

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**IMPLICAÇÕES DO USO DE RECEPTORES GPS DE NAVEGAÇÃO SEM
CONHECIMENTO DE SUAS LIMITAÇÕES E CONFIGURAÇÕES
BÁSICAS**

NEIVA LUCIANA TRAGUETA

Orientador: Prof. Dr. Lincoln Gehring Cardoso

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

Abril – 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “IMPLICAÇÕES DO USO DE RECEPTORES GPS DE NAVEGAÇÃO SEM
CONHECIMENTO DE SUAS LIMITAÇÕES E CONFIGURAÇÕES
BÁSICAS”**

ALUNA: NEIVA LUCIANA TRAGUETA

ORIENTADOR: PROF. DR. LINCOLN GEHRING CARDOSO

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. LINCOLN GEHRING CARDOSO



PROF. DR. ZACARIAS XAVIER DE BARROS



PROF. DR. VILMAR ANTONIO RODRIGUES

Data da Realização: 07 de abril de 2008.

A Deus, pela vida e oportunidade de concretizar este sonho.

À minha família que, mesmo distante, sempre me apoiou e incentivou.

Ofereço.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao meu orientador **Prof. Dr. Lincoln Gehring Cardoso** pelo auxílio e incentivo em todos os momentos, por sua inesgotável paciência, compreensão e altruísmo. O desenvolvimento deste trabalho tornou-se brando e agradável devido ao seu apoio.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP/Campus de Botucatu, pela chance de desenvolver este trabalho no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Energia na Agricultura;

Aos professores da Pós-Graduação em Agronomia, pela competência e dedicação, em especial, ao **Prof. Dr. Carlos Roberto Padovani**, Departamento de Estatística – IB/Botucatu – SP pela orientação na análise estatística dos dados.

Ao auxiliar acadêmico **Ronaldo Alberto Pollo**, do departamento de Engenharia Rural, pelo apoio e incentivo, mostrando-se sempre disposto a ajudar.

À minha irmã **Andrea Tragueta e Alan Maschio** pela ajuda na diagramação.

Aos funcionários da biblioteca e Seção de Pós-Graduação pela paciência em orientar e sanar dúvidas;

Aos meus pais **Lauro e Rita** pelo amor incondicional;

Aos meus irmãos **Sérgio, Meiri, Andrea e Marcos**, pelo apoio em todos os momentos;

Aos meus sobrinhos, **Nathália, Samuel e Mariana** pela compreensão e carinho;

Às minhas amigas **Mariléia Barros Furtado e Juana Teresa Villalba Farinha**, pela amizade e auxílio sempre que precisei.

Aos colegas da escola onde trabalho, pela paciência e apoio;

Agradeço ainda, a todos que de alguma forma colaboraram para execução deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS	VII
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 REVISÃO DA LITERATURA	7
4.1 O Sistema de Posicionamento Global (GPS)	7
4.2 Componentes do sistema	9
4.2.1 Segmento espacial	9
4.2.2 Segmento de controle	11
4.2.3 Segmento de usuários	12
4.3 Funcionamento do sistema GPS	13
4.4 Funcionamento do receptor GPS	16
4.5 Sistemas de referência	19
4.5.1 Sistema de referência WGS-84	20
4.5.2 O sistema geodésico brasileiro	21
4.6 Transformação de coordenadas	24
4.7 Sistemas de coordenadas	26
4.7.1 Sistema de Coordenadas Geográficas Geodésicas	26
4.7.2 Sistema de Coordenadas Cartesiano	28
4.7.3 Sistema de Coordenadas Plano Retangular	29
4.7.4 Sistema de Coordenadas Polares	32
4.8 Fontes de erros no posicionamento do sistema GPS	32
4.8.1 Atmosfera	33
4.8.2 Multicaminhamento	34
4.8.3 Perdas de ciclos	35
4.8.4 Erro do relógio	36

4.8.5 Centro de fase da antena	37
4.8.6 SA (<i>Selective Availability – disponibilidade seletiva</i>)	37
4.8.7 AS (<i>Anti-Spoofing - antifraude</i>)	39
4.9 Tipos de equipamentos GPS	39
4.9.1 Navegação	40
4.9.2 Topográfico	42
4.9.3 DGPS de navegação	43
4.9.4 Geodésico	44
4.9.5 Cadastral	45
4.10 Métodos de posicionamento com GPS	46
5 MATERIAL E MÉTODOS	50
5.1 Material	50
5.2 Métodos	50
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
7 CONCLUSÕES	73
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Número de satélites necessários para o posicionamento 3D	8
2. Representação dos três segmentos que compõem o sistema NAVSTAR-GPS	9
3. Estrutura das órbitas dos satélites NAVSTAR/GPS	10
4. Projeção Planar da Constelação	10
5. Distribuição das estações de rastreamento no mundo.....	12
6. Aplicação do Sistema de Posicionamento Global na coleta de dados	24
7. Sistema de Coordenadas Geográficas/Geodésicas	27
8. Sistema de Coordenadas Cartesianas	28
9. Sistema de Coordenadas Retangular	29
10. Sistema de Coordenadas Plano Retangular UTM	30
11. Universal Transverse Mercator (UTM) System	31
12. Sistema de coordenadas polares	32
13. Deslocamento dos pontos do polígono de acordo com o elipsóide considerado	55
14. Intervalos de confiança dos seis receptores GPS de navegação idênticos em relação à testemunha, configurados segundo elipsóide SAD 69 para o cálculo de área	65
15. Intervalos de confiança dos seis receptores GPS de navegação idênticos em relação à testemunha, configurados segundo elipsóide WGS 84 para o cálculo de área	66
16. Intervalos de confiança dos seis receptores GPS de navegação idênticos em relação à testemunha, configurados segundo elipsóide Córrego Alegre para o cálculo de área	68
17. Intervalos de confiança dos seis receptores GPS de navegação idênticos em relação à testemunha, configurados segundo elipsóide SAD 69 para o cálculo de perímetro ..	69
18. Intervalos de confiança dos seis receptores GPS de navegação idênticos em relação à testemunha, configurados segundo elipsóide WGS 84 para o cálculo de perímetro..	71
19. Intervalos de confiança dos seis receptores GPS de navegação idênticos em relação à testemunha, configurados segundo elipsóide Córrego Alegre para o cálculo de perímetro	72

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Componentes dos sinais dos satélites	15
2. Classificação dos receptores GPS de acordo com sua exatidão	18
3. Parâmetros do elipsóide WGS-84	21
4. Elipsóide SAD-69 (South American Datum – 1969)	22
5. Técnicas de posicionamento através do código C/A	47
6. Técnicas de posicionamento através da portadora	48
7. Menor e maior comprimentos e azimutes de cada alinhamento segundo a configuração SAD 69	56
8. Menor e maior comprimentos e azimutes de cada alinhamento segundo a configuração WGS 84	58
9. Menor e maior comprimentos e azimutes de cada alinhamento segundo a configuração Córrego Alegre	60
10. Mínimos e máximos afastamentos dos pontos lidos segundo a configuração SAD 69 em relação ao posicionamento real de cada ponto	61
11. Mínimos e máximos afastamentos dos pontos lidos segundo a configuração WGS 84 em relação ao posicionamento real de cada ponto	62
12. Mínimos e máximos afastamentos dos pontos lidos segundo a configuração Córrego Alegre em relação ao posicionamento real de cada ponto	63
13. Medidas descritivas da variável área segundo receptores GPS de navegação configurados com elipsóide SAD 69	64
14. Medidas descritivas da variável área segundo receptores GPS de navegação configurados com elipsóide WGS 84	66
15. Medidas descritivas da variável área segundo receptores GPS de navegação configurados com elipsóide Córrego Alegre	67
16. Medidas descritivas da variável perímetro segundo receptores GPS de navegação configurados com elipsóide SAD 69	69

17. Medidas descritivas da variável perímetro segundo receptores GPS de navegação configurados com elipsóide WGS 84	70
18. Medidas descritivas da variável perímetro segundo receptores GPS de navegação configurados com elipsóide Córrego Alegre	72

1 RESUMO

O Sistema de Posicionamento Global (*GPS – Global Positioning System*) permite o conhecimento da posição, via satélite, de localidades específicas como um ponto topográfico, um carro em movimento ou de uma pessoa caminhando. A precisão do posicionamento pode variar, já que ela está diretamente relacionada ao tipo de receptor utilizado e aos objetivos em questão. Os receptores de navegação, por apresentarem menos precisão, são normalmente utilizados na obtenção de dados aproximados, que não exigem a mesma acurácia dos receptores topográficos ou geodésicos. No entanto, diante da existência de diferentes elipsóides para diferentes regiões do globo terrestre, admitiu-se a hipótese de que a configuração de um elipsóide inadequado para nossas condições poderia provocar erros ainda maiores na determinação de um posicionamento. Neste contexto, foi desenvolvido o presente trabalho, tendo como principais objetivos avaliar, comparar e analisar o desempenho de seis receptores GPS de navegação idênticos com respeito ao cálculo de áreas, perímetros e afastamentos horizontais.

Em função dos resultados obtidos, nas condições em que o trabalho foi conduzido, conclui-se que a utilização de receptor GPS de navegação sem conhecimento de suas limitações e configurações básicas, pode levar o usuário a considerar direções e distâncias incompatíveis com o trajeto pretendido ou demarcado. O usuário comum deve saber, no mínimo, que elipsóide está considerando. Quando comparados com o posicionamento real da área (receptor geodésico configurado para SAD 69), a utilização de receptor de navegação

configurado para os elipsóides SAD 69, WGS 84 e Córrego Alegre apresentam deslocamento da área no sentido médio de $224^{\circ}54'43''$, $225^{\circ}10'51''$ e $206^{\circ}04'24''$, respectivamente, com distância média de 67,49 m; 129,67 m e 90,57 m, respectivamente. Os valores de área e perímetros obtidos por receptor GPS de navegação, quando comparados à área e perímetro obtidos por receptor geodésico configurado para o elipsóide SAD 69 apresentam 0,09% e 0,15% (diferença mínima); 14,97% e 37,37% (diferença máxima) de área e perímetro, respectivamente, segundo a configuração SAD 69; 0,07% e 0,10% (diferença mínima); 29,01% e 41,93% (diferença máxima) de área e perímetro, respectivamente, segundo a configuração WGS 84 e 0,03% e 0,26% (diferença mínima); 38,37% e 21,06% (diferença máxima) de área e perímetro, respectivamente, segundo a configuração Córrego Alegre.

Receptores GPS de navegação de mesma categoria, marca, modelo e data de fabricação, sob as mesmas condições e no mesmo instante, fornecem para um mesmo ponto, diferentes leituras de coordenadas, apresentando variações nas precisões de posicionamento.

As variações nos valores de coordenadas de um mesmo ponto, coletadas no mesmo instante, por vários receptores GPS de navegação de mesmas especificações contribui para a confirmação de sua utilização apenas em levantamentos preliminares onde a precisão não é fator limitante.

IMPLICATIONS OF THE USE OF NAVIGATION GPS RECEIVERS WITHOUT KNOWLEDGE OF ITS LIMITATIONS AND BASIC CONFIGURATIONS

Author: NEIVA LUCIANA TRAGUETA

Adviser: LINCOLN GEHRING CARDOSO

2 SUMMARY

The Global Positioning System allows the knowledge of the position, through satellite, of specific places as a topographical point, a car in movement or of a person walking. The precision of the positioning may vary, because it is directly related to the type of used receiver and to the objectives in subject. The navigation receivers, for present less precision, are usually used in the obtaining of approximate data, that don't demand accuracy compared to the topographical or geodesic receivers. However, in function of the existence of different ellipsoids for different regions of the earth, the hypothesis admitted was that the configuration of an inadequate ellipsoid for our conditions could still provoke big mistakes in the determination of a positioning. In this context, the present work was developed, having as main objectives to evaluate, to compare and to analyze the performance of six identical navigation GPS receivers with regard to the calculation of areas, perimeters and horizontal removals.

In function of the obtained results, in the conditions in that the work was developed, it is ended that the use of navigation GPS receivers without knowledge of its limitations and basic configurations, it can take the user to consider directions and incompatible distances with the intended itinerary or demarcated. The common user should know, at least, what ellipsoid is considering. When compared with the real positioning of the area (geodesic receiver configured for SAD 69), the use of navigation receiver configured for the ellipsoids SAD 69, WGS 84 and Córrego Alegre present displacement of the area on the

average sense of $224^{\circ}54'43''$, $225^{\circ}10'51''$ and $206^{\circ}04'24''$, respectively, with on the average distance of 67,49 m; 129,67 m and 90,57 m, respectively. The area and perimeters values obtained by navigation GPS receivers, when compared to the area and perimeter obtained by geodesic receiver configured for the ellipsoid SAD 69 they present 0,09% and 0,15% (minimum difference); 14,97% and 37,37% (maximum difference) of area and perimeter, respectively, according to the configuration SAD 69; 0,07% and 0,10% (minimum difference); 29,01% and 41,93% (maximum difference) of area and perimeter, respectively, according to the configuration WGS 84 and 0,03% and 0,26% (minimum difference) 38,37% and 21,06% (maximum difference) of area and perimeter, respectively, according to the configuration Córrego Alegre.

GPS receivers of same category, marks, model and production date, under the same conditions and in the same instant, they supply for a same point, different readings of coordinates, presenting variations in the positioning precisions.

The variations in the values of coordinates of a same point, collected in the same instant, by several navigation GPS receivers of same specifications just contribute to the confirmation of its use in preliminary surveys where the precision is not limit factor.

Key words: Global Positioning System; navigation GPS receivers; reference ellipsoids.

3 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a área da mensuração (como topografia e geodésia) passou por várias modificações importantes.

Na topografia, os teodolitos mecânicos foram substituídos pelos teodolitos eletrônicos. Surgiram os medidores eletrônicos de distância (distanciômetros), que recentemente foram incorporados aos teodolitos eletrônicos formando as Estações Totais (*Total Station*). Os níveis mecânicos estão sendo substituídos pelos níveis digitais e níveis a laser. O avanço mais importante, entretanto, ocorreu com o aparecimento do sistema de medições por satélite, o que revolucionou completamente a área de levantamentos. Paralelamente ao desenvolvimento de novos instrumentos, o aparecimento de aplicativos de topografia e geodésia, do Sistema de Informação Geográfica (SIG) e da Modelagem Digital de Terreno, estão estabelecendo uma nova conduta na coleta, no tratamento dos dados e na apresentação de resultados (SILVA; ERWES, 1996).

O Sistema de Posicionamento Global (*GPS – Global Positioning System*) instituiu um novo e abrangente campo de aplicações, que vai desde posicionamentos com precisão compatível a uma simples localização generalizada até a determinação de posições com precisão milimétrica. Muitos trabalhos estão sendo desenvolvidos com o objetivo de refinar métodos e processos, especialmente no caso do uso de receptores geodésicos. Segundo Segantine (1999), o Sistema de Posicionamento Global (GPS) está provando, ao longo dos anos, que é uma técnica efetiva de determinação de posicionamento,

proporcionando a obtenção de coordenadas com precisão, principalmente latitude, longitude e elevação.

As diferenças de precisão de um posicionamento estão relacionadas aos diferentes custos de equipamentos e processamento. Em que pese, em qualquer circunstância, ser recomendável a obtenção de dados precisos, há que se ter em conta que a disponibilidade de receptores de navegação, de baixo custo e menor precisão quando comparados aos receptores topográficos e geodésicos, pode gerar situações de graves problemas de localização quando utilizado sem conhecimento de suas limitações.

Dentro deste contexto, é possível verificar a utilização cada vez maior de receptores GPS, em especial os de navegação, justamente por apresentarem baixo custo. Havendo trabalhos com o intuito de testar a capacidade destes receptores para executar levantamentos que envolvam demarcação de áreas e perímetros, traçado de trilhas e localização de pontos isolados, para substituir os levantamentos topográficos tradicionais.

O presente trabalho será desenvolvido com o objetivo de se comparar dados obtidos de receptores GPS de navegação com diferentes configurações e as respectivas implicações em cálculos de áreas e perímetros.

A razão de se utilizar seis unidades de receptor GPS de navegação idênticos reside na pretensão de também se avaliar as possíveis diferenças de leitura em equipamentos de mesma categoria, marca, modelo e data de fabricação.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 O Sistema de Posicionamento Global (GPS)

Segundo Vettorazzi e Angulo Filho (1994), Parkinson e Spilker (1996), Segantine (1999), Loch e Cordini (2000), Sá (2000) e Monico (2000) o sistema GPS foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América – Dod (*Department of Defense*) baseado em satélites artificiais NAVSTAR – GPS (*Navigation System using Time and Ranging - Global Positioning System*) que formam uma “constelação” em órbita a cerca de 20.200 km da Terra, além de um conjunto de estações fixas espalhadas pela superfície terrestre e por estações receptoras móveis. O princípio de navegação do sistema GPS possibilita ao usuário obter a posição espacial, a velocidade e o tempo decorrido, isso podendo ocorrer em qualquer lugar da superfície terrestre e a qualquer momento, havendo pelo menos quatro satélites para serem rastreados (Figura 1). O sistema pode ser utilizado sob qualquer condição meteorológica.

Apesar do sistema GPS ter sido desenvolvido para fins militares, o uso foi estendido para a comunidade civil. Inicialmente, os usuários comuns utilizavam este sistema com restrições impostas pelo Departamento de Defesa dos EUA, o que influenciava a acurácia das estimativas de posicionamento. Estas restrições eram conhecidas como anti-spoofing (AS) e selective availability (SA). A partir de 2 de maio de 2000, a técnica de

deterioração de acurácia AS foi abolida do sistema, melhorando em cerca de dez vezes o nível de precisão (MONICO, 2000).

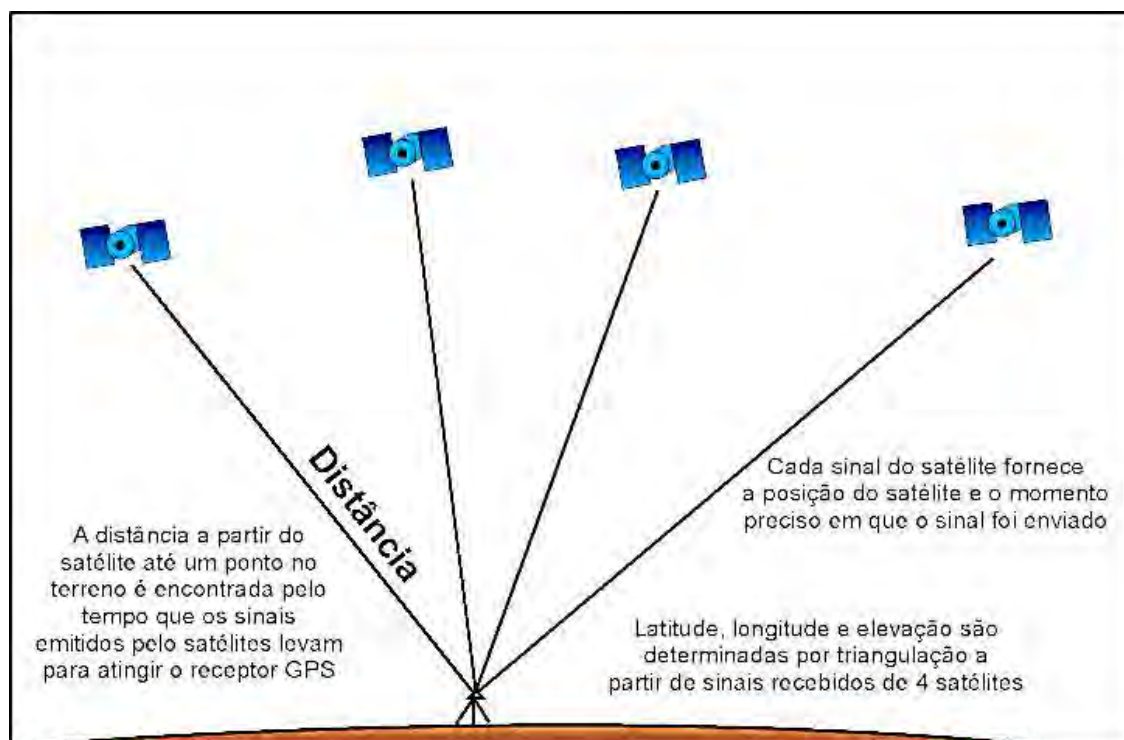


Figura 1. Número de satélites necessários para o posicionamento 3D. Fonte: Adaptado de <http://www.dge.uem.br>

Em poucos anos, o Sistema de Posicionamento Global (GPS) foi reconhecido mundialmente por seu grande potencial em aplicações que envolvem o posicionamento rápido e acurado. O sistema passou a ser explorado em Geodésia e Cartografia. O uso hoje é considerado rotineiro.

De acordo com Segantine (1999) e Monico (2000), o sistema GPS é composto por três segmentos: o segmento espacial, o segmento de controle e pelo segmento do usuário (Figura 2).

O segmento espacial é formado pela “constelação” de satélites; o segmento de controle, por estações terrestres responsáveis pela operação do sistema GPS; e o segmento de usuários é formado pela comunidade usuária e os vários tipos de receptores, algoritmos, softwares para determinar posição, velocidade e/ou tempo.

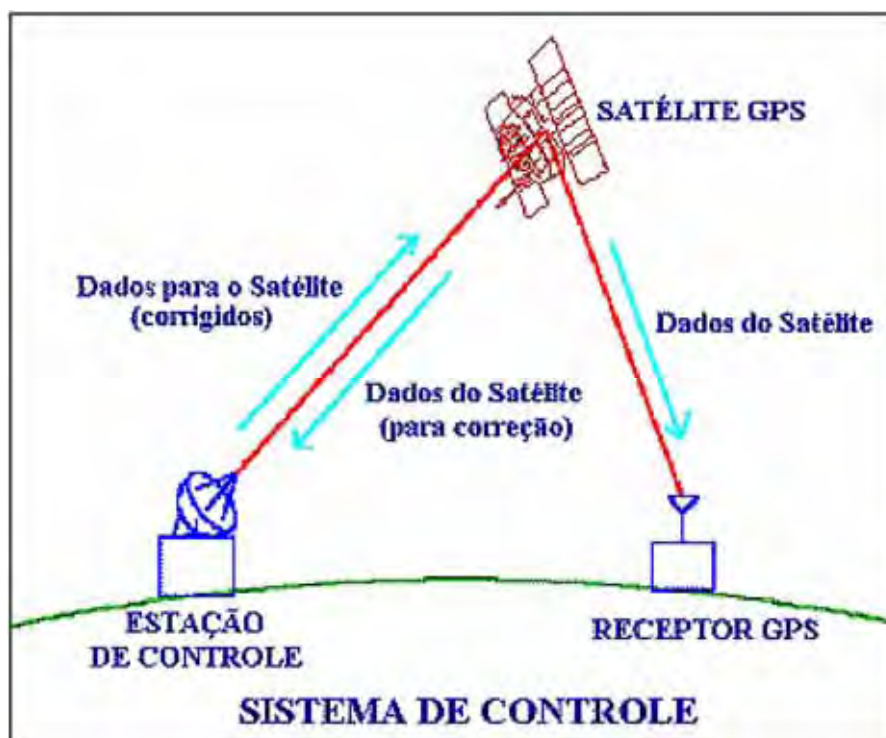


Figura 2. Representação dos três segmentos que compõem o sistema NAVSTAR-GPS. Fonte: adaptado de http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_97/journal/vol4/jmd/seg.gif

4.2 Componentes do sistema

4.2.1 Segmento espacial

Monico (2000) e Ferguson (1998) explicam que o segmento espacial opera com 21 satélites ativos e três reservas, distribuídos em seis planos orbitais, com quatro satélites equidistantes em cada plano, a uma altitude média de 20.200 km da Terra. A inclinação destes planos orbitais é de 55° em relação à linha do Equador e o período orbital é de aproximadamente 12 horas. Essa configuração, representada nas Figuras 3 e 4, garante que, no mínimo, quatro satélites GPS sejam virtualmente visíveis em qualquer local da superfície terrestre ou acima dela, a qualquer hora do dia.

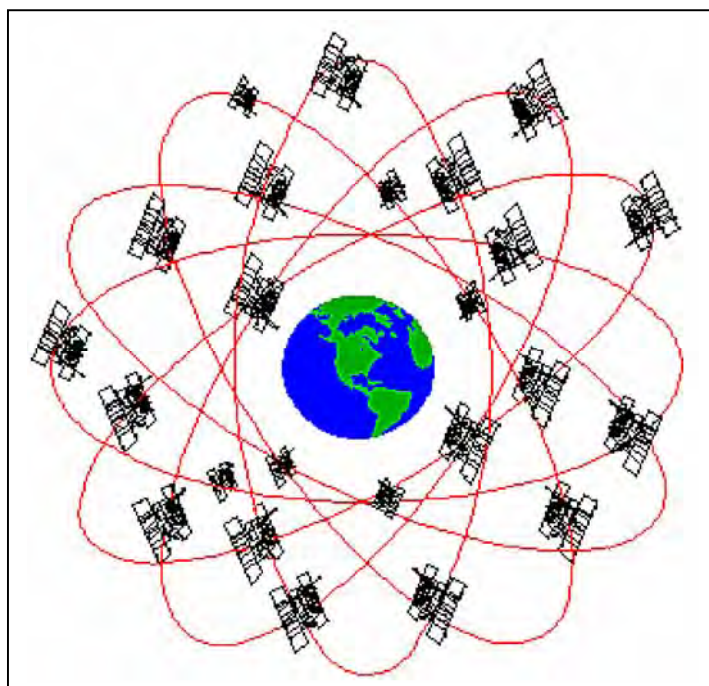


Figura 3. Estrutura das órbitas dos satélites NAVSTAR/GPS. Fonte: adaptado de <http://www.fc.up.pt>

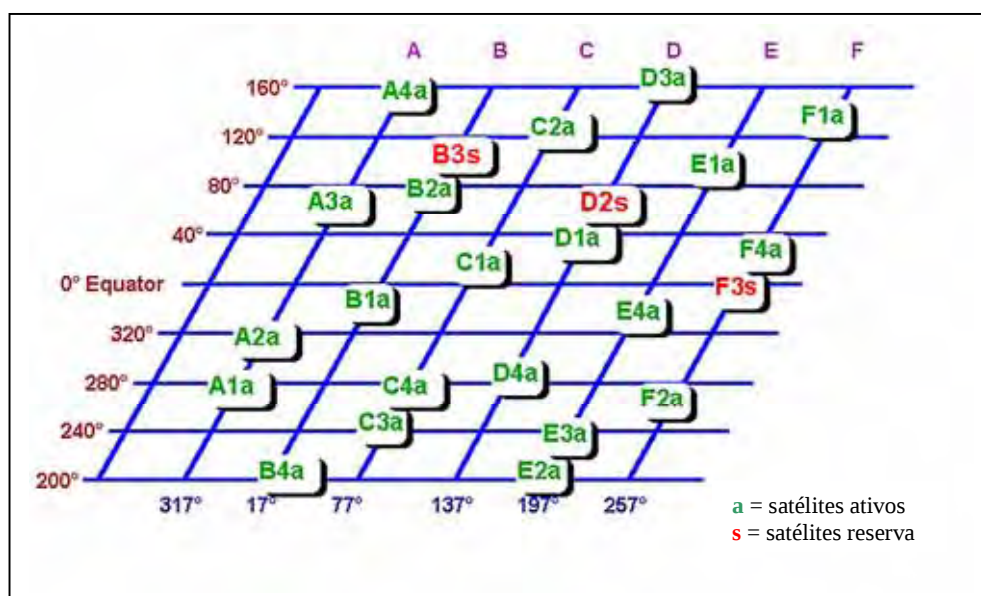


Figura 4. Projeção Planar da Constelação. Fonte: adaptado de <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gif/oplanes.gif>

Segantine (1999) e Sá (2000) explicam que os satélites estão separados em blocos de acordo com características próprias. O Bloco I reúne os satélites de desenvolvimento e pesquisa; os blocos II e IIA são os satélites de produção; e os blocos IIR e IIF são os satélites de reposição.

Os 11 satélites do Bloco I foram lançados entre 1978 e 1985, com o objetivo de demonstrar a possibilidade de funcionamento do sistema GPS. Os nove satélites do Bloco II foram lançados em 1989. Os satélites do Bloco IIA passaram a ter capacidade de comunicação mútua e alguns deles são equipados com refletores, podendo ser rastreados por estações laser. Os satélites desta classe foram lançados entre 1990 e 1994 e mantêm as demais especificações do Bloco II. Os vinte satélites do Bloco IIR começaram a ser lançados em 1997, para a substituição das unidades dos Blocos II e IIA. Os novos satélites do bloco IIF começaram a ser lançados em 2001, com o objetivo de sustentar a "constelação" neste século, em substituição aos do Bloco IIR e incorporando melhorias, atualizações do sistema e até mesmo a inclusão de uma nova frequência para usuários civis (SEGANTINE, 1999; SÁ, 2000).

4.2.2 Segmento de controle

Este segmento pode ser considerado o alicerce do sistema GPS. É composto por cinco estações de monitoramento mundial, localizadas no Hawai (EUA), Atol Kwajalein (Oceano Pacífico Norte), Ilha de Ascension (Oceano Atlântico Sul), Ilha de Diego Garcia (Oceano Índico Sul) e Colorado Springs (EUA). Três estações têm antenas para transmitir os dados para os satélites (Ilha Ascension, Ilha de Diego Garcia e Atol de Kwajalein). A estação de controle central (Master Control Station) fica em Colorado Springs, como ilustra a Figura 5. (MONICO, 2000; FERGUSON, 1998; TIMBÓ, 2000).

Estas cinco estações de monitoramento pertencem à Força Aérea Americana. Em conjunto com as sete estações do National Imagery and Mapping Agency, elas compõem a rede de estações monitoras GPS do Dod.

De acordo com Sá (2000), os principais objetivos operacionais do segmento de controle são:

- Rastrear satélites para a determinação de órbitas, correção dos relógios e modelagem periódica;
- Sincronizar o tempo dos satélites;
- Injetar, nos satélites, as mensagens contendo os dados que devem ser transmitidos aos receptores.

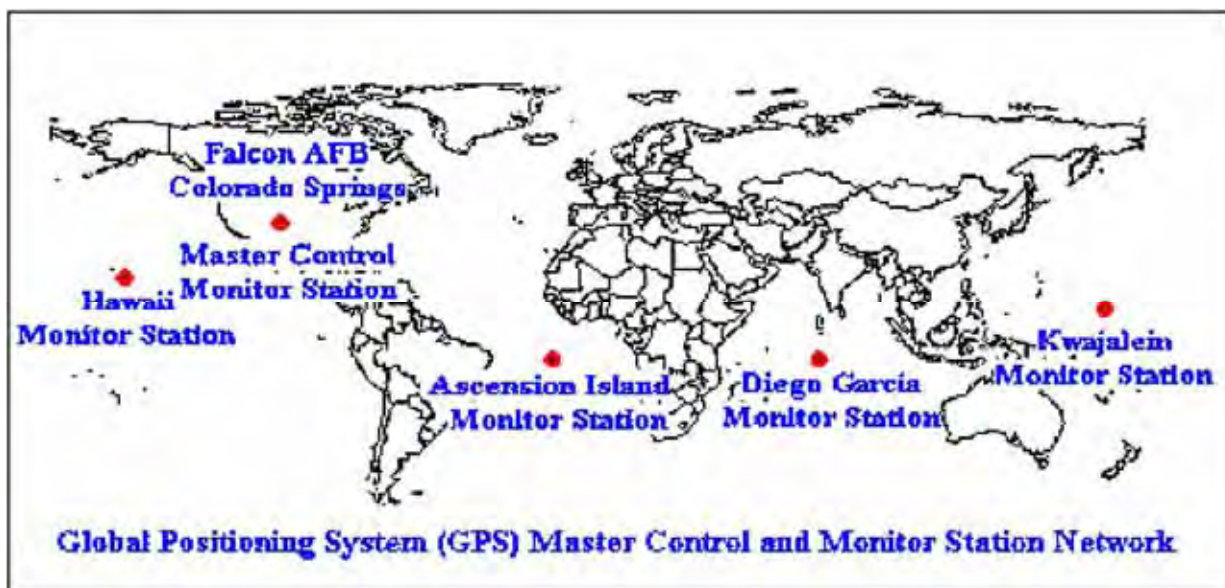


Figura 5. Distribuição das estações de rastreamento no mundo. Fonte: adaptado de http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html

4.2.3 Segmento de usuários

Segantine (1999) e Monico (2000) relatam que este segmento é composto pelos receptores de sinais dos satélites, com modalidades divididas entre "civil" e "militar".

Para o uso militar, a utilização do sistema é ampla, graças à necessidade de mais precisão no posicionamento em manobras de combate e treinamento. Como exemplos, podem ser citadas a Guerra do Golfo, em 1991, e mais recentemente, a Guerra do Afeganistão, em 2001, onde os receptores GPS foram usados para o deslocamento de tropas e na navegação de mísseis (BERNARDI; LANDIM, 2002).

No uso civil, a gama de usuários é ainda maior, pois as aplicações desta tecnologia mostram-se ilimitadas, havendo equipamentos que permitem inclusive a obtenção de precisão e acurácia da ordem de milímetros, dependendo da utilização à qual é destinado: topografia, geodésia, controle de minas, aviação comercial, rastreamento de veículos e frotas, controle de máquinas agrícolas, mapeamentos ambientais, fonte de dados para sistemas de informações geográficas (SIG) ou simplesmente para recreação, em atividades como pesca esportiva, caminhada, camping e esportes radicais (MONICO, 2000).

Poleti e Godoy (2004) utilizaram-se da metodologia do sistema GPS e de um levantamento histórico para a elaboração de um mapa geoinformativo do município de Serra Negra (SP). O mapa permite a localização ou até mesmo elaboração de roteiros por qualquer tipo de receptor GPS de navegação, contribuindo para o desenvolvimento do turismo no município.

Hasegawa et al. (1999) desenvolveram o protótipo de um sistema de navegação baseado na integração de dados provenientes de um receptor GPS portátil com uma base de dados geográficos em um computador portátil. A posição instantânea de um veículo equipado com o sistema é mostrada na tela do computador, sobre um mapa da região, juntamente com a identificação automática do logradouro, feita por buscas na base de dados e realçada na tela a medida que o veículo se movimenta. Este protótipo está sendo aprimorado e otimizado para permitir a inclusão de outras entidades do mundo real, como prédios públicos e hospitais.

4.3 Funcionamento do sistema GPS

Alves (2006) inicia a explicação do funcionamento do GPS lançando um questionamento sobre a maneira pela qual este sistema determina a localização de um ponto sobre a superfície terrestre. E explica, de forma clara e objetiva, que cada um dos satélites transmite por rádio um padrão fixo, recebido na Terra (segmento do usuário) como se fosse um cronômetro extremamente acurado. O receptor calcula a diferença entre o momento em que o padrão é recebido e o momento em que foi emitido. Essa diferença, não mais do que um décimo de segundo, permite que o receptor calcule a distância até o satélite emissor,

multiplicando-se a velocidade do sinal (aproximadamente $2,99792458 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$, a velocidade da luz) pelo tempo que o sinal de rádio levou do satélite ao receptor.

Essa informação localiza um ponto sobre uma superfície esférica imaginária com centro no satélite e raio igual à distância acima calculada.

Cada satélite é programado para emitir o que se chama "efeméride", que informa a posição exata da unidade, naquele instante, em relação a um sistema ortogonal de coordenadas fixo. Essa posição é permanentemente rastreada e conferida pelas estações terrestres de gerenciamento. A unidade receptora processa esses sinais. Com a posição do satélite e a distância acima calculada, obtém-se a chamada equação geral da imaginária superfície esférica.

Coletando-se sinais obtidos por quatro satélites, o receptor determina a posição do usuário calculando-a como intersecção das quatro superfícies esféricas obtidas. A localização é dada não em coordenadas cartesianas, mas por meio das coordenadas geográficas (latitude, longitude e elevação).

A precisão do tempo é essencial na operação do GPS. Uma diferença de um microssegundo (10^{-6} segundo) no registro do lapso de tempo desde a transmissão até a recepção provoca um erro de 300 m. Unidades receptoras de GPS extremamente precisas podem determinar posição a menos de um metro.

Em suma, o GPS é um sistema de radionavegação baseado em satélites artificiais, onde os mesmos têm a função de manter uma escala de tempo precisa. Por isso, cada satélite possui dois relógios de césio e dois de rubídio. As unidades enviam sinais baseados em uma frequência fundamental (f_0) de 10,23 MHz. Desta, obtém-se outras duas novas frequências operacionais, multiplicando-se f_0 pelas constantes 154 e 120, gerando as ondas portadoras pertencentes à banda L, chamadas L1 e L2, respectivamente (Tabela 1).

As portadoras L1 e L2 têm a função de transportar as informações aos usuários do GPS; os receptores recebem o sinal L1 modulado por dois códigos (o C/A e o P ou Y) e o sinal da L2 modulado somente pelos códigos P ou Y. (LOCH; CORDINI, 2000; SÁ, 2000).

Tabela 1. Componentes dos sinais dos satélites.

Componente	Frequência (MHz)
Frequência fundamental	$f_0 = 10,23$
Portadora L1	$154 f_0 = 1575,42$ ($\lambda = 19,05$ cm)
Portadora L2	$120 f_0 = 1227,60$ ($\lambda = 24,45$ cm)
Código-P	$f_0 = 10,23$
Código-C/A	$f_0/10 = 1,023$
Mensagem de navegação	$f_0 / 204\,600 = 50 \times 10^{-6}$

Fonte: Monico (2000).

O código C/A (*Coarse/Acquisition code*) é uma sequência binária gerada por um algoritmo que se repete a cada milissegundo. Possui uma frequência de 1,023 MHz, como apresentado na Tabela 1, com comprimento de onda por volta de 300 m. É o principal componente do serviço de posicionamento padrão (SPS) disponibilizado para uso civil (MONICO, 2000).

É este código que todos os receptores de pequeno porte, chamados de “receptores de navegação”, explorados neste trabalho, utilizam para posicionamento de modo autônomo.

O código P, sigla de *precise* ou *protect*, de "preciso" ou "protegido", é transmitido na mesma frequência da frequência fundamental, 10,23 MHz, também apresentado na Tabela 1, com comprimento de onda de 30 metros (MONICO, 2000).

Há outro código, semelhante ao código P, conhecido como código Y, que pode ser usado em vez do código P. No entanto, a equação do código P é conhecida e de acesso ao público, e a de Y é secreta. Os usuários não autorizados ficam restritos ao código P (SÁ, 2000).

Cada satélite transmite uma mensagem própria de navegação, atualizada várias vezes ao dia pelo segmento de controle. As informações que dizem respeito à posição de cada satélite são instantâneas.

Segundo Sá (2000), os satélites transmitem aos receptores GPS ondas eletromagnéticas que podem ser representadas matematicamente por:

$$y = A \cos(\omega t - kx + \Phi)$$

onde A é a amplitude do sinal, ω é a frequência angular, dada por

$$\omega = 2\pi f,$$

k é a constante de fase ou número de ondas, que tem a expressão

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

t é o tempo de percurso do sinal, x é a distância percorrida entre a emissão e a recepção do sinal e Φ é uma componente sistemática.

A distância percorrida pela onda entre o satélite e o receptor GPS pode ser determinada por dois métodos. Se a frequência e o instante de transmissão do sinal forem conhecidos, então a medição do tempo decorrido permitem o cálculo da chamada pseudo-distância

$$x = ct,$$

onde $c = 299.792,458 \text{ kms}^{-2}$ é a velocidade de propagação da onda eletromagnética (luz).

Outro método para a determinação da distância é a medição do número de ciclos da fase sobre a trajetória de transmissão. Isso pode ser feito combinando a frequência recebida com a frequência conhecida. Assim, para qualquer instante, a distância percorrida pelo sinal pode ser relacionada com a fase, desta forma:

$$\Phi = kx = \frac{2\pi}{\lambda} x$$

Logo, a distância é dada por

$$x = \Phi \frac{\lambda}{2\pi}$$

Uma análise nesta expressão mostra que ela envolve alta precisão na frequência do sinal e na fase.

4.4 Funcionamento do receptor GPS

Segundo Segantine (1999), os receptores GPS evoluíram bastante desde o lançamento dos primeiros modelos no mercado, no início da década de 80. Além disso, os métodos de posicionamento e a eletrônica dos componentes avançaram, se adequando a

diferentes tipos de aplicações práticas, graças ao surgimento de equipamentos de diferentes precisões.

Os receptores atuais podem operar tanto com o código e/ou a fase da portadora, a um custo bem reduzido. Eles podem ser utilizados para navegação e em alguns trabalhos topográficos.

Segantine (1999) classifica os receptores GPS de acordo com as seguintes características:

- Número de frequências
 - o simples frequência: receptores que recebem somente a frequência L1;
 - o dupla frequência: receptores que recebem as frequências L1 e L2, tendo acesso aos códigos C/A e/ou P.
- Número de canais
 - o monocanais: receptores que possuem apenas um canal, que se move rapidamente de um satélite para outro. Este modelo tem custo baixo, mas as desvantagens são a lentidão na atualização das coordenadas e imprecisão;
 - o multicanais: receptores que possuem vários canais independentes para rastrear, simultaneamente, cada satélite visível no horizonte. As vantagens são precisão e rapidez na obtenção de coordenadas.
- Tipos de canais
 - o seqüenciais: nestes tipos de receptores, cada canal rastreia um único satélite por vez, passando a captar dados de outro satélite tão logo tenha armazenado dados suficientes para o cálculo das coordenadas do ponto;
 - o multiplexados: o funcionamento é semelhante aos receptores de canais seqüenciais, com a vantagem de serem mais rápidos na mudança para a captação dos dados de outros satélites. São receptores mais precisos e mais caros.
- Tipo de sinal observado
 - o receptores que utilizam a pseudodistância por meio do código C/A: normalmente utilizados na navegação marítima, aérea ou terrestre.
 - o receptores das portadoras L1 e L2 e do código C/A: normalmente utilizados em trabalhos geodésicos de precisão;

- o receptores que utilizam a pseudodistância por meio do código-P: construídos para fins militares e, portanto, sob o controle do DoD;
- o receptores que utilizam a pseudodistância por meio dos códigos C/A e P e utilizam as portadoras L1 e L2: mais completos e, conseqüentemente, os mais caros. São utilizados em trabalhos geodésicos de alta precisão.

Vettorazzi; Angulo Filho e Couto (1994) classificam os receptores GPS ressaltando a aplicação nas áreas agrônoma e florestal e explicando que o custo destes equipamentos é diretamente proporcional à capacidade de precisão. Contudo, para uso nas áreas citadas, os receptores GPS pertencentes à categoria B seriam suficientes, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Classificação dos receptores GPS de acordo com sua exatidão.

Categoria	Número de receptores	Tempo de leitura	Sinais Utilizados	Exatidão
A	1	Instantânea	C/A	100 m
B	2	1-2 min.	C/A	1m – 5m
C	2	1 hora	C/A-L1	1cm±2 ppm
D	2	1 hora	C/A-P-L1-L2	0,5 cm±1ppm

Fonte: Vettorazzi; Angulo Filho e Couto (1994).

Ainda com relação à classificação de receptores GPS, Sá (2000) os classifica em quatro grupos, em função do tipo de medida (código de pseudodistância ou portadora de fases) e da disponibilidade de códigos (código C/A, código P, ou código Y):

- Receptores do código C/A de pseudodistância: sua função é a medição de distâncias pelo código C/A. São mais simples, com pilhas comuns como fonte de energia e até 6 canais independentes. Fornecem a posição em coordenadas geodésicas e, eventualmente, em coordenadas planas da projeção UTM;
- Receptores do código C/A de fase da portadora: modulados apenas com pseudodistância e fase da portadora L1, não fornecendo, portanto, dados em duas

freqüências. A maioria dos receptores possui no mínimo quatro e no máximo 12 canais, desempenhando todas as funções dos modelos previamente descritos. Ainda armazenam o tempo decorrido e a fase da portadora em memória;

- Receptores do código P: proporciona o rastreo nas portadoras L1 e L2. Estes equipamentos têm duas vantagens: medir longas distâncias com precisão de alguns centímetros e medir linhas de comprimento moderado com precisão de alguns centímetros, com apenas 10 minutos de rastreo;
- Receptores do código Y: proporcionavam acesso ao código P com AS ativada. Assim, os códigos de distância e fases podiam ser determinados a partir das portadoras L1 e L2. O acesso ao código P é possível com a instalação de um *Auxiliary Output Chips* (AOC) em cada canal do receptor. Esse chip proporciona a decodificação do código Y em código P e correção da degradação decorrente da SA. Somente usuários autorizados pelo Dod têm acesso ao AOC.

4.5 Sistemas de referência

Graças à dinâmica do universo, os corpos celestes fazem vários movimentos: rotação, translação, acelerações e deformações. Várias ciências se preocupam em estudar a cinemática e a dinâmica desses corpos, como a Geodésia, a Astronomia e a Astrofísica. No que diz respeito à Terra, é possível verificar o estudo de alguns fenômenos dinâmicos, como rotação, movimento do pólo, a tectônica de placas, as marés terrestres e oceânicas, o campo gravitacional e o campo magnético. O movimento e a posição dos corpos não são conceitos absolutos, pois dependem de referências para serem descritos (KOVALESKY; MUELER; KOLACZEK, 1989). Desta forma, faz-se necessário adotar um sistema de coordenadas que seja considerado estável dentro do que se pretende estudar.

No século passado foram definidas elipsóides de referência. O principal objetivo era o desenvolvimento de levantamentos topográficos e geodésicos de um dado país; as dimensões e o posicionamento desses elipsóides de revolução foram escolhidos de forma a obter uma adaptação otimizada em relação à porção do geóide recoberto do país envolvido.

Logo, cada país adotou um *datum* geodésico e um sistema de referência geodésico mais adaptado à sua forma (ROCHA, 2000).

De acordo com Blitzkow (1991) *datum* pode ser definido como o ponto de partida de uma rede geodésica, ou seja, é uma superfície de referência posicionada em relação a Terra.

Além dos sistemas individuais, existe um sistema de referência global, definido por um elipsóide de referência, com o ponto central coincidente com o centro de massa da Terra e otimizado para se adaptar ao geóide global. Esse sistema de referência é denominado World Geodetic System (WGS). O sistema GPS adota esse sistema de referência como base.

Tragueta et al. (2006) desenvolveram um trabalho com o objetivo de mensurar deslocamentos e ângulos, levando-se em consideração a existência de diferentes elipsóides adequados a diferentes regiões do globo terrestre e admitindo-se a hipótese de que a configuração de um elipsóide inadequado para determinadas condições poderia provocar erros ainda maiores de posicionamento. Para tanto, foram coletadas coordenadas UTM de um polígono de 14 pontos, utilizando-se um receptor de navegação GPS marca Garmin, modelo Geko 201, sob três diferentes elipsóides: SAD 69, WGS 84 e Córrego Alegre. Para cada configuração de elipsóide, as leituras de cada ponto foram repetidas 10 vezes. Os dados foram processados pelo software Datageosis, versão 2.32. Concluiu-se que ocorreram alterações nos posicionamentos de pontos em função do elipsóide configurado nos receptores GPS de navegação, sendo possível verificar as maiores diferenças entre o elipsóide SAD 69 e o WGS 84 e as menores diferenças entre o elipsóide SAD 69 e o Córrego Alegre, o que é facilmente explicável, visto que o elipsóide WGS 84 é muito utilizado nos Estados Unidos e o Córrego Alegre também é utilizado no Brasil.

A seguir serão apresentadas considerações a respeito dos sistemas de referência envolvidos neste trabalho.

4.5.1 Sistema de referência WGS-84

Em 29 de junho de 1994 e 29 de janeiro de 1997, o sistema de referência WGS-84 passou por dois refinamentos, com o objetivo de melhorar a precisão das

coordenadas das estações monitoras. Essas novas realizações foram denominadas WGS-84 (G730) e WGS-84 (G873), onde G indica a utilização da tecnologia GPS e 730 e 873 representam as semanas GPS em que ocorreram as realizações (MONICO, 2000).

Após o refinamento do sistema de coordenadas WGS-84, alguns parâmetros relacionados a esse sistema sofreram alterações. Na Tabela 3, estão listados os parâmetros fundamentais do WGS-84.

Tabela 3. Parâmetros do elipsóide WGS-84.

PARÂMETROS	VALORES
Semi-eixo maior	$a = 6378137,000 \text{ m}$
Achatamento geométrico	$f = 1/298,257223563$
Coefficiente zonal de segundo grau	$J_2 = 1082630 \times 10^{-9}$
Velocidade angular da Terra	$\omega = 72921 \times 10^{-11} \text{ rad s}^{-1}$
Constante gravitacional terrestre	$\mu = 39860005 \times 10^8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$

Fonte: Monico (2000).

4.5.2 O sistema geodésico brasileiro

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), órgão responsável pela definição, implantação e manutenção do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), adotou no Brasil o Elipsóide Internacional de Hayford de 1924, sendo conhecido por “Córrego Alegre”, por vários anos. Os elementos de fixação e orientação deste elipsóide eram os seguintes:

$$\varnothing_g = 19^\circ 45' 15,14'' \text{ S}$$

$$\lambda_g = 48^\circ 57' 42,75'' \text{ W}$$

$$A_g = 128^\circ 21' 48,96''$$

$$N = \xi = \eta = 0$$

Alguns anos depois, por meio de estudos gravimétricos na cadeia de Córrego Alegre, na região de Chuá, próximo a Uberaba (MG), o IBGE passou a adotar o elipsóide SAD-69 (South American Datum – 1969), por ter demonstrado boa adaptação para o

Brasil e América do Sul. Estes estudos levaram em conta a determinação dos valores do desnível geoidal, do desvio da vertical e das novas coordenadas deste mesmo ponto físico.

Desta forma, a partir de 1977, o IBGE estabeleceu que o *datum* brasileiro adotado fosse o SAD-69, tendo como origem o vértice de triangulação Chuá, com coordenadas geográficas geodésicas, azimute do vértice e o afastamento geoidal descritos na Tabela 4, a seguir:

Tabela 4. Elipsóide SAD-69 (South American Datum – 1969).

Latitude	-19° 45' 41,6527"
Longitude	-48° 06' 04,0639"
Azimute	$A_z = 271^\circ 30' 04,05''$
Altura geoidal	$N = 0 \text{ m}$
Componente meridiana	$\xi = -0,31''$
Componente 1ª meridiana	$\eta = 3,59''$

Fonte: IBGE (2000).

Os parâmetros do elipsóide SAD-69 são:

$$a = 6\,378\,160 \text{ m}$$

$$f = 1/298,25$$

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é definido sob a condição de paralelismo entre o seu sistema de coordenadas cartesianas e o do Sistema Convencional de Referência Terrestre (*CTRS – Conventional Terrestrial Reference System*). Também é definido por um conjunto de pontos geodésicos colocados na superfície territorial, determinados por procedimentos operacionais e com coordenadas calculadas segundo modelos geodésicos de precisão compatível com a finalidade a que se destinam. (FORTES; CAGNIN; GODOY, 1989).

Quanto à orientação do sistema, tem-se as seguintes considerações:

- Geocêntrico: o eixo de rotação é paralelo ao eixo de rotação da Terra. O plano meridiano de origem é paralelo ao plano meridiano de Greenwich, conforme definição por Bureau International de L'Heure (BIH).

- Topocêntrico: no vértice Chuá da cadeia de triangulação.

Atualmente, os sistemas geodésicos SAD-69 e Córrego Alegre Datum são os utilizados no Brasil. O Córrego Alegre é adotado nas cartas da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) e o SAD-69, pelo IBGE (SEGANTINE, 1999).

Por meio de uma cooperação entre os países da América do Sul, representados por agências nacionais e instituições internacionais e sob o patrocínio da International Association of Geodesy (IAG), Instituto Pan-americano de Geografia e História (IPGH) e National Imagery and Mapping Agency (NIMA), criou-se, em outubro de 1993, o Projeto de Referência Geocêntrico para a América do Sul, denominado SIRGAS, com o principal objetivo de estabelecer um sistema de referência para o continente. O Brasil participa ativamente no estabelecimento de redes de GPS de alta precisão no continente associadas à criação de um banco de dados e centros de processamento. O estabelecimento das Redes de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBCM), foi um passo de grande importância para a geodésia em todo o País. Esta rede é composta atualmente por treze estações. Nove delas são coincidentes com as estações SIRGAS, fornecendo todas as informações necessárias para a integração do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) aos sistemas de referências terrestres internacionais que serão adotados no Brasil (IBGE, 2000).

A adoção de um referencial geocêntrico no Brasil tem como objetivo o atendimento dos padrões globais de posicionamento espacial na superfície terrestre. Com isso, fica garantida a manutenção da qualidade dos levantamentos GPS realizados em território nacional, uma vez que manter o seu referenciamento ao SAD-69 implicaria em degradação de precisão. Outro fator determinante diz respeito à necessidade de se buscar uma compatibilidade com os demais países sul-americanos, adotando-se no continente um referencial geodésico único para as atividades cartográficas, o mesmo que se buscou fazer na década de 70 com o SAD-69 (IBGE, 2000). A seguir, a Figura 6 ilustra a aplicação do GPS na coleta de dados.

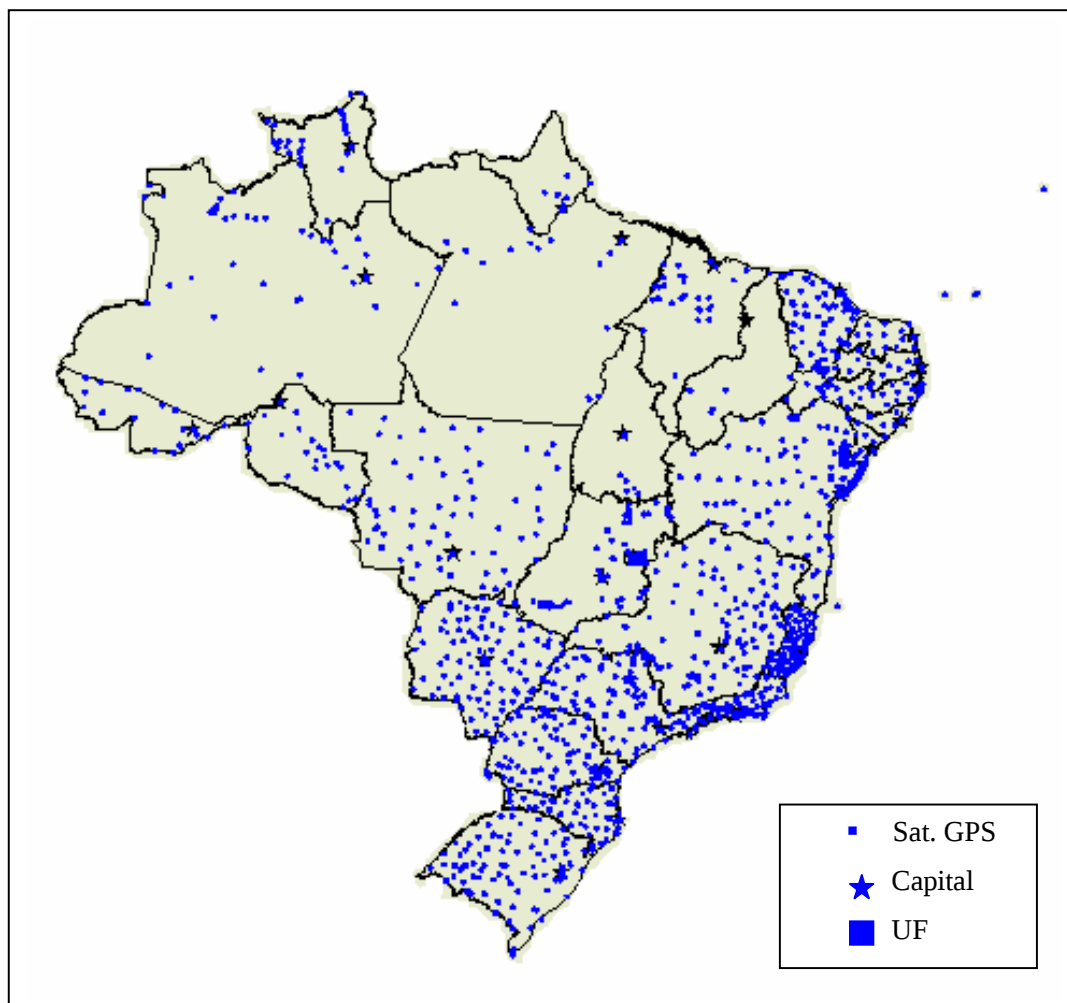


Figura 6. Aplicação do Sistema de Posicionamento Global na coleta de dados. Fonte: adaptado de <http://mapas.ibge.gov.br/geodesia2/viewer.htm>

4.6 Transformação de coordenadas

A conversão das coordenadas geodésicas em cartesianas no sistema de referência ou entre eles pode ser calculada por meio de um programa chamado GPS Pathfinder Office. Para isto, é necessário ter um ponto no espaço com as coordenadas cartesianas X, Y e Z (longitude, latitude e altura) assumindo um elipsóide de revolução desejado. Com a mesma origem, pode-se calcular as suas coordenadas geodésicas ou elipsoidais de φ (latitude), λ (longitude) e h (altura geométrica) ou vice-versa.

A relação entre as coordenadas geodésicas é dada por Seeber (1993) e Monico (2000):

$$X = (N + h) \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda$$

$$Y = (N + h) \cdot \cos \varphi \cdot \sin \lambda$$

$$Z = [N \cdot (1 - e^2) + h] \cdot \sin \varphi$$

$$N = a / (1 - e^2 \cdot \sin^2 (\varphi)^{0,5})$$

$$e^2 = (a^2 - b^2) / a^2 = 2f - f^2$$

$$f = (a - b) / a$$

- φ é a latitude geodésica, que é o ângulo que a normal ao elipsóide, passando por um ponto P, forma com a sua projeção equatorial;
- λ é a longitude geodésica, que é o ângulo compreendido entre os meridianos geodésico de Greenwich (origem) e o ponto P (positiva a leste), ou a qualquer ponto sobre a normal;
- h é a altura geométrica, que é a distância do ponto P ao elipsóide, contada sobre a normal;
- N é a grande normal (raio de curvatura da seção primeiro vertical);
- e^2 é a primeira excentricidade numérica e
- f é o achatamento.

As transformações das coordenadas cartesianas entre os sistemas de referência são dadas pelas seguintes expressões:

WGS-84 para SAD-69

$$X = X \text{ (WGS-84)} + 66,87 \text{ m}$$

$$Y = Y \text{ (WGS-84)} - 4,37 \text{ m}$$

$$Z = Z \text{ (WGS-84)} + 38,52 \text{ m}$$

SAD-69 para Córrego Alegre

$$X = X \text{ (SAD-69)} + 138,70 \text{ m}$$

$$Y = Y \text{ (SAD-69)} - 164,40 \text{ m}$$

$$Z = Z \text{ (SAD-69)} - 34,40 \text{ m}$$

As coordenadas Plano-retangulares UTM entre os sistemas foram obtidas utilizando-se expressões e parâmetros citados em Rocha (2000). Na projeção UTM, os pontos georreferenciados se enquadraram no Meridiano Central (MC) igual a 45° e no

Fuso/Zona igual a 23K , com longitudes (λ) a Oeste de Greenwich e latitudes (ϕ) ao Sul do Equador. Eles possuem as denominações (E) para longitude e (N) para a latitude.

4.7 Sistemas de coordenadas

Segundo Loch e Cordini (2000), todos os levantamentos geodésicos ou topográficos desenvolvidos em um país ou região devem ser coordenados, relacionados a um único sistema de referência: o *Sistema Fundamental de Coordenadas*.

Para Silva; Erwes e Segantine (2001) calcular a posição de um ponto, em mensuração, significa determinar as suas coordenadas. E determinar as coordenadas de um ponto significa estabelecer a posição relativa desse ponto em relação a um sistema de coordenadas previamente escolhido. O uso de um sistema de coordenadas para o estabelecimento da posição de um ponto facilita e permite a padronização dos métodos de cálculos, para que cada ponto seja definido de maneira unívoca. Deve-se também considerar que não existem propagações de erros quando se calculam as coordenadas de um ponto a partir das observações de campo. Além disso, as coordenadas impedem que haja a propagação dos erros de plotagem nas representações gráficas. Finalmente, o uso de um sistema de coordenadas evita também a propagação de erros nos processos de locação de pontos sobre o terreno.

A seguir são descritos quatro sistemas de coordenadas utilizados na Geodésia, Topografia e Cartografia, à luz de Silva; Erwes e Segantine (2001) e Cardoso (2004).

4.7.1 Sistema de Coordenadas Geográficas Geodésicas

De acordo com Silva; Erwes e Segantine (2001) o Sistema de Coordenadas Geográficas Geodésicas, ou simplesmente "coordenadas Geodésicas", é definido sobre um elipsóide de referência. Ele se baseia, fundamentalmente, no eixo médio de rotação e no plano da Linha do Equador.

As linhas desenhadas no sentido Norte/Sul são denominadas meridianos e as linhas desenhadas no sentido Leste/Oeste são denominadas paralelos. Estas linhas

estabelecem o sistema de coordenadas, denominado Sistema de Coordenadas Geográficas Geodésicas, cuja origem é um ponto situado sobre o meridiano que passa por Greenwich, na Inglaterra, e sobre a Linha do Equador. As coordenadas definidas por esse sistema são denominadas latitudes e longitudes geodésicas.

A latitude geodésica ϕ de um ponto da superfície terrestre é o ângulo que forma a normal à superfície, nesse ponto, com o plano que contém a Linha do Equador.

As latitudes geodésicas são referenciadas a partir do Equador de 0° a 90° , no hemisfério Norte, e de 0° a -90° , no hemisfério Sul, ou simplesmente de 0° a 90° , seguido da indicação da latitude Norte ou Sul.

As longitudes geodésicas são referenciadas a partir de Greenwich, de 0° a 360° na direção leste, ou de 0° a -180° , direção Leste e de 0° a -180° , na direção Oeste. A Figura 7 apresentada a seguir mostra a latitude e longitude de um ponto P situado sobre a superfície de referência.

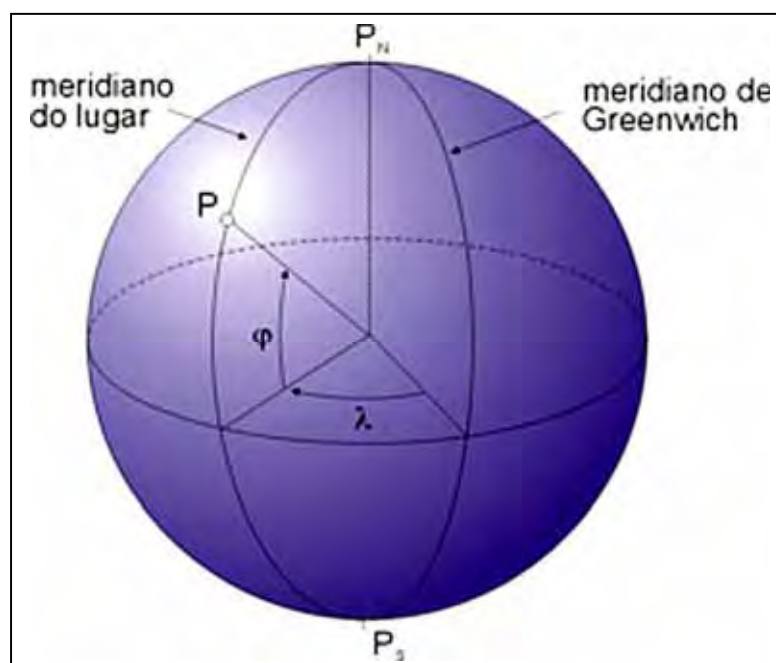


Figura 7. Sistema de Coordenadas Geográficas/Geodésicas. Fonte: adaptado: Rocha (2000).

4.7.2 Sistema de Coordenadas Cartesiano

Conforme Silva; Erwes e Segantine (2001) o Sistema de Coordenadas Cartesiano Espacial possui a sua origem no centro de massa da Terra. Os eixos X e Y pertencem ao plano do Equador e o eixo Z coincide com o eixo médio de rotação da Terra. O eixo X passa pelo meridiano de referência. As coordenadas cartesianas são usadas no posicionamento de satélites. Para medições topográficas em geral, esse sistema não é adequado, devido ao fato de ele não representar convenientemente as altitudes. A coordenada Z é vertical em relação ao plano do Equador, enquanto a altura elipsoidal h é normal à superfície de referência. Assim, um aumento no valor de h não produz um aumento igual em Z . A Figura 8 representa este sistema.

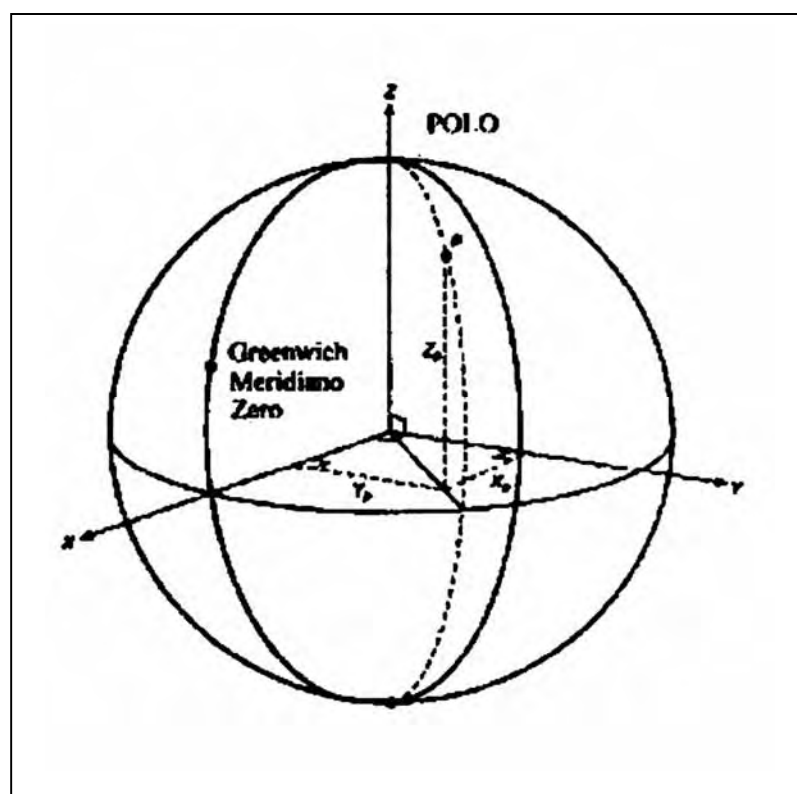


Figura 8. Sistema de Coordenadas Cartesianas. Fonte: adaptado de Silva; Erwes e Segantine. (2001).

4.7.3 Sistema de Coordenadas Plano Retangular

Segundo Cardoso (2004), o sistema de coordenadas mais utilizado na Cartografia é o Sistema de Coordenadas Plano Retangular. Ele é baseado no Sistema de Coordenadas Retangular, criado pelo filósofo francês Renée Descartes (1569-1650) no século XVII. Ele também é chamado de Sistema Cartesiano Plano.

O Sistema de Coordenadas Retangular consiste em dois eixos geométricos, localizados num mesmo plano, perpendiculares entre si. O cruzamento dos dois eixos é a origem do sistema. O eixo primário é denominado abscissa X , no sentido horizontal. O eixo secundário é definido por uma rotação anti-horária de um ângulo de 90° em relação ao eixo das abscissas e é denominado ordenada Y . Os dois eixos são igualmente graduados de acordo com a escala definida para o sistema. O eixo Y é positivo da origem “para cima” e o eixo X é positivo da origem “para a direita”. As coordenadas retangulares de um ponto são dadas por dois números que correspondem à projeção deste ponto sobre o eixo das abscissas e a projeção do ponto sobre o eixo das ordenadas. Os ângulos são contados a partir da abscissa X (ou suas paralelas) no sentido anti-horário, conforme Figura 9.

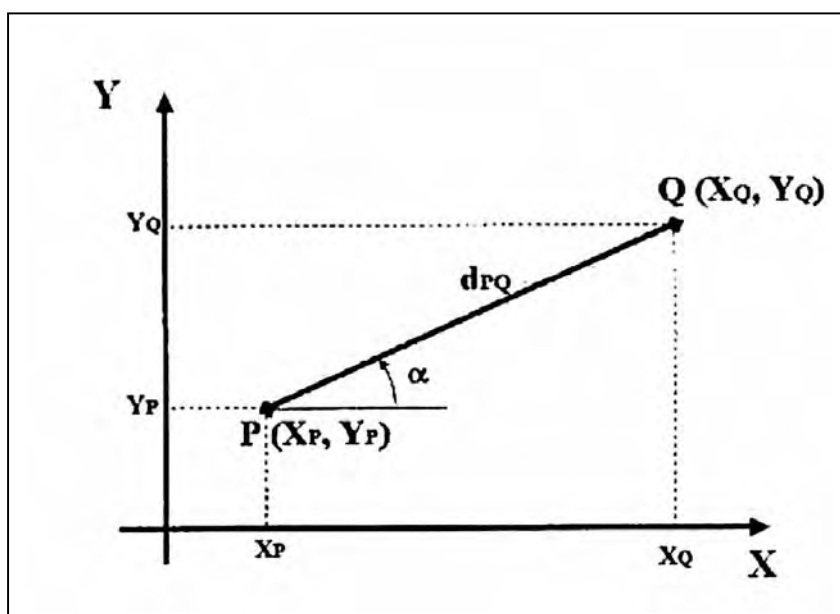


Figura 9. Sistema de Coordenadas Retangular. Fonte: adaptado de Silva; Erwes e Segantine (2001).

O uso do Sistema de Coordenadas Plano Retangular não pode ser feito sem algumas considerações especiais. Devido à esfericidade da Terra, não é possível representar pontos da superfície nesse sistema sem que haja algum tipo de deformação na figura representada. Deformação, neste caso, significa deformação dos ângulos entre as direções representadas e/ou deformação das distâncias representadas, ou ainda deformação da superfície. Uma das maneiras de se resolver esse problema consiste em utilizar uma **Projeção Cartográfica**, por meio da qual se estabelece uma relação matemática pontual e biunívoca entre a superfície de referência (elipsoidal) e a superfície plana, convenientemente posicionada em relação à superfície elipsoidal de referência. A deformação gráfica não é suprimida, mas é conhecida, por meio da relação matemática estabelecida para a transformação. Existem vários tipos de projeções cartográficas, cada uma com suas peculiaridades e vantagens. A maioria delas não é plano-retangular. No Brasil, utiliza-se a Projeção Cartográfica Plano Retangular denominada **Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM**.

Na projeção cartográfica UTM, adota-se a letra E para a abscissa, ao invés de X e a letra N para a ordenada, ao invés de Y, de acordo com Figura 10.

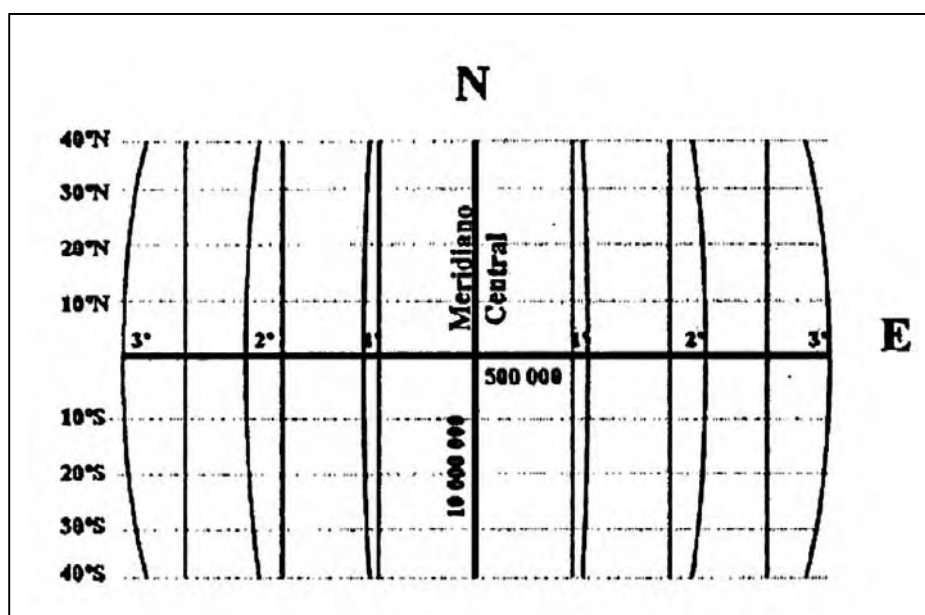


Figura 10. Sistema de Coordenadas Plano Retangular UTM. Fonte: adaptado de Silva; Erwes e Segantine (2001).

Este sistema trabalha com a projeção cilíndrica, dividindo o globo terrestre em colunas de longitude (denominadas fusos) e faixas de latitude (denominadas zonas). Considerando o círculo definido pelo Equador como referência e considerando que um círculo tem 360°, no sentido de longitude o globo terrestre foi dividido em 60 fusos de 6° cada um, numerados de 1 a 60, partindo do antimeridiano à Oeste de Greenwich. Este antimeridiano é definido como uma linha projetada a 180° com relação a Greenwich. No sentido da latitude, o globo foi dividido em zonas de 8° cada uma, codificadas a partir do Pólo Sul por meio da sequência lógica do alfabeto, não constando as letras A, B, I e O. Portanto, começam pela letra C, a -80° (80 graus ao Sul do Equador). O limite “superior” é o paralelo 84° (oitenta e quatro graus à norte do Equador).

Uma leitura no Sistema UTM vai posicionar um ponto num dado fuso e zona. Porém, esse posicionamento, no sentido da longitude, se inicia no centro do fuso, denominado Meridiano Central de Fuso, com o valor de 500 km, valor que, em cada fuso, cresce para leste e decresce para oeste. No sentido da latitude a origem é o Equador, com a medida de 10.000 km para referência ao Sul, decrescendo esse valor conforme “se caminha” em direção ao Sul. Para o hemisfério norte, a referência também é o Equador, mas com valor 0 km, crescendo conforme “se caminha” para Norte. A figura 11 ilustra o Sistema UTM.

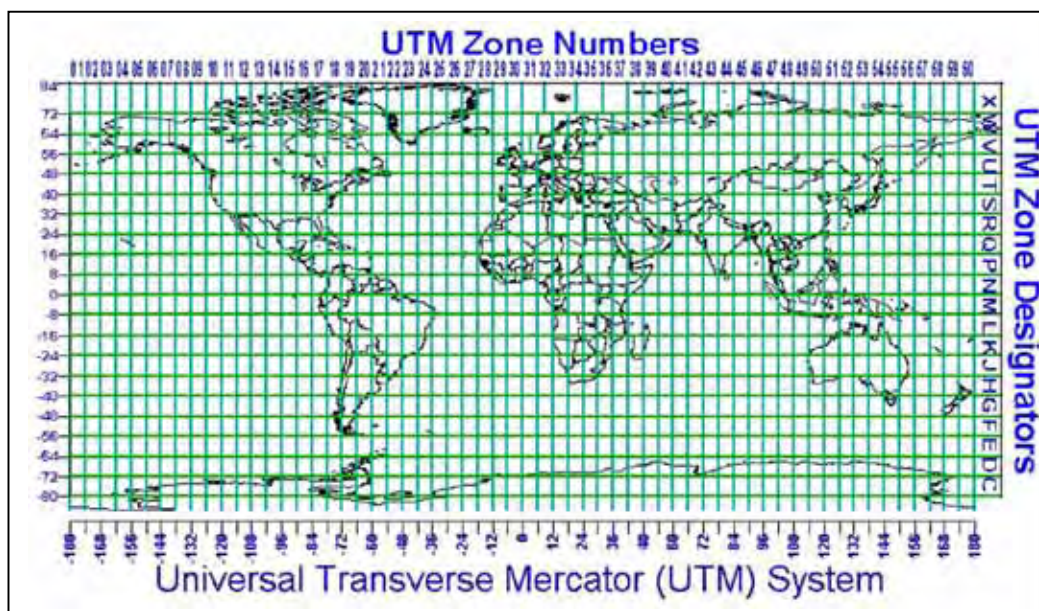


Figura 11. Universal Transverse Mercator (UTM) System. Fonte: adaptado de Cardoso (2004).

4.7.4 Sistema de Coordenadas Polares

Silva; Erwes e Segantine (2001) descrevem que o Sistema de Coordenadas Polares é determinado por um ponto fixo O , denominado origem ou pólo, e por uma direção ou eixo passando por esse pólo, sobre o qual se representam as distâncias. A posição de um ponto é então definida por meio da medida de um ângulo β e uma distância d , tomados a partir da origem (pólo). As coordenadas do ponto obtidas a partir deste procedimento se chamam *coordenadas polares*, conforme Figura 12.

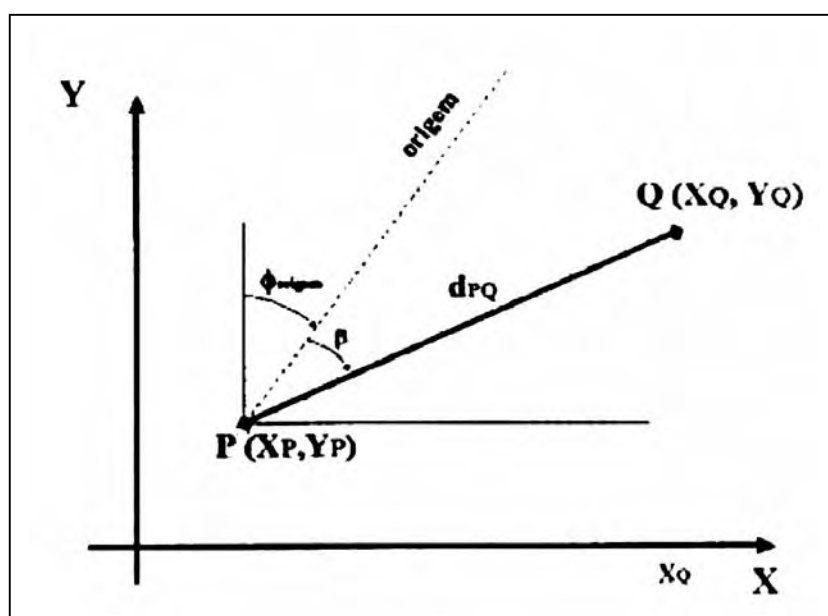


Figura 12. Sistema de coordenadas polares. Fonte: adaptado de Silva; Erwes e Segantine (2001)

4.8 Fontes de erros no posicionamento do sistema GPS

A utilização dos receptores GPS está sujeita a uma série de interferências e desvios, que podem ser aleatórios ou intencionais, alterando sua precisão e acurácia. Muitos estudos foram realizados agrupando estes erros em função de sua fonte. A

seguir são descritas as principais interferências ocorridas no sistema GPS, que ocasionam degradação do sinal e até mesmo erros no sistema.

- Atmosfera:
 - o Ionosfera
 - o Troposfera
- Multicaminhamento
- Perda de ciclos
- Erro do relógio
- Centro de fase da antena
- SA (*Selective Availability – disponibilidade seletiva*)
- AS (*Anti-Spoofing - antifraude*)

4.8.1 Atmosfera

A atmosfera é composta por gases secos e vapor d'água. Sua estrutura possui várias camadas, como ionosfera, troposfera, atmosfera superior e inferior, magnetosfera e mesosfera, com diferentes propriedades físicas e químicas.

Os sinais de rádio transmitidos pelos satélites precisam atravessar todas as camadas da atmosfera até alcançar o receptor GPS, podendo ser influenciados por variações de direção, pela velocidade e pela intensidade da propagação dos sinais. No entanto, as camadas que mais influenciam os sinais do sistema GPS são a ionosfera e a troposfera.

A ionosfera é uma região situada entre 100 e 1.000 km acima da superfície terrestre, caracterizada pela presença de elétrons livres, que afetam diretamente a modulação do código P e a fase portadora. A refração ionosférica acontece em função do número de elétrons presentes ao longo da trajetória da onda. O volume de íons varia, dependendo das atividades solares, estação do ano e posição do operador. Esta atividade já é mensurável e previsível, havendo modelos matemáticos que minimizam e até eliminam estes efeitos.

Segundo Segantine (1999), para pequenas distâncias (até 10 km), os efeitos ionosféricos afetam igualmente o sinal recebido pelos receptores, pois os sinais

atravessam a mesma região da ionosfera e sofrem os mesmos efeitos de retardamento na modulação da portadora. Pela dupla ou tripla diferença de fases, estes erros são eliminados.

De acordo com Rocha (2000), para linhas com distâncias superiores a 100 km torna-se necessário o uso de receptores de dupla frequência, de modo a considerar os efeitos ionosféricos, pois a frequência da portadora L2 é menor, sofrendo menos interferência desses efeitos.

Em uma pesquisa feita por Fonseca Júnior (2002), foi realizado um estudo dos efeitos provocados pela ionosfera sobre as observáveis do sistema GPS, por causa da ocorrência de redução da acurácia posicional para todos os usuários do sistema. Essa redução acontecia de forma mais acentuada àqueles que utilizavam receptores GPS de apenas uma frequência. Este estudo foi desenvolvido em cinco anos e ajudou na criação de modelos que minimizam os efeitos da ionosfera.

A troposfera é a parte inferior da atmosfera terrestre que se estende da superfície até, aproximadamente, 40 km de altitude. É constituída por uma mistura de dois gases ideais: vapores de água seca e úmida. A parte seca contribui com aproximadamente 90% do total da refração troposférica e pode ser precisamente modelado com erro de 2 a 5%, usando-se medidas superficiais, tais como pressão e temperatura. Já a contribuição úmida é próxima de 10% do total da refração troposférica. Sendo assim, o atraso na troposfera depende da temperatura, umidade e pressão, que variam com a altitude do local (ROCHA, 2000).

4.8.2 Multicaminhamento

O próprio nome já descreve este efeito: o sinal emitido pelo satélite chega à antena receptora por mais de um caminho. Esses sinais chegam atrasados quando comparados aos sinais que vêm diretamente, pois os caminhos percorridos são mais longos. O efeito é gerado principalmente pela reflexão indesejada do sinal GPS em superfícies consideradas refletoras, como edifícios, rios, veículos e cercas metálicas (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; COLLINS, 1994).

Monico (2000) relata que não existe um modelo representativo do efeito do multicaminhamento, pois ele ocorre em situações totalmente arbitrárias.

Polezel; Souza e Monico (2004) analisaram o efeito do multicaminho e os fatores que influenciam a ocorrência do mesmo, concluindo que nenhum método elimina totalmente este efeito. No entanto, existe a possibilidade de minimização. Entre as observações levantadas, foram analisadas a relação do multicaminho com o ângulo de elevação do satélite; distância perpendicular entre o refletor e a antena; repetibilidade em dias consecutivos; e os erros de multicaminho causados por superfícies refletoras de materiais diferentes. A conclusão foi de que satélites em baixos ângulos de elevação causam maiores erros. Em relação ao multicaminho depender do material do refletor, foi verificado que os materiais com maiores coeficientes de reflexão (ferro) causam erros de multicaminho maiores do que materiais com menores coeficientes de reflexão (madeira). Foi verificado também que o erro do multicaminho é inversamente proporcional à distância perpendicular entre o objeto refletor e antena do receptor, pois quando a placa de ferro foi colocada a 6 metros do receptor, os resíduos foram maiores quando comparados com os do dia em que a placa foi colocada a 12 metros.

4.8.3 Perdas de ciclos

De acordo com Segantine (1999), quando o receptor é ligado, uma fração de ciclos da portadora de fase é observada, sendo iniciado o contador de ciclos inteiros. Durante a contagem, o contador é incrementado de uma unidade, embora a fração de fase varie de 2π a 0. Então, para uma dada época, a fase acumulada observada, $\Delta\phi$, é a soma da fração de fase ϕ e o número de inteiros N . O número inicial de ciclos inteiros N entre o satélite e o receptor é um parâmetro desconhecido. Esta ambigüidade de N continua constante até que ocorra um dos fenômenos abaixo relacionados:

- o um bloqueio temporário de sinais, devido à presença de obstáculos como árvores, edifícios, pontes ou montanhas;
- o ocorrência de sinais fracos devido às más condições ionosféricas, multicaminhamento, deslocamentos bruscos das antenas receptoras ou satélites de baixa elevação;
- o falha no programa do receptor;
- o a informação enviada pelo satélite se apresentar incompleta ou incorreta;

O mau funcionamento dos osciladores dos satélites.

Se um dos fenômenos descritos ocorrer, o contador de inteiros reiniciará a contagem e ocorrerá um *salto* na fase, que é chamado de perda de ciclo (*cycle slips*). Isto só ocorre durante a medida da fase.

A perda de ciclo pode ser interpretada como sendo a variação instantânea da ambigüidade N (ciclos). Quando não ocorre a perda de ciclo, a ambigüidade mantém-se constante por todo o período de observação.

As perdas de ciclos podem ocorrer para um ou para vários satélites. Se ela ocorre para a maioria dos satélites observados, mais sério é o problema de detecção. No caso da aplicação de dados da fase da portadora em modelos matemáticos, torna-se necessário o conhecimento de uma metodologia efetiva para detecção das perdas de ciclos.

Uma perda de ciclo pode ser de apenas um ciclo ou de milhões de ciclos. A perda de ciclo apresenta a característica de que, após sua ocorrência, todas as observações se apresentam alteradas de um mesmo número de inteiros.

4.8.4 Erro do relógio

Há dois tipos de observáveis GPS: pseudodistâncias e fase da onda portadora. As duas são afetadas pelos erros dos relógios do satélite e do receptor, (MONICO, 2000).

Quando um dado receptor se comunica com os satélites do sistema GPS, os relógios se sincronizam. No entanto, esta sincronização não é perfeita devido à diferença de qualidade dos relógios. A seguir, o receptor calcula a distância entre a antena e os satélites por meio do tempo de viagem dessa comunicação, multiplicada pela velocidade da luz. Esse tempo é o tempo real, acrescido de um erro residual.

Assim, os valores das pseudodistâncias calculados serão diferentes, porque os erros individuais dos relógios dos satélites diferem, devido aos erros de efemérides, dos atrasos relacionados à ionosfera e à troposfera e ao multicaminhamento.

4.8.5 Centro de fase da antena

De acordo com Segantine (1999), a função básica da antena é receber os sinais emitidos pelos satélites. Assume-se, no sistema GPS, que as ondas eletromagnéticas geradas pelos satélites percorrem um caminho direto na atmosfera até atingir as antenas dos receptores. Teoricamente, a posição calculada pelo receptor é o centro da antena. Mas daí surge a questão: onde (ou qual) é o centro da antena? Pode-se afirmar que os sinais que chegam até a antena atingem o seu centro eletrônico ou o centro de fase.

Antenas fabricadas por um mesmo fabricante têm, usualmente, o centro de fase alocado num mesmo ponto. Em aplicações que requerem alta precisão, recomenda-se que sejam usadas antenas de um mesmo tipo e modelo, tanto nas estações fixas quanto nas móveis. Além disso, deve-se atentar ao fato de orientá-las sempre nas mesmas direções.

Junqueira (2003), tratou do problema da captura dos sinais vindos dos satélites visíveis da "constelação" GPS e o cancelamento de interferentes por meio de uma rede de antenas adaptativas junto a um receptor GPS objetivando uma melhoria do desempenho do sistema. Verificou que o problema do sinal interferente, intencional ou não, como aqueles relacionados a multipercursos, tem sido muito estudada na literatura. No entanto, soluções utilizando antenas adaptativas nas suas diversas estratégias possíveis, visando à melhoria do desempenho do receptor, são bem menos abordadas. Assim, o autor buscou estabelecer uma ligação mais estreita entre as técnicas mais avançadas de processamento espacial com a aplicação GPS.

4.8.6 SA (*Selective Availability* – *disponibilidade seletiva*)

Devido às medidas de segurança impostas pelo Dod/EUA entre março de 1990 e maio de 2000, havia uma fonte de erro intencional conhecida por SA (*Selective Availability* – *disponibilidade seletiva*) que atuava sobre o código C/A, reduzindo propositalmente a qualidade do posicionamento com receptores GPS para os usuários não autorizados, fazendo com que a acurácia horizontal e vertical obtida no serviço de posicionamento padrão (SPS) fosse degradada, gerando um erro final na ordem de 100 e 156 m, respectivamente. Os valores eram aleatórios e variáveis a cada segundo.

Após a retirada da SA, a acurácia do sistema foi melhorada em torno de dez vezes. Neste mesmo período, o DoD implementou um novo tipo de controle da acurácia para os receptores de uso civil, conhecido como SD (*Selective Denial – proibição seletiva*) numa base regional, realizando alterações nos sinais transmitidos pelos satélites sempre que julgar existir uma ameaça à segurança norte-americana.

Silva; Silva e Freitas. (2000) realizaram um trabalho envolvendo o posicionamento absoluto (navegação) com um receptor GPS geodésico e outro de navegação no Pantanal pós-desligamento da disponibilidade seletiva, analisando a influência da cobertura vegetal e do horário de coleta. O estudo concluiu que o transporte de coordenadas de marcos geodésicos conhecidos para implantação de outros marcos no Pantanal pode ser efetuado com uma excelente precisão numa distância em torno de 50 km.

As análises estatísticas mostraram que não ocorreu variação significativa na coleta de dados entre os períodos da manhã e da tarde, concluindo-se que os horários de coleta não interferiram no posicionamento dos pontos rastreados.

Em diferentes coberturas vegetais, ainda que as médias dos erros tivessem uma grande variação (10 m a 20 m), também não houve significância estatística.

Na área do Pantanal, o posicionamento com GPS de navegação após o desligamento da SA apresentou resultados satisfatórios, comprovando o melhoramento na obtenção de coordenadas com GPS de navegação.

O cálculo do perímetro e da área do imóvel obtido com receptor GPS de navegação ficou acima do erro admitido para fins de cadastramento de imóveis rurais no Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra). Por isso, seu uso para esse tipo de levantamento não é recomendado, a não ser como levantamento expedito.

Para fins de cadastramento de imóveis rurais, recomenda-se a obtenção de coordenadas de posicionamento com GPS geodésico ou topográfico. O primeiro pode ser utilizado no transporte de coordenadas de marcos do IBGE, amarrando-se o levantamento da poligonal ao sistema geodésico brasileiro.

4.8.7 AS (*Anti-Spoofing* - *antifraude*)

A técnica AS (*Anti-spoofing* - *antifraude*) é uma decodificação do código preciso P transmitido pelas portadoras L1 e L2, transformando-o num código secreto denominado código Y, que não é acessível aos usuários civis. Quando AS está ativado, apenas usuários autorizados têm acesso ao código Y. Assim, a finalidade do Anti-spoofing é proteger os receptores de falsos sinais que podem ser transmitidos de rádios inimigos para o falseamento da solução de navegação. Este código continua ativo, mas não interfere nos resultados de precisão de usuários civis, pois está relacionado somente ao código P e Y.

Além das interferências e desvios citados, Angulo Filho; Vettorazzi e Sarries (2002) realizaram um estudo que levava em consideração a interferência da cobertura arbórea e do tempo de permanência na coleta de dados com receptores GPS. Neste estudo eles avaliaram a exatidão de posicionamento planimétrico do receptor GPS Trimble, modelo PRO XL, tendo como padrão de exatidão aquela definida segundo a NBR 13.133, de 1994. O trabalho foi executado em quatro tipos de cobertura vegetal (pastagem, seringueira, eucalipto e pinus), posicionando o equipamento alternadamente sobre seis pontos, marcados ao acaso nas áreas de estudo. O tempo de permanência variava (um, cinco e dez minutos, mas com a mesma taxa de aquisição de dados, de um segundo). Os pesquisadores realizaram a correção diferencial pós-processada dos dados. Os resultados mostraram que é possível separar as exatidões de posicionamento planimétrico, de acordo com a cobertura vegetal, em dois grupos: sem e com cobertura arbórea. Desta forma, foi confirmado que obstáculos de altas densidades (neste caso, o dossel) interferem na recepção dos sinais emitidos pelos satélites GPS. Também foi verificado que, quanto maior o tempo de permanência, melhor a exatidão de posicionamento planimétrico.

4.9 Tipos de equipamentos GPS

É grande a quantidade de receptores disponíveis no mercado, com diferentes preços, configurações e para as mais diversas aplicações. Um usuário que deseja adquirir um receptor GPS e que não tenha conhecimento sobre qual modelo deve comprar precisa consultar um especialista, evitando assim a aquisição do equipamento errado.

Segantine (1999) e Rocha (2000) buscaram classificar os receptores GPS que recebem os sinais do sistema Navstar-GPS em cinco grupos, segundo os objetivos de precisão e investimento. Esta classificação não é rígida: alguns instrumentos podem estar enquadrados em mais de uma classe.

- Navegação;
- Topográfico;
- DGPS de navegação;
- Geodésico;
- Cadastral.

4.9.1 Navegação

Estes aparelhos caracterizam-se por fornecer o posicionamento em tempo real, baseado no código C/A ou P. Eles trabalham com a pseudodistância, obtendo-se precisão com o código C/A da ordem de 30 a 100 m e precisão com o código P da ordem de 3 a 10 metros. Contudo, os aparelhos de código P estão restritos ao uso pelas forças armadas americanas ou usuários autorizados. Estes receptores são geralmente utilizados na navegação marítima, aérea ou terrestre.

Silva (2002) trabalhou com receptores GPS de navegação em uma área pré-selecionada, de forma a fazer o mesmo levantamento empregando os aparelhos Estação total Topcon série 210 modelo GTS 212, receptor GPS Trimble Pró XR, receptor GPS de navegação autônomos, modelos Garmin 12 XL, Garmin II, Garmin III plus, Garmin 45 XL e Garmin eTrex Summit, visando ao esclarecimento da precisão dos mesmos quanto à coleta de atributos para as feições linhas, polígonos e pontos, na forma de perímetro, poligonal fechada e aferição de demarcação sobre um marco. Sendo constatado, para feições linhas e polígonos, que os receptores de navegação mostraram-se pouco eficientes ao ser utilizados com escalas maiores. Os erros foram aceitáveis para escalas menores onde o nível de generalização absorve o erro gerado, acima de 22.000 m² para uma área total de 558.447,24 m² (4,05%) para o melhor resultado obtido, e chegando a fornecer um perímetro de até 33 metros superior ao real, que é de 3.806,49 m (0,87%). Os melhores resultados encontrados ocorreram no

posicionamento por ponto, onde os erros permaneceram abaixo dos limites indicados nos manuais, com respostas mais coerentes à tecnologia do receptor e deslocamentos aceitáveis para trabalhos desenvolvidos em escalas padrões superiores a 1:5000. Não obstante, pôde verificar neste trabalho que este tipo de receptor demonstrou ser pouco adequado para elaborar levantamentos que exigem maior precisão e acurácia.

Luz; Correia e Pereira. (1996) realizaram uma pesquisa dirigida principalmente aos usuários de receptores GPS de navegação amadora em trabalhos de posicionamento. Esta pesquisa apresentou alguns resultados de testes realizados com tais equipamentos, consistindo no registro/anotação dos dados fornecidos pelo receptor durante períodos de vários minutos para um mesmo ponto. Comprovou-se a grande variação das coordenadas fornecidas pelo equipamento. Ao mesmo tempo, por meio de análises extremamente simplificadas, obteve-se precisões muito melhores que a mencionada acima. A pesquisa descreveu os procedimentos e cuidados necessários para a obtenção de tais resultados tanto nas operações de campo como no tratamento das observações.

Camargo; Florentino e Redivo (2004) avaliaram a qualidade do posicionamento relativo cinemático a partir de dados coletados com o receptor de navegação. A avaliação da qualidade do posicionamento consistiu na análise da acurácia e precisão obtida da comparação dos resultados dos levantamentos realizados simultaneamente com os receptores Ashtech Reliance e Garmin GPS12XL. Os resultados mostram a potencialidade do receptor de navegação em posicionamento relativo cinemático pós-processado. Levando-se em consideração que, juntamente com o receptor GPS de navegação, fez-se necessária a utilização dos programas ASYNC, GAR2RNX e de um notebook, tornando-se assim possível a realização de várias atividades e aplicações em função do resultado pretendido, utilizando o posicionamento relativo cinemático. As aplicações vão desde trabalhos com a agricultura de precisão até levantamentos cadastrais, com um programa apropriado à coleta de atributos para SIG. Os resultados obtidos nos experimentos realizados são promissores.

Tragueta et al. (2007) partiram da premissa de que receptores de mesma categoria e modelo apresentam os mesmos valores, se utilizados ao mesmo tempo e nas mesmas condições, mesmo se tratando de receptores GPS de navegação, que fornecem valores de coordenadas com baixa precisão quando comparados às homólogas obtidas por receptores topográficos ou geodésicos. Utilizando seis receptores de navegação nas condições acima,

foram obtidas leituras de coordenadas UTM no mesmo instante, em vértices de uma área experimental de aproximadamente um hectare. Foram feitas dez repetições. Os dados foram processados pelo software Datageosis versão 2.32. Os resultados obtidos permitiram constatar que as leituras apresentaram diferenças que resultaram em variações de área superior a 10%, não permitindo, dessa forma, a confiabilidade total em um equipamento com base no conhecimento de um idêntico.

4.9.2 Topográfico

Estes receptores trabalham com a fase L1 e código C/A, com pós-processamento dos dados. Contudo, possuem evoluções tecnológicas no próprio aparelho e nos softwares de pós-processamento, além de acessórios de fábrica, como tripés e bastões com níveis de calagem, que permitem melhora de precisão da ordem de até 1 cm.

Rodrigues (2006) realizou um trabalho com receptor GPS topográfico com o objetivo de constatar a acurácia de carta de relevo obtida pelo GPS, tendo como testemunha cordões de contorno precisamente locados por meio de método geométrico, e comparar diferenças de área segundo superfície em plano e inclinado, calculado segundo métodos eletrônico e manual, e a possível influência do relevo na estimativa de produção de cana-de-açúcar.

Os resultados mostraram que os dados coletados pelo receptor GPS topográfico Pró XR Trimble permitiram a geração de planta planialtimétrica com equidistância vertical de um metro. A precisão foi compatível com o relevo real de campo, podendo ser sugerida a utilização do método como sustentação ao planejamento de projetos agrícolas. Foi possível constatar também que as metodologias adotadas para cálculo de área, considerando plano inclinado (X Y Z) nos métodos manual e eletrônico, proporcionaram os mesmos resultados: ambos apresentaram diferença de 0,27% com relação à respectiva projeção horizontal, o que não explica a diferença de produção estimada e real, geralmente ao redor de 5%, segundo a Associação dos Plantadores de Cana do Médio Tietê.

4.9.3 DGPS de navegação

Estes receptores são semelhantes aos de navegação. A diferença é que possuem um link de rádio, utilizado para receber as correções diferenciais provenientes de uma estação-base. Por meio dessas correções em tempo real, consegue-se eliminar o maior erro do GPS, o AS (*Anti-Spoofing – antifraude*), obtendo-se precisões da ordem de 1 a 3m.

Existe também o DGPS pós-processado, que dispensa o link de rádio, realizando o processamento por meio de software.

Cremonini (2002) avaliou a acurácia de mapas altimétricos obtidos por receptores GPS. A execução ocorreu em três etapas: a primeira, avaliando a acurácia de posicionamento vertical de dois receptores GPS, um com correção de sinal por pós-processamento e outro através de sinal via satélite em tempo real. A segunda etapa avaliou a acurácia de mapas altimétricos gerados com dados de simulações de colheitas de cereais, comparando-os com levantamento realizado por método convencional. A terceira etapa avaliou a acurácia de mapas altimétricos obtidos por sistema comercial de monitoramento de produção, em duas colheitas seguidas nesta mesma área. A correção pós-processada do sinal de GPS se mostrou mais acurada que a correção via satélite e os mapas altimétricos obtidos nas simulações de colheita e nas colheitas reais oferecem qualidade mínima necessária para a obtenção de informação de altimetria para regiões de relevo mais acidentado. No entanto, o método não é aplicável para regiões de relevos planos. A junção dos dados de diferentes passadas, tanto nas simulações quanto nas colheitas reais, melhorou a qualidade da informação de altimetria obtida por DGPS.

Soares (2005) explorou a modelagem matemática como alternativa para o aumento da área de cobertura de estações de referência DGPS para o Estado do Paraná, visto que a utilização DGPS exige a instalação de estações de referência, a cargo dos usuários, porque não existe rede que disponibilize as correções diferenciais permanentemente. Foram desenvolvidos programas computacionais e quatro modelos foram testados: um de primeiro grau, dois de segundo grau e um de terceiro grau. Os testes dos modelos matemáticos foram realizados com dados de quinze estações de referência do Estado de Baden-Württemberg, no sul da Alemanha, disponibilizados pela Sapos (rede alemã de estações de referência). O modelo do primeiro grau foi o que mostrou melhor desempenho para as estações de referência

disponíveis. Os testes estatísticos apontam que, para este modelo, a modelagem é válida. Para os modelos de grau superior a 1, em vários testes, os resultados não foram satisfatórios, mas indicam que, se as estações de referência estiverem dispostas mais distantes uma da outra, eles podem vir a ser eficientes.

4.9.4 Geodésico

São os receptores mais completos e, conseqüentemente, os mais caros. Possuem dupla frequência, recebendo a L1 (e código C/A) e a L2 (código C/A ou P). Utilizando-se esses equipamentos, com seus sofisticados recursos eletrônicos, consegue-se precisões na ordem de milímetros, com a metade do tempo que se levaria com um receptor GPS topográfico. São utilizados em trabalhos geodésicos de alta precisão.

Em estudo conduzido por Rodrigues (2003), foram realizados testes de exatidão com três receptores: GPS Geodésico Trimble, modelo 4600 LS, 8 canais, portadora L₁ e código C/A; GPS Pathfinder Trimble, modelo PRO XR, portadora L1 e código C/A; e GPS de navegação Garmin, modelo 12 XL, com 12 canais de navegação, utilizando como testemunha a estação total marca NIKON, modelo DTM 300. O objetivo foi comparar poligonais implantadas e verificar se as distorções encontradas estavam dentro das tolerâncias aceitáveis pela NBR 13.133 para levantamentos planialtimétricos em áreas de irrigação e drenagem. Analisando os resultados obtidos, concluiu-se que o GPS Geodésico Trimble 4600 LS pode ser utilizado em planimetria e altimetria de áreas, podendo ser realizados projetos de irrigação, drenagem e engenharia. O GPS Pathfinder Trimble PRO XR pode ser utilizado em planimetria de áreas e na altimetria, para obtenção de anteprojetos. O receptor GPS de navegação Garmin 12 XL pode ser utilizado para elaboração de croqui de áreas.

Coelho (2003) comparou dados de altimetria com três equipamentos: a Estação Total marca SOKKIA, modelo SET 3 E, GPS geodésico e GPS de navegação, avaliando a possibilidade do uso dos equipamentos rastreadores GPS para sistematização de terras. Foi utilizado o método topográfico convencional, com a utilização da Estação Total, e considerado como padrão de exatidão mínimo aquele definido segundo a NBR 13.133 de 1994. Foram calculados os volumes de terras para comparação dos resultados. A partir da metodologia utilizada e dos resultados obtidos, foi possível verificar a viabilidade de

utilização do GPS geodésico para levantamentos altimétricos. No entanto, o processo é mais lento e gera mais custo, se comparado ao da Estação Total. Já a utilização do GPS de navegação para levantamento altimétrico mostrou-se inviável, devido a distorções da superfície real, impossibilitando uma interpretação próxima da real superfície levantada.

Silveira (2004) avaliou, comparou e analisou diferentes aparelhos de GPS, levando-se em conta as categorias, desempenhos com respeito aos índices de acurácia e precisão, além dos custos dos aparelhos, em função dos índices de desempenho nos diversos modos de operação. Em que pese o fato do GPS por satélites ter se tornado padrão no segmento da agricultura, o pesquisador baseou-se na significativa diferença de custo, acurácia e precisão entre os receptores GPS das categorias de navegação e de mapeamento e a imediatamente superior, no intuito de aliar o aumento do número de usuários no segmento agrícola com a redução do custo dos sistemas de posicionamento e a necessidade de se conhecer a real acurácia e precisão dos receptores GPS em diversos modos de operação.

Entre as conclusões, é possível destacar que o autor procurou definir índices de desempenho baseados na acurácia e na precisão, em função do custo, sendo importante para comparação dos aparelhos avaliados. Seu trabalho apresentou uma metodologia de avaliação de aparelhos GPS e disponibilizou características de desempenho de alguns aparelhos quanto à acurácia e precisão que podem auxiliar na escolha adequada, em função de aplicações específicas.

4.9.5 Cadastral

São aparelhos que trabalham com o código C/A e com a fase da portadora L1 (o código C/A é modulado sobre ela), por meio da resolução da ambigüidade de cada satélite. O pós-processamento é executado em escritório ou no campo, com a utilização de um software específico.

Esses equipamentos são muito utilizados na coleta de dados GIS/SIG. A grande diferença é a capacidade de aquisição e armazenamento de dados alfanuméricos associados às feições espaciais levantadas (ponto, linha e área), permitindo realizar cadastros

para SIG. Dependendo do método e do aparelho utilizado, conseguem-se precisões de dez centímetros a um metro.

Há necessidade de dois receptores ou de uma estação-base que forneça os arquivos pela internet.

4.10 Métodos de posicionamento com GPS

Sá (2001); Bernardi e Landim (2002) definem posicionamento como a posição de pontos por meio de coordenadas associadas a um referencial específico. A opção do referencial é função da técnica pela qual se determinam as coordenadas e dos objetivos do posicionamento. No caso do posicionamento por satélite, há dois referenciais: o cartesiano geocêntrico (CTS), no qual se determinam coordenadas cartesianas de pontos $P(x, y, z)$ a partir das coordenadas dos satélites $S(x, y, z)$; e o elipsoidal, no qual se transformam as coordenadas cartesianas em geodésicas $P(\varphi, \lambda, h)$ para o uso cotidiano. Em suma, ambos têm como princípio a obtenção da medida da distância entre o satélite e o receptor.

Ainda, segundo esses autores, o método de posicionamento pode ser classificado como:

- absoluto: quando as coordenadas de um ponto estão associadas diretamente a um referencial geocêntrico;
- relativo: quando as coordenadas de um ponto são desconhecidas com relação a um ponto de coordenadas conhecidas;
- em forma de rede: quando as coordenadas de um conjunto de pontos são determinadas utilizando-se mais de dois receptores.

Um complemento a esta classificação refere-se ao fato de que esses pontos podem estar imóveis, caracterizando o posicionamento estático, ou em movimento, caracterizando o posicionamento cinemático.

O posicionamento através do GPS fundamenta-se principalmente na medição do código ou da fase da portadora. As técnicas que usam o código são mais simples, mas de baixa precisão; as técnicas que usam a portadora são mais complexas, porém de alta

precisão. A escolha depende da precisão desejada, das condições logísticas e do custo. A Tabela 5 apresenta as técnicas mais comuns que usam código C/A (SÁ 2001).

Tabela 5. Técnicas de posicionamento através do código C/A.

Método	Conceitos básicos	Nº. mín. Recep.	Tempo de observação	Precisão	Comentário
Absoluto	Requer 4 satélites			100 m	É mais
Estático ou	posicionamento	1	1-10 s	(horizontal)	simples e
cinemático	instantâneo			200 m	barato
				(vertical)	
Relativo	Requer 4 satélites			2-3 m	É simples e
Estático ou	Usa correções	2	1-50 s	(horizontal e	barato
cinemático	determinadas na			vertical)	
	base				

Fonte: Sá (2001)

Em seu trabalho, Rodrigues (2006) teve o intuito de suprir as necessidades de georreferenciamento de projetos científicos e trabalhos topográficos em todos os campi da Universidade Estadual Paulista (UNESP), tornando possível o acesso a vértices confiáveis para levantamentos com GPS. Foi implantada a Rede GPS Unesp com nove vértices, integrando-a com a rede GPS USP e ITESP distribuídos pelo Estado de São Paulo, com o objetivo de atender às necessidades da Unesp e colaborar com o adensamento da Rede GPS do Estado de São Paulo. No levantamento de campo, utilizou-se para o rastreamento dos vértices o equipamento Receptor GPS Topcon Hiper GGD e a rede RBMC; no processamento dos dados, o software Topcon Tools versão 6.04. Os resultados obtidos conduziram a implantação de uma rede consistente e de acurácia melhor ou igual a 1 ppm pela rede RBMC, atendendo assim às especificações do IBGE.

Tabela 6. Técnicas de posicionamento através da portadora.

Método	Princípios básicos	Nº. mín. recep.	Tempo de observação	Precisão	Comentário
Estático	Rastreio simultâneo (base e móvel)	2	1 hora	1 cm + (1-10) ppm	Complexidade variável
Cinemático (fase da portadora)	O receptor móvel é posicionado em relação à base durante o movimento	2	-	0,1-1 m	Requer rastreio contínuo durante todo o movimento
Semi cinemático (Stop & Go)	O receptor móvel é posicionado em relação à base com uma pequena parada nos pontos	2	Cerca de 1 minuto por ponto	Alguns centímetros	Limitado a bases com cerca de 20 km, rastreio contínuo
Pseudo cinemático	O receptor móvel ocupa duas vezes (com intervalos de uma hora) para explorar a variação da geometria dos satélites	2	De 1-3 minutos	Algumas ppm	Ocupação dupla, problemas logísticos
Estático rápido	Usa técnicas sofisticadas e informações extras para resolver a ambigüidade	2	De 3-5 minutos	Alguns centímetros	Para bases de 20 km, geralmente requer medidas extras

Fonte: Sá (2001)

Silva et al. (2004) realizaram um estudo para descobrir se a determinação das coordenadas de um ponto por meio de observação GPS depende da configuração da "constelação" dos satélites GPS, visto que ela varia com o tempo, o que implica que a determinação das coordenadas também varia. Esta configuração é uma variável na precisão com que as coordenadas de um ponto são estimadas. O trabalho foi feito com um receptor GPS modelo 4600 LS Surveyor da Trimble Navigation Limited, utilizando o método

absoluto. As observações foram coletadas e as coordenadas resultantes, comparadas. A variação das coordenadas UTM no sentido Leste foi de 12,45 m; no sentido Norte, 8,92 m.

O posicionamento foi absoluto, o que os levou a afirmar que, mesmo observando-se em torno de uma hora, ao utilizar este tipo de posicionamento as coordenadas de um dia não são iguais ao do outro dia. Isto é um importante alerta para aqueles que usam o posicionamento absoluto para determinação de coordenadas em levantamentos topográfico.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Material

Para o desenvolvimento do presente trabalho foi utilizado os seguintes materiais:

- Receptores GPS de navegação modelo Geko 201 - Garmin, 6 unidades;
- Receptor GPS geodésico HIPER LITE – TOPCON;
- AMD Duron XP, com 496 MB de memória RAM, contendo os programas necessários para o desenvolvimento dos dados;
- Software DATAGEOSIS 2.32, versão Profissional;
- Software SAEG (Sistema de Análise Estatística e Genética) desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFMG) – Minas Gerais.

5.2 Métodos

Para avaliação do desempenho dos equipamentos foram tomadas leituras em área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP/Botucatu.

Com a finalidade de obter as coordenadas, foi levantada uma poligonal de 14 pontos materializados e identificados por piquetes de madeira.

Cada receptor foi configurado segundo três elipsóides de referência WGS 84; SAD 69 e HAYFORD (Córrego Alegre). Considerando cada configuração, foram tomadas dez leituras, em coordenadas plano-retangulares, sistema UTM, em cada ponto, preferencialmente em dias diferentes. Os receptores foram posicionados ao redor de cada ponto, mantendo a mínima distância possível do mesmo, e foram ligados ao mesmo tempo. A leitura feita logo após a estabilização dos sinais.

A razão de se utilizar seis unidades deste tipo de receptor reside na pretensão de também se avaliar as possíveis diferenças de leitura em equipamentos de mesma marca, modelo e data de fabricação.

Da mesma maneira que os receptores de navegação com o receptor geodésico, foram tomadas as coordenadas UTM dos pontos da poligonal. A base coletou coordenadas de referência por 2 horas, sendo a seguir utilizado o rover sobre os pontos.

O tempo de residência em cada ponto foi definido de acordo com os critérios adotados para georreferenciamento de áreas, sendo adotado o procedimento de pós-processamento.

Os dados obtidos com este receptor foram considerados testemunha do posicionamento geodésico do polígono, bem como do perímetro, ângulos e valor da área.

Os dados obtidos a partir dos diferentes equipamentos (receptores de navegação, receptor geodésico) foram processados pelo sistema topográfico Datageosis, obedecendo-se a característica dos dados básicos no momento de sua inserção no sistema.

Considerando os receptores de navegação, para cada polígono obtido por cada um dos receptores, em cada uma das condições impostas foram geradas camadas independentes, que permitiram a visualização de cada polígono, de um determinado conjunto de polígonos ou de todos os polígonos ao mesmo tempo, permitindo a obtenção das diferenças de traçado e posicionamento entre eles.

Foram avaliadas as diferenças de área e perímetro entre cada polígono obtido pelos receptores de navegação com a área testemunha obtida com o receptor geodésico.

Os deslocamentos dos polígonos obtidos com base nos dados dos receptores de navegação, em relação ao correto posicionamento geodésico, foram definidos

considerando como testemunha o posicionamento do polígono obtido com base nos dados do receptor geodésico.

De posse das áreas e perímetros formados pelos seis receptores GPS de navegação e segundo as três configurações utilizadas (SAD 69, WGS 84 e Córrego Alegre) e de posse do valor da área e perímetro da testemunha, utilizou-se intervalos de confiança para verificar se os mesmos estavam contidos nos valores obtidos pelo receptor GPS geodésico.

A construção dos intervalos de confiança permite julgar qual a possível magnitude do erro que está sendo cometido, sendo baseado na distribuição amostral do estimador pontual (BUSSAD; MORETTIN, 2003).

Seja “x” uma variável aleatória com distribuição normal de média μ e variância σ^2 . Com base em uma amostra casual simples de “n” elementos dessa população, obtêm-se as estimativas $\bar{x}$ e s^2 , de μ e δ^2 , respectivamente.

A expressão

$$\bar{x} - t \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t \frac{s}{\sqrt{n}}$$

é o intervalo de confiança para a média μ da população. Nessa expressão, t é um valor encontrado em tabela específica com $n - 1$ graus de liberdade e ao nível de significância α .

Para construção das tabelas que serão discutidas a seguir foram calculadas também:

Média Aritmética

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

onde x_i representa a i-ésima observação da amostra considerada e n é o número total de observações.

Mediana: se a amostra é constituída por um número ímpar de dados, a mediana é o valor que fica no centro dos dados ordenados.

Se a amostra é constituída por um número par de dados, a mediana é a média aritmética dos dois valores que ficam na posição central dos dados ordenados.

Desvio Padrão: mede a variação das observações em torno da média. É calculado pela expressão:

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Limite inferior: é a média aritmética subtraída 2,26 vezes o erro padrão. A expressão é:

$$LI = \bar{x} - 2,26 \cdot stderror$$

Limite superior: é a média aritmética somada 2,26 vezes o erro padrão.

A expressão é:

$$LS = \bar{x} + 2,26 \cdot stderror$$

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desenvolvimento do projeto conforme proposto, possibilitou a tomada de valores de coordenadas UTM (x e y) com base em três configurações de elipsóides em receptor GPS de navegação tendo sido obtido em campo dez leituras para cada configuração nos quatorze pontos do polígono. Os valores de coordenadas obtidos apresentaram variações no seu posicionamento, conforme pode ser observado na Figura 13.

Nesta figura, o polígono na cor laranja representa a área obtida segundo o receptor geodésico, utilizado como testemunha. As leituras obtidas segundo os receptores de navegação, são apresentadas na forma de pontos sendo vermelho a configuração WGS 84; azul SAD 69 e verde Córrego Alegre. O traçado dos polígonos nessas cores teve como objetivo apenas a visualização do entorno da área.

À primeira vista constata-se o deslocamento dos polígonos obtidos segundo os receptores de navegação e a testemunha, bem como entre as configurações de elipsóides. Também se constata que para cada configuração de elipsóide, o posicionamento de cada ponto do polígono sofreu variações de acordo com cada medição, o que está representado pela nuvem de pontos de uma dada cor.

Os deslocamentos dos pontos geraram diferentes posicionamentos nos alinhamentos que compõe o polígono, nas três configurações consideradas.

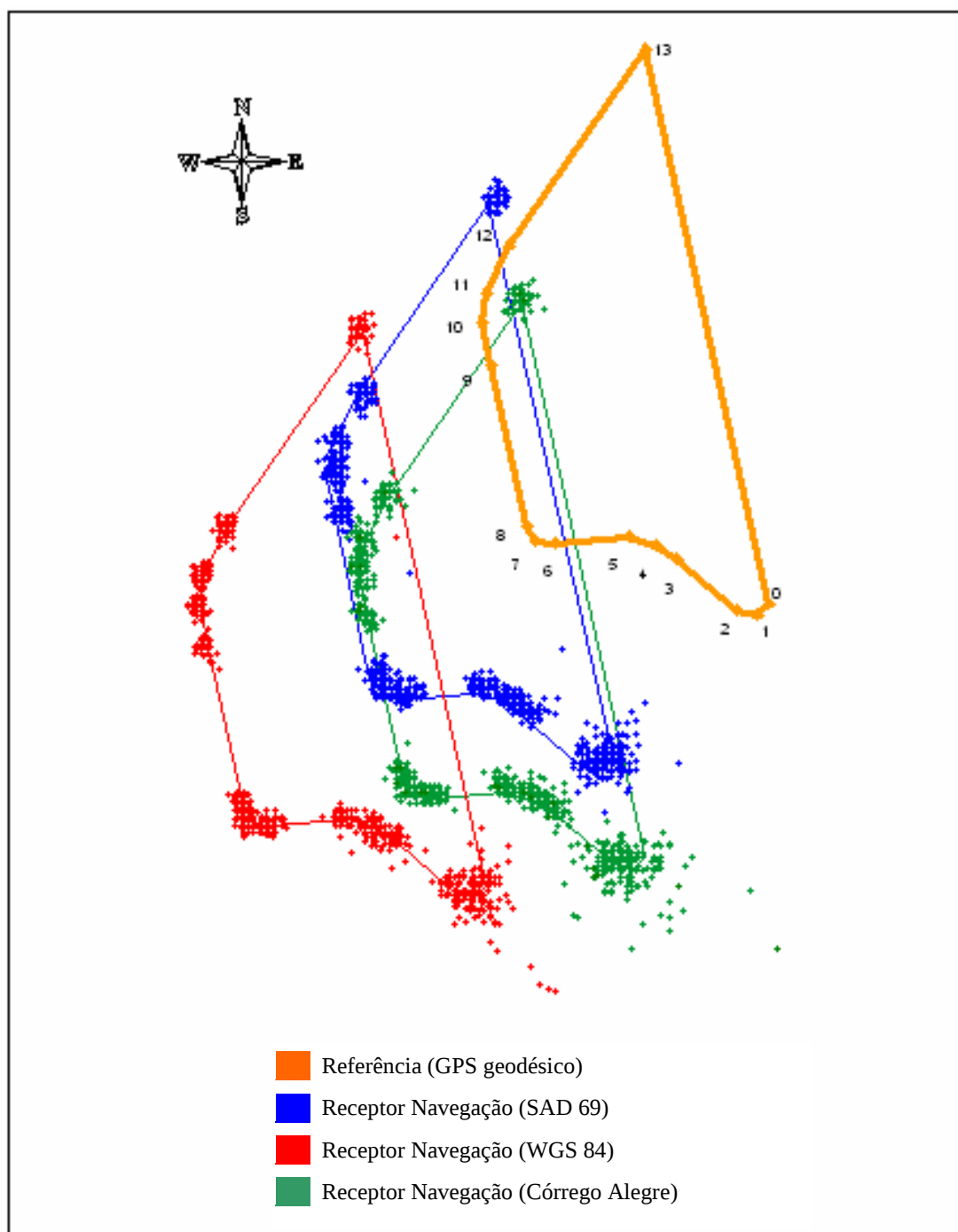


Figura 13. Deslocamento dos pontos do polígono de acordo com o elipsóide considerado.

A Tabela 7 apresenta os menores e maiores comprimentos e azimutes de cada alinhamento segundo a configuração SAD 69, bem como os respectivos valores da

testemunha. Observa-se nesta tabela que o alinhamento 0 – 1 se apresenta com distância horizontal de 21,93 m, o que representa mais de quatro vezes a distância real (5,18 m), o que não ocorre nas demais, embora apresentem diferenças nítidas com a testemunha. Essa diferença se deve ao fato dos pontos 0 e 1, propositalmente terem sido posicionados embaixo de árvore frondosa.

Tabela 7. Menor e maior comprimentos e azimutes de cada alinhamento segundo a configuração SAD 69.

Alin.	DH da Test.		DH – SAD 69 (Navegação)			
			< DH	Azimute	> DH	Azimute
0 – 1	5,18	223°59'02"	3,00	180°	21,93	223°09'09"
1 – 2	6,81	280°14'14"	2,00	270°	16,12	240°15'18"
2 – 3	25,31	310°28'51"	10,44	286°41'57"	35,23	304°35'32"
3 – 4	8,24	303°40'15"	1,00	270°	20,25	290°13'29"
4 – 5	9,48	286°25'37"	4,00	270°	22,47	302°16'32"
5 – 6	23,45	264°39'58"	13,93	248°57'45"	36,22	276°20'25"
6 – 7	6,99	278°03'38"	1,00	270°	18,03	273°10'47"
7 – 8	5,95	330°48'18"	1,00	270°	15,62	320°11'40"
8 – 9	53,56	347°32'48"	39,56	343°51'20"	66,22	345°07'28"
9 – 10	13,61	349°50'45"	2,00	0°	27,89	345°27'56"
10 – 11	10,00	5°34'05"	1,00	0°	22,02	2°36'09"
11 – 12	17,17	25°49'09"	6,71	63°26'06"	26,08	32°28'16"
12 – 13	77,49	34°38'59"	67,20	36°31'44"	88,32	30°37'48"
13 – 0	184,42	167°26'19"	166,32	162°52'19"	203,59	167°48'25"

A interferência da cobertura arbórea foi constatada por Angulo Filho et al. (2002) na realização de um estudo onde um dos objetivos era o de verificar os efeitos que obstáculos de altas densidades poderiam provocar na recepção dos sinais emitidos pelos

satélites GPS. Nesse trabalho utilizaram receptor GPS Trimble, modelo PRO XL em quatro tipos de cobertura vegetal (pastagem, seringueira, eucalipto e pinus), confirmando a hipótese.

O exame da Figura 13 permite confirmar essa constatação, pela grande dispersão dos pontos nesse local.

Ainda na Tabela 7, é possível constatar que o alinhamento 10 – 11 apresenta no menor comprimento (1,00 m) do receptor GPS de navegação variação dez vezes menor em relação ao valor da testemunha (10,00 m), podendo ser explicado a dispersão das leituras nestes pontos pelo fato de estarem localizados, propositalmente, próximo a eucaliptos.

Em locais onde não haviam obstruções, como exemplo os pontos 12 e 13, os alinhamentos gerados pelos receptores de navegação, apresentaram menores variações em relação à testemunha (menor DH = 67,20 m; maior DH = 88,32 m; testemunha = 77,49 m). Embora com variação menor do que a encontrada para os alinhamentos 0 – 1 e 10 – 11, há que se considerar que as variações ocorridas nos demais alinhamentos são comprometedores para o correto posicionamento da área.

Observando a Tabela 7, chama a atenção azimutes com valores precisos em alguns alinhamentos (0° , 180° e 270°). Ao trabalhar com o software Datageosis utilizando as ferramentas disponíveis para o cálculo das distâncias horizontais e azimutes foi possível constatar que o conjunto de pontos se distanciavam formando entre si triângulos retângulos, pois estes receptores GPS de navegação fornecem precisão métrica. Desta forma, quando os valores estavam contidos ao longo dos catetos encontravam-se valores precisos para os azimutes. Já, quando estes encontravam-se ao longo da hipotenusa, os valores chegavam a ter minutos e segundos (por exemplo, $286^\circ 41' 57''$; $36^\circ 31' 44''$). É possível verificar na tabela que todos os valores exatos encontrados para menor comprimento, apresentam azimutes também exatos.

Da mesma forma que efetuado para os dados dos receptores considerando a configuração SAD 69, para a configuração WGS 84 foram calculados os menores e maiores comprimentos e azimutes de cada alinhamento com os respectivos valores da testemunha, conforme apresentado na Tabela 8. Na Figura 13 este polígono é representado pela cor vermelha.

Observa-se nesta tabela que, apesar do alinhamento 0 – 1 continuar apresentando variações nítidas, o alinhamento 1 – 2, no menor comprimento apresenta

variação de, aproximadamente, sete vezes (1,00 m) e no maior comprimento de, aproximadamente, três vezes e meia (23,85 m) quando comparadas com a distância real (6,81 m), sendo justificada pelo fato dos pontos 1 e 2, também terem sido posicionados, propositalmente, embaixo de árvore frondosa.

No alinhamento 10 – 11 chama a atenção o menor comprimento (1,00 m) quando comparado com a distância real (10,00 m), ou seja, dez vezes menor. Esta variação ocorre também por estes pontos estarem posicionados, propositalmente, próximos a dossel.

Tabela 8. Menor e maior comprimentos e azimutes de cada alinhamento segundo a configuração WGS 84.

Alin.	DH da Test.		DH – WGS 84 (Navegação)			
			< DH	Azimute	> DH	Azimute
0 – 1	5,18	223°59'02"	1,00	270°	17,26	280°00'29"
1 – 2	6,81	280°14'14"	1,00	270°	23,85	303°01'26"
2 – 3	25,31	310°28'51"	10,20	348°41'24"	37,54	311°45'37"
3 – 4	8,24	303°40'15"	2,00	270	25,30	288°26'06"
4 – 5	9,48	286°25'37"	1,41	315°	19,85	319°05'08"
5 – 6	23,45	264°39'58"	11,70	250°01'01"	32,25	277°07'30"
6 – 7	6,99	278°03'38"	1,00	270°	15,81	288°26'06"
7 – 8	5,95	330°48'18"	1,00	270°	15,62	320°11'40"
8 – 9	53,56	347°32'48"	40,45	351°28'09"	64,03	345°31'47"
9 – 10	13,61	349°50'45"	5,00	323°07'48"	23,35	350°08'03"
10 – 11	10,00	5°34'05"	1,00	0°	20,40	11°18'36"
11 – 12	17,17	25°49'09"	6,40	38°39'35"	26	22°37'12"
12 – 13	77,49	34°38'59"	68,12	40°14'11"	89,59	33°09'29"
13 – 0	184,42	167°26'19"	162,39	168°16'30"	202,83	167°28'16"

Os demais alinhamentos mesmo não apresentando diferenças tão expressivas como as citadas retratam a baixa precisão e acurácia de receptores GPS de navegação mostrando a necessidade do usuário conhecer suas limitações no momento de utilizá-lo.

O alinhamento que apresenta as menores variações, na Tabela 8, em relação ao valor da testemunha é o alinhamento 13 – 0 (menor DH = 162,39 m; maior DH = 202,82 m e DH da testemunha = 184,42 m).

Ainda na Tabela 8, é possível verificar que as direções de ambos os comprimentos calculados, se aproximam dos valores da testemunha. No alinhamento 6 – 7, no menor comprimento, o valor do azimute é 270°; no maior comprimento, 288°26'06" e da testemunha, 278°03'38". No alinhamento 8 – 9, no menor comprimento o valor do azimute é de 351°28'09"; no maior comprimento, 345°31'47" e da testemunha é de 347°32'48".

O alinhamento que mostra as maiores diferenças de azimute, na Tabela 8, é o alinhamento 0 – 1 (270°; 280°00'29") e da testemunha 223°59'02".

A Tabela 9 apresenta os menores e maiores comprimentos e azimutes de cada alinhamento segundo a configuração Córrego Alegre, sendo representada pelo polígono verde, na Figura 13. Nesta tabela, é possível constatar que em dois alinhamentos, 6 – 7 e 7 – 8, ocorreu do maior comprimento ter sido igual a zero. Isso porque vários pontos encontravam-se sobrepostos e por isso não foram ignorados.

Também observando esta tabela, seis alinhamentos (0 – 1; 1 – 2; 3 – 4; 4 – 5; 9 – 10 e 10 – 11) apresentaram como menor comprimento o valor igual a um metro. Sendo que o alinhamento 9 -10 apresentou a maior variação quando comparado ao valor real (13,61 m), cerca de quatorze vezes.

O alinhamento com as menores variações em relação à testemunha foi o 13 – 0 (menor DH = 170,04 m; maior DH = 200,24 m; DH da testemunha = 184,42 m).

Na Tabela 9, chama a atenção os alinhamentos 6 – 7; 7 – 8 e 9 – 10 por apresentarem azimutes, nos menores comprimentos, igual a 0°, sendo que a testemunha possui direção de 278°03'38"; 330°48'18" e 349°50'45", respectivamente, retratando assim, que tanto as distâncias como os azimutes foram provenientes de coordenadas com variações em relação à testemunha.

Tabela 9. Menor e maior comprimentos e azimutes de cada alinhamento segundo a configuração Córrego Alegre.

Alin.	DH da Test.		DH – Córrego Alegre (Navegação)			
			< DH	Azimute	> DH	Azimute
0 – 1	5,18	223°59'02"	1,00	270°	27,59	223°31'52"
1 – 2	6,81	280°14'14"	1,00	270°	22,2	277°45'55"
2 – 3	25,31	310°28'51"	9,22	319°23'55"	35,36	315°
3 – 4	8,24	303°40'15"	1,00	270°	20,81	324°46'57"
4 – 5	9,48	286°25'37"	1,00	270°	19,21	308°39'35"
5 – 6	23,45	264°39'58"	14,00	270°	33,06	273°28'06"
6 – 7	6,99	278°03'38"	0,00	0°	20,88	286°41'57"
7 – 8	5,95	330°48'18"	0,00	0°	17,20	324°27'44"
8 – 9	53,56	347°32'48"	42,95	347°54'19"	66,94	346°10'17"
9 – 10	13,61	349°50'45"	1,00	0°	26,31	351°15'14"
10 – 11	10,00	5°34'05"	1,00	0°	24,02	2°23'09"
11 – 12	17,17	25°49'09"	3,16	71°33'54"	31,95	20°08'11"
12 – 13	77,49	34°38'59"	63,25	34°41'43"	93,19	33°10'43"
13 – 0	184,42	167°26'19"	170,04	169°09'10"	200,24	168°11'06"

Considerando que as Tabelas 7, 8 e 9 apresentam os menores e maiores comprimentos e azimutes de cada alinhamento segundo as configurações SAD 69, WGS 84 e Córrego Alegre, foi possível verificar que seus respectivos valores possuem características comuns; variações nos alinhamentos semelhantes. No entanto, se reportando à Figura 13, fica claro o deslocamento que ocorreu para cada configuração utilizada, o que será discutido a seguir.

A Tabela 10 apresenta os mínimos e máximos afastamentos dos pontos lidos segundo a configuração SAD 69 em relação à testemunha, o receptor GPS geodésico. Nesta tabela, é possível verificar que o menor afastamento ocorreu no ponto 0, igual a 57,41 m

e o maior afastamento no ponto 2 (73,74 m). Os pontos lidos segundo a configuração SAD 69 distanciam-se, em média, no menor afastamento, 62,92 metros na direção 225° 2' 16" e no maior afastamento, 72,06 m na direção 224° 47' 9" em relação aos valores reais.

De acordo com a Figura 13, o polígono formado pelas repetidas leituras realizadas com os seis receptores GPS de navegação, configurados segundo elipsóide SAD 69, teve um deslocamento no sentido Sudoeste.

Tabela 10. Mínimos e máximos afastamentos dos pontos lidos segundo a configuração SAD 69 em relação ao posicionamento real de cada ponto.

Ponto	Alinhamento				
	Testemunha - Navegação	< DH	Azimute	> DH	Azimute
0	0 – 0	57,41	228°17'25"	69,35	225°58'11"
1	1 – 1	64,87	224°14'39"	73,35	225°26'11"
2	2 – 2	63,10	224°55'23"	73,74	223°17'08"
3	3 – 3	64,67	223°14'45"	71,01	225°06'51"
4	4 – 4	64,46	223°35'54"	71,51	224°52'11"
5	5 – 5	62,75	223°42'31"	71,23	226°08'15"
6	6 – 6	62,38	223°35'26"	73,00	223°14'26"
7	7 – 7	61,00	226°16'55"	71,68	227°47'15"
8	8 – 8	61,93	226°51'29"	69,73	227°13'54"
9	9 – 9	64,57	223°44'19"	72,75	218°51'24"
10	10 – 10	64,58	223°14'13"	72,35	226°13'35"
11	11 – 11	63,12	227°03'39"	72,41	228°28'37"
12	12 – 12	62,33	224°29'58"	73,14	220°41'32"
13	13 – 13	63,66	227°15'13"	73,53	223°38'40"
	Valor mínimo	57,41	223°14'13"	69,35	223°14'26"
	Média	62,92	225° 2' 16"	72,06	224° 47' 9"
	Valor máximo	64,87	228°17'25"	73,74	218°51'24"

A Tabela 11 apresenta os mínimos e máximos afastamentos dos pontos lidos segundo a configuração WGS 84 em relação à testemunha, o receptor GPS geodésico. Nesta tabela, é possível verificar que o menor afastamento ocorreu no ponto 13, igual a 123,73 m e o maior afastamento no ponto 12 (135,19 m). Os pontos lidos segundo a configuração WGS 84 distanciam-se, em média, no menor afastamento, 125,76 m na direção 225°09'00" e no maior afastamento, 133,57 m na direção 225°12'42" em relação aos valores reais.

Tabela 11. Mínimos e máximos afastamentos dos pontos lidos segundo a configuração WGS 84 em relação ao posicionamento real de cada ponto.

Alinhamento					
Ponto	Testemunha - Navegação	< DH	Azimute	> DH	Azimute
0	0 – 0	124,50	224°14'19"	132,98	224°53'47"
1	1 – 1	128,56	223°21'28"	134,17	225°50'33"
2	2 – 2	124,67	223°20'09"	133,12	225°52'36"
3	3 – 3	124,78	226°21'50"	131,83	225°40'34"
4	4 – 4	125,26	225°34'21"	133,03	225°14'04"
5	5 – 5	125,12	225°04'16"	132,91	225°58'54"
6	6 – 6	125,29	225°16'06"	133,08	225°33'26"
7	7 – 7	127,46	225°36'48"	134,54	224°22'36"
8	8 – 8	125,56	225°54'59"	134,03	224°38'58"
9	9 – 9	128,95	223°25'33"	133,86	225°36'08"
10	10 – 10	126,10	226°20'47"	133,14	225°03'28"
11	11 – 11	125,33	226°02'16"	133,08	225°03'50"
12	12 – 12	125,27	225°43'16"	135,19	223°52'12"
13	13 – 13	123,73	225°49'54"	135,03	225°09'43"
	Valor mínimo	123,73	223°20'09"	131,83	223°52'12"
	Média	125,76	225°09'00"	133,57	225°12'42"
	Valor máximo	128,95	226°21'50"	135,19	225°58'54"

De acordo com a Figura 13, o polígono formado pelas repetidas leituras realizadas com os seis receptores GPS de navegação, configurados segundo elipsóide WGS 84, teve um deslocamento no sentido Sudoeste.

A Tabela 12 apresenta os mínimos e máximos afastamentos dos pontos lidos segundo a configuração Córrego Alegre em relação à testemunha, o receptor GPS geodésico. Nesta tabela, é possível verificar que o menor afastamento ocorreu no ponto 0, igual a 84,44 m e o maior afastamento no ponto 1 (98,05 m). Os pontos lidos segundo a configuração Córrego Alegre distanciam-se, em média, no menor afastamento, 86,57 m na direção 205°55'30" e no maior afastamento, 94,57 m na direção 206°13'17" em relação aos valores reais.

Observando a Figura 13 é possível perceber, o polígono formado pelas repetidas leituras realizadas com os seis receptores GPS de navegação, configurados segundo elipsóide Córrego Alegre, teve um deslocamento no sentido Sudoeste.

Tabela 12. Mínimos e máximos afastamentos dos pontos lidos segundo a configuração Córrego Alegre em relação ao posicionamento real de cada ponto.

Ponto	Alinhamento Testemunha - Navegação	< DH	Azimute	> DH	Azimute
0	0 – 0	84,44	202°10'01"	94,55	204°15'59"
1	1 – 1	87,74	206°34'47"	98,05	205°31'58"
2	2 – 2	86,28	205°48'17"	93,45	207°46'57"
3	3 – 3	87,00	206°07'34"	93,26	206°58'48"
4	4 – 4	85,81	208°07'26"	93,85	205°31'58"
5	5 – 5	86,91	205°37'17"	93,15	206°30'36"
6	6 – 6	86,57	203°51'11"	93,64	205°58'26"
7	7 – 7	88,29	206°16'50"	94,55	207°06'45"
8	8 – 8	86,26	206°16'37"	93,87	206°01'38"
9	9 – 9	88,53	207°19'35"	93,90	205°38'43"
10	10 – 10	86,02	206°23'43"	94,99	205°03'45"
11	11 – 11	86,42	205°30'13"	94,46	205°51'55"
12	12 – 12	86,59	206°32'29"	95,53	206°32'37"
13	13 – 13	85,05	206°21'04"	96,72	208°13'54"
	Valor mínimo	84,44	202°10'01"	93,15	204°15'59"
	Média	86,57	205°55'30"	94,57	206°13'17"
	Valor máximo	88,53	208°07'26"	98,05	208°13'54"

Analisando as Tabelas 10, 11 e 12 e a Figura 13 é possível verificar que a configuração de elipsóide mais adequada para as condições geográficas brasileiras é a SAD 69 por apresentar as menores variações de distância em relação à testemunha.

A Tabela 13 contém as medidas descritivas da variável área segundo receptores GPS de navegação configurados com elipsóide SAD 69. Sendo a área calculada com o receptor geodésico considerada como verdadeira. Esta área foi calculada em 9.205,14 m². Nesta tabela, é possível constatar que, em média o receptor GPS de navegação que mais se aproxima da área verdadeira é o GPS de navegação denominado número 4 (9.110,20 m²).

Também verifica-se nesta tabela que as variações em coordenadas obtidas geraram polígonos não idênticos dos quais as diferenças em área chegaram a 15%, que é o caso da menor área obtida com receptor GPS de navegação denominado número 5 (7.827,50 m²). No entanto, através da Figura 14, é possível constatar que os valores de área calculados sob esta configuração encontram-se contidos no intervalo de confiança da área verdadeira.

Tabela 13. Medidas descritivas da variável área segundo receptores GPS de navegação configurados com elipsóide SAD 69.

Média	GPS						Resultado
Descritiva	GPS1	GPS2	GPS3	GPS4	GPS5	GPS6	teste estatístico
Valor mínimo	7841,00	8630,50	8516,00	8744,00	7827,50	8113,00	
Mediana	8867,25	8929,25	8988,75	9030,75	9418,25	9229,00	
Valor máximo	9616,00	9372,00	9856,00	9977,50	10168,50	10161,50	
Média	8804,00	9005,90	9044,85	9110,20	9356,15	9022,80	P > 0,05
Desvio-padrão	583,99	291,95	368,32	360,69	645,26	635,42	
Limite inferior (μ)	8386,64	8796,55	8781,62	8852,43	8895,00	8568,68	
Limite superior (μ)	9221,36	9213,85	9308,08	9367,97	9817,30	9476,92	

A partir da Figura 14 é possível verificar que os valores de área que ficaram abaixo do valor real foram encontrados pelos receptores GPS de navegação número 1, 2 e 3. Já os receptores GPS de navegação número 4, 5 e 6 possuem valores de área tanto

inferior à área real como superior a este valor, concordando com Silva (2002), que observou diferenças de áreas ao trabalhar com receptores GPS de navegação de diferentes marcas e modelos.

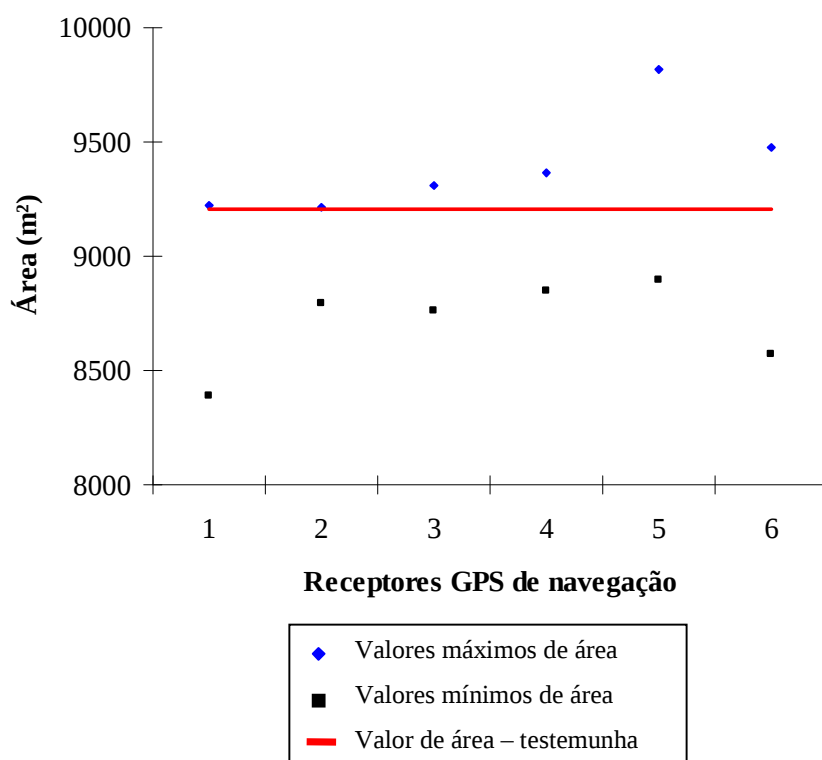


Figura 14. Intervalos de confiança dos seis receptores GPS de navegação idênticos em relação à testemunha, configurados segundo elipsóide SAD 69 para o cálculo de área.

A Tabela 14 contém as medidas descritivas da variável área segundo receptores GPS de navegação configurados com elipsóide WGS 84. Sendo a área calculada com o receptor geodésico considerada como verdadeira. Esta área foi calculada em 9.205,14 m². Nesta tabela é possível constatar que, em média, os valores de área calculados pelos receptores GPS de navegação se aproximaram da área real, sendo que o valor cuja diferença chegou a 29% foi encontrado pelo receptor GPS de navegação número 4 (6.534,50 m²) e, o que mais se aproximou foi o receptor GPS de navegação número 1 (9.212,00 m²), 0,07% de diferença, aproximadamente. Através da Figura 15, é possível constatar que os valores de área

calculados para o receptor GPS de navegação número 1 não estão contidos no intervalo de confiança da área verdadeira.

Tabela 14. Medidas descritivas da variável área segundo receptores GPS de navegação configurados com elipsóide WGS 84.

Média Descritiva	GPS						Resultado teste estatístico
	GPS1	GPS2	GPS3	GPS4	GPS5	GPS6	
Valor mínimo	8275,00	6938,50	8769,50	6534,50	8345,50	9063,00	P > 0,05
Mediana	8872,50	9301,50	9091,75	9243,75	9336,75	9299,75	
Valor máximo	9212,00	9910,50	10008,00	9658,00	10777,00	10089,00	
Média	8814,00	9117,90	9164,75	8858,35	9473,95	9368,60	
Desvio-padrão	313,80	863,46	390,05	897,08	698,86	304,77	
Limite inferior (μ)	8589,74	8500,81	8885,99	8217,23	8974,49	9150,79	
Limite superior (μ)	9038,26	9734,99	9443,51	9499,47	9973,41	9586,41	

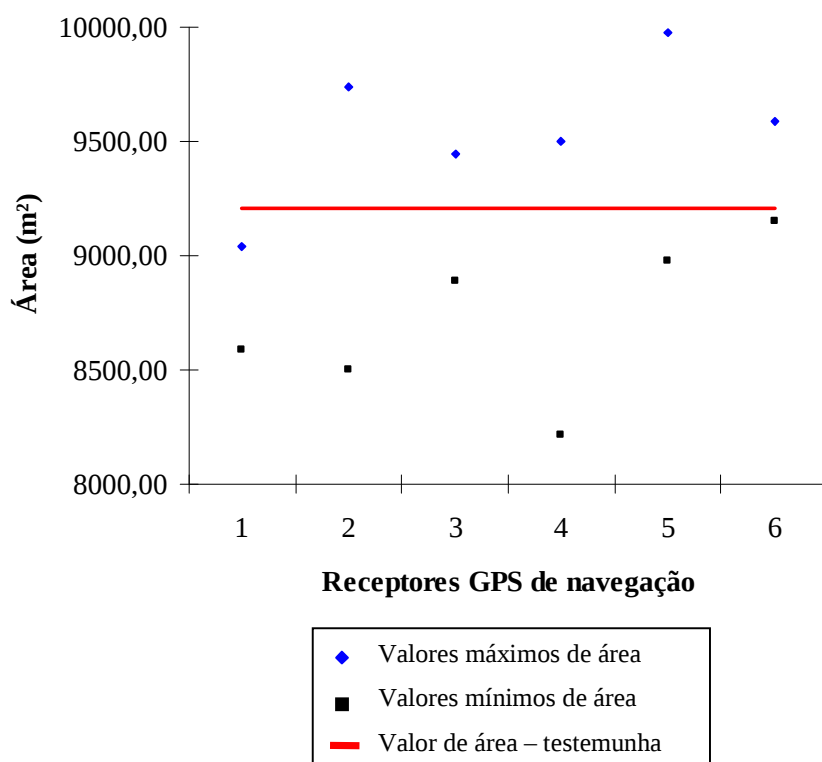


Figura 15. Intervalos de confiança dos seis receptores GPS de navegação idênticos em relação à testemunha, configurados segundo elipsóide WGS 84 para o cálculo de área.

A Tabela 15 contém medidas descritivas das variáveis segundo receptores GPS de navegação com a configuração Córrego Alegre para o cálculo de área. Sendo a área calculada com o receptor geodésico considerada como verdadeira. Esta área foi calculada em 9205,14 m². A partir desta tabela é possível constatar que, na média, o valor de área que mais se aproxima do valor real foi encontrado com o receptor GPS de navegação número 5 (9.208,90 m²), com diferença de 0,04%. O valor máximo foi encontrado com o receptor GPS de navegação número 6 (12.737,50 m²), com diferença de 38%, aproximadamente.

Tabela 15. Medidas descritivas da variável área segundo receptores GPS de navegação configurados com elipsóide Córrego Alegre.

Média Descritiva	GPS						Resultado teste estatístico
	GPS1	GPS2	GPS3	GPS4	GPS5	GPS6	
Valor mínimo	6347,50	8299,50	6520,50	7016,00	7827,50	7927,00	
Mediana	8957,50	9142,50	8643,25	8666,00	9154,50	9482,00	
Valor máximo	11703,50	10606,00	9738,00	9571,50	9912,50	12737,50	
Média	8925,05	9303,15	8433,90	8624,80	9208,90	9547,35	P > 0,05
Desvio-padrão	1405,10	703,10	1004,88	763,43	663,74	1295,61	
Limite inferior (μ)	7920,86	8800,66	7715,74	8079,20	8734,54	8621,41	
Limite superior (μ)	9929,24	9805,64	9152,06	9170,40	9683,26	10473,29	

Através da Figura 16, é possível constatar que para dois receptores GPS de navegação (número 3 e 4), os valores de área calculados ficaram abaixo do valor real.

Rodrigues (2003), utilizando três receptores GPS, geodésico, topográfico e de navegação, verificou a grande potencialidade do receptor GPS geodésico quando utilizado em planimetria e altimetria de áreas bem como na realização de projetos de irrigação, drenagem e engenharia; o receptor GPS topográfico pode ser utilizado em planimetria de áreas e na altimetria, para obtenção de anteprojetos. O receptor GPS de navegação pode ser utilizado para elaboração de croqui de áreas.

Coelho (2003) em seu trabalho também constatou a inviabilidade da utilização de receptores GPS de navegação para levantamento altimétrico, devido a distorções da superfície real, impossibilitando uma interpretação próxima da real superfície levantada.

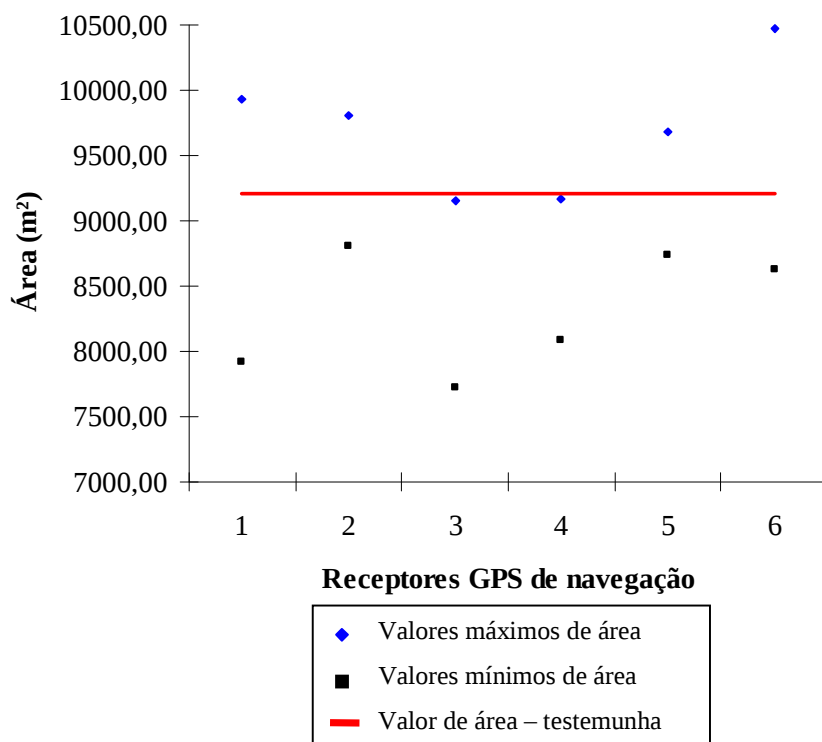


Figura 16. Intervalos de confiança dos seis receptores GPS de navegação idênticos em relação à testemunha, configurados segundo elipsóide Córrego Alegre para o cálculo de área.

A Tabela 16 contém medidas descritivas das variáveis segundo receptores GPS de navegação com a configuração SAD 69 para o cálculo de perímetro. Sendo o perímetro calculado com o receptor geodésico considerado como verdadeiro. Este perímetro foi calculado em 447,68 m. Através dos valores da tabela é possível constatar que, em média, os valores de perímetro obtidos com os receptores GPS de navegação ficaram acima do valor real, sendo o valor mais próximo o calculado com o receptor GPS de navegação número 4 (448,93 m) e o valor obtido que fornece uma diferença de 37%, aproximadamente, foi encontrado pelo receptor GPS número 3, (614,96 m).

Tabela 16. Medidas descritivas da variável perímetro segundo receptores GPS de navegação configurados com elipsóide SAD 69.

Média Descritiva	GPS						Resultado teste estatístico
	GPS1	GPS2	GPS3	GPS4	GPS5	GPS6	
Valor mínimo	432,77	436,79	440,43	437,99	433,00	441,91	
Mediana	447,70	450,82	452,84	449,69	459,13	455,56	
Valor máximo	474,45	461,64	614,96	461,99	477,39	481,31	
Média	449,44	450,99	467,96	448,93	458,46	457,20	P > 0,05
Desvio-padrão	12,50	8,01	52,00	7,81	11,87	10,56	
Limite inferior (μ)	440,50	445,26	430,80	443,35	449,97	449,65	
Limite superior (μ)	458,37	456,71	505,12	454,51	466,94	464,74	

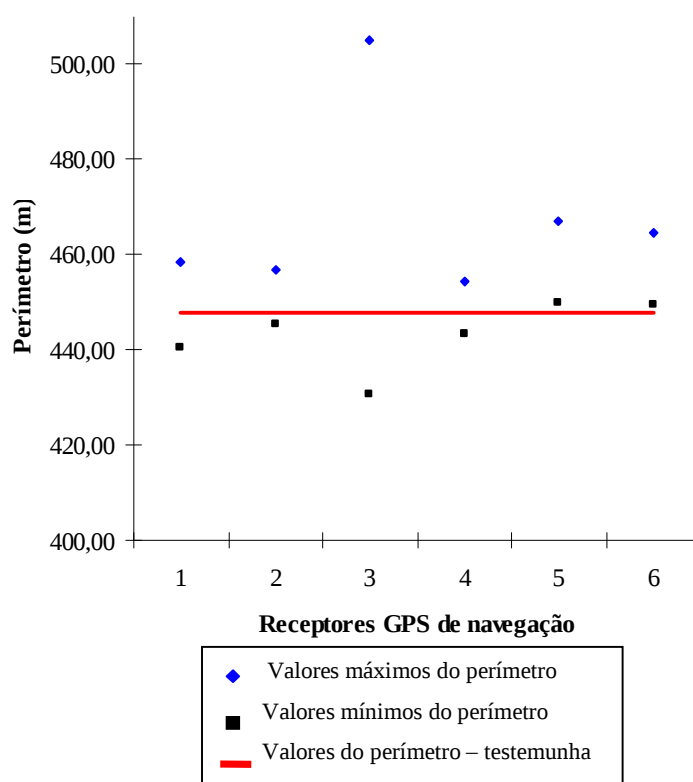


Figura 17. Intervalos de confiança dos seis receptores GPS de navegação idênticos em relação à testemunha, configurados segundo elipsóide SAD 69 para o cálculo de perímetro.

Através da Figura 17, é possível constatar que os valores de perímetro calculados sob esta configuração com os receptores GPS de navegação número 5 e 6 não estão contidos no intervalo de confiança.

A Tabela 17 contém medidas descritivas das variáveis segundo receptores GPS de navegação com a configuração WGS 84 para o cálculo de perímetro. Sendo o perímetro calculado com o receptor geodésico considerado como verdadeiro. Este perímetro foi calculado em 447,68 m. Através dos valores da tabela é possível constatar que, em média, os valores de perímetro obtidos com os receptores GPS de navegação ficaram acima do valor real, sendo o valor mais próximo o calculado com o receptor GPS de navegação número 1 (449,63 m) e o valor obtido que fornece uma diferença de 42%, aproximadamente, foi encontrado pelo receptor GPS número 4 (635,38m).

Tabela 17. Medidas descritivas da variável perímetro segundo receptores GPS de navegação configurados com elipsóide WGS 84.

Média Descritiva	GPS						Resultado teste estatístico
	GPS1	GPS2	GPS3	GPS4	GPS5	GPS6	
Valor mínimo	430,56	446,83	444,61	448,92	439,50	445,57	
Mediana	449,10	458,75	452,93	460,84	462,34	458,49	
Valor máximo	473,28	483,77	466,26	635,38	514,97	482,12	
Média	449,63	460,68	453,40	479,13	464,11	461,36	P > 0,05
Desvio-padrão	13,78	10,85	7,46	55,48	19,72	10,82	
Limite inferior (μ)	439,78	452,92	448,07	439,48	450,01	453,62	
Limite superior (μ)	459,47	468,43	458,72	518,78	478,20	469,09	

Através da Figura 18, é possível constatar que os valores de perímetro calculados sob esta configuração com os receptores GPS de navegação número 2, 3 5 e 6 não estão contidos no intervalo de confiança.

Silva (2002) avaliou perímetro com receptores GPS de navegação constatando que este tipo de receptor demonstrou ser pouco adequado para elaborar levantamentos que requeiram maior precisão e acurácia.

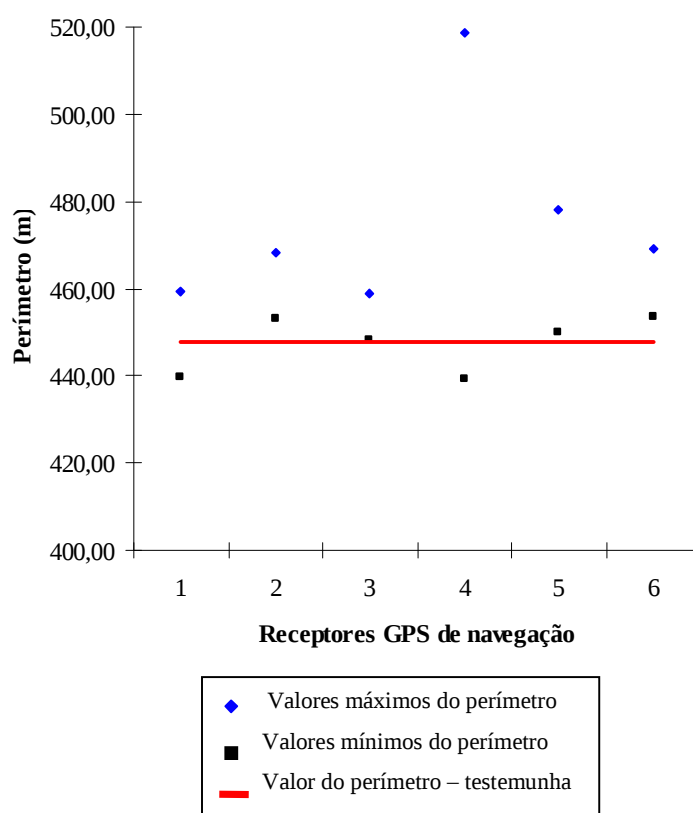


Figura 18. Intervalos de confiança dos seis receptores GPS de navegação idênticos em relação à testemunha, configurados segundo elipsóide WGS 84 para o cálculo de perímetro.

A Tabela 18 contém medidas descritivas das variáveis segundo receptores GPS de navegação com a configuração Córrego Alegre para o cálculo de perímetro. Sendo o perímetro calculado com o receptor geodésico considerado como verdadeiro. Este perímetro foi calculado em 447,68 m. Através dos valores da tabela é possível constatar que, em média, os valores de perímetro obtidos com os receptores GPS de navegação ficaram acima do valor real, sendo o valor mais próximo o calculado com o receptor GPS de navegação número 3 (450,43 m) e o valor obtido que fornece uma diferença de 21%, aproximadamente, foi o calculado pelo receptor GPS número 6, (541,98 m).

Através da Figura 19, é possível constatar que os valores de perímetro calculados sob esta configuração com os receptores GPS de navegação número 2, 4, 5 e 6 não estão contidos no intervalo de confiança.

Tabela 18. Medidas descritivas da variável perímetro segundo receptores GPS de navegação configurados com elipsóide Córrego Alegre.

Média Descritiva	GPS						Resultado teste estatístico
	GPS1	GPS2	GPS3	GPS4	GPS5	GPS6	
Valor mínimo	437,87	440,55	438,24	440,95	440,37	452,15	
Mediana	450,87	474,66	448,63	456,8	460,89	462,39	
Valor máximo	500,34	497,8	465,05	487,9	503,47	541,98	
Média	459,46	473,38	450,43	460,56	464,78	471,09	P > 0,05
Desvio-padrão	23,33	16,83	8,96	16,06	16,33	27,1	
Limite inferior (μ)	442,79	461,35	444,03	449,07	453,11	451,72	
Limite superior (μ)	476,13	485,4	456,83	472,04	476,45	490,46	

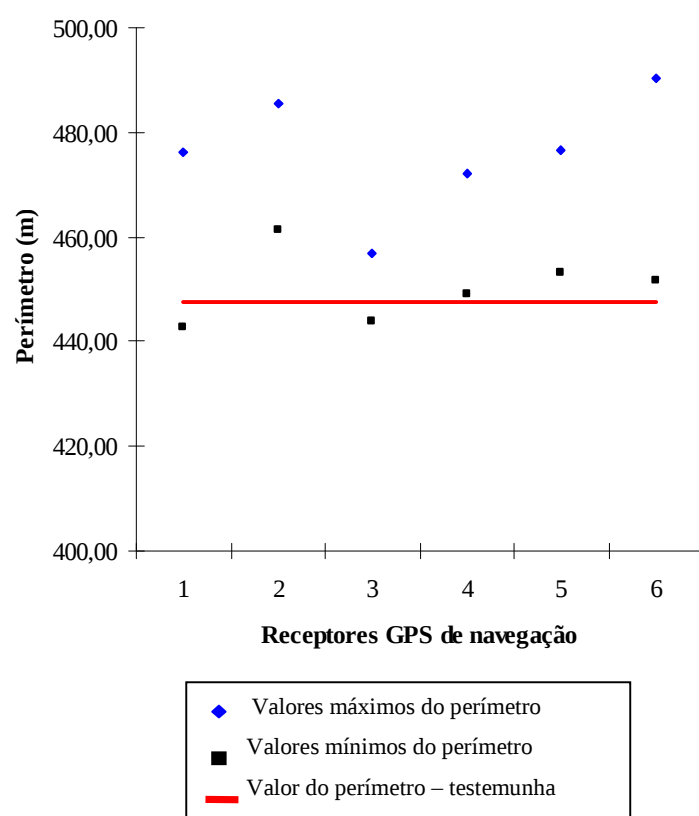


Figura 19. Intervalos de confiança dos seis receptores GPS de navegação idênticos em relação à testemunha, configurados segundo elipsóide Córrego Alegre para o cálculo de perímetro.

7 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, nas condições em que o trabalho foi conduzido, conclui-se que:

1. A utilização de receptor GPS de navegação, sem conhecimento de suas limitações e configurações básicas, pode levar o usuário a considerar direções e distâncias incompatíveis com o trajeto pretendido ou levantado. O usuário comum deve saber, no mínimo, qual elipsóide está considerando;
2. A utilização de receptor de navegação configurado para o elipsóide SAD 69 apresenta deslocamento da área no sentido médio de $224^{\circ}54'43''$, com distância média de 67,49 metros, quando comparado com o posicionamento real da área (receptor geodésico configurado para SAD 69);
3. A utilização de receptor de navegação configurado para o elipsóide WGS 84 apresenta deslocamento da área no sentido médio de $225^{\circ}10'51''$, com distância média de 129,67 metros, quando comparado com o posicionamento real da área (receptor geodésico configurado para SAD 69);

4. A utilização de receptor de navegação configurado para o elipsóide Córrego Alegre apresenta deslocamento da área no sentido médio de $206^{\circ}04'24''$, com distância média de 90,57 metros, quando comparado com o posicionamento real da área (receptor geodésico configurado para SAD 69);
5. Os valores de área e perímetro obtidos por receptor GPS de navegação, quando comparados à área e perímetro obtidos por receptor geodésico configurado para o elipsóide SAD 69 apresentaram 0,09% e 0,15% (diferença mínima); 14,97% e 37,37% (diferença máxima) de área e perímetro, respectivamente, segundo a configuração SAD 69;
6. Os valores de área e perímetro obtidos por receptor GPS de navegação, quando comparados à área obtidos por receptor geodésico configurado para o elipsóide SAD 69 apresentaram 0,07% e 0,10% (diferença mínima); 29,01% e 41,93% (diferença máxima) de área e perímetro, respectivamente, segundo a configuração WGS 84;
7. Os valores de área e perímetro obtidos por receptor GPS de navegação, quando comparados à área e perímetros obtidos por receptor geodésico configurado para o elipsóide SAD 69 apresentaram 0,03% e 0,26% (diferença mínima) 38,37% e 21,06% (diferença máxima) de área e perímetro, respectivamente, segundo a configuração Córrego Alegre;
8. Receptores GPS de navegação de mesma categoria, marca, modelo e data de fabricação, sob as mesmas condições e no mesmo instante, fornecem para um mesmo ponto, diferentes leituras de coordenadas, apresentando variações nas precisões de posicionamento, variando de acordo com o *datum* considerado;
9. As variações nos valores de coordenadas de um mesmo ponto, coletadas no mesmo instante, por vários receptores GPS de navegação de mesmas especificações contribui para a confirmação de sua utilização apenas em levantamentos preliminares onde a precisão não é fator limitante.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, S. A matemática do GPS. **Revista do Professor de Matemática**, São Paulo, 2006. Sociedade Brasileira de Matemática. Disponível em:
<<http://www.rpm.org.br/novo/conheca/gps.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2007.

ANGULO FILHO, R.; VETTORAZZI, C. A.; SARRIES, G. A. Exatidão de posicionamento de um receptor GPS, operando sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 6, n. 2, p. 325-331, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. Disponível em:
<<http://www.abnt.org.br>>. Acesso em: 20 ago. 2007.

BERNARDI, J. V. E.; LANDIM, P. M. B. **Aplicação do sistema de posicionamento global (GPS) na coleta de dados**. Rio Claro: Unesp, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Laboratório de Geomatemática, 2002. 31 p. (Texto didático). Disponível em:
<<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 16 jul. 2006.

BLITZKOW, D. **Posicionamento por satélite – NAVSTAR/GPS**. São Paulo, 1991. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 36 p.

BUSSAD, W. de O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. São Paulo: Saraiva, 2003. 526 p.

CAMARGO, P. O.; FLORENTINO, C.; REDIVO, I. A. C. Posicionamento relativo cinemático com receptor de navegação Garmin GPS 12XL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO (COBRAC), 5., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2004. Disponível em: < http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2004/174.pdf >. Acesso em: 17 jul. 2006.

CARDOSO, L. G. **GPS: sistema de posicionamento global: noções básicas**. Botucatu: Unesp, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2004. 10 p. (Texto didático).

COELHO, A. C. S. **Avaliação do desempenho de receptores GPS em levantamentos altimétricos, para fim de sistematização de terras**. 2003. 128 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

CREMONINI, L. C. M. **Acurácia de mapas altimétricos obtidos com DGPS na colheita de cereais**. 2002. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Máquinas Agrícolas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

FERGUSON, M. **GPS land navigation**. 4. ed. Boise. Idaho, Glassford Publishing, 1998. 256p.

FONSECA JUNIOR, E. S. **O sistema GPS como ferramenta para a avaliação da refração ionosférica no Brasil**. 2002. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia/Engenharia de Transportes)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FORTES, L. P. S.; CAGNIN, I. F.; GODOY, R. A. Z. Determinação dos parâmetros de transformação entre sistemas NWL-10D, NSW-9Z2, WGS 84 e o SAD 69. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 14., 1989, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CBC, 1989. v. 1, p. 157-165.

HASEGAWA, J. K. et al. Sistema de localização e navegação apoiado por GPS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 20., 1999, Recife. **Anais...** Recife, 1999. 1 CD-ROM.

HOFFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **Global positioning system: theory and practice**. 3. ed. New York: Springer-Verlag, 1994. 355 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Proposta preliminar para a adoção de um referencial geocêntrico no Brasil**. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/sisref.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeto SIRGAS (Sistema de referência geocêntrica para a América do Sul)**. Rio de Janeiro, 2000a. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/sirgas/realizacao.htm>>. Acesso em: 10 maio 2007.

JUNQUEIRA, C. C. M. **Configurações e algoritmos de antenas adaptativas para sistema de posicionamento global**. 2003. 257 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)-Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

KOVALESKY, J.; MUELER, I. I.; KOLACZEK, B. **Referente frames astronomy and geophysics**. São Paulo: Dordrecht Kluwer Academic. 1989. 474 p.

LETHAM, L. **GPS made easy: using global positioning systems in the outdoors**. Seattle: Published by the Mountaineers, 1996. 112 p.

LOCH, C.; CORDINI, J. **Topografia contemporânea: planimetria**. 2 ed. rev. Florianópolis: Editora da UFSC, 2000. xxvi, 321 p.

LUZ, R. T.; CORREIA, J. D.; PEREIRA, K. D. **Posicionamento com receptores GPS “amadores”**: alguns resultados. Curitiba: GISBRASIL, 1996. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/artigos/1996-Posicionamento_com_navegadores_GPS.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2007.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2000. 287 p.

PARKINSON, B. W.; SPILKER, J. Global positioning system: theory and applications. In: Progress in astronautics and aeronautics. Washington: AIAA, 1996. v.163, part 1, 793 p.

POLETI, E. R.; GODOY, F. C. **Georreferenciamento dos pontos turísticos de Serra Negra segundo sua evolução histórica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO (COBRAC), 5., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2004. Disponível em: <http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2004/174.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2006.

POLEZEL, W.G. C.; SOUZA, E. M.; MONICO, J. F. G. Análise dos fatores que influenciam o Multicaminho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO (COBRAC), 5., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2004. Disponível em: <http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2004/174.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2006.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento**: tecnologia transdisciplinar. Editora do Autor, Juiz de Fora, 2000. 220 p.

RODRIGUES, R. J. **Precisão de planta planialtimétrica gerada por modelagem numérica de superfície a partir de coordenadas UTM plano retangulares coletadas em receptor GPS topográfico**. 2006. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

RODRIGUES, V. A. **Uso do sistema de posicionamento global na caracterização planialtimétrica para projetos de irrigação e drenagem**. 2003. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

RODRIGUES, V. A. **Implantação da rede geodésica UNESP para integração ao sistema geodésico brasileiro**. 2006. 125 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

SÁ, N. C. **GPS: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Universidade de São Paulo / Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Geofísica, 2000. 98 p.

SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods and applications**. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1993. 356 p.

SEGANTINE, P.C.L. **GPS Sistema de Posicionamento Global**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos; USP/EESC, Departamento de Transportes, 1999. 181 p.

SILVA, A. S. et al. Configurações GPS semelhantes não resultam em coordenadas iguais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO (COBRAC), 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 5., 2004. Disponível em: <http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2004/174.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2006.

SILVA, I.; ERWES, H. **Curso de atualização e, topografia e GPS**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos; USP/EESC, 1996. 108 p.

SILVA, I da; ERWES, H.; SEGANTINE, P. C. L. **Introdução à geomática**. São Carlos: Editora do autor, 2001. 100 p.

SILVA, R. M.; SILVA, J. S.V.; FREITAS, A. R. Análise de posicionamento absoluto com GPS de navegação no Pantanal pós-desligamento da disponibilidade seletiva (AS – Selective Availability). In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 3., 2000, Corumbá. **Os desafios do novo milênio**. Corumbá: 2000. Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/agencia/congresso/ABIOTICOS/SILVA-038B.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2007

SILVA, S. T. **Análise comparativa entre equipamentos eletrônicos (GPS) para levantamento de dados topográficos**. 2002. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geoprocessamento)-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

SILVEIRA, A. C. **Avaliação de desempenho de aparelhos receptores GPS**. 2004. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Máquinas Agrícolas)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SOARES, W. A. **Investigação de uma modelagem matemática como alternativa para aumento da área de cobertura de estações de referência DGPS**. 2005. 307 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas/Ciências da Terra)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

TIMBÓ, M. A. **Levantamentos através do sistema GPS**. Belo Horizonte, MG: UFMG, Departamento de Cartografia. 2000. 34 p.

TRAGUETA, N. L. et al. Deslocamento do posicionamento de pontos em função do elipsóide configurado em receptor GPS de navegação. In: MOSTRA CIENTÍFICA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2., MOSTRA CIENTÍFICA DA FMVZ, 10., REUNIÃO CIENTÍFICA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO LAGEADO, 13., 2006, Botucatu. **Anais...** Botucatu: 2006. 1 CD-ROM.

TRAGUETA, N. L. et al. Variações nos dados coletados por seis receptores GPS de navegação idênticos. In: CONGRESSO ITEANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 4., 2007, Botucatu. **Anais...** Botucatu, 2007.

VETTORAZZI, C. A, ANGULO FILHO, R.; COUTO, H. T. Z. Sistema de posicionamento global – GPS. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 5, n. 2, p. 61-70, 1994.

VIEIRA, S. **Introdução à bioestatística**. Rio de Janeiro: Campus, 1980. 196 p.