http://www.googleearth.com>>. Acesso em: 20 de outubro de 2014.

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

GPS.GOV (2014). Disponível em <<http://www.gps.gov/systems/gps/space/>>. Acesso em: 28 de setembro de 2014.

GREWAL, M. S; WEILL, L. R; ANDREWS, A. P. (2007). **Global Positioning Systems, Inertial Navigation, And Integration.** Second Edition. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Publicado no ano de 2007.

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

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

HUINCA, S.C.M, C. P., MAYER, M., KNOPFLER, A. **First Results of Relative Field Calibration of a GPS Antenna at BCAL/UFPR.** Springer in the Proceedings of IAG 2009 Scientific Assembly "Geodesy for Planet Earth".

HUINCA, S.C.M; KRUEGER, C.P. **Determinação De Parâmetros De Calibração De Antenas GNSS na BCAL/UFPR.** Anais do III Simpósio Brasileiro De Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010.

HUINCA, S.C.M; KRUEGER, C.P. **Correlação Das Variáveis Ambientais e Efeito do Multicaminho com os Parâmetros de Calibração (PCO) de Antenas GNSS.** Resumo apresentado nos Anais do VII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba, 12 a 14 de setembro de 2011.

IBGE (2011). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 de outubro de 2011.

INSIDE GNSS (2011). Disponível em <<http://www.insidegnss.com/aboutcompass>>. Acesso em 01 de julho de 2011.

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.

ITA (2011). Erros que afetam a propagação do sinal GPS. Disponível em <<http://www.ele.ita.br/~alexbo/gnss/fontesdeerro.htm>>. Acesso em: 05 de junho de 2011.

KERKHOFF, A; HARRIS, B, R;PETERSEN, C P; PICKARD, A. **Modifications to GPS Reference Station Antennas to Reduce Multipath**. ION GNSS 2010 Proceedings.

KOUBA, J. **A GUIDE TO USING INTERNATIONAL GNSS SERVICE (IGS) PRODUCTS**. May 2009. Disponível em <<http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/usage.html>>. Acesso em: 25 de julho de 2011.

KNUDSEN, P; OLSEN, H; XU, G. **GPS-altimetry tests – Measuring GPS signal reflected from the Earth surface**. Poster on the 22st IUGG General Assembly, IAG Symposium 1999.

KUNYSZ, W. **High Performance GPS Pinwheel Antenna**. NovAtel Inc. 2010. Disponível em <http://www.sokkia.com.tw/novatel/Documents/Papers/gps_pinwheel_ant.pdf>. Acesso em 24 de setembro de 2011.

LARSON , K M; BILICH A. **Innovation: It's Not All Bad**. GPS World. October 1, 2009.

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

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying** – 2. edition. New York: John Wiley & Sons. 1995.

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

LÖFGREN, R H; JOHANSSON, J; NING T; SCHERNECK H G. **Site-Dependent Effects in GNSS-Observations – Reflections as Disturbances and/or Signals** . Department of Radio and Space Science, Chalmers University of Technology,

Göteborg, Sweden. Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009. EGU General Assembly 2009.

LOPEZ, Alfred R. **GPS Landing System Reference Antenna**. Antennas and Propagation Magazine, IEEE. Fevereiro, 2010. Volume 52. Issue:1. Páginas 104 – 113.

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

MATSUOKA, M T. **Avaliação de Funções para Modelagem do efeito de Refração Ionosférica na Propagação dos Sinais GPS**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP. Fevereiro 2003.

Mehl, E. L de M. **Cálculo de perdas e ganhos nas instalações físicas – Link Budget (“Contabilidade” do Link)**. TE155-Redes de Acesso sem Fios. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Engenharia Elétrica. Disponível em <<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te155/aulas/8-3-Perdas-e-Ganhos.pdf>>. Acesso em 29 de setembro de 2014.

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

MOERNAUT, G.J.K; ORBAN, D. **Innovation: GNSS Antennas**. Revista GPS World. Fevereiro 2009.

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

NGS (2011). National Geodetic Survey. Disponível em <<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>>. Acesso em: 03 de outubro de 2011.

PALMA, E.; FARRET,C.J. **A Precisão Possível com o GPS em Georreferenciamento: O Desafio do Multicaminho**. 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.

PINTO, P, L. **Relatório Final- Antena GPS OmniDireccional para o Vorsat**
Relatório Final realizado no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Automação . 12 de Fevereiro de 2011.

RABBANY, E. A. **Introduction to GPS: the Global Positioning System**. Artech House mobile communications series (2002).

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.

RAY, J.K. **Systematic Errors in GPS Position Estimates**. IGS Workshop, Darmstadt, 11 May 2006.

RESOLUTION (2005). Disponível em <<http://www.euref-iag.net/html/resolutions.html#Viena>>. Acesso em: 30 de outubro de 2011.

RIBEIRO, J. A. J. **Propagação das ondas eletromagnéticas: princípios e aplicações**. 1ª. Edição. São Paulo: Érica. 2004.

ROTHACHER, M.; SCHAER, S.; MERVART, L.; BEUTLER, G. **Determination of antenna phase center variations using GPS data**. In: IGS Workshop, Potsdam, Germany, may 15-17. 1995.

ROTHACHER, M. **Comparisons of Absolute and Relative Antenna Phase Center Variations**. GPS Solution 4 (4). 2000.

ROTHACHER, M.; SCHMID, R. **GPS-Antennenkalibrierungen aus nationaler und internationaler Sicht**. In: Tagungsband des 4. SAPOS-Symposiums, Hannover, 2002.

SALOMONI, C S. **GPS e Ionosfera: Estudo do comportamento do TEC e de sua influência no posicionamento com GPS na Região Brasileira em Períodos de Alta e Baixa Atividade Solar**. Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

SANTOS, M C dos; SILVA, N C C; OLIVEIRA, L C de. **Efeito da Refração Troposférica no Posicionamento Geodésico Com GPS.** Revista Brasileira de Geofísica, Vol. 17(2,3), 1999.

SAPUCCI, L. F. **Estimativa do vapor d'água atmosférico e a avaliação da modelagem do atraso zenital troposférico utilizando GPS.** Dissertação de Mestrado, UNESP, Presidente Prudente-SP. 2001.

SEEBER, G; MENGE, F; VÖLKSEN, C. **Precise GPS Positioning Improvements By Reducing Antenna And Site Dependent Effects.** Disponível <<http://www.geopp.de/download/rio97.pdf>> Acesso em: 10 de setembro de 2011.

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

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

SCHMITZ, M., G. WÜBBENA, G. BOETTCHER, G. SEEBER, V. BÖDER, F. MENGE (2002). **Absolute Receiver Antenna Calibrations with a Robot.** Presentation at IGS Workshop "Towards Real-Time", April 8-11, 2002, Ottawa, Canada.

SCHMITZ, M., WÜBBENA, G., BOETTCHER, G. **Near Field Effects of a Car Roof on TSHIPERPLUS Phase Variations.** Geo++ White Paper. 2004. Disponível em <www.geopp.com/publications, Garbsen>. Acesso em 24 de agosto de 2011.

SCHUPLER, B. R.; CLARK, T. A. (1991). **How different antennas affect the GPS observable.** GPS World, November/December 1991, p. 32-36.

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, Salt Lake City, UT.

WASOFT (2011). **Programm WaSoft/Kalib 2.0.** Disponível em <<http://www.wasoft.de>>. Acesso realizado em 22 de setembro de 2011.

SMIT, J. **Ondas e Antenas.** Livros Érica Editora Ltda. 2º Edição. São Paulo, 1988

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. **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, nº2, 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.

SOUZA, E. M; MONICO, J.F.G; MACHADO, W. C. **Avaliação de Estratégias de Detecção e Correção de Perdas De Ciclos Na Portadora L1.** II Simpósio Brasileiro de Geomática. V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Presidente Prudente - SP, 24-27 de julho de 2007.

SOUZA, E M D. **Análise de Wavelets para Detecção e Correção do Multicaminho no Posicionamento Relativo GNSS Estático e Cinemático.** Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista. 2008.

TRIMBLE. Disponível em < <http://www.trimble.com/infrastructure/gnss-choke-ring-antenna.aspx?dtID=support>>. Acesso em : 13 de setembro de 2014.

VISKI, A, R; HUINCA, S.C.M; KRUEGER, C.P.; LEANDRO, D. Resultados Preliminares Alcançados Com AEM-LAGE Na BCAL/UFPR. Anais do III Simpósio Brasileiro De Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010.

VISKI, A, R. **Análise da Atenuação do Efeito Multicaminho no Posicionamento GPS de Plataformas Lagrangeanas e Eulerianas em Massas de Água.** Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, 2012.

XU, G. **GPS. Theory, Algorithms and Applications.** Second Edition. Editora Springer. Publicado no ano de 2007.

WASOFT (2011). Programm WaSoft/Multipath. Disponível em <<http://www.wasoft.de>>. Acesso realizado em 22 de outubro de 2011.

WASOFT (2011). 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.

WANNINGER, L. Möglichkeiten und Grenzen der relativen GPS-Antennenkalibrierung. **Zeitschrift für Vermessungswesen**. N. 1/2002, p.51-58. (2002).

WORDPRESS (2011). Disponível em <<http://grisco.wordpress.com/category/jamer/>>. Acesso em: 30 de julho de 2011.

WÜBBENA, G.; MENGE, F.; SCHMITZ, M.; SEEGER, 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.; SEEGER, 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. Budapeste, 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. Budapeste, Hungria.

WÜBBENA, G.; SCHMITZ, G. M.; PROPP, M. **Sensibility of Dorne Margolin Choking Antennas to Rainfall**. Analysis of a Sprinkled Antenna Site on a Short-Baseline. IGS Analysis Workshop 2-6 June 2008. Miami Beach, Florida USA.