

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANTENAS DE RECEPTORES GPS: CARACTERÍSTICAS GERAIS

Material teórico de apoio ao Curso de Extensão *Error Sources in Highly Precise GPS Positioning*
Setor de Ciências da Terra
Departamento de Geomática
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas

Autor: Jaime Freiburger Junior, MsC.

CURITIBA

2004

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	ESQUEMA E FUNCIONALIDADE DOS RECEPTORES GPS	4
2.1	COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DA ANTENA GPS	4
2.2	TIPOS DE ANTENAS GPS.....	6
2.3	ANTENAS <i>MICROSTRIP (PATCH)</i>	6
2.4	CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DA ANTENA GPS	7
2.4.1	Dimensões Nominais	7
2.4.2	Centro de Fase	8
3	CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GPS	11
3.1	CALIBRAÇÃO EM CÂMARAS ANECÓICAS.....	11
3.2	CALIBRAÇÃO RELATIVA.....	12
3.3	CALIBRAÇÃO ABSOLUTA.....	13
4	PROCEDIMENTOS DE CAMPO EM LEVANTAMENTOS GPS	15
4.1	EMPREGO DE ANTENAS DE MESMO MODELO	15
4.2	INSTALAÇÃO E CALAGEM DA ANTENA	15
4.3	ORIENTAÇÃO DAS ANTENAS	16
4.4	MEDIÇÃO DA ALTURA DA ANTENA.....	17
4.5	PÓS-LEVANTAMENTO.....	18
5	EXPERIMENTOS REALIZADOS NA UFPR	18
5.1	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	19
5.2	PROCESSAMENTO E RESULTADOS.....	20

1 INTRODUÇÃO

A instrumentação GPS tem recebido um notável grau de desenvolvimento realizado em diversos estágios de projeto e implementações tecnológicas, com o objetivo de melhorar a qualidade das coordenadas geodésicas, o registro do tempo e a modularização e miniaturização dos receptores. Um dos principais aspectos tem sido a expansão das aplicações GPS e o aprimoramento da precisão, que trouxe à comunidade usuária uma gama de equipamentos de alta confiabilidade voltados para aplicações específicas de posicionamento e navegação.

A precisão e os seus fatores limitantes estão relacionados à instrumentação. O projeto, a funcionalidade e os modos de operação dos receptores assim como os equipamentos auxiliares usados são questões relacionadas à instrumentação GPS.

Quanto mais alta for a qualidade dos equipamentos, maior é o seu custo de implementação, explicando a importância de se conhecer as especificações de rendimento e precisão das diferentes classes de receptores. Dessa forma, torna-se possível definir adequadamente as necessidades de uma aplicação e fazer a escolha consciente e correta dos equipamentos GPS a serem utilizados.

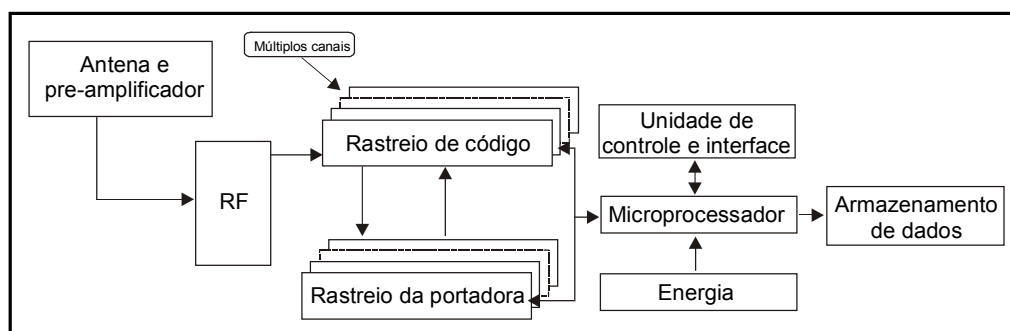
A instrumentação GPS abrange um amplo conjunto de tópicos. O escopo deste material não permite atingir todas estas questões, mas limitar o estudo em uma abordagem sobre as antenas de receptores GPS que são uma das principais fontes de erros no posicionamento preciso por GPS. Busca-se informar as principais características deste instrumento e conduzi-lo a uma literatura especializada sobre o assunto.

Na seção 2 é mostrado o desenho funcional de um receptor GPS. A antena GPS é abordada na seção seguinte, onde são expostos de forma sucinta a função, os tipos de antena GPS e as características construtivas deste instrumento. Na seção 3 são apresentados os métodos de calibração de antenas de receptores GPS. Na seção 4 são expostas algumas considerações sobre técnicas de otimização que visam eliminar ou reduzir a presença de erros provenientes das antenas GPS nos levantamentos geodésicos. E na seção 5 são mostrados os resultados de um estudo realizado na Universidade Federal do Paraná para avaliar a ordem de grandeza do *offset* do centro de fase de uma antena geodésica.

1.1 ESQUEMA E FUNCIONALIDADE DOS RECEPTORES GPS

Em geral, os receptores GPS consistem dos mesmos conjuntos de funções, mesmo que suas implementações sejam distintas em diferentes tipos e marcas de receptores (TAYLOR e FRANCIS, 2002). Os componentes primários de um receptor GPS genérico estão indicados no esquema da figura 1.

FIGURA 1: ARQUITETURA CONCEITUAL BÁSICA DE UM RECEPTOR GPS.



Fonte: SEEBER (1993, p. 230); TAYLOR e FRANCIS (2002).

Qualquer receptor GPS deve operar de acordo com as seguintes tarefas:

- seleção dos satélites (baseado na diluição geométrica de precisão, GDOP) e determinação da posição aproximada do satélite por meio do almanaque;
- rastreio e aquisição do sinal de cada satélite selecionado;
- recepção dos dados de navegação de cada satélite;
- rastreio dos satélites: medição e monitoramento das pseudodistâncias;
- fornecimento de informações de posição e velocidade;
- gravação dos dados para um pós-processamento ou transmissão dos dados em tempo real a outro receptor via rádio modem;
- alimentar comandos do usuário e mostrar os resultados via painel de controle ou microcomputador.

2.1 COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DA ANTENA GPS

A antena do receptor GPS é o elemento responsável pela detecção das ondas eletromagnéticas vindas dos satélites, podendo ser considerada um sensor que traduz o sinal do satélite incidente em informações de amplitude e fase. Conforme TRANQUILLA et al. (1989, p. 356), a antena GPS converte a energia da

onda em corrente elétrica, amplifica a força do sinal e disponibiliza os sinais ao processador do receptor. A antena GPS pode ser definida como uma estrutura associada com a região de transmissão entre uma onda guiada e uma onda de livre-espaço, ou vice-versa. Em transmissão, uma antena recebe energia de uma linha de transmissão e a irradia no espaço, e, em recepção, ela coleta energia de uma onda incidente e a incorpora em uma linha de transmissão.

Embora a energia empregada para se extrair um sinal GPS de um ruído de fundo seja concentrada no receptor ao invés da antena, a maioria das antenas GPS é normalmente combinada com um pré-amplificador¹ de baixo ruído, conforme indicado na figura 1. O pré-amplificador amplifica o nível do sinal antes de alimentá-lo na seção de rádio frequência (RF) do 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, e o seu ganho, normalmente de 10 a 40 dB, for muito maior (JOHNSON, 1993 apud TAYLOR e FRANCIS, 2002). O ganho necessário ao amplificador depende primeiramente do próprio ganho da antena, do comprimento do cabo coaxial utilizado e das características do receptor.

Portanto, deve-se atentar quando do uso de uma antena ativa com um pré-amplificador o qual o receptor não suporta, i.e., ruído e ganho dos pré-amplificadores devem estar dentro da faixa de aceitação do receptor. Da mesma forma, a voltagem e a corrente fornecidas pelo receptor ao pré-amplificador devem ser compatíveis com as características da antena. O ganho total esperado das antenas ativas está entre 20 e 50 dB, enquanto o consumo de energia está entre 12 e 32 mA a 5 V DC.

Uma antena GPS deve ser capaz de rejeitar sinais que estão fora da banda de operação do GPS. Assim, o amplificador deve conter filtros distintos para cada frequência L1 e L2. Uma antena amplificada pode conduzir a um aumento de precisão ao permitir o rastreamento da quantidade máxima de satélites do horizonte, e pode ajudar a contornar os problemas de perdas de sinal devido ao movimento do veículo em levantamentos cinemáticos ou perdas de sinal sob vegetação densa. Nestes casos, as antenas passivas podem falhar.

¹ A antena, combinada com um pré-amplificador embutido em sua base (entre a saída da antena e a linha de alimentação ao receptor) é chamada de antena ativa, enquanto a antena sem um amplificador é chamada de antena passiva.

2.2 TIPOS DE ANTENAS GPS

Diversos tipos de antenas de receptores GPS têm sido desenvolvidos. Basicamente, a antena pode ser composta de componentes metálicos dispostos em variadas configurações cujas dimensões são dadas em função do comprimento de onda. Elas variam de simples estruturas, tais como as antenas monopolo e dipolo, até arranjos complexos. Atualmente, os tipos de antenas GPS disponíveis para o emprego na recepção dos sinais GPS são (SEEBER, 1993, p. 230):

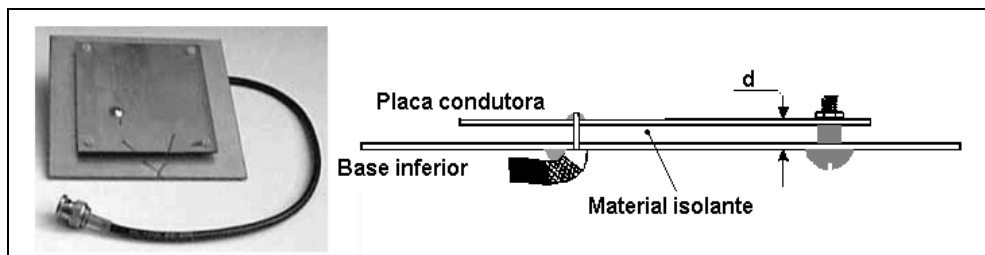
- a) monopolo ou dipolo;
- b) helicoidal;
- c) helicoidal-espiral;
- d) *microstrip* ou *patch*; e
- e) *choke ring*.

2.3 ANTENAS MICROSTRIP (PATCH)

As antenas mais comuns são do tipo *microstrip* ou *patch* em virtude de sua fácil construção e de suas pequenas dimensões, o que permite que sejam empregadas em receptores GPS portáteis, em especial quando a antena é integrada ao corpo do receptor. As antenas *microstrip* se tornaram populares nos anos 70 inicialmente nas atividades espaciais, e, atualmente, são as mais empregadas nas aplicações comerciais (BALANIS, 1998, p. 5).

Uma antena *microstrip* consiste de uma placa condutora de circuito impresso montada sobre uma base quadrada, isolados entre si por uma camada de ar. Nas antenas mais sofisticadas o material de isolamento empregado é uma espécie de porcelana. A figura 2 ilustra um exemplo e o esquema de uma antena *microstrip*.

FIGURA 2: ANTENA MICROSTRIP.



Fonte: Plundahl (2003).

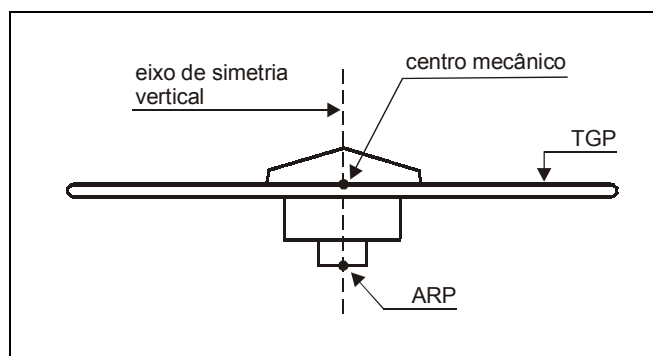
Dentre as características de uma antena de receptor GPS, tem-se dado considerável importância ao estudo da variação do centro de fase, um erro de caráter sistemático que afeta a precisão do posicionamento geodésico uma vez que se trabalha com valores na ordem do milímetro. Conforme SEEBER (2003, p. 299), a variação do centro de fase encontrada nas antenas GPS tipo *microstrip* pode variar de milímetros até alguns centímetros.

2.4 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DA ANTENA GPS

2.4.1 Dimensões Nominais

De um modo geral, as antenas GPS são dimensionadas segundo padrões técnicos que permitem a identificação dos seus componentes constituintes. A figura 3 ilustra a superfície denominada TGP (*top of ground plane*), o centro mecânico da antena e o ponto notável ARP (*antenna reference point*), que originam as dimensões físicas de uma antena GPS. Estas grandezas são alimentadas nos programas de processamento para o cálculo de redução da medida de altura da antena ao marco tornando possível a determinação correta e precisa das linhas de base.

FIGURA 3: PONTOS E SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA DE UMA ANTENA GPS.

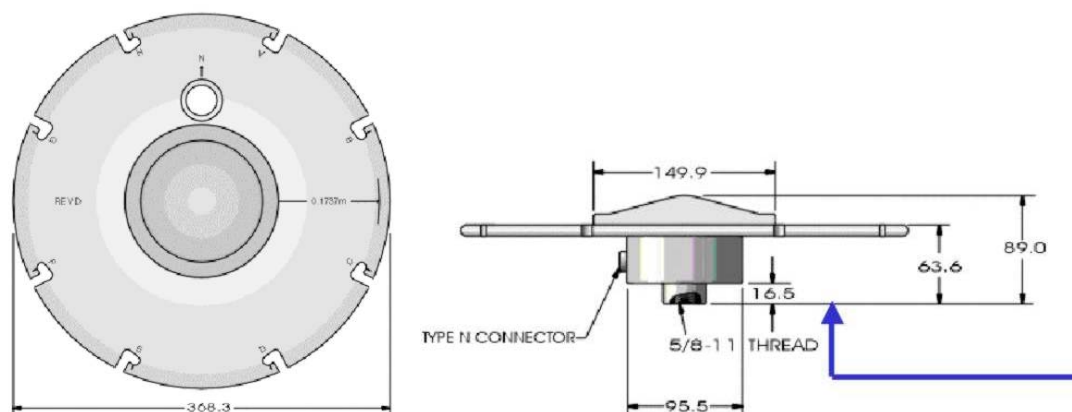


A superfície superior do disco de proteção contra o efeito multicaminho (ingl. *ground plane*) é denominada TGP. O centro mecânico de uma antena GPS é definido com precisão submilimétrica, normalmente pela intersecção do eixo mecânico de simetria vertical com a superfície superior de proteção contra multicaminho (*ground plane*) (SEEBER, 2003, p. 320). O ARP também é definido mecanicamente, sendo normalmente a intersecção do eixo vertical de simetria com a superfície mais inferior do corpo da antena, como ilustra a figura 3. O ARP é o ponto

de referência da antena, e pode variar de posição de acordo com o modelo do instrumento.

As dimensões nominais, geralmente dadas em milímetros, devem ser fornecidas pelo fabricante. Estas características são exemplificadas na figura 4.

FIGURA 4: DIMENSÕES NOMINAIS (ANTENA ASHTECH GEODÉSICAIII).



Fonte: MADER (2004).

Além das especificações mecânicas, uma especial atenção deve ser dada para as características do centro de fase da antena GPS, que é tratado a seguir.

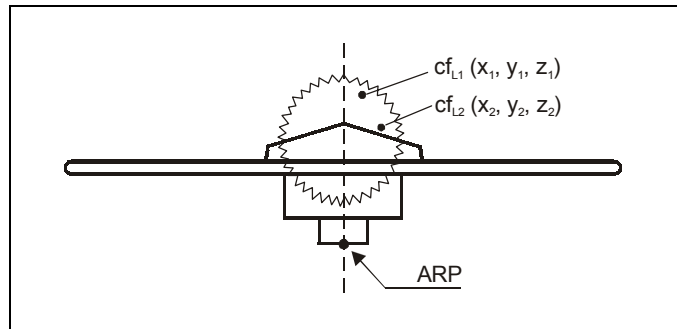
2.4.2 Centro de Fase

Chama-se centro de fase eletrônico (ou simplesmente centro de fase) ao ponto observado em uma antena GPS durante a recepção de um sinal vindo do satélite (GEOSCIENCE AUSTRALIA, 2003). Logo, a solução geodésica de uma linha de base GPS corresponde ao vetor entre os centros de fase de duas antenas GPS. Nas aplicações de alta precisão, as posições do centro de fase de todas as antenas envolvidas em um projeto devem ser conhecidas e referenciadas a um ponto físico da antena, normalmente ao ARP.

Conforme SEEBER (2003, p. 320), os centros de fase médios nas portadoras L1 e L2 podem estar deslocados poucos milímetros do centro mecânico da antena, onde se situa o ARP. Esta não-coincidência do centro de fase eletrônico (no qual o sinal GPS é efetivamente recebido) com o eixo de simetria (no qual é padronizada a tomada de medição do sinal) é uma característica das antenas GPS que se deve às diferenças construtivas de cada antena (CHONG e KAM, 2000). A

este deslocamento chama-se *offset* do centro de fase médio, cujas coordenadas tridimensionais em L1 e L2 em relação ao ARP são fornecidos pelos fabricantes, para a maioria dos modelos de antenas GPS (figura 5).

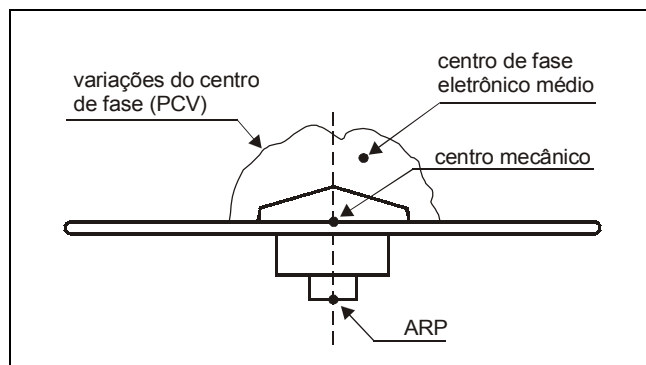
FIGURA 5: CENTROS DE FASE EM L1 E L2.



Fonte: DICK, G. (2002).
Nota: modificado pelo autor.

O *offset* do centro de fase médio é condicionado por uma parte mecânica e outra parte eletrônica. A primeira, denominada *offset* do centro de fase médio (PCO), consiste do próprio deslocamento entre o centro de fase e o ARP; a segunda distância, denominada variação do centro de fase (PCV), consiste de um deslocamento adicional do centro de fase, de caráter sistemático, que se comporta conforme a configuração dos satélites GPS (azimute e ângulo de elevação). Na figura 6 observa-se uma representação dos deslocamentos do centro de fase médio em relação ao ARP pela ação conjunta do *offset* do centro de fase e das suas variações. Nota-se que o centro de fase se localiza acima do ponto de referência da antena (ARP).

FIGURA 6 – VARIAÇÕES DO CENTRO DE FASE E PONTOS DE REFERÊNCIA



Fonte: SEEBER (2003).
Nota: modificado pelo autor.

As variações do centro de fase compreendem uma das principais fontes de erro no sistema de recepção do sinal (SEEBER, 2003). A qualidade nos resultados do processamento GPS depende do modelo de antena utilizado no levantamento uma vez que as propriedades do centro de fase eletrônico são diferentes em cada tipo de antena. SEEBER (1993, p. 310) afirma que a variação do centro de fase verificada nas antenas dos receptores TI4100 (figura 7) é de 1 a 2 cm, enquanto nas antenas tipo “microstrip” (seção 2.3) a variação é da ordem de poucos milímetros.

FIGURA 7: TEXAS INSTRUMENT 4100: RECEPTOR E ANTENA.



Fonte: NOAA (2003).

A determinação da variação do centro de fase das antenas GPS refere-se à calibração destes instrumentos, tema sobre o qual foram publicados trabalhos nos anos 80 e 90. Atualmente, verifica-se que há grupos de pesquisa que se empenham na tentativa de desenvolver procedimentos de calibração de antenas de receptores GPS. Os principais métodos existentes até então são abordados na seção 3.

3 CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GPS

O objetivo desta seção é apresentar sucintamente os métodos de calibração de antenas de receptores GPS. Conforme Rothacher e Schmid (2002, p. 124), os três métodos de determinação do *offset* do centro de fase (PCO) e das variações do centro de fase (PCV) de antenas de receptores GPS são:

- a) Medições absolutas em câmaras anecóicas;
- b) Calibração relativa em campo (com medições GPS); e
- c) Calibração absoluta em campo com emprego de robôs (e medições GPS).

Cada método apresenta vantagens e limitações e oferecem diferentes possibilidades para a avaliação do comportamento eletrônico e funcional das antenas GPS.

3.1 CALIBRAÇÃO EM CÂMARAS ANECÓICAS

A caracterização de antenas GPS no interior de câmaras anecóicas² consiste de simulações de sinal GPS que incidem uniformemente nestes instrumentos, que são rotacionados e inclinados para se obter todas as configurações possíveis de recepção do sinal. O ponto ao redor do qual a antena é rotacionada deve ser precisamente determinado em relação à referência da antena (ARP), e os resultados são as variações absolutas do centro de fase, i.e., independente de uma antena de referência.

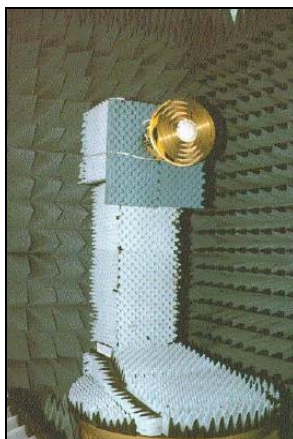
Em virtude de não haver saída ou entrada de qualquer tipo de sinal, as antenas GPS podem ser posicionadas no interior da câmara onde é garantido o controle dos sinais coletados. Por se tratar de um ambiente submetido a condições laboratoriais, o comportamento da antena pode não refletir as condições reais de levantamento em campo.

Com vistas à calibração das antenas de receptores GPS, este método foi proposto a partir de 1987, concentrado na determinação da resposta radiométrica do

² câmara anecóica (ingl. *anechoic chamber*): é um ambiente adaptado para testar equipamentos eletrônicos sob condições de laboratório, onde há a minimização da quantidade de reflexão ou reverberação de ondas de diferentes características, incluindo frequências de rádio e microondas.

centro de fase, da amplitude e da polarização das antenas GPS geodésicas utilizadas na rede IGS (International GPS Service) (SCHUPLER e CLARK, 2000, p. 2499).

FIGURA 8: ANTENA EM CÂMARA ANECÓICA



3.2 CALIBRAÇÃO RELATIVA

Na calibração relativa, os *offsets* médios e as variações do centro de fase são determinados em relação aos parâmetros de uma antena de referência. Ambas as antenas são dispostas em uma linha de base curta e precisamente conhecida, e os dados GPS desta linha de base são utilizados para determinar a posição do centro de fase conforme o ângulo de elevação e de azimute do sinal incidente. No princípio, este método foi largamente empregado na calibração da maioria das antenas GPS geodésicas (figura 9).

FIGURA 9: CAMPO DE CALIBRAÇÃO RELATIVA



A agência norte-americana NGS (National Geodetic Survey), divisão fundada em 1807 e pertencente ao órgão governamental NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), desenvolveu procedimentos para a obtenção de valores de calibração para as antenas da maioria dos modelos de receptores GPS. Estes procedimentos empregam medições relativas de campo para se determinar a posição relativa do centro de fase e as suas variações com respeito a uma antena de referência (MADER, 1999). Os resultados podem ser obtidos na Internet, no endereço <www.ngs.noaa.gov/ANTCAL>.

3.3 CALIBRAÇÃO ABSOLUTA

A calibração absoluta emprega observações GPS não-diferenciadas de dias consecutivos. O princípio está na diferença entre as observações da constelação GPS de forma repetida de dois dias siderais médios³ consecutivos a fim de se evitar correlações das variações do centro de fase (PCV) com a estação de calibração. Assim, em condições invariáveis de multicaminho na estação, estes efeitos se repetem nos mesmos períodos podendo ser eliminados ao se formar a diferença entre as observações de dois dias siderais consecutivos (MENGE et al., 1998). Estes efeitos são:

- a) o termo do erro de multicaminho (MP);
- b) as variações do centro de fase (PCV); e
- c) a informação geométrica.

Por meio das observações não-diferenciadas, o erro de multicaminho e as PCV são separados das observações GPS, podendo-se determinar e eliminar as respectivas parcelas de erros individuais (SCHMITZ, 2001, p. 102).

A calibração absoluta em campo vem sendo concretizada pelo Institut für Erdmessung da Universidade de Hannover (Alemanha) inicialmente por meio de instrumentos manuais e rudimentares, e atualmente com a ajuda de um robô de precisão no qual a antena é acoplada para receber rotações e inclinações (figura 10). Conforme ROTHACHER E SCHMID (2002, p. 124), este método combina as vantagens dos outros dois métodos de calibração, que são:

³ Dia sideral: tempo que a Terra leva para completar uma rotação com relação a uma determinada estrela. O dia sideral médio tem 23 horas, 56 minutos e 4,06 segundos.

- a) cobertura homogênea de observações no horizonte da antena;
- b) redução do efeito de multicaminho;
- c) determinação das PCV's em ângulos de até 0° de elevação;
- d) realização dos experimentos com a antena em um campo aberto.

FIGURA 10: ROBÔ DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GPS – IfE (HANNOVER)



Este robô, semelhante a um braço de quatro lances, é considerado o estado da arte na calibração de antenas GPS. Ele possui autonomia total a partir do instante em que a antena é acoplada manualmente no braço mecânico. Efeitos de reflexão dos sinais nas partes metálicas da estrutura do aparelho estão sendo investigadas.

Os dados de calibração produzidos por este sistema já podem ser encontrados para a maioria das antenas GPS disponíveis no mercado.

4 PROCEDIMENTOS DE CAMPO EM LEVANTAMENTOS GPS

Conforme visto na seção 2.4, o *offset* do centro de fase é originário da não-coincidência do centro de fase eletrônico médio com o centro geométrico da antena. Segundo HOFMANN-WELLENHOF et al. (2001, p. 163), este aspecto costuma ser negligenciado nos levantamentos por GPS. Referente ao emprego e manuseio das antenas GPS, são apresentadas algumas considerações sobre os procedimentos de campo que, baseados em técnicas de otimização, visam eliminar ou reduzir a presença de erros provenientes das antenas GPS nos levantamentos geodésicos.

4.1 EMPREGO DE ANTENAS DE MESMO MODELO

As variações do centro de fase (PCV) podem variar de milímetros a alguns centímetros. A fim de se obter a mais alta qualidade nos resultados do processamento, deve-se atentar ao tipo de antena a ser empregado nos trabalhos. Se antenas do mesmo tipo são usadas em uma sessão de observação em linhas de base curtas, os *offsets* do centro de fase e as variações do centro de fase são eliminadas no processo de diferenciação (SEEBER, 2003, p. 321).

Se, em um mesmo projeto, estiverem envolvidos diferentes tipos de antenas (assim como acontece com as estações de referência PDGPS), as observações têm que ser corrigidas da PCV. A exemplo de como acontece na rede de estações IGS, erros são introduzidos nas coordenadas calculadas em virtude de que as antenas constituintes da rede não são dos mesmos modelos (SEEBER, 2003, p. 320). Neste caso, recorre-se à calibração do centro de fase de cada antena envolvida (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2001, p. 125). O mesmo vale quando antenas idênticas são usadas em linhas de base muito longas, em que os sinais dos satélites são observados sob diferentes ângulos de elevação devido a curvatura da Terra. Mais informações são encontradas em WANNINGER (2001).

4.2 INSTALAÇÃO E CALAGEM DA ANTENA

As antenas são instaladas sobre pilares, tripés ou sobre uma haste metálica equipada com um suporte conhecido por bipé, conjunto este que pode ser usado para acelerar a condução de levantamentos.

A fim de evitar o efeito de multicaminho, carros e veículos devem ser estacionados o mais distante possível do local de rastreamento. HOFMANN-WELLENHOF et al. (2001, p. 163) recomenda uma distância de no mínimo 10 metros da antena, que corresponde ao comprimento padrão dos cabos que acompanham as antenas da maioria dos receptores GPS.

A maioria dos fabricantes oferece cabos coaxiais com diferentes comprimentos, chegando até 60 metros. Um cabo mais longo provê maior versatilidade para o acesso à estação; contudo, devem ser seguidas as recomendações dos fabricantes sobre o tamanho e o tipo do cabo para evitar perdas de sinal. Como exemplo, a recomendação do fabricante Ashtech para a antena Geodésica III é não utilizar cabos com comprimento maior que 30 metros (ASHTECH, 1993).

O uso de tripés pode representar um problema para o levantamento, cuja precisão depende da habilidade do operador para realizar a centragem da antena sobre o ponto a ser medido. A solução pode ser o uso de um tripé com base nivelante de dupla colimação, que pode ser rotacionada para checar a centragem. Um método mais efetivo, porém mais trabalhoso, é o uso de um pêndulo de prumo em cada instalação do tripé a fim de checar o aparelho de centragem ótica.

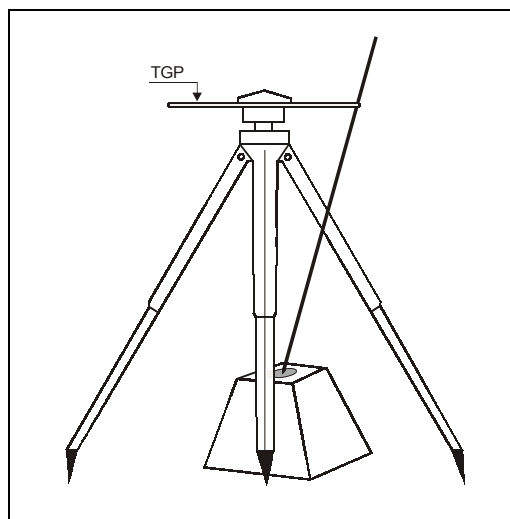
4.3 ORIENTAÇÃO DAS ANTENAS

Na seção 2.4.2, foi visto que a posição do centro de fase eletrônico das antenas GPS é uma função do azimute e elevação dos satélites. A fim de contornar o erro de variação do centro de fase dependente do azimute, deve-se orientar todas as antenas de maneira uniforme, em um mesmo sentido. Conforme HOFMANN-WELLENHOF et al. (2001, p. 125), a fase da portadora observada depende da orientação das antenas do transmissor (satélite) e do receptor assim como também da direção da linha de visada. Por esta razão, algumas antenas são providas de uma bússola ou de uma marca de orientação.

4.4 MEDIÇÃO DA ALTURA DA ANTENA

Quando do uso de tripés, a altura da antena é tomada verticalmente, do marco até a marca definida sobre a superfície da antena denominada TGP (seção 2.4) conforme ilustra a figura 11.

FIGURA 11: TOMADA DA ALTURA DA ANTENA



Durante os levantamentos, alguns critérios técnicos devem ser adotados quando da medição da altura da antena GPS. Experiências mostraram que enganos de leitura ocorridos durante a medição da altura da antena são os problemas mais sérios e comuns que ocorrem na condução de levantamentos GPS, que por sua vez causam erros no posicionamento.

A melhor maneira de evitar este problema (quando do uso de tripés) é medir a altura da antena duas vezes, uma no início e outra após finalizar o levantamento. Para facilitar as medições de altura da antena, alguns fabricantes provêem réguas em forma de hastes graduadas. Nos casos de mudança de estação ou realização de seções repetidas em uma mesma estação, recomenda-se que a montagem do tripé seja refeita, reinstalado-o sobre o ponto em uma altura diferente.

Em levantamentos cinemáticos ou pseudocinemáticos, o uso da haste-bipé é essencial para reduzir o tempo de instalação, dado que a antena é mantida a uma altura pré-determinada e invariável. Assim, o uso de hastes-bipé em levantamentos estáticos pode reduzir a possibilidade de ocorrência de um erro grosseiro na medição da altura da antena, uma vez que a altura da haste é fixa.

4.5 PÓS-LEVANTAMENTO

Ao se completar uma seção de rastreamento, recomenda-se conferir a posição da antena, fazendo uma remedição de sua altura. A maioria dos receptores possui a opção de registro das alturas inicial e final, que deve ser feito para conferir com os dados da caderneta de campo. Nesta caderneta devem ser registradas as principais informações do rastreamento, tais como:

- a) Nome do projeto e da estação;
- b) Data e número da seção;
- c) Hora de início e de fim da seção;
- d) Nome dos arquivos identificadores da seção;
- e) Número serial da antena e do receptor;
- f) Altura da antena e suas excentricidades (se houver);
- g) Dados meteorológicos;
- h) Problemas ocorridos.

Recomenda-se fazer um croqui do local do levantamento ou tirar fotos do marco para melhor identificá-lo.

5 EXPERIMENTOS REALIZADOS NA UFPR

A Universidade Federal do Paraná, por meio do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, realiza estudos para o desenvolvimento de tecnologias aplicadas ao posicionamento geográfico, dentre elas o GPS. A antena do receptor GPS, conforme visto na seção 2.4, é uma das fontes de erro que incide nas coordenadas calculadas em virtude do comportamento não-homogêneo do centro de fase eletrônico.

A fim de aprofundar os estudos sobre estas limitações, procurou-se detectar e avaliar a ordem de grandeza do *offset* do centro de fase de uma antena geodésica. Para tanto, programou-se um experimento de campo a ser executado nas dependências do Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE) do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, que encerra a estação PARA (pertencente a RBMC) e seus excêntricos RM1, RM2 e RM3.

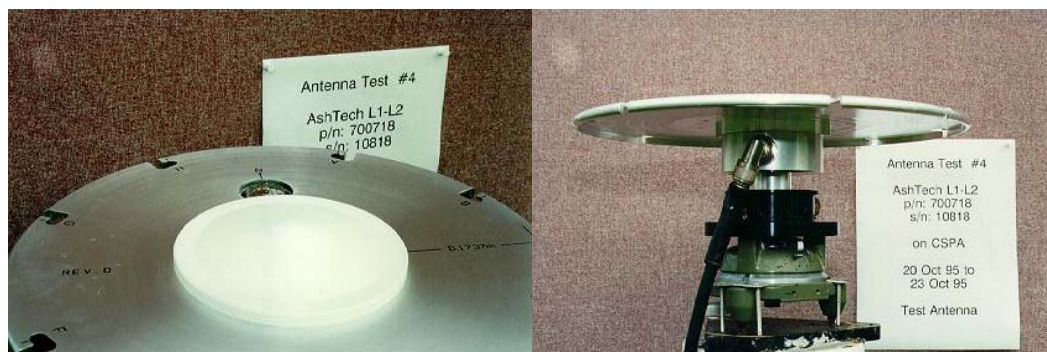
Baseando-se em idéias já concebidas por outros autores internacionais, contudo ainda inédito no Brasil, apresenta-se na seqüência uma metodologia visando a determinação do *offset* do centro de fase.

5.1 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

O experimento consistiu no rastreo da constelação GPS em dias consecutivos e em um mesmo intervalo de tempo do dia. Esta situação revela uma mínima variação na geometria da constelação GPS, o que pressupõe que os efeitos atmosféricos e multicaminho se repitam na estação. O objetivo é comparar as coordenadas geodésicas de um mesmo ponto, obtidas em seções consecutivas (antes e após a rotação de 180 graus da antena GPS sobre o seu eixo mecânico) a fim de se avaliar o efeito da rotação sobre as coordenadas calculadas e assim estimar o comportamento do centro de fase da antena.

Usou-se uma antena do modelo “Whopper” Geodésica III (figura 12), da marca Ashtech, instrumento que acompanha o receptor Ashtech Z-XII.

FIGURA 12 – ANTENA ASHTECH GEODÉSICA III



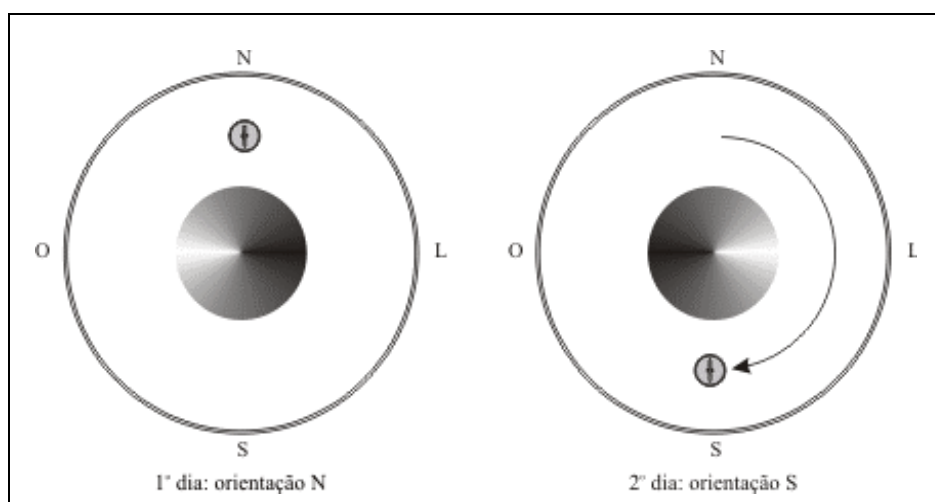
Fonte: MADER (2004).

Precisou-se convencionar duas direções (norte-sul e leste-oeste), ortogonais entre si, para definir o sistema de orientação da antena. O sistema de orientação provido na própria antena forneceu a direção norte-sul, que foi materializada manualmente por balizas. Um teodolito eletrônico foi utilizado para balizar a direção leste-oeste.

Foram programadas 4 seções de rastreo, cada qual com a antena orientada em um sentido (norte, sul, leste e oeste). Convencionou-se o norte magnético como azimute de origem (0°). A seção subsequente, com orientação ao sul, foi realizada

com a antena rotacionada de 180 graus sobre seu eixo mecânico, como exemplifica a figura 11; e da mesma forma com os azimutes da direção leste-oeste. A fim de comprovar os resultados, foram realizadas duas seções em cada orientação da antena GPS.

FIGURA 11 – ORIENTAÇÃO DA ANTENA EM DIAS CONSECUTIVOS (DIREÇÃO N-S)

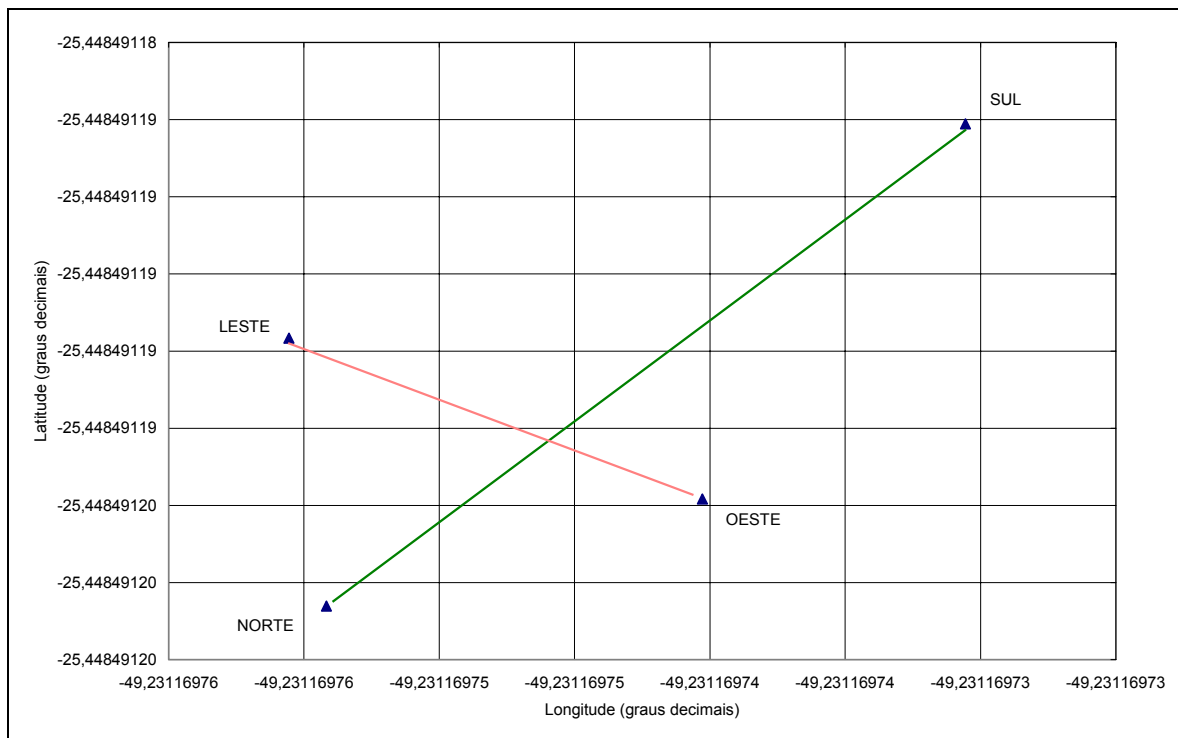


A taxa de gravação dos dados pelo receptor foi de 15 segundos, compatível com a taxa de gravação do receptor da estação PARA, usada como estação relativa; empregou-se máscara de elevação de 18° a fim de reduzir a presença de sinais de multicaminho nas observações (CHONG e KAM, 2000, p. 467). Nesses moldes, foram executadas duas seções de rastreo em cada orientação, totalizando oito seções.

5.2 PROCESSAMENTO E RESULTADOS

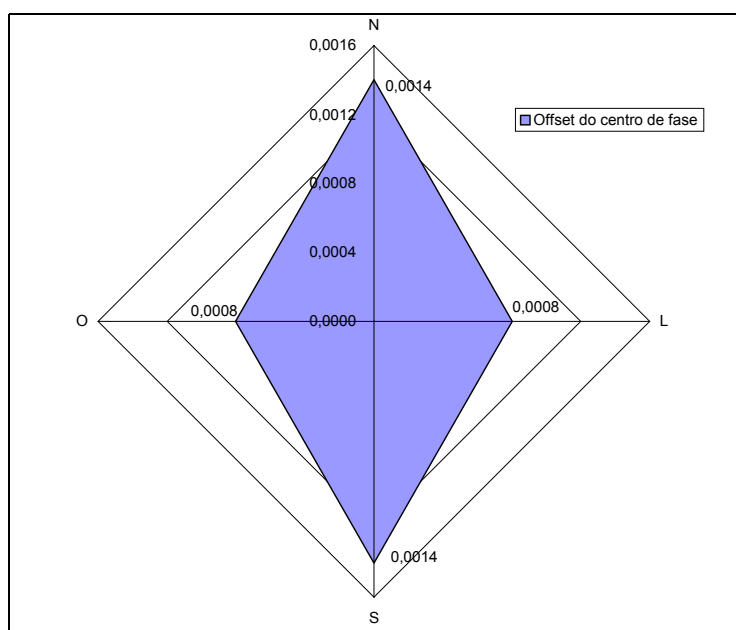
Empregou-se o programa Ashtech Solutions para o processamento das observações. Foram computadas as coordenadas de cada seção e posteriormente calculou-se o valor médio das coordenadas das seções de mesma orientação, a fim de se obter um ponto representativo de cada orientação. Estes pontos foram plotados em um gráfico de dispersão conforme ilustra a figura 12. Analisando-se a distribuição dos pontos nas direções norte-sul e leste-oeste, nota-se que os deslocamentos são evidentes e podem ser representados por dois vetores transversos.

FIGURA 12: DISPERSÃO DAS SOLUÇÕES



Os deslocamentos planimétricos nas direções norte-sul e leste-oeste foram quantificados. Para tanto, foi gerado o gráfico da figura 13 a partir do valor dos deslocamentos planimétricos nas direções norte-sul e leste-oeste.

FIGURA 13: DESLOCAMENTOS PLANIMÉTRICOS MÉDIOS DIREÇÕES N-S E L-O (METROS)



Observa-se que o maior deslocamento planimétrico ocorreu na orientação norte-sul, com 1,4 mm; e a menor 0,8 mm na direção leste-oeste.

Estes resultados comprovam o surgimento de uma excentricidade quando a antena é rotacionada de 180 graus sobre seu eixo geométrico. Isto explica a importância de se orientar as antenas em um mesmo sentido durante a realização de um levantamento por GPS que exige alta precisão (ordem do milímetro.) Demonstrou-se que é possível obter-se um demonstrativo do comportamento do *offset* do centro de fase quando a antena é posicionada em orientações diferentes.

REFERÊNCIAS

- ASHTech (1993). Manual técnico de operação do receptor Ashtech Z-XII.
- BALANIS, C. A. (1998). **Antenna Theory: analysis and design**. 2nd edition. New York.
- CHONG, A. K.; KAM, B. B. (2000). A checking technique for high precision GPS antennas. *Survey Review*, 35, 277, p. 464-473.
- DICK, G. (2002). **Verwendung von GPS-Antennen im SAPOS - Baden-Württemberg**. Landesvermessungsamt Baden-Württemberg. Disponível em <<http://sapos.bayern.de/infoHTML/antennen.htm>>. Acesso em 20 de setembro de 2002.
- GEOSCIENCE AUSTRÁLIA (2003). Disponível em <<http://www.auslig.gov.au/geodesy/sgc/wwwgps/faq5.htm>>. Acesso em 13 de abril de 2003.
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. (2001). **GPS: Theory and Practice**. 5ª edição. Wien: Springer-Verlag.
- JOHNSON, R.C. (1993). **Antenna Engineering Handbook**. 3.ed., McGraw Hill, New York, NY.
- MADER, G. L. (1999). **GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey**. NOAA, NOS, NGS, GRD. Disponível em <<http://www.grdl.noaa.gov/GRD/GPS/Projects/ANTCAL>>. Acesso em 11 de abril de 2003.
- MADER, G. L. (2004). **GPS Antenna Calibration**. Disponível em <<http://www.ngs.Noaa.gov/ANTCAL>>. Acesso em 15 de fevereiro de 2004.
- NOAA (2003). National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em <<http://www.photolib.noaa.gov/historic/c&gs/theb1541.htm>>. Acesso em 14 de abril de 2003.
- ROTHACHER, M.; SCHAER, S.; MERVART, L.; BEUTLER, G. (1995). Determination of antenna phase center variations using GPS data. IGS Workshop proceedings. Potsdam, Germany, 16 p.
- ROTHACHER, M. ; SCHMID, R. (2002). **GPS-Antennenkalibrierungen aus nationaler und internationaler Sicht**. In: 4.GPS-Antennenworkshop im Rahmen des 4. SAPOS-symposiums, Hannover. Disponível em <www.sapos.de/pdf/4symposium/124131.pdf>. Acesso em 12 de junho de 2003.
- RYF, A. (1993). Zur Kalibrierung von GPS-Antennen. Geodetic Metrology and Engineering Geodesy, Institute of Geodesy and Photogrammetry. Zurique.

SCHMITZ, M. (2001). **Spezielle Untersuchungen und Ergebnisse zum PCV von GPS-Antennen.** Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, n. 239, p. 101-112. Hannover, 2001.

SEEBER, G. (1993). **Satellite Geodesy.** Berlin: de Gruyter.

SEEBER, G. (2003). **Satellite Geodesy.** Berlin: de Gruyter.

TAYLOR E FRANCIS (2002). **Manual of Geospatial Science and Technology.** Chapter 10: GPS instrumentation issues. Grejner-Brzezinska, D. Editora: J. Bossler.

TRANQUILLA, J. M.; COLPITTS, B. G.; CARR, J. P. (1989). Measurement of low-multipath Antennas for Topex. In: 5th INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE POSITIONING. Las Cruces, New Mexico. P. 356-361.

WANNINGER, L. (2001). **Kalibrierung von Phasenmehrwegeeffekten auf GPS-Referenzstationen.** Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover. Festschrift Nr. 239. Hannover.