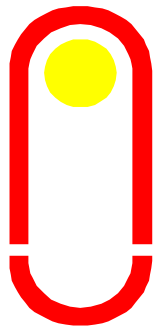
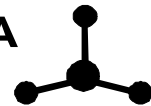


CURSO DE GPS E CARTOGRAFIA BÁSICA



CEUB/ICPD

**INSTITUTO CEUB DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO**



Sumário

CARTOGRAFIA BÁSICA	4
INTRODUÇÃO	4
Cartografia: Algumas Definições	4
Cartografia e Geografia	6
Cartografia Temática	7
Segundo a figura cartográfica	7
Segundo a escala	8
Segundo o conteúdo	8
Cartografia Digital	9
Classificação de Cartas	11
Mapa e Carta	11
Algumas Características dos Mapas (Cartas)	12
Plantas	12
Os Mapas Segundo Seus Objetivos	13
Mapas Gerais	13
Mapas Especiais	13
Mapas Temáticos	14
Semiologia Gráfica e Comunicação Cartográfica	14
Simbologia Cartográfica	15
Informações de Legenda	15
Diagrama de orientação	17
Os Mapas Segundo a Escala	19
Escalas	19
Generalização	21
Indicação de Escala	21
Escala Gráfica	22
Determinação de Escala	22
Como se medir Distâncias	22
Como Medir Áreas	23
Método da Contagem	23
Método de planimetragem	24
Crítérios de exatidão de cartas topográficas	24
Padrão de exatidão cartográfica	24
LOCALIZAÇÃO NA SUPERFÍCIE DA TERRA	25
Forma da Terra	25
Meridianos e Paralelos	25
Coordenadas geográficas	26
Latitude e Longitude	26
Coordenadas UTM	27
Diferença entre quadrícula UTM e Projeção UTM	28
Projeções Cartográficas	30
Desenvolvimento da Esfera	30
Projeções Verdadeiras	31
Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)	34
Propriedade das Projeções	34
Projeção Equivalente	35
Projeções Conformes	35
Projeções Equidistantes	36
Projeções Azimutais	36
Projeções Afiláticas	36
SISTEMA DE REFERÊNCIA (nomenclatura)	44
Sistema de referência	44
Sistema Geodésico Brasileiro	45
Desdobramento da folha 1:1.000.000 em outras escalas	47

Sistema Cartográfico do Distrito Federal - SICAD	51
SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL	54
Introdução	54
Segmento Espacial	55
Características dos Sinais GPS	57
Segmento de controle.....	59
Segmento dos usuários	60
Descrição dos receptores GPS	61
Técnicas de Processamento do Sinal	65
Exemplos de Alguns Receptores GPS	68
Impacto da Disponibilidade Seletiva e Anti/Fraude	71
Situação Atual do GPS	72
Atividades GPS em Desenvolvimento e Futuras	75
Transformação de Coordenadas WGS-84 para SAD-69 e Vice- Versa	77
Conversão de Coordenadas Geodésicas em Cartesianas.....	77
Erros Relacionado com os Satélites.....	79
Técnicas de Posicionamento GPS	91
Introdução.....	91
Posicionamento por Ponto (Método Absoluto).....	92
Posicionamento Relativo	93
Método Cinemático.....	99
Posicionamento Relativo Estático Rápido	100
Diluição da Precisão (PDOP)	102
Aspectos Práticos e Algumas Aplicações do Gps.....	104
Planejamento, Coleta e Processamento de dados GPS	105
Aplicação do GPS	111

CARTOGRAFIA BÁSICA

INTRODUÇÃO

Cartografia: Algumas Definições

Os mapas sempre existiram, ou, pelo menos, o desejo de balizar o espaço sempre esteve presente na mente humana. A apreensão do meio ambiente e a elaboração de estruturas abstratas para representá-lo foram uma constante na vida em sociedade desde os primórdios da humanidade até os nossos dias. Mas a história da cartografia teve início com o primeiro testemunho tangível de representação cartográfica (o fato de desenhar um mapa sobre o primeiro suporte disponível), dando existência concreta à antiga abstração.

Ao substituírem o espaço real por um espaço analógico (processo básico da cartografia), os homens adquiriram um domínio intelectual do universo que trouxe inumeráveis conseqüências. Os mapas precederam a escritura e a notação matemática em muitas sociedades, mas somente no século XIX foram associados às disciplinas modernas cujo conjunto constitui a cartografia. Mas isso não impede que os de épocas anteriores remontem às próprias raízes de nossa cultura.

O mapa autêntico mais antigo foi elaborado a cerca de 6000 a.C. Descoberto em 1963, durante uma escavação arqueológica em Çatal Höyük, na região centro-ocidental da Turquia, representa o povoado neolítico do mesmo nome. O traçado das ruas e casas, conforme os vestígios resgatados, tinham ao fundo o vulcão Hasa Dag em erupção. Esse mapa primitivo guarda alguma semelhança com as plantas das cidades modernas, mas sua finalidade era totalmente distinta. O sítio em que foi encontrado era um santuário ou local sagrado, e ele foi criado como parte de um ato ritual, como um “produto de momento”, sem a intenção de ser preservado após o cumprimento do rito.

Somente há alguns anos mapas como os de Çatal Höyük, e gravações similares em rochas da África, da América, da Ásia e da Europa, começaram a ser estudados como uma categoria da pré-história cartográfica. Isto reflete não apenas as dificuldades para identificar mapas das sociedades primitivas, mas também a tendência na história da cartografia a tornar mais rígidos os cânones dos mapas consideráveis “aceitáveis”.

Os mapas eram considerados marcos significativos da evolução da humanidade; por consequência, aqueles que não indicassem algum progresso rumo à objetividade deixavam de ser seriamente estudados. Esmo alguns dos primeiros mapas produzidos pela cultura européia, como os grandes planisférios da Idade Média Cristã, eram considerados indignos de atenção científica. Os mapas das culturas não Europeias eram considerados ainda mais estranhos ao epicentro da cartografia. Estes mapas só recebiam certa atenção da parte dos historiadores ocidentais quando apresentavam alguma semelhança com os mapas europeus.

Nessa história comparada da cartografia, dava-se muita atenção aos aspectos matemáticos do traçado dos mapas, à codificação dos princípios metodológicos cartográficos, e ao surgimento de inovações técnicas, como planos quadriculados, escalas regulares, signos abstratos convencionais e até curvas de nível.

Partindo da convicção de que cada sociedade tem ou teve sua própria forma de perceber e de produzir imagens espaciais, chegamos a esta simples definição de mapa: “representação gráfica que facilita a compreensão espacial dos objetos, conceitos, condições, processos e fatos do mundo humano”. O motivo de uma definição tão ampla é facultar sua aplicação a todas as culturas de todos os tempos, e não apenas às da era moderna. Além disso, ao considerar os mapas uma forma de “saber” em geral, ao invés de meros produtos de uma prolongada difusão tecnológica a partir de um foco europeu, tal definição permite escrever uma história muito mais completa.

As Nações Unidas, definiu em 1949, através de comissão especializada, cartografia como sendo “A ciência que se ocupa da elaboração de mapas de toda espécie. Abrange todas as fases dos trabalhos, desde os primeiros levantamentos até a impressão final dos mapas”. Tal definição foi amplamente criticada por cartógrafos de todo o mundo. A Associação Cartográfica Internacional de Geografia, reunida em Londres, em 1964, veio pela primeira vez, estabelecer, em síntese, mas com precisão, o campo das atividades intimamente ligadas à cartografia: “Cartografia é o conjunto de estudos e operações científicas, artísticas e técnicas, baseado nos resultados de observações diretas ou de análise de documentação, com vistas à elaboração e preparação de cartas, projetos e outras formas de expressão, assim como a sua utilização”.

A cartografia pode não constituir uma ciência, como é, por exemplo, a geografia, a geodesia, a geologia, etc., tampouco representa uma arte, de elaboração criativa, capaz de produzir diferentes emoções, conforme a sensibilidade de cada um. Então, podemos dizer que “é um método científico que se destina a expressar fatos e fenômenos observados na superfície da Terra, ou qualquer outra superfície mensurável”.

Cartografia e Geografia

De todas as ciências ligadas à cartografia, nenhuma é tão importante como a geografia, na medida em que os fatos e fenômenos se originarem de qualquer ramo da geografia, quer física, quer humana, econômica, etc.

Seria inviável a construção de um mapa econômico sem o conhecimento do influxo da geografia econômica, como inexecutável seria a elaboração de um mapa de distribuição da vegetação, sem a participação da fitogeografia. E assim por diante. Porque, nesses casos, quem planeja e concebe tais mapas só pode ser o especialista de cada tema particular: o geógrafo, o geólogo, etc., ficando para o cartógrafo, o método de expressar, em cada caso, o fenômeno.

A fonte maior de labor que a geografia empresta à cartografia não se restringe tão somente à elaboração de mapas temáticos. A carta topográfica, é a base inequívoca do binômio geografia-cartografia, através do qual nunca se pode determinar Qual a influência que uma exerce sobre a outra: se a geografia sobre a cartografia, se a cartografia sobre a geografia.

Há por exemplo, certas formas de relevo e determinados padrões de drenagem de uma área, que se distinguem fundamentalmente dos de outras áreas; verificam-se coberturas florísticas inteiramente diversas de uma região para outra, em que as causas dessa diversificação igualmente variam, como o clima ou o solo, ou a latitude; o homem, grande modificador da paisagem, quase sempre exerce a sua ação por meio de razões sócio-econômicas; a exploração agrícola de uma parte do território se evidencia muito diferente da praticada em outra.

Uma carta topográfica, pois, não está obrigada a nos oferecer esse complexo de particularidades ?

Uma minuta fotogramétrica transmite-nos, em sua frieza matemática, uma grande parte de todos os aspectos físicos e culturais da área cartografada. Vêm com ela, paralelamente, os resultados da reambulação para complementar muitas informações que a carta precisa apresentar. Faltam, entretanto, muitas vezes, determinados conhecimentos geográficos, os quais se impõem, a fim de que a carta seja realmente uma síntese segura desse conjunto de fenômenos geográficos.

Cartografia Temática

O objetivo da cartografia temática é representar, utilizando-se símbolos qualitativos e/ou quantitativos, fenômenos localizáveis de qualquer natureza sobre uma base de referência, geralmente um mapa topográfico, em quaisquer escala, em que sobre um fundo geográfico básico, são representados os fenômenos geográficos, geológicos, demográficos, econômicos, agrícolas etc., visando ao estudo, à análise e a pesquisa dos temas, no seu aspecto espacial, desta forma, torna-se difícil realizar uma classificação de todos os mapas temáticos possíveis, entretanto a seguir apresentamos três tipos divididos segundo o tipo de figura cartográfica, segundo a escala e segundo o conteúdo:

Segundo a figura cartográfica

1. Mapas propriamente ditos, construídos sobre uma quadrícula geométrica numa dada escala, segundo regras de localização (x,y) e de qualificação (z);
2. Cartogramas que realizam a representação de fenômenos geográficos mensuráveis sob a forma de figuras proporcionais localizadas num fundo cartográfico, eventualmente adaptado;
3. Cartodiagramas representação detalhada de fenômenos geográficos mensuráveis na forma de conjunto de diagramas, constituídos por elementos comparáveis, localizados num fundo cartográfico;

Segundo a escala

1. Mapas detalhados, não podendo possuir escala inferior a 1:100.000; descrevem superfícies relativamente restritas, geralmente são publicados em series que cobrem um território determinado;
2. Mapas regionais, possuindo escalas que variam entre 1:100.000 e 1:1.000.000, referentes a unidades geográficas ou administrativas de dimensão média, apresentam geralmente, um ou dois assuntos;
3. Mapas sinóticos ou mapas de conjunto, desenvolvidos em escala inferior a 1:1.000.000, publicados em folhas isoladas ou reagrupados em atlas temáticos.

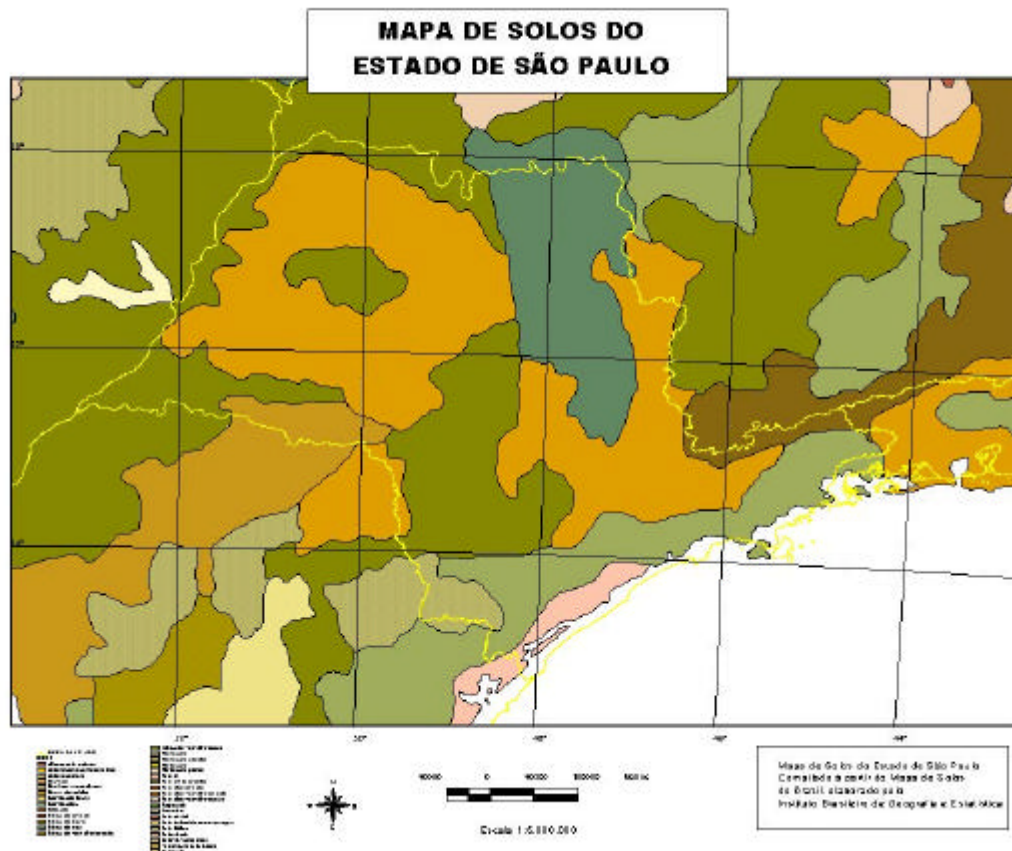
Segundo o conteúdo

1. Mapas analíticos ou de referência, representam a extensão e a repartição de um dado fenômeno, de um grupo de fenômenos interligados ou de um aspecto particular de um fenômeno (mapas geológicos, hidrográficos, hipsométricos, etc.)
2. Mapas sintéticos ou de correlação, geralmente são mais complicados e integram os dados de vários mapas analíticos para expor as conseqüências daí decorrentes (mapas geomorfológicos detalhados, mapa de ocupação do solo, etc.)

A simbologia empregada na representação de tantos e diversificados assuntos é a mais variada que existe no âmbito da comunicação cartográfica.

Diferentemente da cartografia sistemática, onde a terceira dimensão expressa a cota do terreno, na cartografia temática conforme Martinelli (1991) esta terceira dimensão expressa e é explorada pelo tema, permitindo mostrar modulações de apenas um atributo. Assim a manifestação do tema pode se dar de forma linear, pontual ou zonal.

A história das representações temáticas tem início com uma predominância dos enfoques essencialmente qualitativos, tipológicos. A abaixo apresenta um exemplo de mapa temático representando a classe solos.



Cartografia Digital

Com o desenvolvimento da informática, surgiu uma nova modalidade de mapeamento, através da utilização de computadores, o que, de uma certa forma, viria a revolucionar a cartografia tradicional. Devido a este novo panorama, após a década de 60 e principalmente na década de 70, surgiram novos conceitos, como os termos CAD (*Computer Aided Design*), CAM (*Computer Aided Mapping*), AM/FM (*Automated Mapping/Facility Management*), que nada mais são do que sistemas voltados para a transformação do mapa analógico para o meio digital, transformando uma base cartográfica impressa em papel, em uma base cartográfica magnética.

Detalhando um pouco mais, um CAD, pode ser entendido como sistemas de desenho auxiliado por computador, que apesar de não serem *softwares* específicos para a cartografia, é basicamente o principal meio de conversão analógico/digital de mapas. Os

sistemas de mapeamento assistido por computador (CAM), partem da tecnologia CAD, diferenciando destes no fato de os dados neste sistema serem organizados em níveis (*layer*), possuindo ainda a capacidade de georreferenciar os elementos da realidade física. Os *softwares* do tipo AM/FM, também partem da tecnologia CAD. Estes sistemas trabalham com a noção de rede, sendo capazes de identificá-las, preservando suas interseções, gerando arquivos separados com as relações de conectividade, que descrevem a geometria do sistema. Outra importante característica destes sistemas são os arquivos de dados alfanuméricos, que são ligados aos arquivos gráficos. Estes arquivos descrevem as características dos componentes do sistema ou rede tais como, tamanho, capacidade, entre outras informações (KORTE, 1994).

O processo evolutivo da cartografia digital saltou para um patamar superior na medida que foram desenvolvidos os sistemas de gerenciamento de banco de dados, que serão descritos posteriormente, tornando possível à ligação da base cartográfica digital ao banco de dados descritivo, surgindo assim os Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

O DVP (Digital Video Plotter), lançado no Brasil em outubro de 93, é a mais recente novidade da Cartografia Digital. O sistema possui um programa com funções idênticas as de um restituidor analítico, mas trabalha com imagens digitais, podem estas ser obtidas através de câmaras digitais ou capturada via scanner.

O DVP, baseado em PC, deverá revolucionar a técnica de obtenção e atualização de mapas digitais, simplificando operações e reduzindo custos.

Outro processo existe para geração de produtos cartográficos digitais que é a digitalização. A digitalização não é propriamente um processo de obtenção de bases cartográficas, e sim de conversão de dados analógicos em dados digitais. Portanto, pressupõe-se a existência de bases cartográficas convencionais (mapas impressões) que serão convertidas para meios digitais por dois métodos, a digitalização vetorial ou a digitalização raster.

A digitalização vetorial consiste em transportarem-se os dados representados num mapa de linhas para um computador, mediante a utilização de mesas digitalizadoras e programas computacionais capazes de efetuarem esta operação. As mesas digitalizadoras são periféricos eletrônicos compostos de uma malha metálica, tal como uma tela de arame,

e um cursor dotado de um solenóide em seu centro geométrico. O seu funcionamento baseia-se no registro das posições ocupadas pelo cursor em relação a esta malha.

A digitalização raster, também converte informações analógicas, contidas num mapa de linhas, em digitais. As diferenças com o método vetorial, situam-se no periférico utilizado, um scanner, que executa a digitalização de forma automática, e as imagens obtidas estão sob a forma raster.

Classificação de Cartas

Mapa e Carta

A necessidade de representar o espaço físico no qual o homem habita, tem acompanhado a humanidade desde os tempos mais remotos. Até a década de 60, portanto, antes que os computadores fossem aplicados para o mapeamento, todos os tipos de mapeamento tinham um ponto em comum, a base de dados espaciais era um desenho sobre um pedaço de papel ou poliéster. A informação era codificada na forma de pontos, linhas ou áreas. Estas entidades geográficas básicas eram visualizadas usando vários artifícios, tal como símbolos, cores ou textos, cujos significados são explicados em uma legenda como afirma BURROUGH (1986).

A terminologia Carta e Mapa é empregada de diferente forma em vários lugares do mundo, no Brasil, há uma certa tendência em empregar o termo mapa quando se trata de documentos mais simples ou mais diagramático. Ao contrário, o documento mais complexo, ou mais detalhado, tende à denominação de carta.

Em outras palavras, MAPA pode ser considerado uma “Representação visual, codificada, geralmente bidimensional, total ou parcial da Terra ou de outro objeto”, já o que diferencia uma CARTA, é que esta possui um maior número de informações contidas do que um mapa, possuindo maiores detalhes e precisão.

O mapa, de acordo com JOLY (1990), é uma representação geométrica plana, simplificada e convencional, do todo ou de parte da superfície terrestre, numa relação de similaridade conveniente. É uma construção seletiva e representativa que implica no uso de símbolos e sinais apropriados.

Algumas Características dos Mapas (Cartas)

- Permitem a coleta de informações em gabinete;
- Apresentam informações não visíveis no terreno, como toponímia, fronteiras, curvas de nível;
- Codificam as informações através de símbolos;
- Exigem atualização permanente;
- Representam um modo de armazenamento de informações convenientes ao manuseio de fenômenos espaciais e de suas distribuições e relacionamento;
- Constituem um dos elementos básicos do planejamento das atividades sócio-econômicas das atividades humanas.

Plantas

A principal característica da planta é a exigüidade das dimensões da área representada. A outra, é sem dúvida, a ausência de qualquer referência à curvatura da Terra. O termo Planta, pode ser assim definido: “Carta que representa uma área de extensão suficientemente restrita para que a sua curvatura não precise ser levada em consideração, e que, em conseqüência, a escala possa ser considerada constante”.

Já que a representação se restringe a uma área muito limitada, a escala tende a ser muito grande, e em conseqüência, a aumentar o número de detalhes. Mas é a prevalência do aspecto da área diminuta que caracteriza a planta. Do ponto de vista mais cartográfico, é a planta urbana, sobretudo, com sua intenção cadastral que é mais característica. A planta moderna, de origem fotogramétrica, além da riqueza de detalhes, é de suma precisão geométrica.

Uma planta, geralmente apresenta grande riqueza de detalhes, escala grande e rigor geométrico.

Os Mapas Segundo Seus Objetivos

De acordo com o tipo de usuário para qual foram elaborados, os mapas podem ser gerais, especiais e temáticos.

Mapas Gerais

Um mapa geral é aquele que atende a uma gama imensa e indeterminada de usuários. Um exemplo, deste tipo de mapa, é o mapa do IBGE na escala de 1:5.000.000, representando o território brasileiro, limitado por todos os países vizinhos, o Oceano Atlântico, etc., contendo através de linhas limítrofes e cores, todos os estados e territórios além das principais informações físicas e culturais como rios, serras, ilhas, cabos, cidades importantes, algumas vilas, estradas, etc.

Como se vê, é um mapa de orientação ou informações generalizadas, mas absolutamente insuficiente para muitas e determinadas necessidades. As consultas feitas sobre um mapa geral têm que ser igualmente generalizadas. Se quisermos medir com exatidão a distância, por rodovia, entre São Paulo e Rio de Janeiro, correremos o risco de acrescentar ou diminuir vários quilômetros em relação à distância real.

Mapas Especiais

Em oposição aos mapas gerais, são feitos os mapas especiais para grupos de usuários muito distintos entre si, e, na realidade, cada mapa especial, concebido para atender uma determinada faixa técnica ou científica, é, via de regra, muito específico e sumamente técnico, não oferecendo, a outras áreas científicas ou técnicas, nenhuma utilidade, salvo as devidas exceções. Destina-se à representação de fatos, dados ou fenômenos típicos, tendo, deste modo, que se cingir, rigidamente, aos métodos, especificações técnicas e objetivos do assunto ou atividade a que está ligado. Uma carta náutica, por exemplo, precaríssima em relação à representação terrestre ou continental, é, por outro lado, minuciosa quanto à representação de profundidade, de bancos de areia, recifes, faróis, etc. É que este mapa destina-se exclusivamente à segurança da navegação.

Mapas Temáticos

Trata-se de documentos em quaisquer escalas em que, sobre um fundo geográfico básico, são representados os fenômenos geográficos, geológicos, demográficos, econômicos, agrícolas, etc., visando ao estudo, à análise e à pesquisa dos temas, no seu aspecto especial.

A simbologia empregada na representação de tantos e diversificados assuntos é a mais variada que existe no âmbito da comunicação cartográfica, uma vez que na variação de tantos temas a salientar, suas formas de expressão podem ser qualitativas ou quantitativas.

Semiologia Gráfica e Comunicação Cartográfica

Segundo Fernand Joly, a cartografia pode ser considerada uma linguagem visual universal pois, utiliza-se de uma gama de símbolos compreensíveis em qualquer canto da Terra, no entanto como linguagem exclusivamente visual, está sujeita às leis fisiológicas da percepção das imagens. Conhecer as propriedades dessa linguagem para melhor utilizá-la é o objeto da semiologia gráfica.

Aplicada à cartografia, ela permite avaliar as vantagens e os limites das variáveis visuais empregadas na simbologia cartográfica e, portanto, formular as regras de uma utilização racional da linguagem cartográfica.

A semiologia e o estudos dos sistemas não-verbais que têm por finalidade complementar a comunicação verbal e/ou de modo independente. Desta forma a semiologia pode ser definida como a ciência que estuda os problemas relativos à representação.

O professor J. Bertin, sugeriu uma linha de trabalho vinculada ao que ele denominou de Semiologia Gráfica, cujas raízes dever ser buscadas no estruturalismo de Saussure. Bertin, formulou a linguagem gráfica como um sistema de signos gráficos com significado (conceito) e significante (imagem gráfica).

Seja qual for o método adotado para a aquisição de dados, a construção do mapa deverá prover as informações, sobre a distribuição espacial dos fenômenos, de tal forma que a comunicação através do mapa seja criada, dando facilidades de interpretação.

Atualmente, os usuários dos produtos cartográficos, podem ser considerado como grandes navegadores em um mar de informações, entretanto, não se pode esquecer a função principal do mapa, no seu mais amplo sentido que é e continuará sendo a comunicação, que vem sendo sensivelmente beneficiada com o surgimento dos sistemas multimídia, disponibilizando inúmeras possibilidades de interação e interatividade.

Simbologia Cartográfica

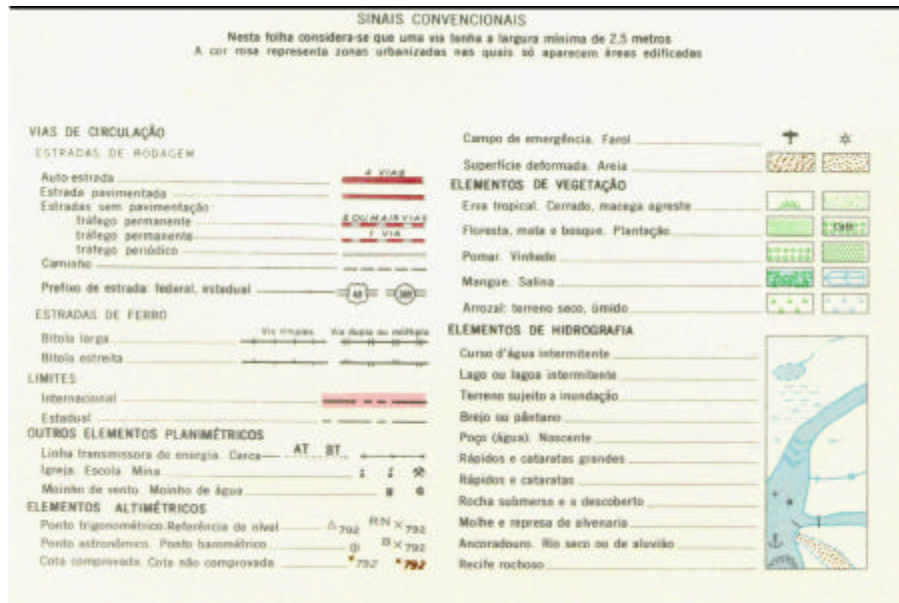
Um mapa, sob o ponto de vista gráfico, nada mais é do que um conjunto de sinais e de cores que traduz as mensagens, para as quais foi executado. Os objetos cartografados, materiais ou conceituais, são transcritos através de grafismo ou símbolos, que são relacionados na legenda do mapa.

De acordo com suas características específicas, os símbolos dividem-se nas seguintes categorias:

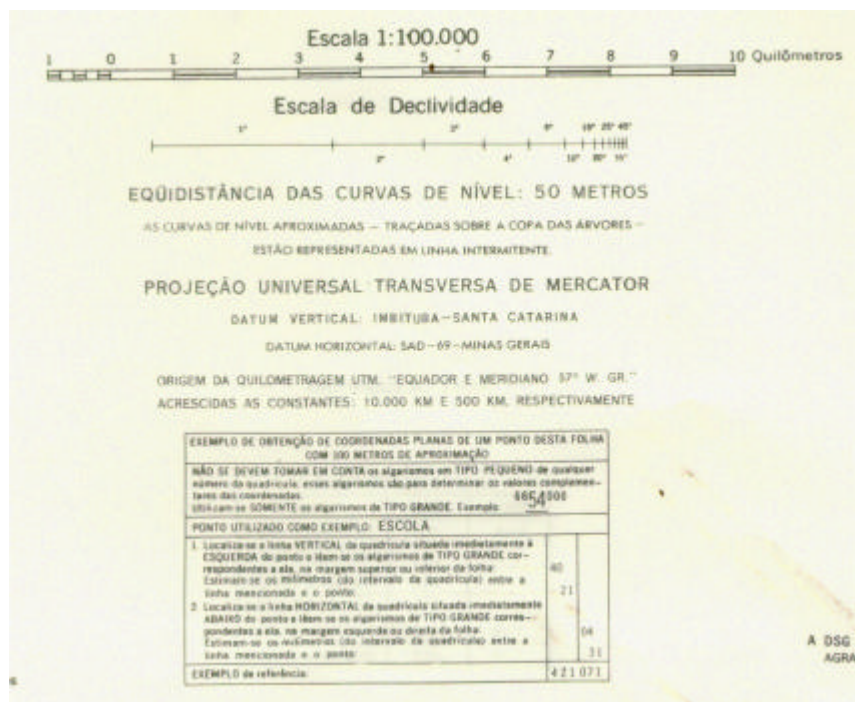
1. Sinais convencionais são esquemas centrados em posição real, que permitem identificar um objeto cuja superfície é demasiado pequena na escala, para que possa ser tratada na projeção;
2. Sinais simbólicos são signos evocadores, localizados ou cuja posição é facilmente determinável;
3. Os pictogramas são símbolos figurativos facilmente reconhecíveis;
4. Os ideogramas são pictogramas representativos de um conceito ou de uma idéia;
5. Um símbolo regular é uma estrutura constituída pela repetição regular de um elemento gráfico sobre uma superfície delimitada; e
6. Um símbolo proporcional é um símbolo quantitativo cuja dimensão varia com o valor do fenômeno representado.

Informações de Legenda

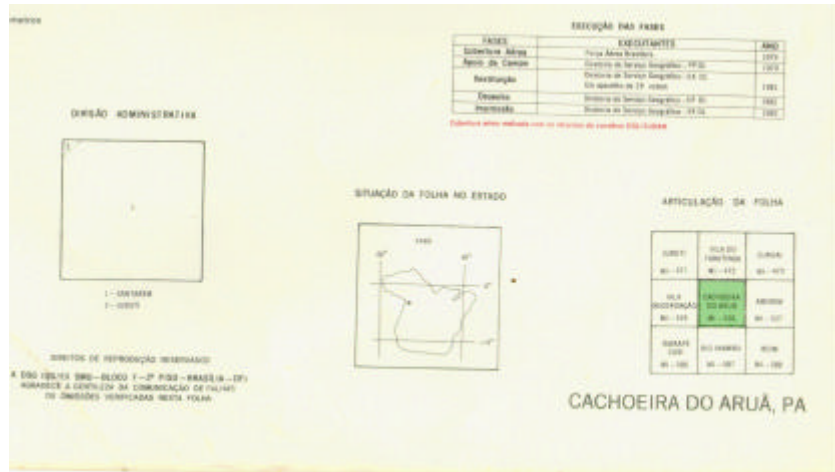
A legenda é à parte de um mapa que possui todos os símbolos e cores convencionais e suas respectivas explicações, sendo esta encimada pelo termo "convenção". Nas figuras abaixo podemos visualizar exemplos de legendas utilizada.



Exemplo de Informações Gráficas Contidas na Legenda de um Mapa



Exemplo de Informações Gráficas Contidas na Legenda de um Mapa



Exemplo de Informações Gráficas Contidas na Legenda de um Mapa

Diagrama de orientação

A maioria dos mapas de série apresentam informações de direção, referenciadas ao:

1. Norte verdadeiro ou geográfico
2. Norte magnético
3. Norte da quadrícula

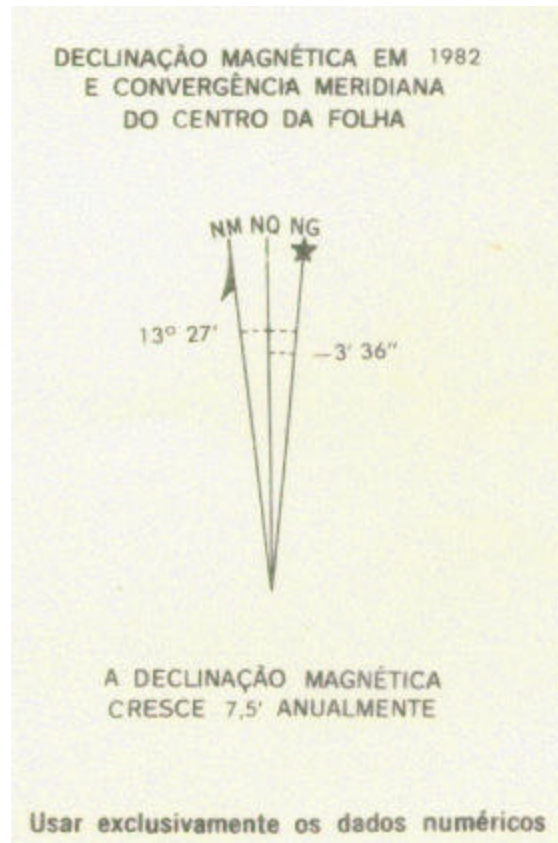


Diagrama de Orientação

O ângulo formado pela direção do norte magnético com a do norte verdadeiro, tendo como vértice um ponto qualquer do terreno, é chamado de declinação magnética.

O ângulo formado pela direção do norte da quadrícula com a do norte verdadeiro, tendo como vértice um ponto qualquer do terreno, é chamado convergência meridiana.

Tanto a convergência meridiana como a declinação magnética, variam de ponto para ponto, sobre a superfície terrestre.

Os Mapas Segundo a Escala

Conforme a escala em que são construídas, as cartas podem ser divididas em três categorias: escala grande, média e pequena.

As **cadastrais** são exemplos de cartas produzidas em escalas grandes (geralmente, 1:1.000, 1:5.000, em alguns casos, 1:10.000). Como exemplo de cartas em escala média podemos destacar as Cartas **Topográficas**, elaboradas nas escalas que variam de 1:25.000 até 1:250.000. Finalmente, como cartas em pequena escala, exemplificamos as Cartas **Geográficas**, geralmente elaboradas em escalas de 1:500.000 ou menores.

De forma simplificada, os mapas, segundo a escala podem ser classificados em:

Plantas cadastrais – Escala variando de 1:200 à 1:10.000

Cartas Topográficas – de 1:10.000 à 1:25.000 (ou até 1:100.000)

Cartas Corográficas – de 1:25.000 à 1:100.000 (cartas regionais, estaduais ou de um país)

Cartas Geográficas – de 1:100.000 à 1:5.000.000

Mapas Mundi – de 1:5.000.000 à ... (Mapas Mundi ou Atlas)

Escalas

Toda representação, como toda imagem, está em uma certa relação de tamanho (proporção) com o objeto representado. Assim, a representação da superfície terrestre sob a forma de carta deve ser bastante reduzida, dentro de determinada proporção. Esta proporção é chamada de escala.

Escala é, portanto, a relação entre o tamanho dos elementos representados em um mapa e o tamanho correspondente medido sobre a superfície da Terra.

Ou ainda, Escala vem a ser a relação entre a distância de dois pontos quaisquer do mapa com a correspondente distância na superfície da terra.

$$E = d/D$$

Onde:

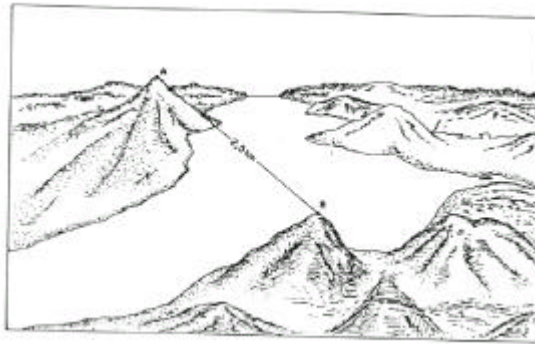
E = Escala numérica

d = distância medida no mapa

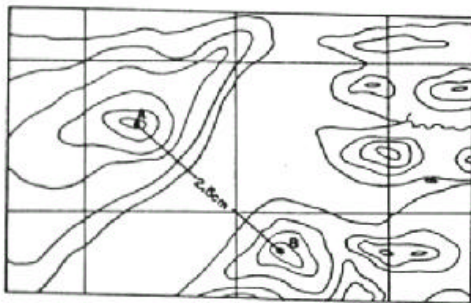
D = Distância equivalente no terreno

Exemplo:

Representação de um mesmo tema (distância) em diferentes escalas;



1:50.000



1:100.000



1:250.000

Generalização

Generalização significa distinguir entre o essencial e o não essencial, conservando-se o útil e abandonando-se o dispensável. qualidade imprescindível na representação cartográfica, pois dela dependerá a simplicidade, clareza e objetividade do mapa, através da seleção correta dos elementos que o irão compor. Isso não significa eliminar detalhes, mas omitir detalhes sem valor.

Evidentemente, a generalização tem relação direta com a escolha adequada da escala. Segundo DEETZ (1949: 130):

O cartógrafo que sabe generalizar corretamente justifica melhor a escolha duma escala menor do que o que, por falta de habilidade, procura, geralmente apresentar demasiados detalhes pelo receio de omitir algum que seja essencial.

Indicação de Escala

A escala é uma informação que deve constar da carta e pode ser representada, geralmente, pela escala numérica e/ou escala gráfica.

Escala Numérica ou Fracionária

As escalas numéricas ou fracionárias figuram-se por frações, cujos denominadores representam as dimensões naturais e os numeradores as que lhes correspondem no mapa. É indicada da seguinte forma: 1:50.000 ou 1/50.000. Esta escala indica que uma unidade de medida no mapa equivale a 50.000 unidades da mesma medida sobre o terreno. Assim 1 cm no mapa corresponde a 50.000 cm no terreno, ou seja, 1 cm no mapa representa 500 m do terreno. Um mapa será tanto maior quanto menor for o denominador da escala. Assim, a escala 1:25.000 é maior que 1:50.000.

Escala Gráfica

A escala gráfica é um segmento de reta dividido de modo a permitir a medida de distância na carta. Assim, por exemplo, a escala indica qual a distância, na carta equivalente a 1 km. Este tipo de escala permite visualizar, de modo facilmente apreensível, as dimensões dos objetos figurados na carta. O uso da escala gráfica tem vantagem sobre o de outros tipos, pois será reduzida ou ampliada juntamente com a carta, através, de métodos xerográficos e fotográficos, podendo-se sempre saber a escala do documento com o qual se está trabalhando.



Determinação de Escala

A determinação da escala omitida em uma carta, só pode ser feita quando se conhecer a distância natural entre dois pontos.

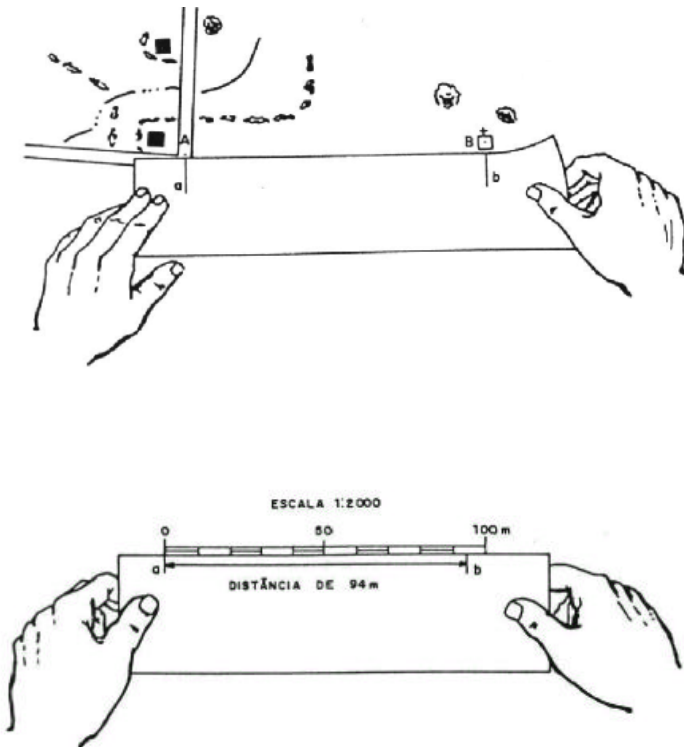
Depois de se fixar na carta os dois pontos, deve-se medir a distância gráfica que os separa e dividir a distância conhecida no terreno pela distância gráfica, deve-se ter o cuidado de utilizar a mesma unidade de medida. o quociente representa, representará o denominador da escala. Exemplo: a distância entre duas cidades é de 12 km no terreno. Na carta, a distância entre elas é de 0,06 m. A escala será achada dividindo-se 12 000 m por 0,06 m. Assim a escala da carta será de 1 :200 000.

Como se medir Distâncias

Para se medir distâncias entre dois pontos, numa linha reta, em uma carta com escala gráfica, deve-se utilizar uma tira de papel, na qual são marcados os dois pontos (A e B) e depois transportá-los para a escala.

Para se medir linhas curvas, de modo simples, pode-se usar o sistema de traçados sucessivos de cordas, cuja medição final será a soma das mesmas, considerada como uma soma de linhas retas. Esse método é conveniente para traçados de curvas suaves, como estradas e rios meandantes. Cabe ressaltar que ambos os métodos apresentam como resultado distância aproximada, não podendo ser considerado um método preciso.

No caso de torrentes, de caminhos e estradas em serras íngremes, deve ser utilizado o curvímetro.



Como Medir Áreas

Os métodos práticos para se medir uma área qualquer em uma carta, sempre fornecerão dados aproximados, mas de fácil aplicação.

Método da Contagem

Pode-se medir a área aproximada, em uma carta, empregando-se, primeiramente, o papel milimetrado transparente (vegetal). Colocando-se o papel sobre a carta, desenha-se nele o contorno da área a ser medida. Em seguida, somam-se os quadradinhos inteiros e depois os fragmentos de quadradinhos incluídos dentro da área, sendo os últimos a única possibilidade de erro. O total da soma deve ser multiplicado pela área de um dos quadradinhos do papel milimetrado.

Método de planimetragem

A avaliação de uma área também pode ser feita empregando-se um instrumento chamado planímetro.

Critérios de exatidão de cartas topográficas

Conforme acentua Libualt (1975), não se deve exigir de uma carta mais do que ela possa exprimir, não havendo possibilidade de se obter uma visão global de uma região sem perder, cada vez mais a precisão. Assim as medidas de detalhes devem ser realizadas sobre uma carta de detalhada, isto é de escala bastante grande, que apresente a precisão e o acabamento adequados.

As possibilidades de erro das medidas feitas numa carta topográfica ou aerofotogramétrica dependem de vários fatores: precisão da tradução gráfica; precisão da derivação; precisão da transmissão por meio das folhas impressas.

Padrão de exatidão cartográfica

E S C A L A s 1:	Equid. das curvas de nível (m)	Precisão Altimétrica						Precisão Planimétrica					
		Classe A		Classe B		Classe C		Classe A		Classe B		Classe C	
		PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP
5.000	5,0	2,5	1,7	3,0	2,0	3,75	2,5	2,5	1,5	4,00	2,5	5,0	3,0
2.000	2,0	1,0	0,7	1,2	0,8	1,5	1,50	11,0	0,6	1,6	1,0	2,0	1,2
1.000	0,5	0,5	0,3	0,6	0,4	1,75	0,5	0,5	0,3	0,8	0,5	1,0	0,6

LOCALIZAÇÃO NA SUPERFÍCIE DA TERRA

Forma da Terra

No princípio, o homem imaginou a Terra como uma superfície plana. Posteriormente foi admitida a idéia da Terra como uma esfera. Já no fim do século XVII, com Newton, surgiu a hipótese de que a forma da Terra, por efeito da gravidade e do seu movimento de rotação, seria a de um elipsóide achatado nos pólos.

No final do século XIX e no início do século XX, geodestas chegaram à concepção do geóide para forma da Terra. Entretanto, como o geóide indica apenas que a forma da Terra característica, não tendo uma superfície geometricamente definida, resolveu-se considerar para fins práticos a Terra como elipsóide de revolução, que , um sólido gerado pela rotação de uma elipse em torno do eixo dos pólos.

Estudos geodésicos recentes mostraram valores diferentes para os elementos do elipsóide, medidos nos vários pontos da Terra. Isso faz com que cada região deva adotar como referência o elipsóide mais indicado. No caso do Brasil, adota-se o elipsóide de Hayford, cujas dimensões são as que mais convêm para a América do Sul.

Meridianos e Paralelos

Para que cada ponto da superfície terrestre possa ser localizado, existe um sistema de linhas imaginárias, que são representadas em uma carta: os meridianos e paralelos.

Os *meridianos* são as linhas que passam através dos pólos e ao redor da Terra. O ponto de partida para numeração dos meridianos é o meridiano que passa pelo Observatório de Greenwich, na Inglaterra. Portanto, o meridiano de Greenwich é o Meridiano Principal. As localizações são feitas a partir dele que é o marco 0° , para oeste e para leste, 180° .

O meridiano é um arco, isto é, metade de um círculo máximo que vai do Pólo Norte ao Pólo Sul. Assim, a semicircunferência que fica oposta ao meridiano, cuja trajetória passa pela cidade de São Paulo , o antemeridiano de São Paulo. O antemeridiano do meridiano de Greenwich é o de 180°

Partindo-se do Pólo Norte em direção ao Pólo Sul, ou vice-versa, exatamente na metade do caminho, encontra-se o Equador, uma linha imaginária que intersecta cada meridiano e que rodeia a Terra, contida em um plano perpendicular ao seu eixo de rotação, dividindo-a em duas metades exatas.

O Equador é um círculo máximo, cujo plano é perpendicular à linha dos pólos. Seu valor é 0° , e partindo-se dele em direção ao pólos Norte e Sul, pode-se construir uma infinidade de planos paralelos, cujas seções são círculos que progressivamente diminuem de tamanho. São chamados de paralelos; quando se chega ao pólo, o círculo fica reduzido a um ponto. Numeram-se os paralelos de 0 à 90° , para Norte e para Sul.

O conjunto dos meridianos e paralelos forma uma rede de linhas imaginárias ao redor do globo, constituindo as coordenadas geográficas. Em uma carta, este conjunto é chamado de rede, reticulado ou quadriculado e constitui a base da sua construção.

Coordenadas geográficas

Cada ponto da superfície terrestre está situado no ponto de intercessão entre um meridiano e um paralelo. A localização de cada ponto é dada em termos de sua latitude e de sua longitude. Este sistema está baseado em duas linhas: o Equador e o Meridiano Principal. As medidas são feitas em linhas curvas, isto é, nos paralelos meridianos. portanto, o sistema de medida utilizado é o grau.

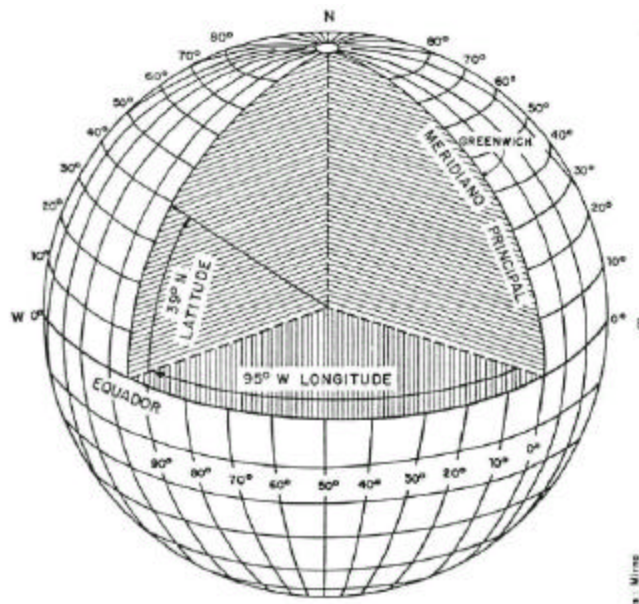
Latitude e Longitude

Latitude é a distância em graus, minutos e segundos de arco Norte ou Sul do Equador, medidos ao longo do meridiano do ponto; vai de 0 a 90° , ou ainda, “latitude é o ângulo entre o fio de prumo e o plano do equador celeste, ou o ângulo entre o plano do horizonte e o eixo de rotação da Terra”.

Longitude é a distância em graus, minutos e segundo de arco Leste ou Oeste do Meridiano de Greenwich, medidos ao longo do paralelo do ponto, vai de 0 a 180° , ou Longitude é o ângulo entre o plano do meridiano celeste e o plano do meridiano de origem, escolhido arbitrariamente.

O ângulo da longitude é determinado pelas linhas que vão do Meridiano Principal e do meridiano no qual está o ponto a ser localizado, até o ponto onde elas se encontram, que é o centro da Terra.

O ângulo da latitude é determinado pelas linhas que vão do Equador e do paralelo no qual está o ponto a ser localizado, até o ponto onde elas se encontram, que é o centro da Terra.



Coordenadas UTM

Além das coordenadas geográficas, a maioria das cartas de grande e média escalas, em nosso País, também são construídas com coordenadas plano-retangulares. Estas coordenadas formam um quadriculado relacionado à Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM).

O espaço entre as linhas do quadriculado UTM é conhecido como equidistância do quadriculado e será maior ou menor de acordo com a escala da carta.

O sistema de medida usado é o linear em metros, cujos valores são sempre números inteiros, sendo registrados nas margens da carta.

Assim, o quadriculado UTM está estreitamente relacionado à projeção com o mesmo nome, a qual divide a Terra em 60 fusos de 6° de longitude cada um. O

quadriculado, se considerado como parte integrante de cada fuso, tem sua linha vertical central coincidente com o Meridiano Central (MC) de cada fuso.

Os meridianos do fuso ou zona da projeção formam um ângulo com as linhas verticais da quadrícula. Esse ângulo é nulo para o MC mas vai aumentando com a diferença de longitude e também com a latitude. Este ângulo foi chamado de Convergência Meridiana, a qual é variável em relação à situação a cada ponto dentro da zona e representa, para cada ponto, o ângulo formado entre as linhas que indicam o Norte Geográfico e o Norte da Quadrícula.

A origem das medidas do quadriculado é o cruzamento do MC com o Equador, ao qual foram atribuídos arbitrariamente os seguintes valores: para o Meridiano Central, 500.000 m E, determinando as distâncias em sentido Leste/Oeste, e para o Equador, 10.000.000 m para o Hemisfério Sul, e 0 m, para o Hemisfério Norte

Para localizar:

A *longitude* de um ponto à direita do MC de uma zona ou fuso como a distância, em metros, entre esse ponto e o MC, somada aos 500.000m para se obter o valor quadricular real do ponto;

A *longitude* de um ponto à esquerda do MC de uma zona ou fuso como a distância, em metros, entre esse ponto e o MC, deduzida de 500.000m para se obter o valor quadricular real do ponto;

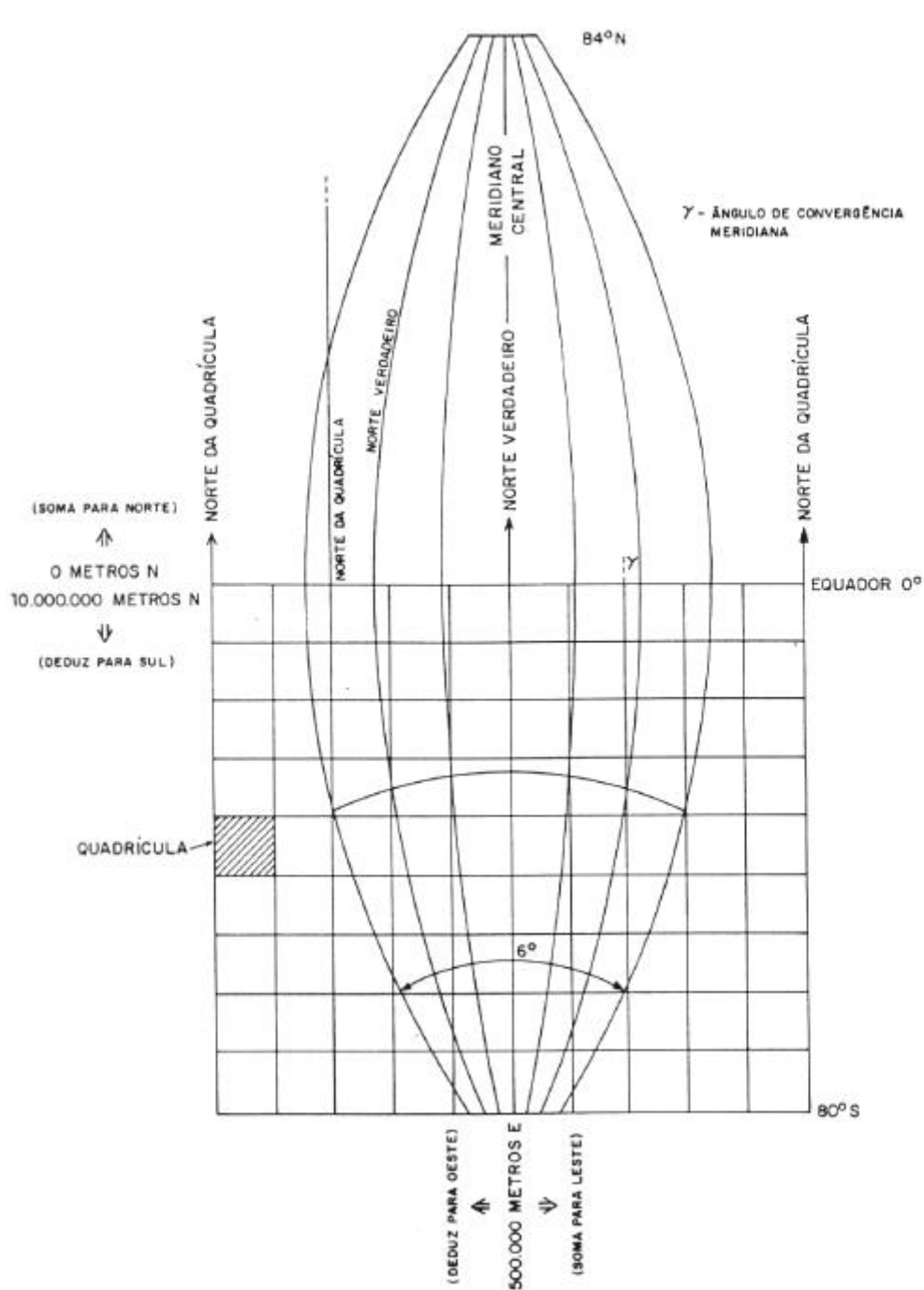
A latitude de um ponto a Sul do Equador como distância, em metros, entre esse ponto e o Equador, deduzida de 10.000.000m para obter-se o valor quadricular real do ponto; este valor refere-se como Norte (N), porque aumenta de Sul para Norte;

A latitude de um ponto a Norte do Equador como distância, em metros, entre esse ponto e o Equador, somada a 0m para obter-se o valor quadricular real do ponto; este valor também refere-se como N quadricular, porque aumenta para Norte;

Diferença entre quadrícula UTM e Projeção UTM

A Projeção UTM é um sistema de linhas desenhadas (projetadas) em uma superfície plana e que representam paralelos de latitude e meridianos de longitude.

A Quadrícula UTM é o sistema de linhas retas espaçadas uniformemente, que se intersectam em ângulos retos, formando um quadriculado.



Des.: Mirne

Projeções Cartográficas

Um globo geográfico é a representação mais fiel que se conhece da Terra. Embora saibamos que o nosso planeta não é uma esfera perfeita, nada há mais semelhante a ele do que um pequeno globo. É uma verdadeira miniatura da Terra, devido, principalmente, à sua forma. Então, se um globo é a representação esferoidal da Terra, nos seus aspectos geográficos, uma carta é a representação plana da Terra.

O maior drama que existe em cartografia é, o de transferir tudo o que existe numa superfície curva, que é a Terra, para uma superfície plana que é o mapa.

Não é difícil, pois, concluirmos, de imediato, que só poderemos conseguir esta transferência, essa passagem, de maneira imperfeita, infiel, isto é, com algumas alterações ou imperfeições. Por isso é que o problema das projeções cartográficas exige, não só de nós, para sua compreensão, como dos matemáticos, cartógrafos, astrônomos, enfim todos os que criam projeções, uma grande dose de imaginação.

Imaginemos uma experiência prática, muito simples: se dispusermos de uma bola de borracha e lhe dermos um conte de 180° (de um pólo à outro), e quisermos esticá-la em uma plano, acontecerá fatalmente, que qualquer imagem que tivéssemos anteriormente traçado nessa bola, teria ficado inteiramente alterada, ou melhor, distorcida, deformada. O problema das projeções não é muito diferente do imaginado aqui.

Desenvolvimento da Esfera

Toda vez que tentamos desenvolver uma esfera num plano, ou parte de uma esfera, podemos observar que os limites externos da superfície em desenvolvimento são, precisamente, os mais sacrificados, isto é, os mais alterados, ao passo que tais alterações vão diminuindo em direção ao centro da projeção, onde não haverá alteração. O centro duma projeção, dessa maneira, é a parte da projeção - que pode ser um ponto ou uma linha (paralelo ou meridiano) - em verdadeira grandeza, isto é, sem alteração de escala, em consequência do desenvolvimento da esfera num plano.

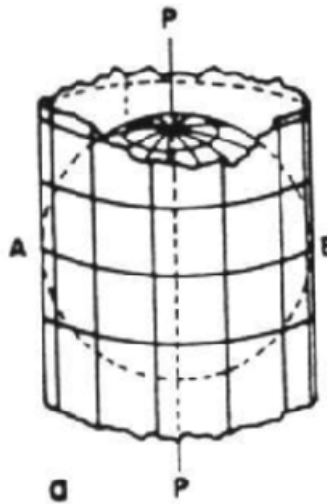
Devemos lembrar que o temo desenvolver, com referência a projeções, significa executar o desdobramento duma superfície em outra, sem deformá-la. Como a esfera não se desenvolve sobre o plano, passamos a utilizar superfícies intermediárias, ou auxiliares, que tenham a propriedade de se desenvolver.

Assim sendo, temos que procurar figuras algo semelhante à esfera, e que sejam facilmente desenvolvíveis. O cilindro, o cone e o plano constituem esses tipos de figuras.

Projeções Verdadeiras

De acordo com a natureza da superfície empregada, as projeções se classificam em: cilíndricas, cônicas e planas ou horizontais.

As *projeções cilíndricas* são obtidas a partir do desenvolvimento da superfície de um cilindro que envolve a esfera e para o qual se faz o transporte das coordenadas esféricas.



Em todas as projeções cilíndricas, os meridianos e os paralelos são retas perpendiculares, como na esfera. Podem ser tangentes a esfera, ou secantes.

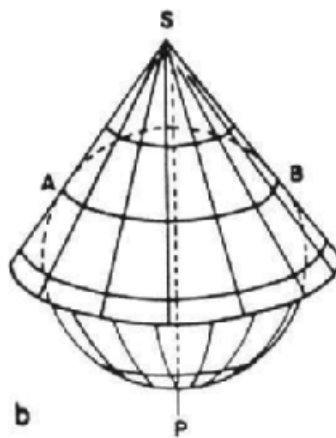
A projeção de Mercator é a mais conhecida das projeções cilíndricas e a favorita para navegação marítima, pois é a única no qual as direções marítimas podem ser traçadas em linhas retas sobre o mapa. Sua superfície de projeção é de um cilindro tangente ao

equador, esférico, com o eixo polar da esfera coincidente com o eixo do cilindro. Os meridianos e paralelos são linhas retas, que se cortam em ângulos retos. O equador está traçado em grandeza verdadeira, os meridianos estão a igual distância (equidistantes), porém, os paralelos aumentam a distância entre si até os pólos, fazendo com que a dimensão do mapa na latitude de 60° estejam exageradas em 100% e aos 80° , já estejam seis vezes maior.

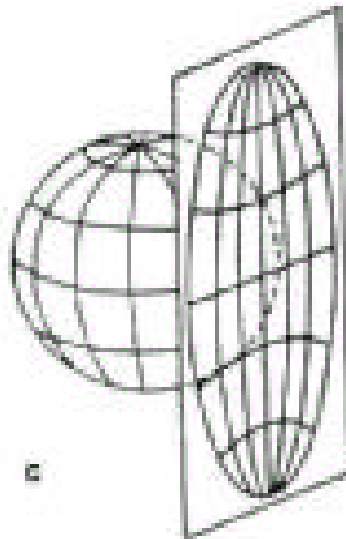
Existem variações e adaptações da Projeção de Mercator. Assim, por exemplo, pode tornar-se transversa, fazendo-se girar o eixo do cilindro transversalmente ao eixo polar da Terra. É o caso da Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM).

A projeção cilíndrica ainda pode ser oblíqua, também chamada de horizontal. Neste caso, o eixo do cilindro estará inclinado em relação ao eixo da Terra (Projeção Oblíqua de Mercator).

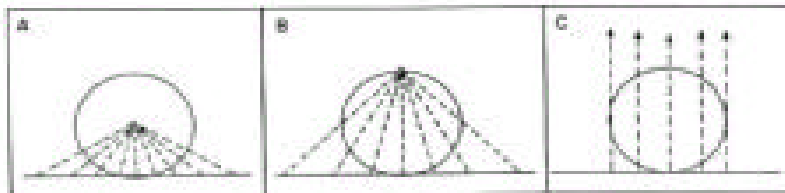
As *projeções Cônicas* são obtidas pelo desenvolvimento da superfície de um cone que envolve a esfera. Os meridianos são retas que convergem em um ponto, que representa o vértice do cone, e todos os paralelos são circunferências concêntricas a este ponto. As projeções Cônicas também podem ser tangentes ou secantes. No caso da projeção ser tangente, só um dos paralelos está traçado em verdadeira grandeza, sendo que, no caso de uma projeção secante, dois paralelos conservarão as suas dimensões na superfície desenvolvida. A Projeção Cônica de Lambert é feita em um cone secante.



As *projeções planas ou horizontais* são obtidas pela transposição das coordenadas sobre um plano colocado em posição determinada em relação à esfera. A superfície do globo é, então, projetada sobre um plano a partir de um centro de perspectiva ou ponto de vista.



Quando o ponto de vista é o centro da Terra, a projeção é *gnomônica* (A), quando o ponto de vista é o ponto na superfície terrestre que se encontra diretamente oposto, é *estereográfica* (B), quando o ponto de vista se acha no infinito, é *ortográfica* (C).



As projeções gnomônica e estereográfica podem ser, de acordo com a posição do plano em relação à esfera, de três tipos: polar, equatorial ou oblíqua. As duas também podem ter o princípio das projeções tangentes e secantes. Quanto projeção ortográfica é sempre secante.

Entre todas as projeções planas, as mais conhecidas são as estereográficas, sendo que a Projeção Estereográfica Polar é utilizada para as folhas da Carta Internacional ao Milionésimo, ao norte do paralelo de 81° de latitude norte e ao sul do paralelo de 80° de latitude sul.

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)

Como visto anteriormente, existem variações e adaptações da Projeção de Mercator. Assim, por exemplo, pode tornar-se transversa, fazendo-se girar o eixo do cilindro transversalmente ao eixo polar do globo terrestre. É o caso da Projeção Universal Transversa de Mercator, na qual o cilindro envolvente se move dentro de uma posição secante. Isto faz com que o raio do cilindro se torne menor que o raio da esfera. A condição secante têm vantagem sobre a condição tangente, pois na primeira, duas linhas norte-sul aproximadamente se convertem em linhas de distância exata.

A projeção UTM, proposta pelos Estados Unidos em 1950, abrange a totalidade das longitudes. Para que seja possível, é feito um fracionamento em fusos ou zonas, de longitude determinada de maneira a não ultrapassar certos limites aceitáveis de deformação. Este fracionamento já havia sido calculado em módulos de 6° de longitude cada um. Todos são idênticos, de tal modo que os cálculos efetuados para um deles (fuso padrão) têm seus resultados válidos para a totalidade da Terra, isto é, para todos os fusos.

A numeração das zonas, começando com a Zona 1, têm sua origem no meridiano de 180°W (ou seja, no antemeridiano de Greenwich) e vai caminhando progressivamente para Leste até chegar à zona 60, que está compreendida entre 174°E e 180°E .

Em Latitude, os fusos são limitados aos paralelos de 80°S e 84°N , porque as deformações seriam muito grandes para latitudes superiores. A diferença de 4° entre latitudes N e S é devida à diferença de achatamento entre o Hemisfério Norte e Hemisfério Sul.

Propriedade das Projeções

As projeções, segundo suas propriedades, podem ser classificadas em:

Equivalentes

Conformes

Eqüidistantes

Azimutais ou Zenitais

Afiláticas ou Arbitrárias

Projeção Equivalente

As projeções *Equivalentes* possuem a propriedade de não deformar as áreas, conservando assim, quanto a área, uma relação constante com as suas correspondentes na superfície da Terra. Isto significa que, seja qual for a proporção representada num mapa, ela conserva a mesma relação com a área de todo o mapa.

Para conseguir a equivalência, o cartógrafo deverá sacrificar a forma representada no mapa. Em outras palavras, só conseguirá tal vantagem, mediante o sacrifício da forma.

As quadrículas de um mapa, formadas por paralelos e meridianos, só podem guardar, entre si, a relação de tamanho, se modificarmos a forma dessas quadrículas. Quaisquer destas quadrículas, na esfera terrestre, são compostas de paralelos e meridianos que se cruzam em ângulos retos. A deformação neste caso, é logo percebida pela alteração dos ângulos. Mas como a recíproca nem sempre é verdadeira, também aqui se pode afirmar que nem sempre uma quadrícula em ângulos retos pode ser deformada.

Projeções Conformes

A projeção conforme, ao contrário da anterior, é aquela que não deforma os ângulos, e, em decorrência desta propriedade, não deforma, igualmente, a forma de pequenas áreas. Outra particularidade desse tipo de projeção é que a escala, em qualquer ponto, é a mesma, seja na direção que for, embora, por outro lado, mude de um ponto para outro, e permaneça independente do azimute em todos os pontos do mapa. Ela só continuará a ser a mesma, em todas as direções de um ponto, se duas direções no terreno, em ângulos retos entre si, forem traçadas em duas direções que, também estejam em ângulos retos, e ao longo das quais a escala for a mesma.

Projeções Eqüidistantes

A projeção eqüidistante é a que não apresenta deformações lineares, isto é, os comprimentos são representados em escala uniforme. Deve ser ressaltado, entretanto, que a condição de eqüidistância só é conseguida em determinada direção, e, de acordo com esta direção, uma projeção eqüidistante se classifica, em meridiana, transversal e azimutal ou ordodrômica.

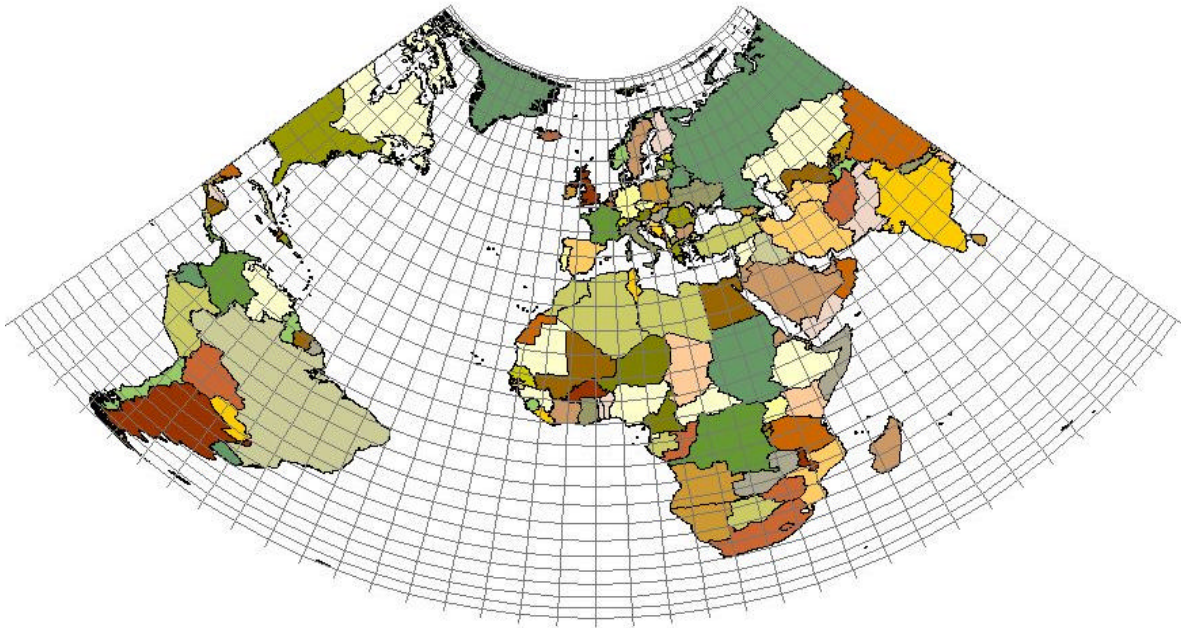
Projeções Azimutais

A projeção azimutal, é uma projeção que resolve apenas um problema, ou seja, aquele que nem uma equivalente, nem uma conforme lhe dá solução, o qual é, numa carta, o dos azimutes ou as direções da superfície da Terra. Esta projeção se destina, invariavelmente, a mapas especiais construídos para fins náuticos ou aeronáuticos.

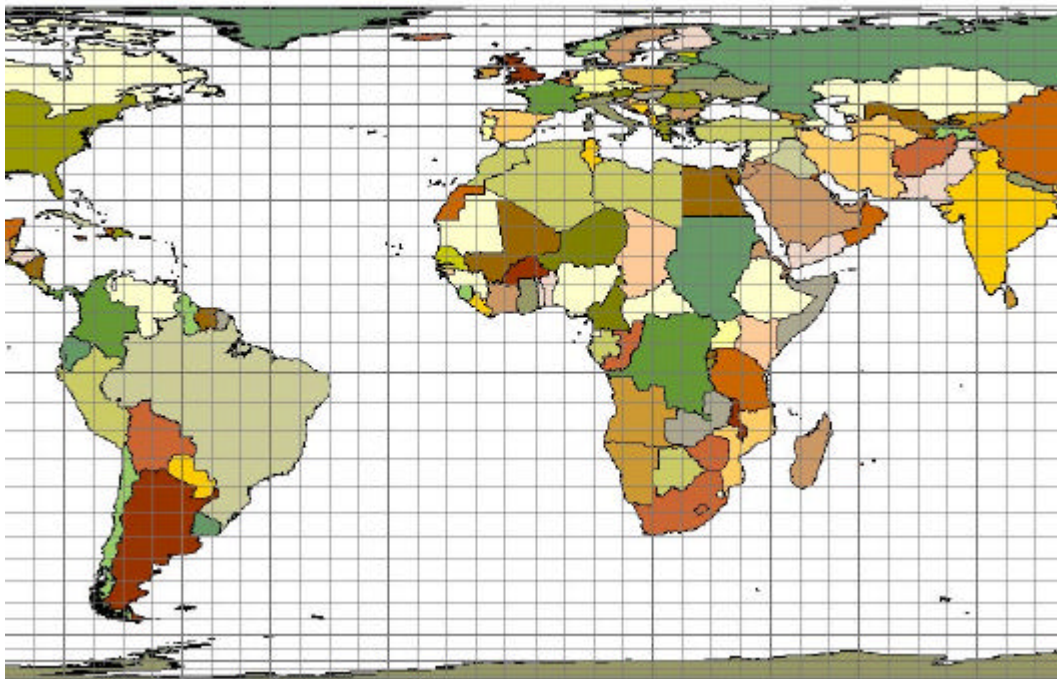
Projeções Afiláticas

A projeção Afilática, igualmente conhecida como arbitrária, não possui nenhuma das propriedades dos quatro outros tipos, isto é, equivalência, conformidade, eqüidistância e azimutes certos, ou seja, as projeções em que as áreas, os ângulos e os comprimentos não são conservados.

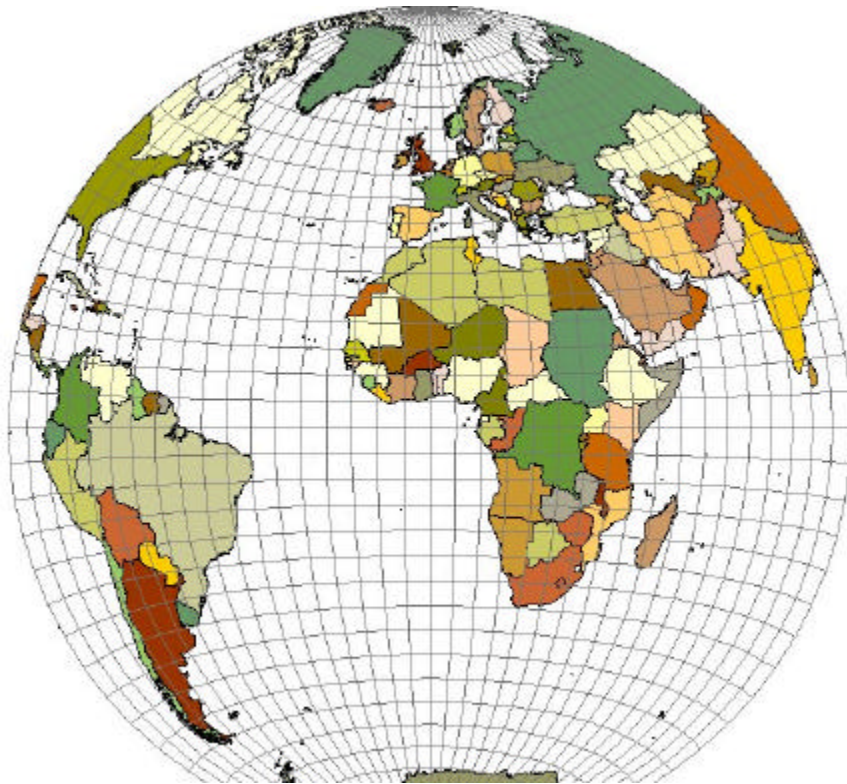
Exemplos Gráficos de Projeções



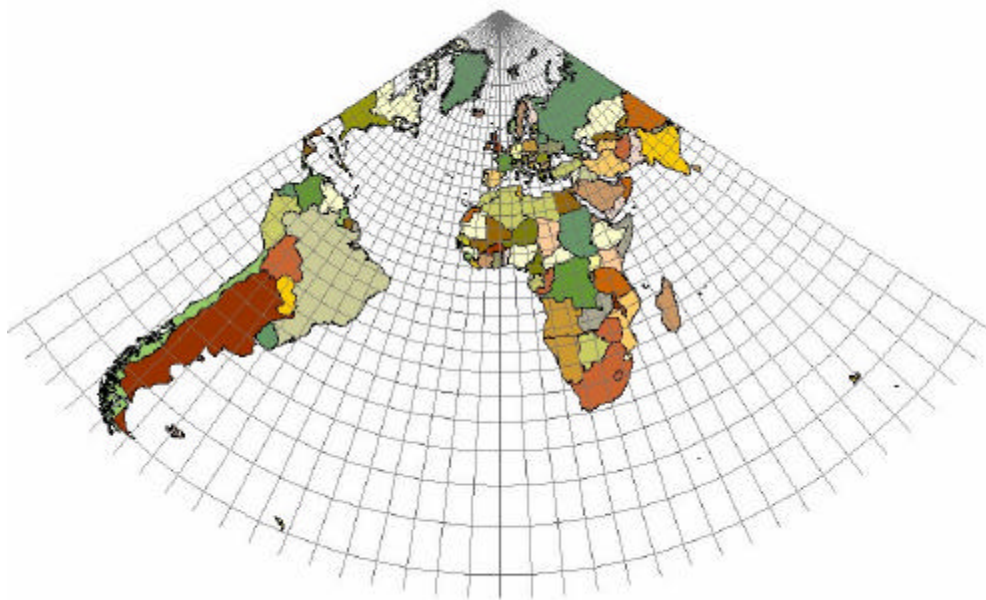
Projeção Cônica Equivalente de Albers



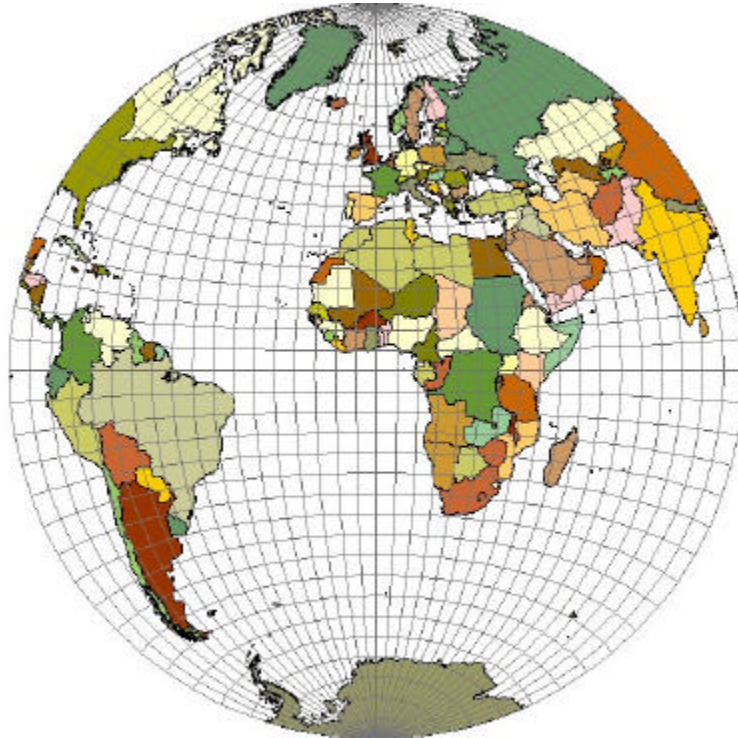
Projeção Equivalente Cilíndrica



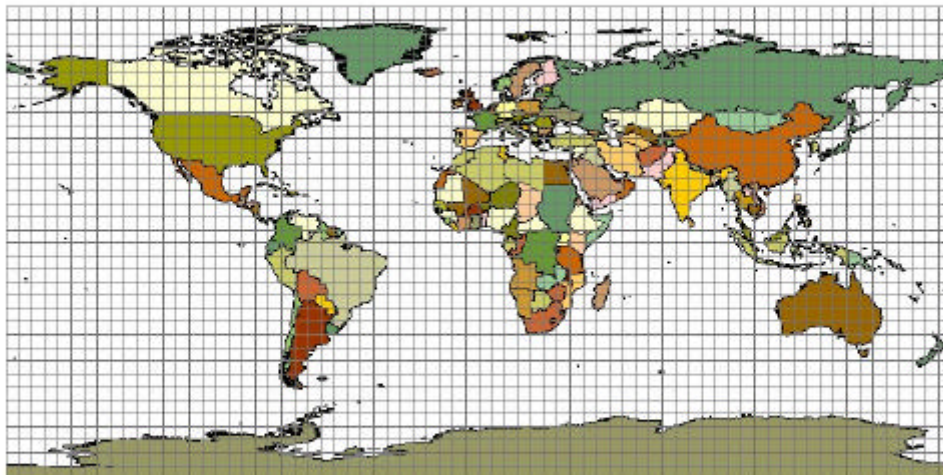
Projeção Azimutal Equivalente de Lambert



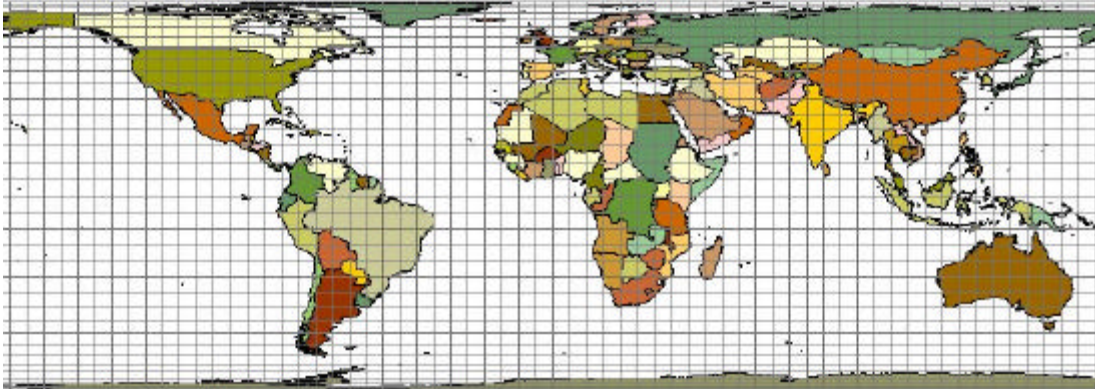
Projeção Cônica Conforme de Lambert



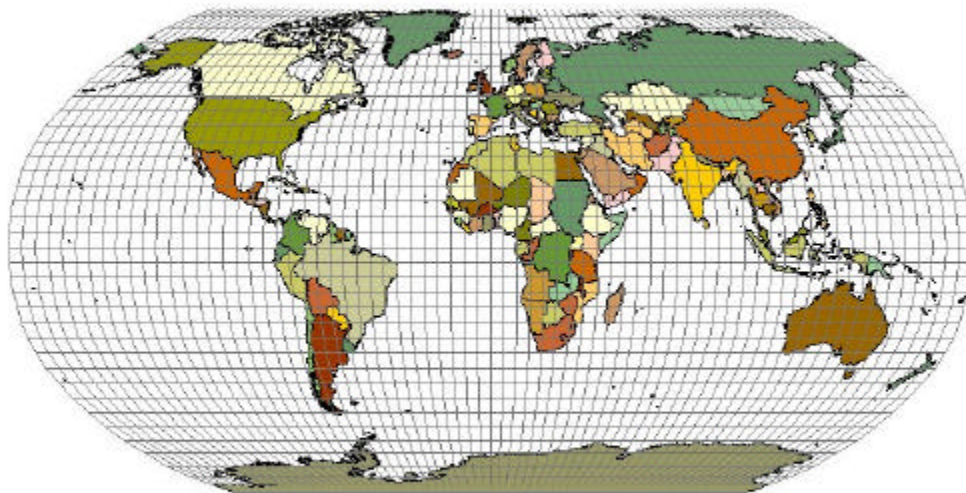
Projeção Eqüidistante Azimutal



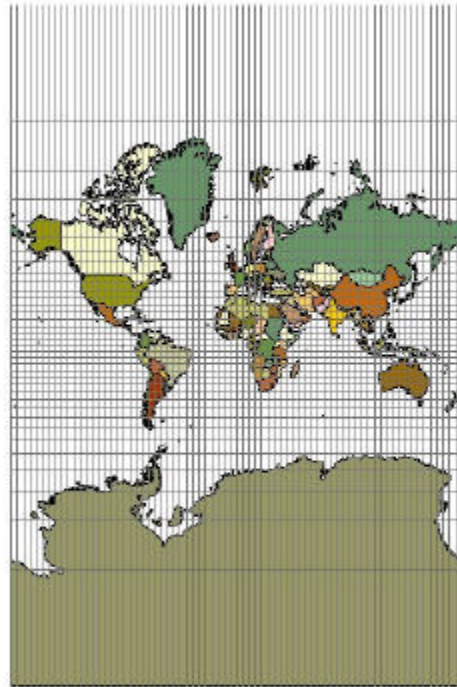
Projeção Eqüidistante Cilíndrica



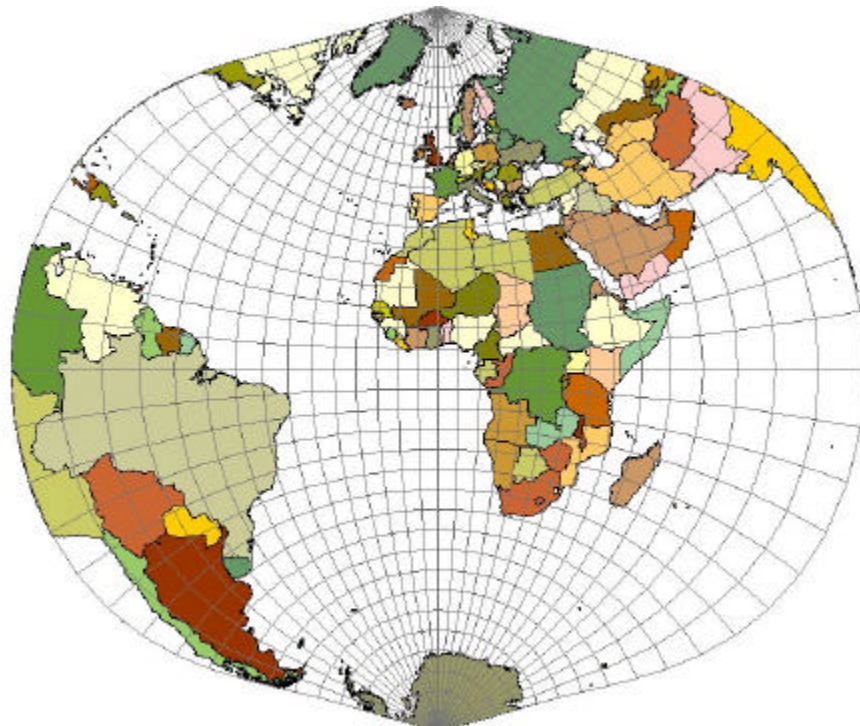
Projeção Cilíndrica



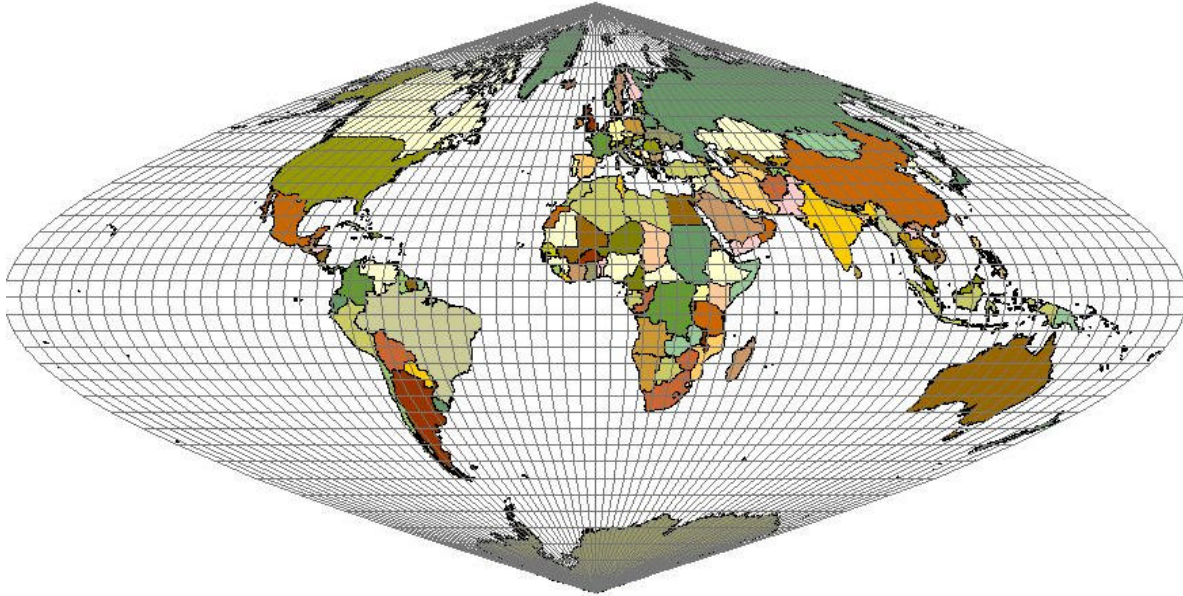
Projeção de Robinson



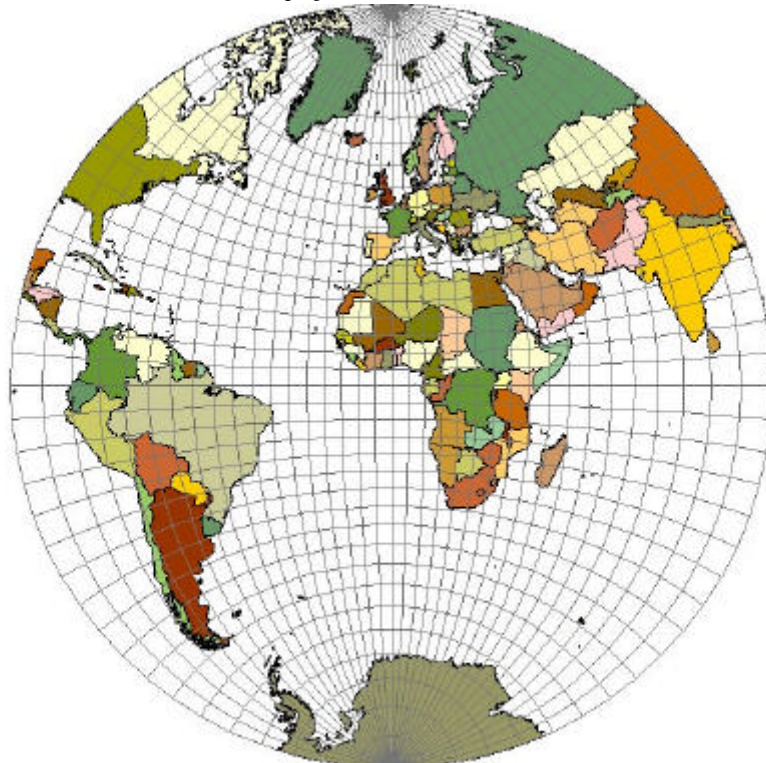
Projeção de Mercator



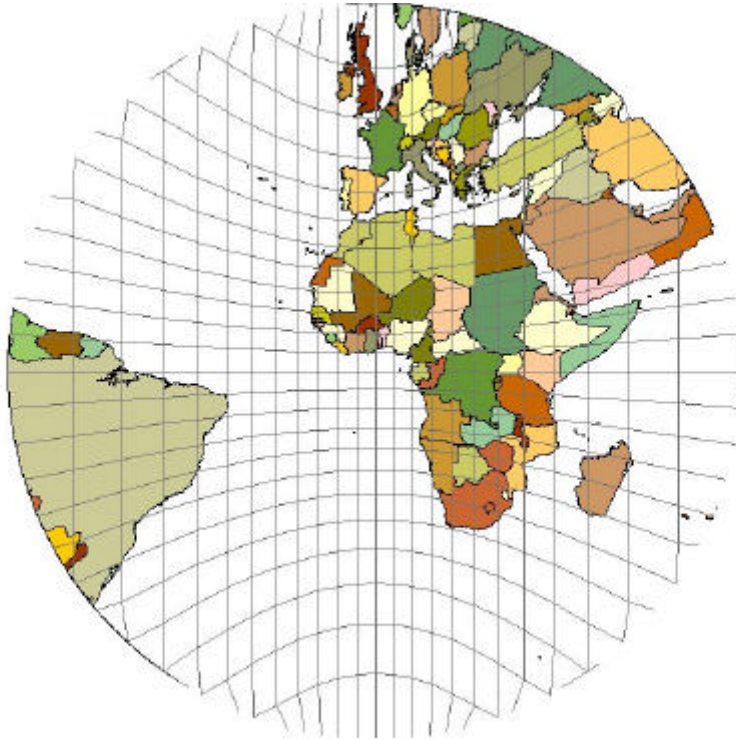
Projeção Transversa de Mercator



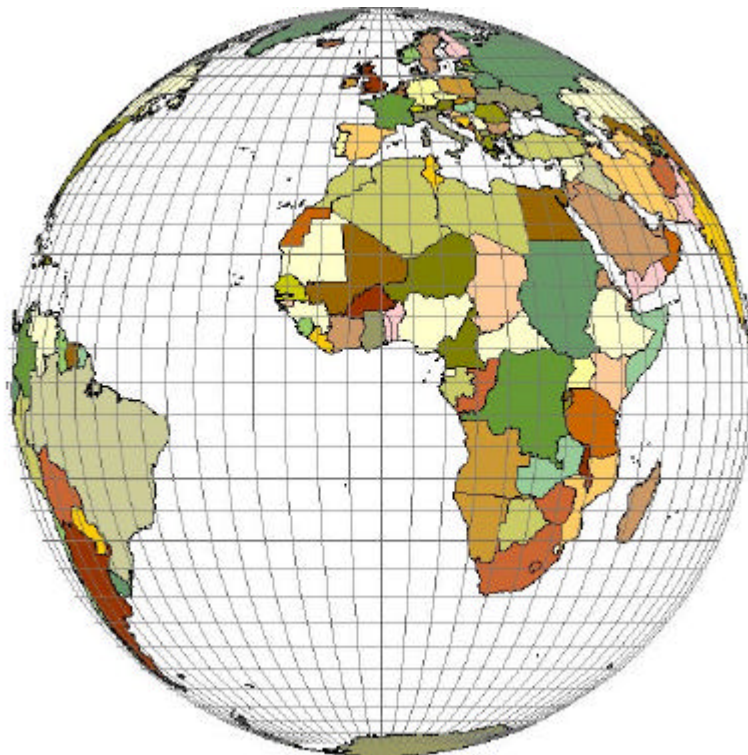
Projeção Sinusoidal



Projeção Estereográfica



Projeção Gnomônica



Projeção Ortográfica

SISTEMA DE REFERÊNCIA (nomenclatura)

O sistema de referência (nomenclatura) utilizado para as folhas topográficas e geográficas é baseado no sistema da Carta do Brasil ao Milionésimo, descrito a seguir.

Carta do Brasil ao Milionésimo

A Carta do Brasil ao Milionésimo faz parte da Carta Internacional do Mundo (CIM), na escala 1:1.000.000, para a qual foi adotada a Projeção Cônica Conforme de Lambert, até as latitudes de 84° N e 80° S. Para as folhas das regiões polares foi utilizada a Projeção Estereográfica Polar.

As especificações estabelecidas para a CIM tiveram as seguintes finalidades:

- fornecer, por meio de uma carta de uso geral, um documento que permitisse uma visão de conjunto do mundo para estudos preliminares de investimentos, planejamentos de desenvolvimento econômico e, também, para satisfazer às diversas necessidades dos especialistas de variadas ciências.
- oferecer uma carta básica que permitisse preparar series de cartas temáticas. Estas cartas constituem elementos fundamentais para a eficaz execução de estudos e análises.

Sistema de referência

O posicionamento com o GPS requer sistemas de referência bem definidos e consistentes para modelar as observáveis, descrever as órbitas dos satélites e representar, interpretar e transformar os resultados. A acuracidade de tais sistemas deve ser compatível com o sistema de posicionamento usado. De outra forma, os resultados se deteriorarão, e a alta acuracidade proporcionada pelo sistema de posicionamento ou referência não terá valor.

No posicionamento com satélites, os sistemas de referências usados são, em geral, globais e geocêntricos, haja vista que o movimento dos satélites é ao redor do centro de massa da Terra. As estações terrestres são, normalmente, representadas num sistema fixo a Terra, que rotaciona com a mesma e o movimento do satélite é melhor descrito num

sistema de referência inercial. Para modelar adequadamente as observáveis, é essencial que posições dos satélites e estações terrestres sejam representadas no mesmo sistema de referência. Desta forma, a relação entre ambos deve ser bem conhecida.

Um aspecto a ser chamado a atenção é que a grande maioria dos levantamentos até então executados está referenciado a sistemas locais, tal como a maioria dos documentos cartográficos. No caso do Brasil, o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) coincide com o Sistema de Referência da América do Sul (SAD-69: South American Datum de 1969), o qual não é geocêntrico. Novamente, a relação matemática entre os sistemas locais e aqueles usados em posicionamento com satélites deve ser conhecida. A tendência mundial aponta para a adoção de um sistema geocêntrico, não só para fins geodésicos, mas também para fins de mapeamento.

A definição de um sistema de referência é caracterizado pela idéia conceitual do mesmo. Tal definição pode ser bastante complicada, pois envolve fatores relacionados à deformação da Terra a nível global, regional e local, além de outros. Faz parte ainda da definição de um sistema de referência a teoria fundamental envolvida e os padrões adotados. Por outro lado, a realização é dada por uma rede de pontos com as respectivas coordenadas dos mesmo. Um sistema de referência para geodesia espacial e geodinâmica é definido para uma época particular. Em razão da deformação da Terra, os modelos usados para determinação da velocidade das estações, baseados em modelos de placas ou a partir de medidas de longa duração, também faz parte da definição do sistema de referência.

Sistema Geodésico Brasileiro

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é definido a partir de um conjunto de pontos geodésicos implantados na superfície terrestre delimitada pela fronteira do país. Tal como qualquer outro sistema geodésico de referência, ele pode ser dividido em duas componentes: - os data horizontal e vertical, compostos pelos sistema de coordenadas e superfícies de referência (elipsóide e geóide) e a rede de referência, consistindo das estações monumentadas, as quais representam a realização física do sistema. A rede de nivelamento conta com aproximadamente 60.000 pontos e foi recentemente ajustada. A rede horizontal é composta por aproximadamente 7.000 pontos (Costa & Fortes, 1991).

Atualmente, a rede horizontal está sendo ajustada com o uso do programa GHOST (Geodetic adjustment using Helmert blocking Of Space and Terrestrial data), o qual é adequado para o ajustamento de redes geodésicas tridimensionais, realizando a decomposição da rede em blocos (blocos de Helmert). Este programa permite a introdução dos vetores das diferenças de coordenadas derivados do sistema Doppler e GPS, bem como das próprias coordenadas estimadas a partir destes sistemas. Alguns vetores derivados do posicionamento GPS tem sido introduzidos no processamento. A considerar experiências de outros países, a precisão deste ajustamento deverá ficar em torno de 10 ppm (partes por milhão). O NADS3 (North American Datum) apresenta precisão da ordem de 12 ppm ao nível de confiança de 95% (Underhill & Underbill *e/ al*, 1992).

O SGB atual têm como origem o vértice CHUÁ e o elipsóide adotado é o Internacional 1967 que coincide com a definição do Sistema Geodésico Sul Americano SAD-69 (South American Datum 1969). Os parâmetros definidores do elipsóide do SGB são:

- a (semi-eixo maior) = 6378160,0
- f (achatamento) = 1/298,25

Na orientação topocêntrica do elipsóide, adotou-se as coordenadas geodésicas do vértice CHUÁ, que pertence a cadeia de triangulação do paralelo 20^o S. Tais coordenadas são:

$$\phi = 19^{\circ} 45' 41,6527'' \text{ S} \quad \lambda = 48^{\circ} 06' 04,0639'' \text{ W}$$

com o azimute $\alpha = 271^{\circ} 30' 04,05''$ SWNE para o vértice Uberaba. A ondulação do geóide neste vértice é assumida ser nula, isto é: $N=0$.

A orientação geocêntrica do elipsóide estabelece que o eixo de rotação é paralelo ao eixo de rotação da Terra e o plano meridiano origem é paralelo ao plano meridiano de Greenwich, tal como definido pelo BIH.

Considerando a definição e realização do SGB e o sistema de referência do WGS-84, o leitor concluirá que tratam-se de sistemas diferentes. Como as atividades cartográficas no território brasileiro são referenciadas ao SAD 69, algumas soluções devem ser adotadas para que os resultados obtidos com o GPS possam ser utilizados para fins de mapeamento ou outras atividades georeferenciadas.

As coordenadas dos vértices do SGB à serem utilizadas como vértice base (conhecido) para dar suporte as atividades com GPS devem ser transformadas para WGS-84. Uma vez que a rede GPS de pontos for concluída, suas coordenadas estarão referenciadas ao WGS-84, devendo ser transformadas para SAD-69, afim de serem utilizadas nas atividades cartográficas brasileira.

No Brasil, o IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) é o órgão responsável pelo estabelecimento e manutenção do SGB. Os parâmetros de transformação oficiais preconizados para realizar a transformação de WGS-84 para SAD-69 são os seguintes:

$$T_x = 66,87 \text{ m,}$$

$$T_y = -4,37 \text{ m}$$

$$T_z = 38,52 \text{ m}$$

Trata-se apenas de três translações, pois assumiu-se que os dois sistemas são paralelos e com mesma escala. Somando-se os parâmetros acima às coordenadas X, Y e Z em WGS-84, obtém-se as respectivas coordenadas em SAD-69. Para transformar coordenadas de SAD-69 para WGS-84, basta subtrair os parâmetros acima das coordenadas X, Y e Z em SAD-69. Vale ressaltar que, ao considerar a precisão oferecida pelo GPS, as redes convencionais, bem como os parâmetros de transformação em uso, oferecem precisão muito inferior, degradando a qualidade dos resultados obtidos com o GPS. Além disto, os vértices das redes convencionais estão, de modo geral, situados em locais de difícil acesso, limitando a capacidade do sistema.

Desdobramento da folha 1:1.000.000 em outras escalas

A folha 1:1 000 000 se desdobra em outras escalas consideradas oficiais. Tomando-se como exemplo a folha 1:1.000.000, SF-23, (S = hemisfério Sul; F = zona, 23 = fuso), Rio de Janeiro, exemplifica-se, na Figura que segue, como se dá o seu deslocamento até, a escala 1:25.000 e como são designados através do sistema de referência.

A divisão da folha ao milionésimo dá-se da seguinte maneira:

a folha 1:1.000.000 ($4^\circ \times 6^\circ$) divide-se em quatro folhas de 1:500000 (V X Y Z)

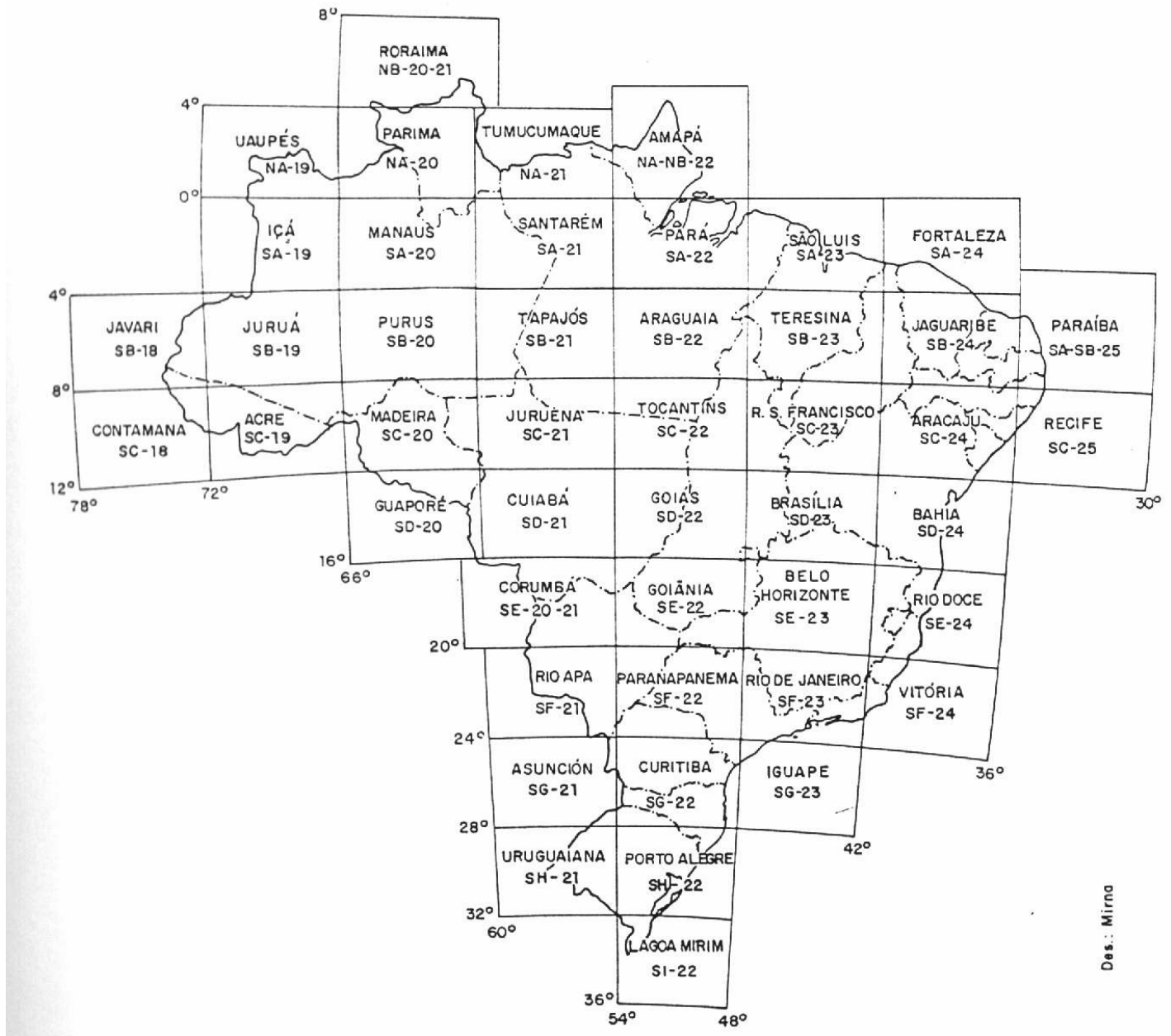
a folha 1:500.000 (2° x 3°), divide-se em quatro folhas de 1 :250 000 (A, B, C, D).

a folha 1:250.000 (1° x 1°30'), divide-se em seis folhas de 1:100.000(I, II, III, IV, V, VI)

a folha 1:100.000 (30' x 30'), divide-se em quatro folhas de 1:50.000 (1, 2, 3, 4)

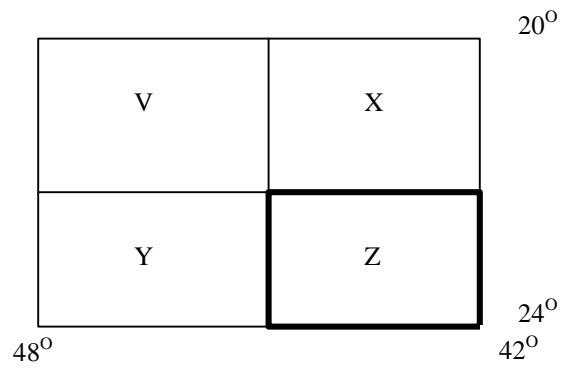
a folha 1:50.000 (15' x 15') divide-se em quatro folhas de 1:25.000 (NO, NE, SO, SE);

a folha 1:25.000 (7'30" x 7'30") divide-se em seis folhas de 1:10.000 (A, B, C, D, E, F) e assim por diante.

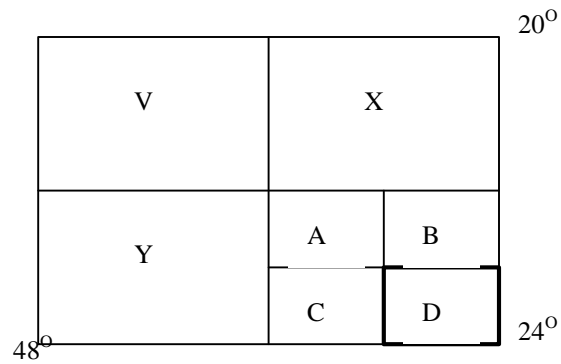




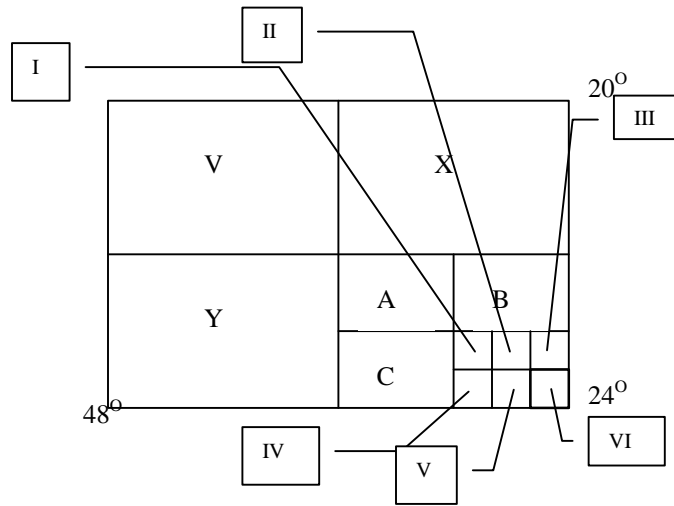
:1.000.000 (SF 23)



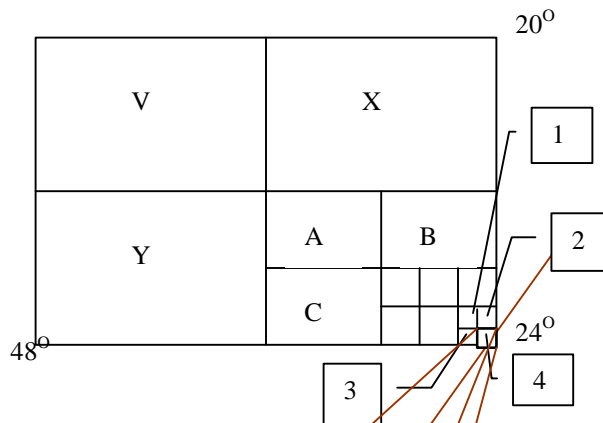
1:500.000 (SF 23 – Z)



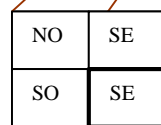
1:250.000 (SF.23-Z-D)



1:100.000 (SF.23-Z-D-VI)



1:50.000 (SF.23-Z-D-VI-4)



1:25.000 (SF.23-Z-D-VI-4-SE)

Sistema Cartográfico do Distrito Federal - SICAD

Em 10 de dezembro de 1974, a Secretaria de Governo do Distrito Federal celebrou convênio com a CODEPLAN visando estudos preliminares para a elaboração da Planta Cadastral do Distrito Federal. Foi proposto a implantação de sistemas cartográficos e cadastrais, necessários aos trabalhos de planejamento e aos projetos de engenharia, fundamentais para o desenvolvimento de diversas áreas.

Em 18 de julho de 1975 celebrou-se o convênio de execução da primeira fase do projeto, já sob o título de Cadastro Técnico do Distrito Federal, onde se previa a elaboração do Sistema Cartográfico do Distrito Federal.

O posicionamento geográfico do Distrito Federal constitui caso muito especial, em termos de sistematização cartográfica. Sua área está incluída em quatro folhas de 1:1.000.000, distribuídas em dois fusos, os de 45° e 51° de longitude nos meridianos centrais, respectivamente os de número 23 e 22 da Carta Internacional ao Milionésimo.

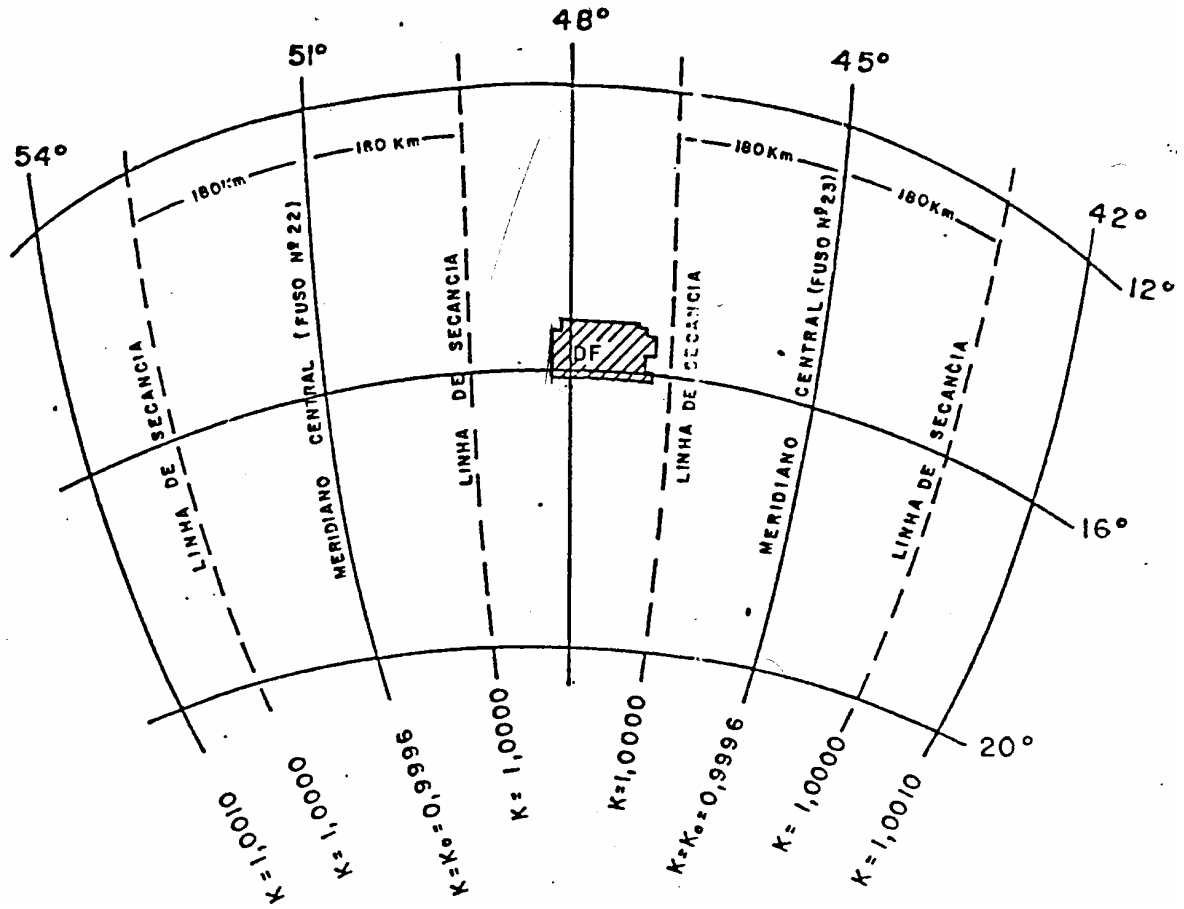
Visando contornar a situação própria do posicionamento geográfico do Distrito Federal, todo o mapeamento do fuso de número 22 foi referenciado ao Meridiano Central de 45°. Isto significa que o fuso de número 23 foi estendido ao limite oeste da área mapeada. Neste caso, aumento das deformações não chega a comprometer a qualidade dos trabalhos.

Constituem a base física do Sistema os produtos finais do mapeamento nas escalas de 1:10.000, 1:2.000, 1:1.000, consideradas as mais adequadas ao atendimento das necessidades cartográficas comuns a todas as entidades de planejamento e atividades afins. Os mapeamentos nas escalas de 1:10.000 e 1:2.000 são plani-altimétricos e elaborados no sistema UTM, já o mapeamento na escala 1:1.000 é somente planimétrico, gerado a partir dos originais das folhas de carta do mapeamento na escala de 1:2.000 por meio de ampliação fotográfica e redesenho. O mapeamento na escala 1:10.000, apresenta curvas de nível com equidistância de 5m, pontos cotados, arruamentos, a malha viária urbana, estradas vicinais, logradouros públicos, estradas, quadras e grandes edificações, rios, lagos, etc. As folhas na escala 1:2.000, apresentam curvas de nível com equidistância de 1m, representa todo o arruamento, quadras, conjuntos lotes, vias de acesso, logradouros públicos, edificações, etc. As folhas na escala 1:1.000, não apresentam curvas de nível.

Estas folhas, foram obtidas do mapeamento em escala 1:2.000, por ampliação fotogramétrica, e redesenho em seguida, tendo por objetivo servir de base física ao Cadastro Técnico do Distrito Federal.

A nomenclatura do SICAD teve por base o Sistema Cartográfico Brasileiro (SCB) (como visto anteriormente), que é referido à Carta Internacional ao Milionésimo. O SICAD, apresenta ainda uma nomenclatura simplificada, onde as cartas 1:10.000 foram numeradas de 001 à 244. Assim, cada folha, nesta escala, tem um número próprio, composto de três dígitos e contado a partir do canto NW. As folhas em escalas menores têm o seu índice de nomenclatura simplificado, representado pelo número da folha em 1:10.000, acrescido dos correspondentes dígitos característicos do SICAD. O Quadro a seguir nos mostra um exemplo da nomenclatura apresentada para o SICAD.

4	NOMENCLATURA	
	SISTEMÁTICA	SIMPLIFICADA
1:10.000	SD.23-Y-C-IV-3-NO-A	124
1:5.000	SD.23-Y-C-IV-3-NO-A-1	124-I
1:2.000	SD.23-Y-C-IV-3-NO-A-1-6	124-I-6
1:1.000	SD.23-Y-C-IV-3-NO-A-1-6-A	124-I-6-A



SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL

Introdução

O Sistema de Posicionamento Global, conhecido por GPS (Global Positioning System) ou NAVSTAR-GPS (Navigation Satellite with Time And Ranging), é um sistema de radio-navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (DoD-Department Of Defense), visando ser o principal sistema de navegação do exército americano. Em razão da alta exatidão proporcionada pelo sistema e do alto grau de desenvolvimento da tecnologia envolvida nos receptores GPS, uma grande comunidade usuária emergiu nas mais variadas aplicações civis (navegação, posicionamento geodésico e topográfico, etc.).

O GPS é um sistema de abrangência global, tal como o nome sugere. A concepção do sistema permite que um usuário, em qualquer local da superfície terrestre, tenha a sua disposição, no mínimo, quatro satélites que podem ser rastreados. Este número de satélites permite o posicionamento em tempo real, conforme será visto adiante. Para os usuários da área de Geodesia, uma característica muito importante da tecnologia GPS, em relação aos métodos de levantamento convencionais, é a não necessidade de intervisibilidade entre as estações. Além disto, o GPS pode ser usado sob quaisquer condições climáticas.

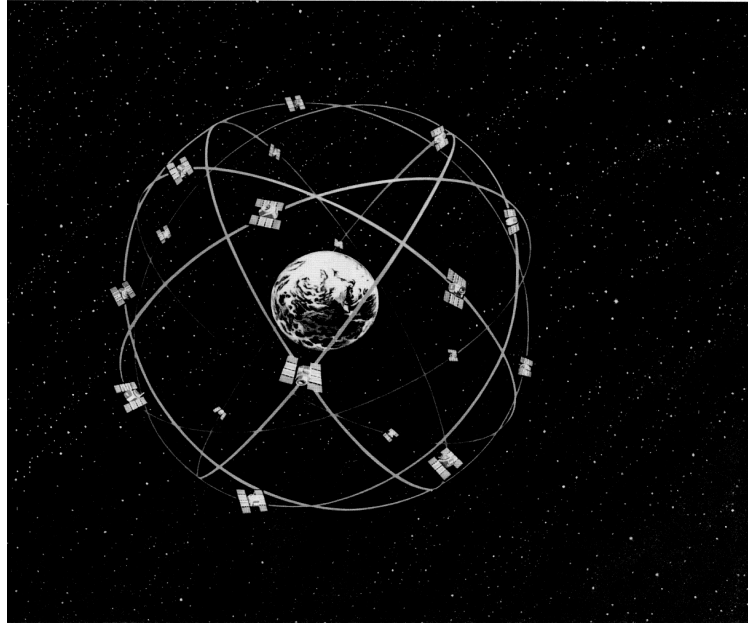
A idéia básica do princípio de navegação consiste da medida das chamadas pseudo-distâncias entre o usuário e quatro satélites. Conhecendo as coordenadas dos satélites num sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário com respeito ao mesmo sistema de referência dos satélites. Do ponto de vista geométrico, somente três medidas de pseudo-distâncias seriam suficientes. A quarta medida é necessária devido a não sincronização dos relógios dos satélites com o do usuário.

No GPS há dois tipos de serviços, os quais são conhecidos como SPS (Standard Positioning Service) e PPS (Precise Positioning Service). O SPS é um serviço de posicionamento e tempo padrão que estará disponível para todos os usuários do globo, sem cobrança de qualquer taxa (pelo menos nos próximos dez anos). Este serviço proporciona capacidade de obter exatidão horizontal e vertical dentro de 100 e 140 m respectivamente, e 340 ns (nanossegundos) na obtenção de medidas de tempo (95% probabilidade). O PPS proporciona

melhores resultados (10 a 20 m), mas é restrito ao uso militar e usuários autorizados. Na realidade o sistema têm capacidade de proporcionar melhores níveis de exatidão, mas ao que tudo indica, este não é o interesse do Departamento de Defesa americano, haja vista que o sistema é global, podendo colocar em risco aspectos de segurança. Desta forma, a limitação ao nível de exatidão citado acima é garantida pela adoção do AS (Anti-Spoofing) e SA (Selective Availability). O AS (anti-fraude) é um processo de criptografia do código P, visando protege-lo de imitações por usuários não autorizados. O SA (disponibilidade seletiva), ou seja, a proibição de obter a exatidão proporcionada pelo GPS, é consumada pela manipulação das mensagens de navegação (técnica épsilon: ϵ) e da frequência dos relógios dos satélites (técnica dither- δ). Existem 03 possibilidade:

Segmento Espacial

O segmento espacial consiste de 24 satélites distribuídos em seis planos orbitais igualmente espaçados (quatro satélites em cada plano), numa altitude aproximada de 20200 km. Os planos orbitais são inclinados 55° em relação ao equador e o período orbital é de aproximadamente 12 horas siderais. Desta forma, a posição de cada satélite se repete, a cada dia, quatro minutos antes que a do dia anterior. Esta configuração garante que no mínimo quatro satélites GPS sejam visíveis em qualquer ponto da superfície terrestre, a qualquer hora. A figura abaixo, ilustra a constelação dos satélites GPS.



Três tipos de satélites fazem parte do projeto NAVSTAR-GPS. Eles são denominados satélites do Bloco I, II e IIR. Os satélites do bloco I são protótipos e todos os 11 satélites planejados já foram lançados. O último satélite deste bloco, PPN 12, foi desativado no final de 1995. Um total de 28 satélites do Bloco II (satélites operacionais) são planejados para dar suporte a configuração de 24 satélites. No momento (março de 1996), 24 satélites do bloco II estão em operação. A título de informação, o sistema foi declarado operacional (24 satélites operacionais testados e em pleno uso) em 27 de abril de 1995. Os satélites do bloco II serão substituídos por 20 satélites do bloco IIR, a medida que for necessário. Duas das novas características destes satélites são a capacidade de medir distâncias entre eles (cross link ranges) e calcular efemérides no próprio satélite (Seeber, 1993).

Cada satélite carrega padrões de Sequência altamente estáveis (Césio e Rubídio) com estabilidade entre 10^{-12} e 10^{-13} , formando uma base de tempo muito precisa. Os satélites do bloco II estão equipados com dois osciladores de Césio e dois de Rubídio, ao passo que os satélites do bloco I eram equipados com osciladores de Quartzo. Os satélites GPS são identificados com dois esquemas de numeração. O SVN (Space Vehicle Number) ou número NAVSTAR é baseado na sequência de lançamento dos satélites e o número do

PRN (Pseudo-Random-Noise) ou SVID (Space Vehicle Identification) é relacionado com o arranjo da órbita e o segmento do PRN atribuído para cada satélite.

Características dos Sinais GPS

Cada satélite GPS transmite duas ondas portadoras: L1 e L2. Elas são geradas a partir da frequência fundamental de 10.23 MHz, a qual é multiplicada por 154 e 120 respectivamente. Desta forma, as frequências (L) e os comprimentos de onda (λ) de L1 e L2 são:

$$L1 = 1575.42 \text{ MHz} \quad \lambda = 19 \text{ cm}$$

$$L2 = 1227.60 \text{ MHz} \quad \lambda = 24 \text{ cm}$$

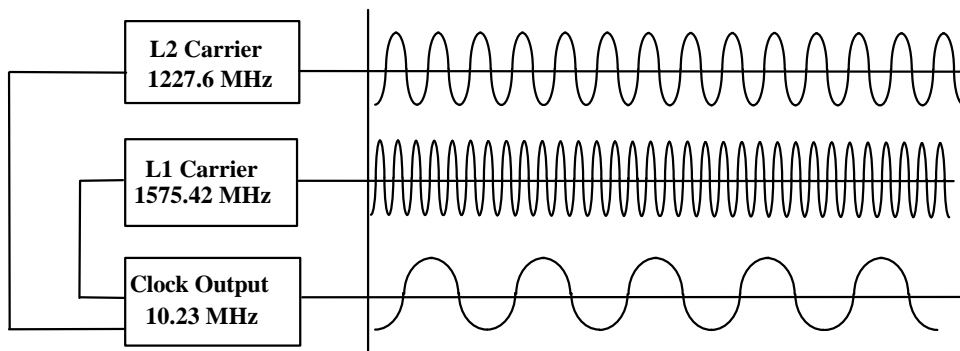
Estas duas frequências são geradas simultaneamente, permitindo aos usuários corrigir grande parte dos erros devido a refração ionosférica.

Os códigos PRN (Pseudo Random Noise) são modulados sobre estas duas portadoras. Um PRN é uma seqüência binária (0 e 1 ou +1 e -1) que parece ter característica aleatória. Como é gerado por um algoritmo, pode ser univocamente identificado. O código C/A (Coarse Acquisition) com comprimento de onda por volta de 300 m é transmitido a uma razão de 1.023 MHz e modulado somente sobre a onda portadora L1. O período deste código é 1 milissegundo. Este é o código a partir do qual os usuários civis obtêm as pseudo-distâncias que permitem obter a exatidão estipulada no SPS. Este código não é criptografado, embora possa ter sua precisão degradada. O código P (Precise or Protected) têm sido reservado para uso dos militares americanos e outros usuários autorizados. Seu comprimento de onda é da ordem de 30 m e é transmitido na razão de 10.23 MHz (uma seqüência de 10,23 milhões de dígitos binários por segundo) modulado nas portadoras L1 e L2, com período de 266 dias. Cada satélite contém o correspondente a 7 dias deste código, ou seja uma semana das 38 possíveis. Desta forma, todos os satélites transmitem na mesma frequência e podem ser identificados pela sua (única) semana correspondente. O seguimento do código atribuído a cada satélite é reiniciado a cada semana às 0 hs TU (Tempo Universal) do sábado para domingo. O fato do código P ser modulado numa razão mais alta faz com que o mesmo seja mais preciso.

No entanto, o código P é encriptado (AS) e passa a ser denominado código Y, o qual não é disponível para os usuários civis. O sinal GPS básico é ilustrado na figura a seguir. As mensagens de navegação são também moduladas sobre as portadoras. Tais mensagens contêm os parâmetros orbitais, dados para correção da propagação na atmosfera, parâmetros para correção do erro dos relógios dos satélites, saúde dos satélites, etc.

Desta breve explanação pode-se observar que há três tipos de sinais: a portadora, os códigos e os dados (navegação, relógio, etc.). Esta estrutura permite não só medir a fase da portadora e sua variação, mas também o tempo de propagação. Este último é conseguido pela modulação da fase (0 ou 180), seguindo um dos códigos PRN.

O sinal L1 pode ser descrito como Spilker,1978):



$$S_L = A_P P_i(t) D_i(t) \sin(w_1 t) + A_c C_i(t) D_i(t) \cos(w_1 t)$$

A_P é a amplitude do código P,

$P_i(t)$ é a seqüência do código P (+1, -1),

$D_i(t)$ é o fluxo dos dados com estado (+1, -1),

A_c é a amplitude do código C/A,

$C_i(t)$ é a seqüência do código C/A (+1, -1) e

$\sin(w_1 t)$ é o sinal da onda portadora.

O índice i representa o satélite em questão, O sinal L2 tem uma estrutura mais simples porque contém apenas o código P

$$S_{L2} = B_p P_i(t) D_i(t) \sin(w_2 t)$$

Nesta equação $P_i(t)$ é novamente a seqüência do código P para o satélite i, enquanto B_p representa sua amplitude. A época t dos dois códigos e portadoras são sincronizados

O acesso direto ao código P somente é possível para receptores bem sincronizados com o sistema de tempo GPS e posicionado num ponto com coordenadas bem definidas. Esta é a razão pela qual, em geral, o acesso é realizado com o auxílio do código C/A via o HOW (Hand Over Word), o qual contém o contador Z (Z-count) que acompanha as mensagens dos satélites. O contador Z é definido como um número inteiro, com período de 1.5 segundos, e contado desde o início da semana GPS, identificando desta forma a época de registro dos dados em tempo GPS. Quando o contador Z é conhecido, a aquisição do código P pode ser feita nos próximos seis segundos (Sceber, 1993).

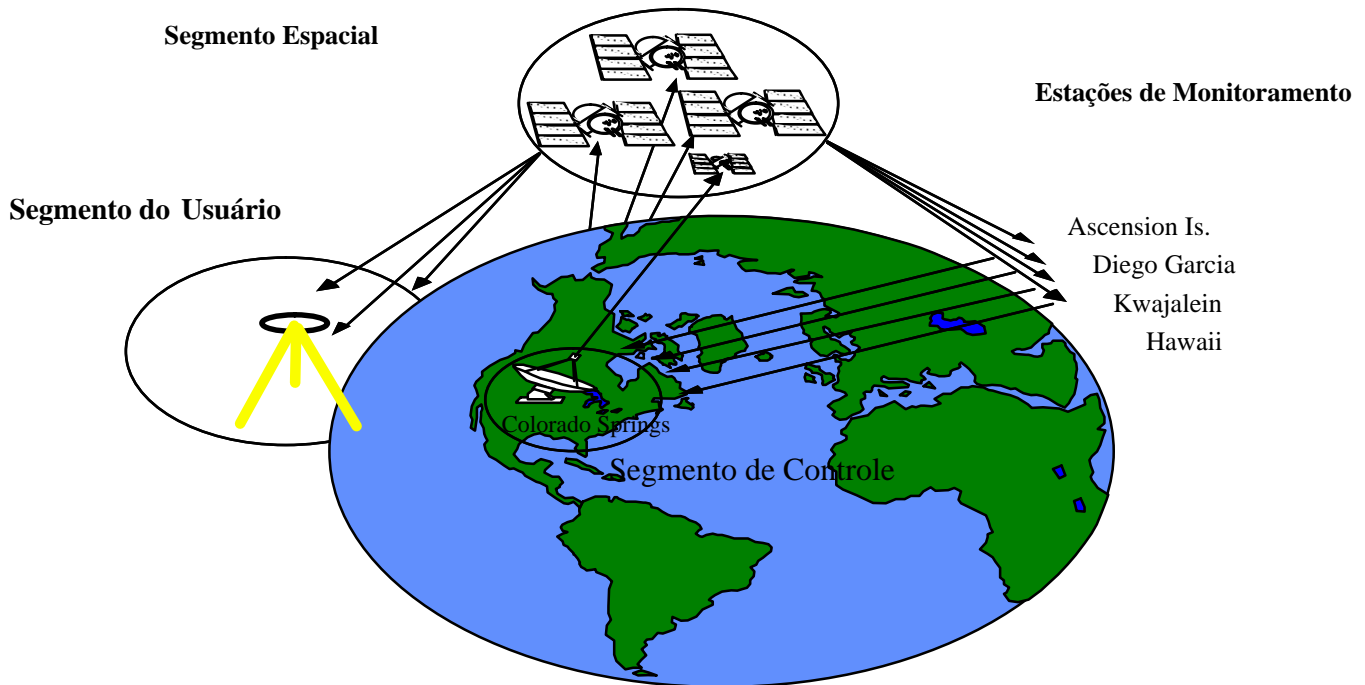
Segmento de controle

As principais tarefas do segmento de controle são:

- monitorar e controlar continuamente o sistema de satélites,
- determinar o sistema de tempo GPS,
- prever as efemérides dos satélites e calcular as correções dos relógios dos satélites e
- atualizar periodicamente as mensagens de navegação de cada satélite.

O sistema de controle é composto por cinco estações monitoras (Hawaii, Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia, Colorado Springs), três antenas para transmitir os dados para os satélites, (Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein), e uma estação de controle central (MCS: Master Control Station) localizada em Colorado Springs, Colorado (Vide figura a seguir). Cada estação monitora é equipada com oscilador externo de alta precisão e receptor de dupla frequência, o qual rastreia todos os satélites visíveis e transmite os dados para a MCS, via sistema de comunicação. Os dados são processados na MCS para determinar as órbita dos satélites (efemérides transmitidas) e as correções dos relógios dos satélites afim de atualizar periodicamente as mensagens de navegação. A informação atualizada é enviada para os satélites a partir das antenas terrestres. As estações de controle (Monitor Station) tiveram originalmente suas coordenadas determinadas em relação ao WGS-72. Em janeiro de 1987 foi adotado o WGS-84. O DMA (Defense Mapping Agency) está realizando um refinamento do WGS- 84. Testes realizados mostraram que a nova realização deste sistema, denominada WGS- 84(G730), está compatível com o ITPF-92 (IERS Terrestrial Reference Frame 1992), na ordem do décímetro.

A distribuição geográfica das estações monitoras atendem os requisitos de navegação, mas não satisfaz à determinação de órbitas altamente precisa, em particular para aplicações de geodinâmica. O Serviço GPS Internacional de Geodinâmica (IGS: International GPS Service for Geodynamics), estabelecido pela Associação Internacional de Geodesia (IAG: International Association of Geodesy) têm capacidade de produzir efemérides com precisão da ordem de 20 cm para cada uma das coordenadas do satélite, a qual é capaz de atender a maioria das aplicações exigindo alta precisão.



Segmento dos usuários

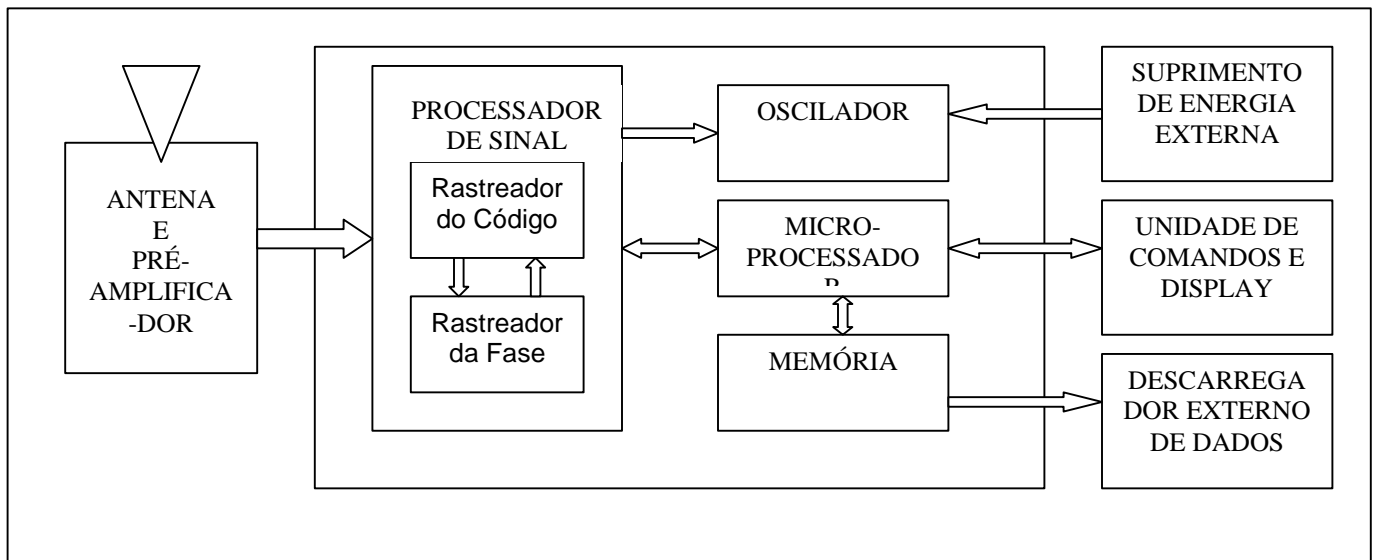
O segmento de usuários é composto pelos receptores GPS, os quais devem ser apropriados para usar o sinal GPS para os propósitos de navegação, Geodesia ou outra atividade qualquer. A categoria de usuários pode ser dividida em civil e militar. Atualmente há uma grande quantidade de receptores no mercado civil, para as mais diversas aplicações, o que demonstra que o GPS realmente atingiu sua maturidade. Uma breve descrição dos

principais componentes envolvidos num receptor, acompanhada da apresentação dos receptores mais utilizados em Geodesia no Brasil e no mundo fará parte desta seção.

Descrição dos receptores GPS

Os principais componentes de um receptor GPS, tal como mostrado na figura a seguir, são (Seeber, 1993):

- antena com pré-amplificador,
- seção de RF (radio frequência) para identificação e processamento do sinal,
- microprocessador para controle do receptor, amostragem e processamento dos dados,
- oscilador, ,
- interface para o usuário, painel de exibição e comandos,
- provisão de energia e
- memória para armazenar os dados.



A antena detecta as ondas eletromagnéticas emitidas pelos satélites, converte a energia da onda em corrente elétrica, amplifica o sinal e o envia para a parte eletrônica do receptor. Devido a estrutura dos sinais GPS, todas as antenas devem ser polarizadas circularmente (RHCP: right-hand circular polarised). A antena deve ter boa sensibilidade

para garantir a recepção de sinal fraco e o padrão de ganho deve permitir recepção de todas as elevações e azimutes visíveis. Para levantamentos geodésicos a antena deve garantir ainda alta estabilidade do centro de fase da antena e proteção contra multi-caminhamento ou sinais refletidos. Vários tipos de antenas estão disponíveis no mercado: monopole or dipole, helix, spiral helix, microstrip e choke ring. Segundo Seeber (1993), um dos tipos de antenas mais freqüentemente usada é a microstrip, a qual é ideal para equipamentos GPS de pequeno porte. Em geral, as antenas geodésicas devem permitir a recepção das duas ondas portadoras (L1 e L2). A proteção contra o multi-caminhamento (sinais refletidos) é normalmente conseguida colocando a antena sobre um grande disco (ground plane) ou pelo uso de *choke ring*. Um *choke ring* é composto por faixas condutores concêntricas com o eixo vertical da antena e fixadas ao disco (ground plate), cuja função é impedir que a maioria dos sinais refletidos sejam recebidos pela antena.

As antenas GPS são protegidas para evitar possíveis danos. Para tanto se usa um tipo de plástico especial, o qual deve manter os sinais tão próximo do original quanto possível. Os sinais GPS são muitos fracos, tendo aproximadamente a i-ésima potência que aqueles transmitidos por satélites de TV geostacionário. A razão pela qual os receptores GPS não necessitam de uma antena de dimensão igual a das parabólicas têm a ver com a estrutura dos sinais GPS e a habilidade dos receptores em captá-los. A captação dos sinais GPS está mais concentrada no receptor do que na antena propriamente dita. De qualquer forma, uma antena GPS, geralmente, contém um pré-amplificador de baixo ruído que impulsiona o sinal antes dele alimentar o receptor (Langley, 1995).

Os sinais GPS sofrem interferências quando passam através da maioria das estruturas. Algumas combinações de antena/receptor são capazes de captar sinais recebidos dentro de casas de madeira, sobre o painel de controle de veículos e na janela de aviões. Naturalmente, é recomendado que as antenas sejam montadas com um amplo ângulo de visada, sem obstrução. Sob folhagem densa, particularmente quando úmida, os sinais GPS são atenuados, de tal modo que muitas combinações antena/receptor apresentam dificuldades em captá-los.

Os sinais que entram no receptor são convertidos na divisão de RF para uma frequência mais baixa, denominada frequência intermediária (FI), a qual é mais fácil de ser tratada nas demais partes do receptor. Isto é obtido pela combinação do sinal recebido pelo

receptor com um sinal senoidal gerado pelo oscilador do receptor. Os osciladores dos receptores GPS são, normalmente, de quartzo, de qualidade melhor que os utilizados nos relógios de pulso. Alguns receptores geodésicos permitem o uso de osciladores externos, tal como um padrão atômico. O sinal FI contém toda a modulação presente no sinal transmitido, mas a onda portadora se apresenta deslocada em frequência. O deslocamento é a diferença entre a frequência recebida (original) e a gerada no oscilador do receptor. Ela é normalmente denominada Sequência de batimento da portadora (Langley, 1995). Múltiplos estágios de FI são usados nas maiorias dos receptores, reduzindo a frequência da portadora em etapas. Finalmente, o sinal FI é trabalhado nos rastreadores do sinal (signal trackers), ou seja, nos canais.

O canal de um receptor é considerado a sua unidade eletrônica primordial, podendo possuir um ou mais canais. Os tipos de canais são divididos em multi-canais (canais dedicados), seqüencial e multiplexados.

Nos receptores multi-canais, também denominados de canais paralelos, cada canal rastreia continuamente um dos satélite visíveis. No mínimo quatro canais são necessários para obter posição e correção do relógio em *tempo real*. Se mais canais estiverem disponíveis, um maior número de satélites pode ser rastreados. Os receptores modernos contam com até 12 canais para cada frequência. Nos receptores seqüencial, o canal alterna de satélite dentro de intervalos regulares, normalmente não coincidentes com a transmissão dos dados, fazendo com que a mensagem do satélite só seja recebida completamente depois de várias seqüências. Alguns receptores dispõem de um canal dedicado para a leitura das mensagens. Na maioria dos casos usa-se canais seqüenciais rápidos, cuja taxa de alternância é da ordem de um segundo. Na técnica multiplex, seqüências são efetuadas entre satélites numa velocidade muito alta, e quando for o caso, nas duas frequências. A razão de troca é mais sincronizada com as mensagens de navegação (diferente da técnica seqüencial), permitindo que elas sejam obtidas quase que simultaneamente. Uma vantagem da técnica multiplex sobre a de multi-canais é a não necessidade de considerar os efeitos sistemáticos entre canais. Um receptor usando a técnica multiplex necessita da ordem de 30 segundos para obter a primeira posição, tal como nos receptores com canais dedicados.

Receptores com um único canal são de baixo custo, mas como são lentos na aquisição de dados, ficam restrito à aplicações de baixa velocidade. Aqueles com canais dedicados são

mais rápidos, embora apresentem efeitos sistemáticos entre canais (inter-channel biases), os quais são minimizados no processo de calibração realizado pelo microprocessador. A maioria dos receptores geodésicos têm de 6 a 12 canais dedicados (paralelos), com capacidade de rastrear todos os satélites visíveis.

O microprocessador é necessário no controle das operações do receptor (obter e processar o sinal, decodificar a mensagem de navegação), bem como para calcular posições e velocidades, além de outras funções (controle dos dados de entrada e saída, mostrar informações). Ele usa, essencialmente, dados digitais para efetuar suas funções.

A unidade de comando e *display* proporciona a interação com o usuário. As telas podem ser usadas para entrar com comandos visando selecionar as mais variadas opções de coleta de dados, monitoramento das atividades do receptor, mostrar as coordenadas calculadas e outros detalhes (DOP, satélites sendo rastreados, ângulo de elevação, etc.), bem como para entrar com a altura da antena e identificação da estação. A maioria dos receptores dispõe de padrão de operação preestabelecido, não requerendo intervenção do usuário.

Os receptores dispõem também de memória interna para armazenagem das observações (pseudo-distância e medidas de fase da portadora) e das efemérides transmitidas. Alguns receptores possuem, em adição à armazenagem interna, capacidade de armazenar os dados diretamente em discos rígidos ou disquetes de microcomputadores ligados externamente. A transferência de dados exige a presença de portas seriais do tipo RS-232, as quais permitem que alguns tipos de receptores possam ser controlados remotamente.

O suprimento de energia foi um fator muito crítico nos receptores da primeira geração, devido ao alto consumo. Os receptores modernos são concebidos para que tenha consumo mínimo de energia. Alguns chegam mesmo a operar com baterias comuns (pilhas), embora tenham uma bateria interna recarregável, em adição a entrada de energia externa.

Os receptores GPS podem ser divididos segundo vários critérios. Uma classificação possível é de acordo com a comunidade usuária: receptor militar, civil, navegação, geodésico e de aquisição de tempo. Uma outra classificação baseia-se no tipo de dados proporcionado pelo receptor:

- código CIA,
- código CIA e portadora L1,
- código CIA e portadoras L1 e L2,
- códigos CIA e P e portadoras L1 e L2,
- portadora L1 e
- portadoras L1 e L2.

Técnicas de Processamento do Sinal

Em Geodesia, para aplicações em redes com bases longas ou em regiões com forte atividade ionosférica, é essencial o uso das duas portadora (L1 e L2) e ter acesso ao código P. A técnica normalmente aplicada para acessar a portadora, quando AS não está em operação, é a técnica da correlação do código. Ela é, normalmente, usada para acessar a portadora L1. Como a portadora L2 têm modulado sobre ela apenas o código P, o qual é sujeito ao AS, ela deve ser acessada por uma das várias técnicas disponíveis: quadratura do sinal, correlação do código quadrado, correlação cruzada e a mais recente técnica denominada P-W. Uma breve descrição de cada uma delas segue abaixo.

(a) Correlação do código

Nesta técnica, o receptor correlaciona o código gerado por ele próprio com o código recebido do satélite. Para gerar o código no receptor, necessita-se conhecer o código gerado pelo satélite. O código gerado no receptor é deslocado até obter máxima correlação com o transmitido pelo satélite. Assim que os códigos estiverem alinhados, um dispositivo interno (code tracking loop) garante que os dois permaneçam alinhados. O tempo necessário para alinhar as duas seqüência de códigos é a medida de tempo de deslocamento do sinal, do satélite até o receptor. Como há erro de sincronismo entre os relógios do receptor e satélite, quando o tempo de propagação é multiplicado pela velocidade da luz, têm-se como resultado a chamada pseudo-distância, a qual pode ser gerada a partir do código C/A ou P. A seqüência do código proporciona a leitura do relógio do satélite no momento em que um bit particular foi transmitido pelo satélite.

Numa segunda fase, um outro dispositivo interno (carrier-tracking loop) separa o código da portadora para possibilitar a medida da fase e extrair a mensagem de navegação. Esta técnica é conhecida como reconstrução da portadora. O sinal da fase da portadora do satélite, quando demodulado, é confrontado com o sinal gerado pelo oscilador do receptor. A observação resultante é a fase de batimento da portadora, que é a fase relativa entre o sinal recebido e o gerado pelo oscilador do receptor. Um receptor usando esta técnica pode gerar observações de pseudo-distância, fase de Pagamento da portadora e variação da fase da portadora (L1) (Doppler), além de extrair as mensagens de navegação.

Esta técnica somente pode ser aplicada na portadora L2 quando o AS não estiver ativado ou para usuários tendo acesso ao código P criptografado (código Y).

(b) Quadratura do Sinal (Signal Squaring)

Nesta técnica, os sinais recebidos no receptor são multiplicados por eles mesmo, gerando uma segunda portadora. Os códigos e mensagens de navegação são perdidos e o sinal resultante é uma onda senoidal de frequência duas vezes a original e razão sinal ruído maior. A vantagem desta técnica é a não necessidade do conhecimento do código, o que a torna adequada para acessar a portadora L2 quando o AS estiver ativado.

A perda da mensagem de navegação exige o uso de efemérides e correções dos relógios dos satélites obtidas a partir de fontes externas. A solução deste problema envolve o uso do código CIA, presente na portadora L1, a partir da qual se obtém a pseudo-distância e a fase da portadora, bem como as mensagens de navegação. Usando a quadratura do sinal obtém-se a fase da portadora L2. A detecção de perdas de ciclos e *outliers*, normalmente é mais difícil sobre dados coletados com receptores usando a quadratura do sinal sobre L2, do que usando a correlação do código. Os receptores Trimble 4000 SST usam esta técnica.

(c) Correlação Cruzada (Cross-Correlation)

A técnica da correlação cruzada é uma opção disponível em alguns receptores, tais como Trimble 4000 SSE, Trimble 4000 SSI e Turbo Rogue. Eles mudam automaticamente o modo de operação quando o AS é ativado, isto é, passam da técnica de correlação do código para a de correlação cruzada. Usando esta técnica, quatro observações são

produzidas: duas medidas de fase da onda portadora e duas pseudo- distâncias. As medidas de fase da onda portadora são produzidas com o comprimento de onda igual a original e as pseudo-distâncias advém do código CIA e do código Y , este último via correlação cruzada.

Esta técnica se baseia no fato de que o código Y em L1 e L2 são idênticos embora não necessariamente conhecido. O atraso devido a ionosfera faz com que o sinal L1 alcance a antena antes que o sinal L2. Observando o que há no sinal L1, pode-se usar tal informação para correlacionar com o sinal L2 que chega um pouco mais tarde. Desta forma, o código Y do sinal L1 é alimentado por um dispositivo no receptor (variable feed back loop) até que haja correlação com o código Y da portadora L2. O atraso ocorrido é equivalente a diferença entre as pseudo-distâncias que seriam geradas a partir do código P em L1 e L2, caso fossem disponíveis. Este valor é adicionado a pseudo- distância gerada a partir do código C/A para gerar a pseudo-distância em L2. Depois de correlacionar os dois sinais, eles estão precisamente alinhados e podem ser subtraído das portadoras, gerando a portadora L2, com comprimento de onda igual a original, ou seja 24 em (Talbot, 1992).

(d) Correlação do Código com Quadratura do Sinal (Code-Correlating Squaring)

Esta técnica usa o fato de que a maioria do código Y é composto pelo código P. Correlacionando o código Y em L2 com uma réplica do código P e usando técnicas de filtragem é possível medir a pseudo-distância na portadora L2. O sinal é então quadrado para obter a portadora L2 com comprimento de onda duas vezes inferior o original. Esta técnica é aplicada nos receptores GPS Leica 200.

(e) Técnica P-W (P-W Code Tracking)

Esta técnica foi desenvolvida pela Ashtech e é usada nos receptores Ashtech ZXII. O código Y pode ser dividido em duas componentes: o código P original, e o código W, este último usado na criptografia do código P. A técnica P-W, tal como a da correlação cruzada, supõe que o código Y é o mesmo nas portadoras L1 e L2. Além disto usa-se o conhecimento de que o código W é gerado em uma frequência bem mais baixa (50 bps) se comparada com a do código P. Uma réplica do código P é correlacionada com o código Y

(P-W) e usando processos de filtragem de sinal, os sinais em L1 e L2 podem ser comparados, permitindo estimar o valor do código W, o qual é eliminado, deixando apenas o código P. esta técnica proporciona três pseudo-distâncias (C/A, Y1 e Y2) e duas medidas de fase da onda portadora (L1 e L2) ambas com comprimento de onda igual a original (Ashjaee and Lorenz, 1992).

Exemplos de Alguns Receptores GPS

O primeiro receptor para fins geodésicos foi introduzido no mercado em 1982. Trata-se do Macrometer V 1000, desenvolvido com o suporte financeiro da NASA (National Aeronautics and Space Administration). É um receptor de frequência simples, rastreando até 6 satélites a partir de 6 canais paralelos, usando a técnica da quadratura do sinal. Desta forma, perde-se as informações das efemérides e relógios dos satélites, necessitando de fonte externa para obtenção das efemérides. A precisão de bases de 1 00 km, levantada com este equipamento, foi da ordem de 1 a 2 ppm. Uma nova versão do V 1000, denominado Macrometer II, foi introduzida em 1985, o qual é um receptor de dupla frequência. Paralelamente, o DMA (Defense Mapping Agency) em cooperação com o USGS (U.S. Geological Survey) e NGS (U.S. National Geodetic Survey) desenvolveram especificações para um receptor portátil de dupla frequência, com correlação do código. Isto resultou num receptor multiplex, com capacidade de rastrear até 4 satélites, denominado TI-4100, desenvolvido pela Texas Instruments Company, e introduzido no mercado em 1984. Este foi o primeiro receptor que proporcionava todas as observáveis de interesse dos geodestas, agrimensores, cartógrafos e navegadores, ou seja: pseudo-distâncias a partir do código P em L1 e L2, bem como a partir do código C/A em L1 e fase das portadoras L1 e L2. O equipamento foi extensivamente usado, sendo que a maioria dos resultados publicados entre 1985 e 1991 são baseados em dados coletados com o T14100.

O desenvolvimento dos receptores disponíveis atualmente foi significativamente influenciado pela tecnologia aplicada nos dois exemplos citados acima. A maioria dos modelos iniciou com receptores de simples frequência (L1 - correlação do código CIA) com capacidade de rastrear apenas 4 satélites. Num segundo momento, a opção da portadora L2 foi acrescentada, usando a técnica de quadratura do sinal e o número de

satélites passíveis de serem rastreados simultaneamente aumentou. O passo seguinte, por volta de 1992, foi a inclusão do código P em L2, ou mesmo em L1, visando melhorar a qualidade da portadora L2. Com a aproximação da ativação permanente do AS, por volta de 1993, os fabricantes passaram a desenvolver técnicas mais apuradas, com o objetivo de obter a portadora L2 com comprimento de onda original (Cross-Correlation, Técnica P-W, etc.).

Atualmente, há uma grande quantidade de receptores disponíveis no mercado, com os mais variados preços, configurações e para as mais diversas aplicações. Nos deteremos nos modelos mais utilizados no Brasil, apresentando apenas algumas características destes equipamentos. Desta forma, apenas alguns receptores estão incluídos na tabela abaixo. A ordem com que foram incluídos não reflete a qualidade ou performance do equipamento. Esta tabela foi compilada a partir de um levantamento de receptores GPS publicado na revista Fator GIS.

APLICAÇÃO	FABRICANTE	MODELO	Nº DE SAT	SINAIS RASTREADOS	PRECISÃO
Levantamento Expedito Navegação Autônoma	Garmin	GPS-35	12	L1 C/A Código	100m
		GPS-38	8		100m
		GPS-45	8		100m
		GPS-75	8		100m
		GPS-45XL	8		100m
		GPS-12XL	12		100m
	Trimble Magellan	ScoutMaster	8		100m
		GPS2000	12		100m
		GPS3000	12		100m
Levantamento Expedito Navegação Diferencial	Magellan	Field Pro V	5	L1 C/A Código	1 a 3m
		Pro Mark X	10		1 a 3m
	Trimble	ScoutMaster	8		< 10m
		Geoexplorer	8		2 a 5m
	Garmin	GPS-38	8		3 a 10m
		GSP-45	8		3 a 10m
		GPS-75	8		3 a 10m
		SRVY II	8		1 a 5m
		GPS-45XL	8		3 a 10m
	CMT	GPS-12XL	12		3 a 10m
		GPS II	8		3 a 10m
	March I e II	March I e II	8		1 a 5 m
		GPS N3	12		1m

Navegação	Sokkia	Spectrum	8	L1 C/A	< 1m	
	Trimble	Geoexplorer	8	Código e Portadora	< 1m	
		Pro XR	8 a 12	L1 C/A Código	< 0,75m	
		Pro XRS	8 a 12		< 0,10m	
Diferencial	Magellan	Pro Mark X-CP	10	L1 C/A	< 1m	
	Ashtech	G12	12	Código e Portadora	< 0,90m	
		Super C/A Sensor	12		< 0,75m	
		DNS-12	12		< 1m	
CMT	March I e II	8	50cm			
de Precisão		GPS N3	12		1cm + 2ppm	
	Nikon	Gismo	12		1cm + 1ppm	
Geodésico	Sokkia	GSS 1A	8	L1 C/A Código e Portadora	0,5cm + 1ppm	
Estático	Trimble	4600 LS	8 a 12		0,5cm + 1ppm	
		4000 Si	9 a 12		0,5cm + 1ppm	
Bases	Wild	System 200 SR 261	6		1cm + 2ppm	
		System 200 SR 9400	12		1cm + 2ppm	
Curtas e	Topcon	GP-R1	12		0,5cm + 2ppm	
	Ashtech	STEP I	12		1cm + 2ppm	
		Reliance	12		1cm + 2ppm	
Cinemático	CMT	GPS N3	12		1cm + 2ppm	
	Nikon	Gismo	12		1cm + 1ppm	
	Zeiss	GeoPos RS 12	12	0,5cm + 2ppm		
Geodésico	Sokkia	GSR 1100	12	L1 C/A	0,5cm + 1ppm	
Estático	Trimble	4000 SSi	9 a 12	Código e	0,5cm + 1ppm	
Bases Longas e	Wild	System 200 SR 299	12	Portadora L2	0,5cm + 1ppm	
	Topcon	GP R1-D	12	Squaring	0,5cm + 1ppm	
Cinemático	Nikon	Outrider	12		0,5cm + 1ppm	
Geodésico Estático	Sokkia	GSR 2100	12	L1 C/A	0,5cm + 1ppm	
	Trimble	4000 Ssi	9 a 12	Código e	0,5cm + 1ppm	
Cinemático	Wild	System 300 SR 399	9	Portadora L2	0,5cm + 1ppm	
		System 300 SR 9500	12	P ou Y	0,5cm + 1ppm	
E Rápido	Topcon	Turbo-SII	8	Código	0,5cm + 1ppm	
	Ashtech	Z-12	12	E	0,5cm + 1ppm	
Estático	Nikon	Outrider	12	Portadora	0,5cm + 1ppm	
	Zeiss	GeoPos RD 24	12		0,5cm + 1ppm	
Geodésico	Sokkia	GSR 2200	12	L1 C/A Código e Portadora L2 P ou Y Código E Portadora	0,5cm + 1ppm	
Dinâmico	Trimble	4000 c/ OTF	12		1cm + 1ppm	
		4000 Ssi OTI	9 a 12		0,5cm + 1ppm	
		Wild	System 300 SR 399		9	0,5cm + 1ppm
(on-the-fly)	Ashtech	System 300 SR 9500	12		P ou Y	0,5cm + 1ppm
		Z-12	12		Código	0,5cm + 1ppm
	Nikon	Autrider	12		E	0,5cm + 1ppm
	Zeiss	GeoPos RD 24 RT			Portadora	2cm + 1ppm
Zeiss	GeoPos RM 24	12			0,5cm + 1ppm	

O usuário GPS, ao definir o equipamento a ser adquirido, deve prestar bastante atenção nas especificações dos equipamentos. Na maioria das vezes, grande parte dos acessórios que constam dos folhetos, são opcionais, elevando sobre maneira o preço apresentado pelos representantes. A precisão que consta dos folhetos nem sempre é alcançada, dependendo de condições especiais. É aconselhável que futuros usuários, não acostumado com a nomenclatura e termos envolvidos no GPS, consulte especialistas para auxiliar na decisão sobre o equipamento a ser adquirido.

Impacto da Disponibilidade Seletiva e Anti/Fraude

Já foi citado na seção 1 a respeito da limitação da acuracidade do sistema GPS via Selective Availability (SA: Disponibilidade Seletiva) e Anti-Spoofing (AS: Anti-fraude). Estes dois tipos de limitação da acuracidade do sistema foram implementados nos satélites do Bloco II. A disponibilidade seletiva foi ativada em 4 de julho de 1991 às 04 hs TU. O AS foi exercitado intermitentemente durante o ano de 1993 e implementado em 31 de janeiro de 1994. Trata-se de redução proposital do nível de acuracidade do GPS, de modo que o SPS (Standard Positioning Service) disponível para os usuários não autorizados seja da ordem de 100 m, ao nível de confiança de 95%. Isto significa que a acuracidade da posição horizontal de um usuário posicionando-se de forma absoluta será da ordem de 100 m ou melhor, durante 95% do tempo.

Esperava-se que apenas o AS seria suficiente para proporcionar a limitação no nível de acuracidade. No entanto, posicionamento com o código CA mostrou acuracidade da ordem de 20 a 40m (Sceber, 1993). Esta inesperada situação desfechou o programa chamado disponibilidade seletiva (SA), para ser incorporado nos satélites do Bloco L1. Dois efeitos fazem parte da SA:

manipulação das efemérides transmitidas (técnica ϵ) e

desestabilização sistemática do oscilador do satélite (técnica δ)

O impacto da SA sobre os usuários civis têm sido um ponto de muitas discussões entre usuários GPS e vários testes foram realizados para avaliar seu efeito. Há um aumento no ruído do código e da onda portadora. Os efeitos da técnica ϵ pode provocar efeitos sistemáticos na escala e orientação de uma base, caso a sessão de observação não seja longa o suficiente para eliminar o efeito da perturbação da órbita. O técnica efeito da técnica δ provoca um efeito adverso na detecção e reparo de perdas de ciclos para medidas não diferenciadas. O efeito é praticamente eliminado na diferenciação, haja vista não depender da geometria do satélite. Para navegação, o uso de DGPS (Differential GPS) ou WADGPS (Wide Area Differential GPS) praticamente elimina os efeitos de SA. Encontra-se em discussão no momento, a eliminação da SA dentro de um período de 4 a 10 anos (Gibbons, 1996), o que vai de encontro a aspirações da comunidade usuária. Vale a pena citar que o sistema russo, similar' ao GPS, denominado GLONASS, encontra-se em plena operação, sem as desvantagens de SA e AS do GPS. Claramente, é um rival em potencial para o GPS.

O AS refere-se a não permissão de acesso ao código P. Para tanto, o código P é criptografado, resultando num código protegido, denominado Y. Somente usuários autorizados têm acesso ao código P quando o AS está ativado. O objetivo primário do AS é evitar que usuários não autorizados possam gerar códigos P falsos, interferindo com o uso militar do sistema (Underhill & Underhill, et al. 1992). O código Y é resultante de uma combinação dos códigos P e W. Este último é gerado numa razão de 50 bps (bits por segundos), ao passo que o código P apresenta uma razão de $10,23 \times 10^6$ bps (Monico, 1995).

Situação Atual do GPS

O GPS foi declarado operacional em 27 de abril de 1995. Naquela época, havia 25 satélites em órbita, 1 do Bloco I (satélite 12) e os demais do Bloco II. O satélite 12 foi retirado de operação no final de 1995, depois de ter sido declarado saudável várias vezes, muito embora, com alguns problemas. De acordo com as diretivas de decisão do Presidente dos Estados Unidos a respeito do GPS, é bem provável que a SA seja desativada dentro da próxima década. Nesta diretiva, ficou também assegurada a continuidade do GPS globalmente, sem a cobrança de taxas diretas. Um outro aspecto importante foi a decisão de desenvolver e implementar a ampliação do GPS afim de que o mesmo seja usado com o padrão para sistemas de transportes, quer seja americano ou internacional. A tabela abaixo mostra o *status* dos satélites GPS em junho de 1996.

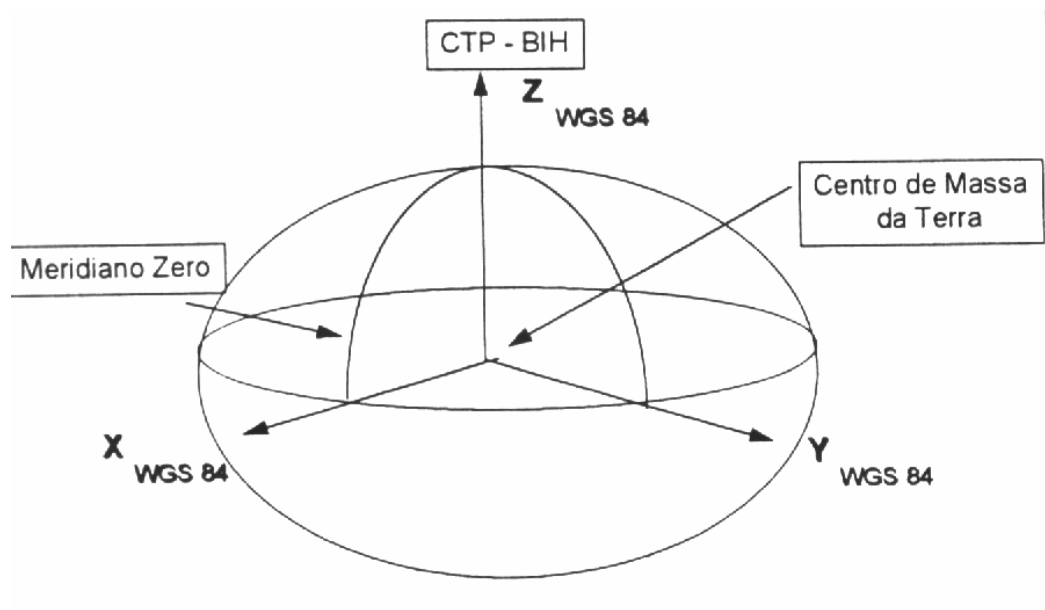
O primeiro satélite do Bloco IIR (reabastecimento) está planejado para ser lançado em 29 de agosto de 1996. Para o final de junho deverá ocorrer o lançamento de mais um satélite do Bloco II A, na posição orbital E3, para substituir o SVN 1 6 (PRN 1 6).

A geração de satélites que substituirá os do Bloco IIR será denominada IIF, contará com 33 satélites. O programa de produção de satélites encontra-se em fase de concorrência e representará um compromisso do governo americano em disponibilizar o GPS por um período de 20 a 30 anos.

Sistema de Referência do GPS

Status da constelação GPS											
SV	PRN	Clock	Lançam.	Órbita	Desativ.	SV	PRN	Clock	Lançam.	Órbita	Desativ.
Bloco I						Bloco II					
1	4		22/02/78		17/07/85	21	21	Cs	22/08/90	E3	
2	7		13/05/78		16/07/81	15	15	Cs	15/10/90	D2	
3	6		06/10/78		18/05/92	Bloco IIA					
4	8		10/12/78		14/10/89	23	23	Cs	10/12/90	E4	
5	5		09/02/80		28/11/83	24	24	Cs	30/08/91	D1	
6	9		26/04/80		06/03/91	25	25	Rb	24/03/92	A2	
7			18/12/81			28	28	Cs	04/25/92	C2	
8	11		14/07/83		04/05/93	26	26	Cs	23/07/92	F2	
9	13	Cs	13/06/84	C1	(*)	27	27	Cs	30/09/92	A3	
10	12	Rb	08/09/84	A1	(**)	32	1	Rb	11/12/92	F1	
11	3	Rb	09/10/85	C4	(*)	29	29	Cs	05/01/93	F4	
Bloco II						22	22	Cs	04/04/93	B1	
14	14	Cs	15/04/89	E1		31	31	Rb	30/03/93	C3	
13	2	Cs	10/08/89	B3		37	7	Cs	13/05/93	C4	
16	16	Cs	14/10/89	E3		39	9	Cs	26/06/93	A1	
19	19	Cs	14/11/89	A4		35	5	Cs	30/08/93	B4	
17	17	Cs	11/01/90	D3		34	4	Cs	26/10/93	D4	
18	18	Cs	14/02/90	F3		36	6	Cs	28/03/94	C1	
20	20	Cs	18/04/90	B2		(*) desativado			(**): com problemas		

O sistema de referência do GPS é o World Geodetic System 1984 (WGS-84). Desta forma, quando um levantamento é efetuado usando o GPS, as coordenadas dos pontos levantados serão obtidas no mesmo sistema de referência. A figura a seguir ilustra o WGS-84. Sua origem é o centro de massa da Terra, com os eixos cartesianos X, Y e Z idênticos ao Sistema de Referência Terrestre Convencional (CTRS) para a época 1984.



O elipsóide de referência é o GRS80 (Geodetic Reference System 1980), um elipsóide de revolução equipotencial e geocêntrico. Alguns parâmetros relacionados a este elipsóide estão listados na tabela a seguir (Hofmann-Wellenhof *et al*, 1992).

Parâmetro e Valor	Descrição
$a = 6.378.137 \text{ m}$	Semi-eixo maior
$b = 6.356.752,314 \text{ m}$	Semi-eixo menor
$f = 1/298,2572221$	Achatamento
$J_2 = 1.082.630,10^{-9}$	Coefficiente zonal de Segunda ordem
$\omega_2 = 7.292.115 \times 10^8 \text{ rad/s}$	Velocidade angular da Terra
$GM = 3.986.005 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$	Constante gravitacional da Terra

Na realização do WGS-84 utilizou-se 1591 estações determinadas pelo DMA (Defense Mapping Agency) usando o sistema Transit, com precisão da ordem de 1 a 2m. Refinamento têm sido efetuado usando a técnica de posicionamento GPS, levando à uma nova realização, a qual é compatível com o ITRF92 ao nível decimétrico. Esta realização é denominada WGS-84 (G730), onde G representa que o refinamento foi efetuado usando GPS e 730 a semana GPS em que foi realizada. As efemérides transmitidas pelo GPS são referenciadas ao WGS-84. Portanto, conforme já citado, as coordenadas derivadas também estarão referenciadas ao WGS-84. Vale a pena ressaltar que os usuários requerendo maior acuracidade nos resultados, poderão pós-processar seus dados usando efemérides precisas, geradas pelos diversos centros de análises que compõem o IGS. Neste caso ter-se-á como sistema de referência, um dos ITRFS

Atividades GPS em Desenvolvimento e Futuras

Outros recentes desenvolvimentos no Brasil têm sido as redes GPS estaduais. Elas são redes passivas, tais como as redes convencionais, levantadas usando GPS e referenciadas ao WGS-84 a partir da estação CHUÁ. A rede do Estado de São Paulo, composta por 24 estações, com espaçamento de 50 a 200 km, é um dos exemplos já realizados (Blitzkow *e/ al*, 1993). Outro exemplo é a rede GPS Paraná, também já realizada, composta de 21 estações com espaçamento médio de 100 km (Pereira, 1996). Não se encontra disponível no momento, as coordenadas oficiais destas estações. A concepção destas redes deverá atender à maioria dos usuários GPS em termos de precisão, além de ter seus vértices em locais de acesso relativamente fácil. Os parâmetros de transformação, citados anteriormente, também deverão ser adequados para fins de mapeamento, sendo conveniente reavaliá-los. Observe que se trata de uma rede passiva, exigindo a ocupação de seus vértices quando da determinação de novas estações. Em muitos casos, a conexão à rede por usuários dispondo apenas de receptores de frequência simples exigirá o levantamento de mais que uma base, haja vista que nestas circunstâncias são recomendadas bases de no máximo, 20 km, devido aos problemas de refração ionosférica.

O SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico da América do Sul), criado recentemente e com uma campanha GPS já realizada (26 de maio a 14 de junho de 1995), culminará com a realização de um sistema de referência geocêntrico, usando algumas estações do IGS como pontos fiduciais e referenciadas ao ITRF. Foram ocupadas 65 estações ao todo, 7 das quais pertencentes ao IGS e 10 localizadas no Brasil (SIRGAS, 1994, SIRGAS, 1995).

O mais notável em termos de posicionamento geodésico no Brasil foi a proposta de implantação da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo). Trata-se de uma concepção moderna, a qual integra os mais recentes desenvolvimentos na área de posicionamento, ou seja, realizar posicionamento ativo'. Ela não só permitirá o acesso aos usuários do SGB, como poderá fazer parte de uma rede mundial, reduzindo os custos das participações em campanhas internacionais. Usuários dispostos de um receptor de dupla frequência poderão posicionar um vértice com razoável precisão em qualquer parte do território nacional, sem a necessidade de ocupar qualquer estação do SGB. Esta tarefa poderá demandar tempo considerável se atentarmos para os métodos de posicionamento disponíveis atualmente. No entanto, dispender de 1 a 5 horas para medir uma base de 500 km pode ser considerado econômico, ainda mais se um outro receptor (de uma frequência por exemplo) puder ser usado simultaneamente para levantar os demais pontos de interesse na área, usando, neste caso, as técnicas de posicionamento rápido. Uma opção para acessar os dados das estações da RBMC poderá ser via Internet, ou numa concepção mais modesta, usando disquetes. A próxima figura mostra as estações propostas para a RBMC e algumas estações IGS na América do Sul.

Está previsto para o segundo semestre- de 1996, o pleno funcionamento da RBMC. Atualmente, duas estações estão em funcionamento, ainda que precário: Presidente Prudente e Curitiba.

Percebe-se que, num determinado momento, os usuários do SGB passarão a conviver com três sistemas geodésicos de referência (SGB, WGS-84 e SIRGAS-ITRF). O primeiro é usado para o mapeamento, o segundo para levantamentos com GPS usando efemérides transmitidas e o terceiro, digamos, para fins científicos. Tal situação representa o impacto de novas tecnologias e a necessidade de atender aos usuários. No entanto, num determinado momento deverá haver uma integração destes sistemas e o mais óbvio parece

ser a adoção do sistema de melhor exatidão, no caso o SIRGAS- ITRF. Tal solução é de longo prazo e requer que a maioria dos documentos cartográficos estejam disponíveis em meio digital, possibilitando efetuar uma transformação massiva de todos os dados envolvidos. Desta forma, a estimação de parâmetros de transformação precisos e confiáveis entre os diferentes sistemas é essencial para obter o benefício máximo desta importante tarefa.

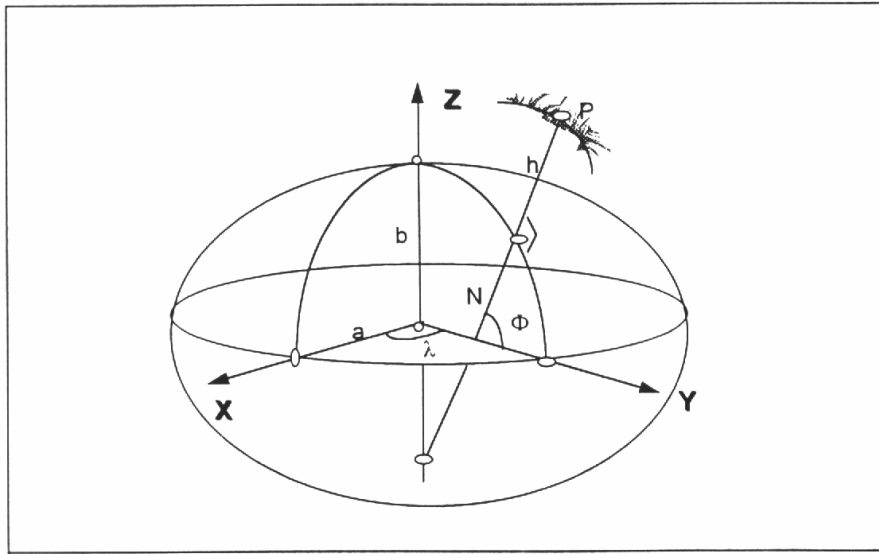
É oportuno salientar que a Associação Internacional de Geodesia recomenda o uso do WGS84 para fins de mapeamento, navegação ou banco de dados digitais (McCarthy, 1992).

Transformação de Coordenadas WGS-84 para SAD-69 e Vice- Versa

A transformação de coordenadas entre o WGS-84 e o SAD-69 é de fundamental importância nas atividades envolvendo GPS no Brasil. Enquanto o primeiro é o datum do GPS, o segundo é o adotado no Brasil. A seguir são apresentadas as etapas fundamentais, incluído as equações envolvidas na transformação.

Conversão de Coordenadas Geodésicas em Cartesianas

Denotando as coordenadas cartesianas retangulares de um ponto no espaço por X, Y e Z e assumindo um elipsóide de revolução com a mesma origem do sistema de coordenadas cartesianas, um ponto pode também ser expresso pelas coordenadas geodésicas (elipsoidais) ϕ , λ e h. A figura abaixo ilustra o caso em questão.



A relação entre as coordenadas cartesianas e elipsoidais é dada por

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} (N + h) \cos(\lambda) \cos(\phi) \\ (N + h) \cos(\lambda) \sin(\phi) \\ ((1 - e^2) N + h) \sin(\lambda) \end{bmatrix}$$

$$N = a / (1 - e^2 \sin^2(\phi))^{1/2}$$

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

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

ϕ é a latitude geodésica, que é o ângulo que a normal ao elipsóide, passando por 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 do ponto P (positiva a leste) ou de qualquer ponto sobre a normal;

h é a altitude geométrica, que é a distância de P ao elipsóide, contada sobre a normal,

N é a grande normal (raio de curvatura da seção primeiro vertical),

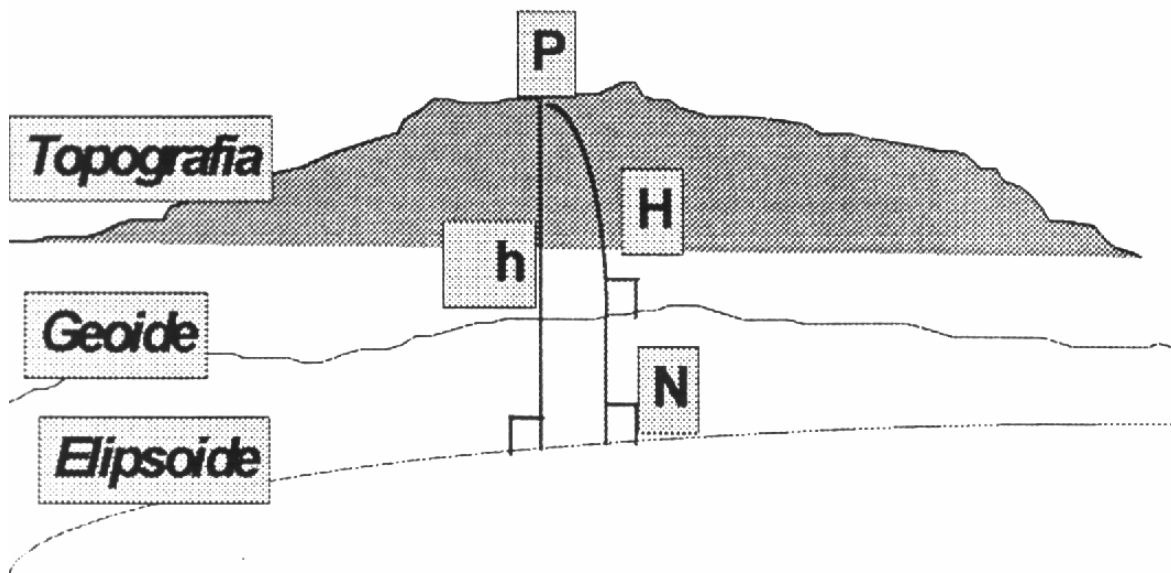
e^2 é a primeira excentricidade numérica e

f é o achatamento.

O valor da altitude geométrica é aproximadamente dado por:

$$h = N + H$$

onde N é a ondulação geoidal e H a altitude ortométrica. A figura 2.5 ilustra estas três quantidades de fundamental importância para as atividades geodésicas. A quantidade de especial interesse para atividades de engenharia é a altitude ortométrica H . O GPS proporciona a altitude geométrica h , cuja conversão para ortométrica, necessita do conhecimento da ondulação do geóide (N).



Erros Relacionado com os Satélites

O sistema GPS está sujeito à erros aleatórios, sistemáticos e grosseiros. As fontes de erros envolvidas no processo de medidas devem ser bem conhecidas. Os erros sistemáticos podem ser parametrizados (modelado como termos adicionais) ou eliminados por técnicas apropriadas. Os erros aleatórios, por sua vez, não apresentam qualquer relação funcional com as medidas e são, normalmente, as discrepâncias remanescente nas observações depois que todos os erros grosseiros e sistemáticos são minimizados. Eles são inevitáveis, sendo portando, considerados como uma propriedade inerente da observação. A tabela abaixo apresenta uma subdivisão das fontes de erros e lista de alguns de seus efeitos.

FONTES	EFEITOS
Satélite	Erro da órbita Erro do relógio Relatividade Atraso de Grupo
Propagação do sinal	Refração troposférica Refração ionosférica Perdas de ciclos Sinais refletidos Rotação da Terra
Receptor/Antena	Erro do relógio Erro entre os canais Centro de fase da antena
Estação	Erro nas coordenadas Marés terrestres Movimento do Polo Carga dos oceanos Pressão da atmosfera

Erros orbitais

Informações orbitais podem ser obtidas a partir das efemérides transmitidas pelos satélites ou das pós-processadas, denominadas efemérides precisas. As coordenadas dos satélites calculadas a partir das efemérides são, normalmente, injuncionadas como fixas durante o processo de ajustamento dos dados GPS. Assim sendo, qualquer erro nas coordenadas do satélite se propagará para a posição do usuário. No posicionamento por ponto (próximo capítulo), os erros serão propagados diretamente para a posição do usuário. Já no posicionamento relativo, os erros orbitais são praticamente eliminados, mas erros remanescente degrada a acuracidade da linha base na medida que esta se torna mais longa. Uma regra muito útil, que expressa o erro na base como função do erro na posição do satélite (Well e/ *al*, 1986) é dada por:

$$\Delta b = b \Delta r/r$$

onde,

Δb é o resultante na base;

b é o comprimento da base (km);

Δr é o erro na posição do satélite e;

r é a distância do satélite ao receptor ($\cong 20.000$)

A acuracidade das efemérides transmitidas, de acordo com a literatura especializada (Seeber, 1993; Hofmann-Wellenhof *et al*, 1992; Leick, 1995), deve variar entre 20 e 50 (1σ). Elas são disponíveis em tempo real, haja vista serem transmitidas com as observações. As efemérides precisas, com acuracidade estimada de 20 cm a 1 m, resultante de pós-processamento, só ficam disponíveis para os usuários dentro de uma semana após a coleta dos dados. A tabela a seguir apresenta erros típicos resultantes no processamento de bases com comprimento variando entre 10 e 5000 km. Para o caso das efemérides transmitidas (ET), foram adotados como erros orbitais os valores 20 e 100 m. Com efemérides precisas (EP), erros de 20 cm e 2 m foram considerados. Os valores 100 e 2 m, embora acima dos limites esperados, corresponde a 2σ .

Resultados documentados na literatura GPS têm evidenciado que a regra acima é um tanto pessimista. Têm sido sugerido que ela representa mais apropriadamente a propagação dos erros orbitais sobre a componente vertical (Santos, 1995). De qualquer forma fica claro que o uso das efemérides precisas deverá atender a maioria das atividades geodésicas, pois chega a atingir precisão relativa da ordem de 10 ppb (partes por bilhão). Nas atividades necessitando de posicionamento em tempo real, as ET têm sido usadas. No entanto, se a acuracidade desejada deve ser melhor que a proporcionada pelo sistema GPS com o uso de ET no método diferencial (DGPS), a tendência atual é o uso de WADGPS (Wide Area Differential GPS) (Mueller, 1994), em fase de desenvolvimento. Nos Estados Unidos, sistemas de WADGPS já encontram-se em funcionamento.

EFEMÉRIDES	Erro Orbital Δr (m)	Comprimento da base b (km)	Erro na base Δb (cm)	Acuracidade Relativa $\Delta b / b$ (ppm)
ET	100	10	5	5.0
		100	50	
		1000	500	
		5000	2500	
ET	20	10	0.1	1.0
		100	10	
		1000	100	
		5000	500	
ET	2	10	0.1	0.1
		100	1	
		1000	10	
		5000	50	
ET	0.2	10	0.01	0.01
		100	0.1	
		1000	1	
		5000	5	

Erros no Relógio do Satélite

Embora altamente acurados, os relógios atômicos à bordo dos satélites não acompanham o sistema de tempo GPS. A diferença chega a ser, no máximo, de 1 milissegundo (Wells *et al*, 1986). Os relógios são monitorados pelo segmento de controle. O valor pelo qual eles diferem do tempo GPS faz parte da mensagem de navegação na forma de coeficientes de um polinômio de segunda ordem, dado por:

$$Dt(t) = a_0 + a_1(t - t_0c) + a_2(t - t_0c)^2$$

Onde:

t_0c é o tempo de referencia de relógio (clock);

a_0 é o estado do relógio do tempo de referência;

- a1 é a marcha linear do relógio e;
- a2 é a variação da marcha do relógio.

A técnica δ usada na SA (dither) é implementada através da introdução de erro no parâmetro a_i (Lachapelle *et al*, 1992). Conseqüentemente, quando a SA estiver ativa, o polinômio acima não modela adequadamente os erros dos relógios dos satélites. Os efeitos podem ser minimizados pelo posicionamento diferencial.

Relatividade

Os efeitos da relatividade no GPS não são restritos somente aos satélites (órbitas e relógios), mas também a propagação do sinal e aos relógios dos receptores. O relógio do satélite, além dos erros já mencionados, variam devido a relatividade geral e especial. Os relógios nas estações de monitoramento e de bordo estão situados em locais com potenciais gravitacionais diferentes, além de mover-se com velocidades diferentes. Isto provoca uma aparente alteração na frequência dos relógios de bordo com relação aos terrestres. Os efeitos são compensados pela redução da frequência nominal dos relógios dos satélites em $4,55 \times 10^{-3}$ Hz, antes do lançamento.

Apesar destes cuidados, alguns efeitos não são eliminados. Porém no processamento usando técnica diferencial, elimina-se a maioria destes efeitos.

Atraso de Grupo

Este erro é decorrente do retardo dos sinais quando passam através do hardware do satélite, afetando o tempo de propagação do sinal. No entanto, a calibração durante a fase de testes dos satélites permite determinar a magnitude do atraso e introduzi-la como parte dos coeficientes do polinômio do relógio.

Erros relacionados com a Propagação do Sinal

Os sinais provenientes dos satélites atravessam a atmosfera onde sofrem refração, resultando numa trajetória curva associada a um atraso na chegada do sinal. A trajetória

curva se deve ao fato do sinal passar através de vários níveis de densidade variáveis. O retardo do sinal é uma consequência da diferença entre a velocidade do sinal na atmosfera e no vácuo. O meio onde ocorre a propagação consiste essencialmente da troposfera e da ionosfera. A troposfera se estende da superfície terrestre até aproximadamente 50 km e comporta-se como um meio não dispersivo, isto é, a refração é independente da frequência do sinal. A ionosfera é um meio dispersivo (a refração depende da frequência), o que significa que a fase da portadora e a modulação sobre ela serão afetadas de forma diferentes. A ionosfera abrange aproximadamente a região que vai de 50 até 1000 km acima da superfície terrestre. Por se tratar de regiões apresentando comportamentos diferentes, elas serão tratadas separadamente. Além destes efeitos, inclui-se nesta seção o efeito do movimento de rotação da Terra nas coordenadas do satélite durante a propagação do sinal.

Refração Troposférica

O efeito da troposfera podem variar de poucos metros até aproximadamente 100 m, dependendo da densidade da atmosfera e do ângulo de elevação do satélite. A refração troposférica é muito sensível à quantidade de vapor d'água presente, razão pela qual costuma-se dividi-la em duas componentes : uma seca e outra úmida. Uma das várias expressões que existe para a refratividade é:

$$N = 77,6 \frac{P}{T} + 3,73 \times 10^5 \frac{e}{T^2}$$

Onde: P é a pressão atmosférica total (mbars),
T é a temperatura absoluta (Kelvin) e;
e é a pressão parcial de vapor d'água.

Refração Ionosférica

A ionosfera, ao contrário da troposfera, é um meio dispersivo. Isto significa que a refração ionosférica depende da frequência do sinal. Uma relação básica entre o índice de

refração (n) e a frequência (f) é dada por (Dodson *et al*, 1993; Hofmann-Wellenhof *et al*, 1992):

$$N = 1 \pm A_1 N_e / f^2$$

Onde:

A_1 é uma simples combinação de constantes físicas ($=40,3 \text{ Hz}^2$);

N_e é a densidade de elétrons livre na ionosfera ($\cong 10^{16} \text{ elétron/m}^3$) e;

\pm depende, se o índice de refração é para ser usado com o código (+ para índice de refração de grupo) ou com a portadora (- para índice de refração da fase).

Nesta expressão pode ser visto que o índice de refração da fase é menor que a unidade, significando que a fase sofre um avanço quando passa através da ionosfera. O código por sua vez sofre um atraso, já que n maior que um para este caso. Desta forma, as pseudo-distâncias são mais longas e as medidas de fase da portadora mais curtas que a distância geométrica entre o satélite e receptor. A diferença é idêntica em ambos casos. A parte da frequência do sinal, n também afetada pela densidade de elétrons livres, dependendo da atividade solar. Tempestades magnéticas superpõem um padrão irregular sobre o ciclo da mancha solar, tornando a predição da densidade de elétrons livres muito difícil. As regiões que apresentam os maiores distúrbios na ionosfera são a equatorial e polar.

Considerando apenas os termos de primeira ordem, a refração ionosférica é obtida da seguinte expressão:

$$I = 1 \pm A_1 / f^2 N_t$$

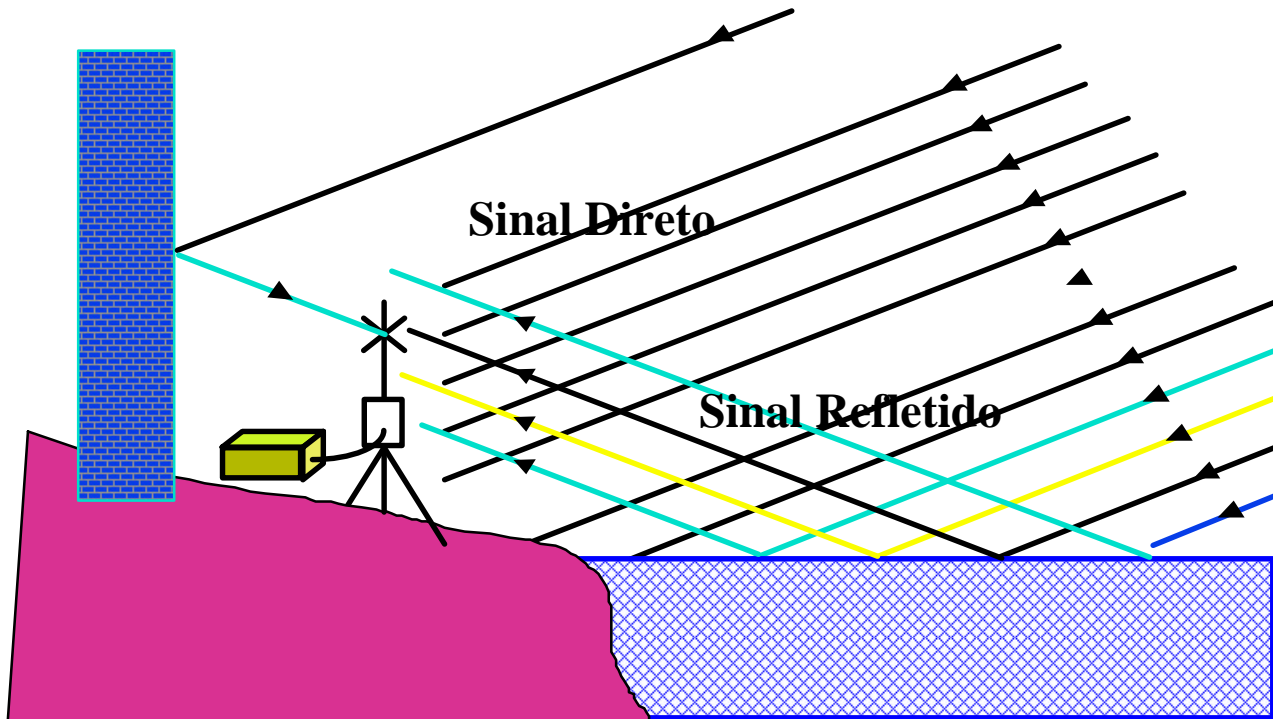
onde N_t é o conteúdo total de elétrons (TEC: Total Electron Contents). O TEC representa o número de elétrons de uma coluna atravessando a ionosfera junto com o sinal, com área da seção transversal igual a 1 m^2 .

A dependência da frequência torna possível eliminar os efeitos de primeira ordem quando se coleta os dados com um receptor de dupla frequência. Para receptores de

freqüência simples, a ionosfera é a maior fonte de erro. No posicionamento relativo, sobre distâncias curtas (10 a 20 km), a maioria dos erros é eliminada. No entanto, receptores de freqüência simples são normalmente usados sobre linhas de bases maiores que as consideradas adequadas para eliminar grande parte dos efeitos da ionosfera. Desta forma, o uso de modelos da ionosfera pode melhorar os resultados. Nestes modelos, medidas de fase coletadas com receptores de dupla Seqüência são usadas para estimar as correções para os usuários de freqüência simples operando na área. Maiores detalhes podem ser encontrados em Newby and Langley, (1 990) Georgiadou Y., (1 990), Newby and Langley, (1 992) e Klobuchar, (1986). Este método é ideal para ser usado dentro do contexto da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), a qual consistirá de uma série de receptores GPS de dupla freqüência coletando dados continuamente em diversas regiões do Brasil.

Sinais refletidos (multipath)

O receptor pode, em alguma circunstância, receber além do sinal que chega diretamente a antena, sinais refletidos em superfícies vizinhas à mesma (multipath). Tal circunstância depende da relatividade do meio onde se posiciona a antena, características da antena e de técnicas utilizadas para impedir sinais refletidos. As condições um tanto arbitrária envolvendo o levantamento torna a modelagem destes efeitos um tanto difícil, muito embora algumas combinações de observáveis permitam avaliar o nível de sinais refletidos. Estes efeitos são normalmente considerados como erros aleatórios, muito embora, em alguns casos, pode-se comportar como efeitos sistemáticos. Desta forma, a recomendação mais efetiva é evitar levantamentos em locais propícios a estes efeitos. A figura 3.2 ilustra a ocorrência de sinais refletidos.



Perdas de Ciclos

As medidas de fase são, normalmente, contínuas com respeito ao período de uma sessão de observação. Quando há uma não continuidade na medida da fase diz-se que ocorreu perda de ciclos. Isto pode ser devido a bloqueio do sinal, aceleração da antena, variações bruscas na atmosfera, interferências de outras fontes de rádio e problemas com o receptor e software. Quando ocorre perda de ciclos, é de se esperar que a parte fracional permanece correta; somente o número inteiros de ciclos sofre um salto. É necessário, e na maioria das vezes é possível, corrigir a fase da portadora do número inteiros de ciclos provocando a descontinuidade. Diversas técnicas tem sido desenvolvida para este fim. Uma outra opção é introduzir uma nova ambigüidade como incógnita no modelo de ajustamento.

Rotação da Terra

O cálculo das coordenadas do satélite apresentada no capítulo 1 foi para o instante de transmissão do sinal e num sistema de coordenadas fixo a Terra. Desta forma, torna-se necessário efetuar a correção do movimento de rotação da Terra. Durante a propagação do sinal, o sistema de coordenadas rotaciona com relação ao satélite, alterando suas coordenadas. As coordenadas originais do satélite devem ser rotacionadas sobre o eixo Z de um ângulo α , definido como o produto do tempo de propagação pela velocidade de rotação da Terra .

Erros Relacionados com o Receptor e Antena

Os erros relacionados com o receptor e antena são aqueles devido ao hardware do receptor e *design* da antena.

Erro do relógio

Os receptores GPS são normalmente equipados com osciladores de quartzo, os quais possuem boa estabilidade interna e são de custos relativamente baixo. Cada receptor possui a sua própria escala de tempo, definido pelo oscilador interno, a qual difere da escala de tempo GPS. Alguns receptores possuem osciladores altamente estáveis, podendo aceitar padrões de tempo externo. No entanto, são receptores de custo elevado, normalmente utilizados em redes de alta precisão. De qualquer forma, no posicionamento relativo, os erros dos relógios são praticamente eliminados, não exigindo para a maioria das aplicações, padrões de tempo altamente estáveis.

Erros entre Canais

Quando um receptor possui mais que um canal de rastreo, pode ocorrer erro (sistemático) entre os canais. Atualmente, a maioria do receptores geodésicos possuem canais múltiplos, com cada um dos canais registrando os dados de um satélite particular, sujeito portanto ao tipo de erro aqui discutido. Para corrigi-lo, o receptor realiza uma calibração no início de cada levantamento. Para tal, cada canal rastreia simultaneamente um

satélite em particular e determina os erros em relação a um canal tomado como padrão. Todas as medidas subsequentes são corrigidas deste efeito.

Centro da Fase da Antena

O centro elétrico da antena é um ponto no qual as medidas dos sinais são referenciadas e geralmente não coincide com o centro físico da antena. A discrepância varia com a intensidade e direção dos sinais e é diferente para a portadora L1 e L2. Para levantamentos de alta precisão, todas as antenas envolvidas no projeto devem ser calibradas, visando corrigir as observações. Antenas de mesmo fabricante e modelos iguais não devem apresentar maiores problemas. No entanto, recomenda-se que a orientação de todas as antenas envolvidas num projeto esteja na mesma direção.

Erros Relacionados com a Estação

Além de erros nas coordenadas da estação, no caso de fixar as coordenadas da estação base, outros erros resultantes de fenômenos geofísicos podem causar variações nas coordenadas das estações envolvidas no levantamento durante o período de coleta das observações. Entre eles estão incluídos os efeitos de marés terrestres, carga dos oceanos e carga da atmosfera.

Coordenadas da Estação

Posicionamento GPS, no modo relativo, proporciona diferenças de coordenadas tridimensionais (ΔX , ΔY e ΔZ) de alta precisão. As diferenças de coordenadas não contém informações sobre o sistema de referência (datum), as quais são indispensáveis em qualquer tipo de levantamento. Para tal, pelo menos um ponto deve ser mantido fixo. Qualquer erro em suas coordenadas irá ser propagado para as coordenadas dos pontos determinados a partir dele. Um outro tipo de problema, que quase sempre passa despercebido, é que um erro na posição do ponto fixo, também afetará as componentes relativas, não especialmente ΔX , ΔY e ΔZ , mas $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$ e $h\Delta$. A obtenção de cada uma destas componentes é função das coordenadas supostas erradas. Têm sido mostrado que um erro de 5 m nas coordenadas de

uma estação base pode produzir erros de 1,0, 0,9 e 0,8 ppm nas diferenças de coordenadas geodésicas $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$ e $h\Delta$ respectivamente (Breach, 1990). Isto mostra a importância de se ter coordenadas das estações bases compatíveis com a do WGS-84. Não é o que acontece no Brasil no momento, haja vista que os parâmetros de transformação entre o SAD-69 e WGS-84 foi estimado para a estação Chuá, origem do SAD-69, e são aplicados para todo o Brasil. Deformações da ordem de 20 m podem ser esperada, o que certamente deteriorará a alta acuracidade proporcionada pelo GPS.

Marés Terrestre

A deformação da Terra devido as forças das marés (sol e lua) é denominada marés terrestres (Earth Body Tides). Próximo ao equador, a superfície desloca-se por volta de 40 cm durante um período de 6 horas (Baker, 1984). A variação é função da posição do sol e da lua, sendo que os períodos principais destas variações são 12 (semi- diurna) e 24 (diurna) horas. Tal variação é função do tempo, mas também depende da posição da estação. O efeito é similar para estações adjacentes e é provável que a maioria deles seja cancelado no processo diferencial. Para redes com linhas base longas, tais efeitos devem ser modelados. Detalhes do algoritmo padrão a ser usado com GPS é dado no IERS Standards (McCarthy, 1992).

Movimento do Polo

A variação das coordenadas das estações causadas pelo movimento do polo deve também ser considerada. Tal variação atinge até 25 mm (componente radial) e não se cancela sobre qualquer duração da sessão. No entanto, no posicionamento relativo é praticamente eliminada.

Carga dos Oceanos

O peso que o oceano exerce sobre a superfície terrestre produz cargas periódicas na superfície terrestre resultando em deslocamento (Baker, 1984). A magnitude do deslocamento depende do alinhamento do sol, lua e posição do observador, podendo

alcançar cerca de 10 cm na componente vertical em alguma parte do globo. Em regiões afastada da costa, este valor decresce, mas ainda podem alcançar cerca de 1 cm para distâncias (oceano-estação) de 1000 km (Baker *et al*, 1995). Considerando a precisão preconizada pelo GPS, tais efeitos devem ser levados em consideração quando se objetiva levantamento de alta precisão. Para a maioria das aplicações, tal efeito pode ser desprezado, tal como é, sem maiores problemas.

Carga da Atmosfera

A carga da atmosfera exerce força sobre a superfície terrestre. Variações da distribuição da massa atmosférica, a qual pode ser inferida a partir da medida de pressão da atmosfera, induz deformações sobre a crosta, principalmente na direção vertical. As maiores deformações estão associadas com tempestades na atmosfera, podendo alcançar 10 mm (Van Dam and Wahr, 1987). A maioria dos programas para processamento de dados GPS ainda não apresenta modelos para correções desta natureza. Para redes de grande dimensão, requerendo alta acuracidade, recomenda-se estender a campanha para 2 semanas, ao invés dos usuais 3 a 5 dias (Blewitt *et al*, 1994). Não se trata de um efeito com o qual o usuário deva se preocupar, mas vale a pena ter conhecimento sobre ele e saber que o GPS é sensível ao mesmo.

Técnicas de Posicionamento GPS

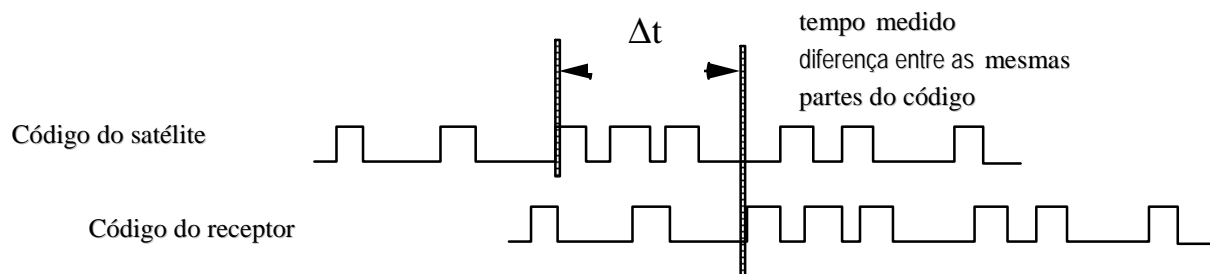
Introdução

O posicionamento geodésico pode ser realizado no modo Pontual ou relativo. No primeiro caso, a posição do ponto é determinada num sistema de referência bem definido, que no caso do GPS é o WGS-84. No posicionamento relativo, a posição de um ponto é determinada com relação a do outro, cujas coordenadas devem ser conhecidas. As coordenadas do ponto conhecido devem estar referenciadas ao WGS-84, ou num sistema compatível, caso se efetue o posicionamento usando o GPS. Neste caso, os elementos que compõem a linha base, ou seja, ΔX , ΔY e ΔZ , são determinados e, ao serem acrescentados

as coordenadas do ponto base, proporcionam as coordenadas do ponto desejado. Pode-se ainda acrescentar que tanto no posicionamento por ponto, quanto no relativo, o objeto a ser posicionado pode estar em repouso ou em movimento, dando origem as denominações de posicionamento estático e cinemático.

Posicionamento por Ponto (Método Absoluto)

No posicionamento por ponto necessita-se apenas de um receptor. Este método de posicionamento é o mais utilizado em navegação de reduzida precisão. O posicionamento instantâneo de um ponto (tempo real), usando a pseudo-distância derivada do código C/A (SPS), apresenta precisão planimétrica da ordem de 100 m (95%). Mesmo se a coleta de dados sobre um ponto estacionário for de longa duração, a qualidade dos resultados não melhora significativamente, em razão dos erros sistemáticos envolvidos na observável. É possível incluir no processamento, além da pseudo-distância, a fase da onda portadora no processamento, caso esta seja disponível. No entanto, tal combinação não é uma prática muito utilizada no posicionamento por ponto, haja vista não proporcionar refinamento da solução. Portanto, o posicionamento por ponto não se trata de um método utilizado para fins geodésicos e cadastrais. De qualquer forma apresentar-se-á os fundamentos do método, pois o mesmo será útil para a apresentação de alguns conceitos envolvidos no GPS.



ESTRUTURA DO ERRO GPS NO POSICIONAMENTO ABSOLUTO ERROS COMPUTADOS NA MEDIÇÃO DA PSEUDO-DISTÂNCIA TÍPICO PARA RECEPTORES DE BOA QUALIDADE	
Erro do relógio do satélite	0.61m
Erro de efemérides	0.61m
Erro de relógio do receptor	1.22m
Erros atmosféricos/ionosféricos	3.66m
Erro de S/A (se implementado)	7.62m
Total do erro aplicado a pseudo-distância – 13,72m	

Fontes de Erro da Pseudo-distância

Posicionamento Relativo

Para realizar posicionamento relativo é normal dizer que o usuário deve dispor de dois ou mais receptores. No entanto, com o advento dos chamados Sistemas de Controle Ativos (SCA), um usuário com apenas um receptor poderá efetuar posicionamento relativo referido ao sistema de referência do SCA. Deverá, para tal, acessar os dados de uma ou mais estações pertencentes ao SCA, via algum sistema de comunicação.

O posicionamento relativo é suscetível de ser realizado usando uma das seguintes observáveis:

pseudo-distâncias;

pseudo-distâncias suavizadas pela portadora e;

fase da onda da portadora em conjunto com as pseudo-distâncias.

Em navegação, normalmente, faz-se uso das pseudo-distâncias ou pseudo-distâncias suavizadas pela portadora, mas as pseudo-distâncias são mais frequentemente usadas. A técnica mais popular em navegação é conhecida como DGPS (Diferential GPS), a qual pode proporcionar precisão da ordem de 2 a 5m, quando se faz uso das pseudo-distâncias. O DGPS têm a capacidade de proporcionar posicionamento em tempo real, muito embora possa também ser pós-processado. O posicionamento cinemático relativo, sob a denominação de OTF (On-The-Fly) ou RTK (Real Time Kinematic), têm a

portadora como observável fundamental, apresentando alta precisão. Ele será apresentado dentro do conceito de métodos de posicionamento relativo em tempo real, juntamente com a técnica DGPS.

Nos métodos estáticos, que utilizam como observável básica a portadora, pode-se alcançar precisão centimétrica, ou mesmo milimétrica. Embora se trate de um método estático, pode-se aplicar a técnica OTF no processamento, reduzindo sobremaneira o tempo de ocupação das estações a levantar. Pode-se também utilizar como observável a pseudo-distância pura ou suavizada pela portadora, casos em que reduz a acuracidade para a ordem do decímetro.

Encontra-se ainda na literatura GPS os métodos denominados estático rápido, *stop & go* (pare e continue), semi ou pseudo-cinemático, além de cinemático puro, entre outros. Estes métodos são fundamentalmente usados para fins de levantamentos, onde se objetiva rapidez, e não há interesse nas coordenadas da trajetória. Eles serão apresentados dentro do conceito de métodos rápida.

Um resumo dos tópicos a serem abordados dentro do posicionamento relativo aponta para os seguintes métodos (ou denominações):

- posicionamento relativo estático;
- posicionamento relativo em tempo real (cinemático).
- Posicionamento relativo rápido estático.

Posicionamento Relativos Estáticos

A observável normalmente usada no posicionamento relativo estático é a dupla diferença da fase da portadora, muito embora possa também utilizar a dupla diferença da pseudo-distância, ou mesmo uma combinação de ambas. Os casos em que se tem a fase da portadora com observável fundamental são os que apresentam melhores resultados em termos de acuraria. Trata-se da técnica mais utilizada em posicionamento geodésico. Neste tipo de posicionamento, dois ou mais receptores rastreiam os satélites visíveis por um período de tempo que pode variar de dezenas de minutos, até algumas horas. O caso envolvendo curtos período de ocupação (até dez minutos), será tratado dentro como método rápido.

Como no posicionamento relativo estático o período de ocupação das estações é relativamente longo, somente as duplas diferenças da fase da portadora serão incluídas como observáveis. Como a precisão da fase da portadora é muito superior que a da pseudo-distância, esta última não melhora os resultados significativamente quando o período de coleta de dados for longo. Mesmo assim, as pseudo-distâncias devem estar disponíveis, pois elas são utilizadas no pré-processamento para estimação do erro do relógio do receptor.

Posicionamento Relativo em Tempo Real

No posicionamento relativo em tempo real, além dos dois receptores normalmente empregados no posicionamento, um dos receptores deve receber, além das observações por ele coletadas, informações adicionais via algum sistema de comunicação. Estas informações podem ser as próprias observações coletadas, simultaneamente, num outro receptor ou estação, caso denominado na literatura de cinemático (Pure Kinematic Method), ou correções diferenciais, método este denominado de DGPS (Differential GPS).

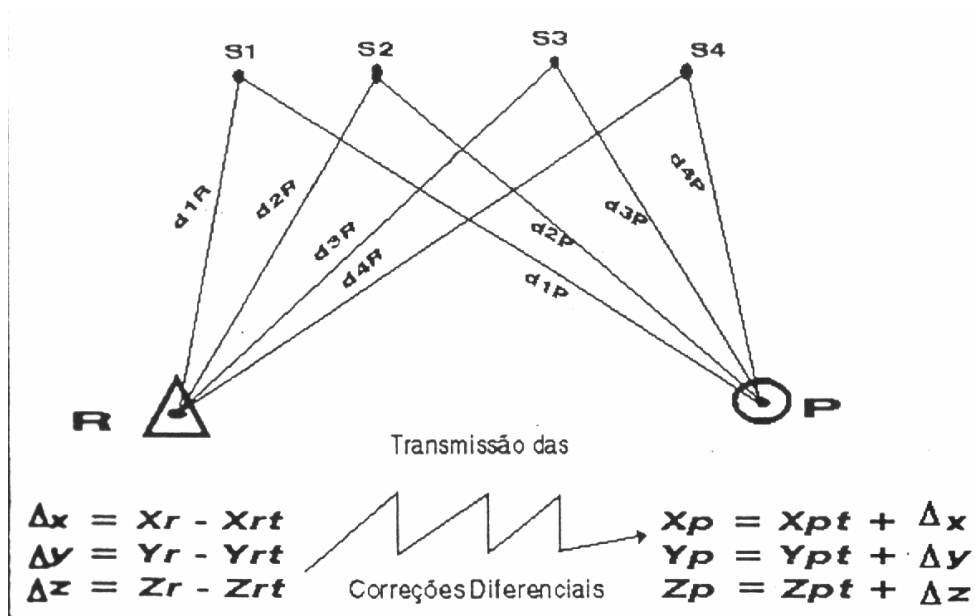
GPS Diferencial (DGPS)

O DGPS foi desenvolvido para as aplicações em navegação necessitando de precisão melhor que a oferecida pelo GPS quando se usa o SPS no modo absoluto (posicionamento por ponto). O conceito de DGPS envolve o uso de um receptor estacionário numa estação com coordenadas conhecidas, rastreando todos os satélites visíveis. O processamento dos dados nesta estação (posicionamento por ponto) permite que se calcule correções posicionais ou de pseudo-distâncias. As correções das coordenadas ΔX , ΔY e ΔZ são possíveis de serem determinadas, pois se conhece as coordenadas da estação base. As correções das pseudo-distâncias são baseadas nas diferenças entre as pseudo-distâncias observadas e as calculadas a partir das coordenadas dos satélites e da estação base. Estando a estação base localizada nas proximidades da região de interesse, há uma forte correlação entre os erros calculados na estação base e os erros da estação móvel. Desta forma, se o usuário receber tais correções, ele poderá corrigir as suas posições ou as pseudo-distâncias observadas, dependendo do método de correção adotado

A aplicação de correções nas posições é o método mais fácil de se usar em DGPS, mas o mesmo é significativamente afetado pela SA se qualquer um dos satélites não for rastreado simultaneamente nas duas estações. Nestes casos, os resultados apresentariam qualidade inferior que o usual.

Quando se utiliza correções para as observações de pseudo-distâncias, não há necessidade do usuário rastrear a mesma constelação de satélites presente na estação base, pois ele só aplicará as correções nas pseudo-distâncias dos satélites efetivamente rastreados. Se algum dos satélites rastreados não apresentar correções, e há um número suficiente de satélites para efetuar o posicionamento, é aconselhável não utilizar tais satélites.

Considerar o seguinte esquema



O ponto R possui coordenadas de referência X_r , Y_r e Z_r . O receptor situado em R, rastreia os satélites S1, S2, S3 e S4. Num instante t , o receptor R calcula as seguintes coordenadas X_{rt} , Y_{rt} , Z_{rt} , utilizando as pseudo-distâncias: d_{1r} , d_{2r} , d_{3r} e d_{4r} . Neste mesmo instante t , o receptor móvel localizado em P, calcula as coordenadas do ponto X_{pt} , Y_{pt} , Z_{pt} , usando as pseudo-distâncias d_{1p} , d_{2p} , d_{3p} e d_{4p} . Para este mesmo instante t pode-se calcular as diferenças no ponto de referência R(t):

$$\Delta x = X_r - X_{rt}$$

$$\Delta y = Y_r - Y_{rt}$$

$$\Delta z = Z_r - Z_{rt}$$

Aplicando estas diferenças às coordenadas calculadas no ponto P, obtém-se:

$$X_p = X_{pt} + \Delta x$$

$$Y_p = Y_{pt} + \Delta y$$

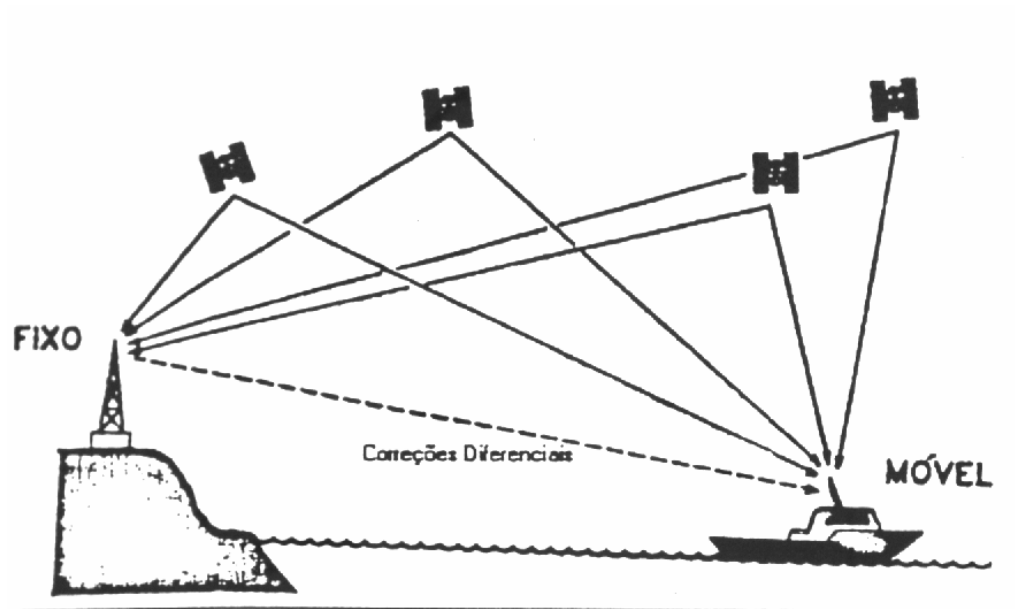
$$Z_p = Z_{pt} + \Delta z$$

onde X_p , Y_p , Z_p são as coordenadas corrigidas diferencialmente do ponto P. no instante t . Note que os dois receptores (referência e móvel) rastreiam os mesmos satélites, ao mesmo tempo.

O método diferencial de posicionamento GPS, possui as seguintes variantes:

a) DGPS em tempo real-

É a representação da figura abaixo. Nesta variante as correções diferenciais são transmitidas ao receptor remoto, por uma ligação rádio de dados, utilizando o protocolo RTCM-SC-104 ("Radio Technical Commission for Maritime Services Special Coinmittee N' 104") que especifica o modo de transmissão dos dados GPS (por "link" de rádio) para estas correções. O receptor "rover", poderá então gravar seus dados em arquivos no próprio receptor, para posterior descarga de dados para CADs ou GIS. Este processo fornece precisões de 1 a 10 metros, dependendo do DOP. Caso o receptor remoto estacione, isto é, deixe de se movimentar, o usuário poderá adotar duas atitudes: 1) Encerrar o arquivo "rover" e iniciar um novo arquivo para a posição estática. Desta maneira poderá se valer de médias das posições' estáticas gravadas, conseguindo precisões sub-métricas. 2) Não encerrar o arquivo aberto. Neste caso quando da plotagem dos dados, aparecerá um "borrão" de pontos com raio de ± 10 metros.



b). DGPS Pós-Processado

Nesta variante não existe ligação rádio entre receptores fixo e móvel. A correção diferencial se faz a posterior, com os dados dos receptores descarregados e processados por um software próprio. A grande vantagem deste processo em relação ao anterior, é que o usuário tem total controle sobre os pontos que estão sofrendo correção diferencial, isto é, através de filtros, tais como, número DOP do "rover", desvio padrão das pseudo-distâncias medidas pelo receptor remoto, intensidade do sinal de determinado satélite (evitando ruídos), o usuário pode rejeitar este ou aquele ponto ou grupos de feições coletadas, por não atenderem a precisão do projeto, no qual se está trabalhando. A outra grande vantagem diz respeito aos custos. O DGPS pós-processado dispensa o "link" de rádio, que em alguns casos, quando as distâncias são grandes, o custo dos transceptores é maior do que o custo dos próprios receptores GPS. Este processo é, por excelência, o melhor método de digitalização de superfícies reais, aplicáveis à projetos cartográficos de escala máxima de 1:5.000, o que corresponde à maioria das escalas cadastrais de áreas urbanas.

c) DGPS de Campo

Esta terceira variante do DGPS é uma alternativa para quem só possui receptores absolutos. A precisão oscila entre 15 a 10 metros e é obtido da seguinte maneira: 1) Estaciona-se um receptor absoluto em um ponto de coordenadas conhecidas. 2) Combinam-se as horas, minutos e segundos (as correções diferenciais variam a cada 15 segundos) nos quais gravar-se-ão os pontos, tanto no receptor fixo quanto no itinerante (deve ser o mesmo horário para ambos). 3) Após a operação de campo, para cada ponto gravado na base, calculam-se diferenças simples $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$ e ΔH , para cada horário combinado. 4) Verificam-se se os satélites recebidos no receptor base foram os mesmos para o receptor "rover", em cada horário no qual os pontos foram gravados (esta informação é comum entre todos os receptores, na gravação de coordenadas de pontos gravados e nomeados). 5) Rejeitam-se, então, os pontos que não atenderem à condição anterior. 6) Para os demais pontos aplicam-se as diferenças calculadas para cada ponto/horário. O DGPS de campo, é um meio de fortuna para se fugir das precisões do SPS (100 a 300 metros), conseguindo-se melhores precisões, sem que se possua equipamento adequado ao DGPS e, obviamente, não se presta à digitalização de superfícies reais.

A RBMC, em fase de implantação no Brasil, poderá no futuro servir como uma rede tipo WADGPS, e prover correções para os usuários.

Método Cinemático

Neste método assume-se que a observável fundamental é a fase da onda portadora. Há uma grande quantidade de aplicações que necessita das coordenadas da trajetória do receptor GPS com alta precisão. Um exemplo de interesse às pessoas ligadas as atividades de mapeamento, diz respeito aos vôos fotogramétricos utilizando GPS para determinar as coordenadas do centro perspectiva da câmara no instante de tomada da foto. Trata-se no entanto de um caso que se pode efetuar pós-processamento. Em algumas aplicações marítimas ou na aviação, necessita-se das posições em tempo real. É fácil perceber que nestes casos, a ocorrência de perda de ciclos sem a possibilidade de recuperação, enquanto em movimento, não pode ser aceita. Deve-se portanto dispor de métodos capazes de

corrigir as perda de ciclos ou solucionar as ambigüidades em pleno movimento. Esta técnica é denominada como solução da ambigüidade OTF (On-The-Fly).

Na técnica OTF para aplicações em tempo real, as ambigüidades devem ser solucionadas imediatamente após a coleta de dados. Como se trata de posicionamento relativo, no qual utiliza-se as observações de dupla diferenças, as observações coletadas na estação base devem ser transmitidas para a estação móvel, diferentemente da técnica DGPS, onde se transmite apenas correções.

Isto exige sistema de comunicação com grande capacidade de transmissão.

Dentro da técnica OTF há vários métodos disponíveis para a solução da ambigüidade, podendo-se citar o denominado LAMBDA (Least square AMBIGUITY Decorrelation Adjustment), FARA (Fast Ambiguity Resolution Approach), (Frei, Beutle, 1990), tratamento como rede neural (Landau, 1990), entre outros. Os métodos se baseiam, em geral, na estimativa de mínimos quadrados com algoritmo de procura. Como as ambigüidades são solucionadas em tempo real, isto equívale ao usuário dispor de distâncias entre o receptor e satélites com precisão milimétrica, permitindo posicionamento com acuracidade da ordem de 10 cm (Seeber, 1993).

Vale ressaltar que estes métodos nem sempre proporcionam as soluções da ambigüidade corretamente, exigindo portanto meios de analisar a qualidade dos resultados. Pesquisas ainda estão em desenvolvimento, e os sistemas atualmente capazes de proporcionar solução OTF ainda são de custos bastante elevados. Convém chamar a atenção que os métodos que usam o conceito OTF, embora desenvolvidos visando aplicações cinemática, podem muito bem ser usados em aplicações estáticas, reduzindo sobremaneira o tempo de ocupação das estações a serem levantadas.

Posicionamento Relativo Estático Rápido

Nesta seção serão abordados os métodos de posicionamento denominados pseudo-cinemático e semi-cinemático. Dentro desta classificação inclui o método *stop na go*, já que ele aparece na literatura como um método de posicionamento semi-cinemático. O termo estático rápido talvez não seja totalmente adequado para o conjunto de métodos a serem apresentados neste tópico, mas como durante a coleta de dados deve-se parar na

estação, pelo menos para introdução da identificação da mesma, tal condição talvez justifique a nomenclatura. O objetivo é agrupar os métodos com características similares afim de evitar a adoção de termos diferentes para o mesmo procedimento.

Apresentaremos inicialmente o método denominado pseudo-cinemático em Seeber, (1993) e semi-cinemático em Teunissen, (1991) . Trata-se do posicionamento em que há reocupação de uma ou todas estações. Sabe-se que para solucionar a ambigüidade, sem a aplicação dos métodos rápidos (OTF), necessita-se de um período de coleta de dados relativamente longo, devido a necessidade de alteração da geometria dos satélites que estão sendo rastreados. Na realidade, somente as primeiras e últimas observações contribuem significativamente para a solução. A concepção do método baseia-se então na coleta de dados por pelo menos dois períodos na mesma estação. As duas coletas devem estar separadas por um intervalo de tempo longo o suficiente (20-30 minutos) para proporcionar alteração na geometria dos satélites. Durante este intervalo, outras estações podem ser ocupadas por período de tempo relativamente curto. O método requer que o receptor continue rastreando durante as visitas as estações, circunstância que exige um cuidadoso planejamento do levantamento antes da execução.

Há ainda outra opção, na qual se pode desligar o receptor durante o deslocamento de uma estação para outra, mas todos os pontos devem ser reocupados. O ponto inicial deve ser revisitado depois de um intervalo que permita a mudança da geometria dos satélites (30-60 minutos), prosseguindo-se com a reocupação nos demais pontos. Neste caso, os dois arquivos de dados coletados numa mesma estação, mas em instantes diferentes, são considerados como único, com perda de ciclos entre eles, as quais devem ser corrigidas, por técnicas de dupla ou tripla diferença. Considerando as perdas de ciclos corrigidas adequadamente, o que nem sempre é possível.

O método *stop and go* se baseia em determinar rapidamente as ambigüidades e mante-las durante o levantamento das estações de interesse. A antena é mantida coletando dados sobre a estação a ser levantada por um breve período de tempo, o necessário para a coleta da identificação da estação e montagem da antena. Portanto, a questão fundamental é a determinação da ambigüidade antes de iniciar o levantamento. As principais técnicas que têm sido extensivamente usadas são:

1)- determinação de uma base com longa ocupação antes de iniciar o método stop and go.

- 2)- Curto período de ocupação sobre uma base conhecida e;
- 3)- troca de antena.

O primeiro caso trata-se do posicionamento relativo estático, podendo-se portanto aplicar a técnica OTF para a solução inicial da ambigüidade. No entanto, se tal opção fosse disponível, seria mais conveniente também usá-la nas demais estações, evitando os problemas do método *stop and go*. No segundo caso, como se conhece as coordenadas de duas estações, os parâmetros a determinar no ajustamento são as ambigüidades, as quais podem ser solucionadas rapidamente. O terceiro método têm sido extensivamente usado, pois além de ser preciso, rápido e confiável, não requer o conhecimento de uma linha base próxima ao local

Instala-se um dos receptores numa estação na região do levantamento, a qual possui coordenadas conhecidas e o outro, numa estação auxiliar próxima (2 a 5 metros). Coleta-se dados por um período de 1 minuto e então as duas antenas são trocadas, sem perder o contato (*lock on*) com os satélites, e coleta-se novamente dados por um período de 1 minuto. Não havendo perda de ciclos, as ambigüidades antes e depois da troca de antenas são as mesmas.

Combinando as equações de observações envolvidas no primeiro período de coleta de dados, com as do período seguinte, os valores das ambigüidades podem ser determinados. Neste caso, a geometria foi alterada ao fazer a troca de antenas, razão pela qual as ambigüidades podem ser solucionadas rapidamente sem aplicar técnicas de procura, tipo OTF.

Se houver perdas de ciclos durante o deslocamento, o levantamento deve ser reiniciado, partindo, por exemplo, do último ponto levantado, o qual seria a estação base. Tratar-se portanto de um método adequado para áreas não sujeitas à obstruções do sinal. É essencial que o receptor informe a respeito da ocorrência de perdas de ciclos!

Diluição da Precisão (PDOP)

Os diversos DOPs (Dilution of Precision), freqüentemente usado em navegação, são obtidos a partir do conceito de posicionamento por ponto. O DOP proporciona uma

indicação da precisão dos resultados que serão obtidos. Ele depende basicamente de dois fatores:

- a precisão da observação de pseudo-distância, expressa pelo erro equivalente do usuário (UERE: User Equivalent Range Error), que é associado ao desvio-padrão da observação (σ_r) e;
- a configuração geométrica dos satélites.

A relação entre σ_r e o desvio-padrão associado ao posicionamento (σ_p) pela seguinte expressão (Seeber, 1993)

$$\sigma_p = \text{DOP } \sigma_r$$

As seguintes designações são encontradas na literatura:

$\sigma_H = \text{HDOP } \sigma_r$ para posicionamento horizontal;

$\sigma_V = \text{VDOP } \sigma_r$ para posicionamento vertical;

$\sigma_P = \text{PDOP } \sigma_r$ para posicionamento tridimensional e;

$\sigma_T = \text{TDOP } \sigma_r$ para posicionamento de tempo.

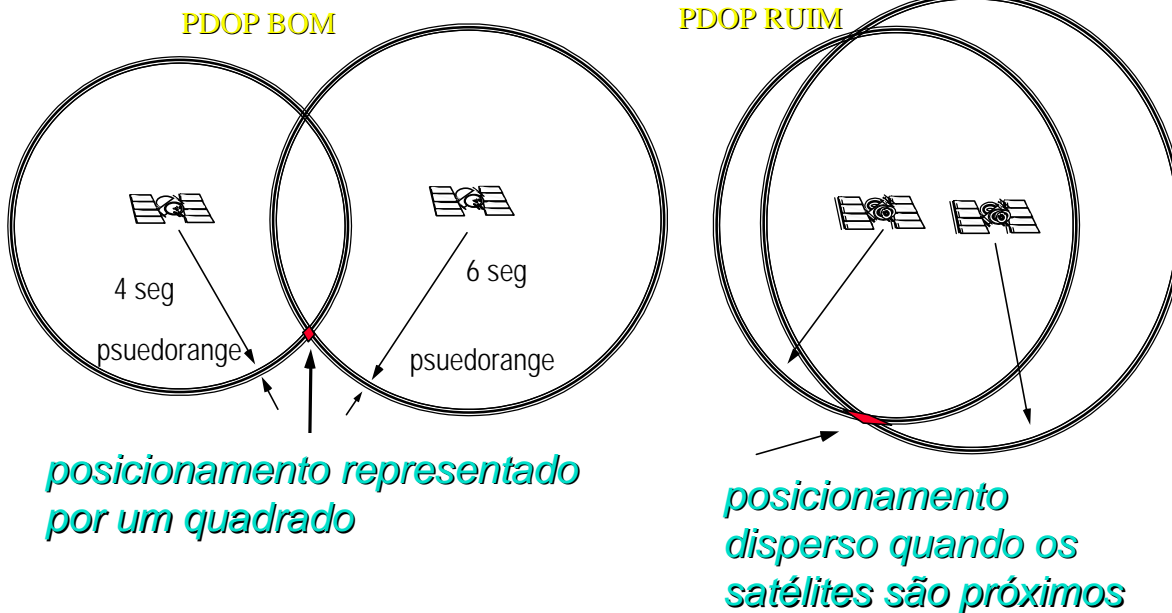
O efeito combinado de posição e tempo é determinado

$$\text{GDOP} = \sqrt{(\text{PDOP})^2 + (\text{TDOP})^2}$$

O PDOP pode ser interpretado como o inverso do volume V de um tetraedro formado pelas posições do usuário e dos satélites

$$\text{PDOP} = 1 / V$$

- Posição relativa dos satélites podem produzir erros



Aspectos Práticos e Algumas Aplicações do Gps

Neste tópico apresenta-se alguns dos aspectos práticos relacionados com o GPS, principalmente no que concerne ao planejamento, coleta e processamento de dados. Os assuntos abordados nos capítulos anteriores visaram proporcionar ao leitor o embasamento teórico necessário para que, ao executar levantamentos GPS, tenha um entendimento razoável das nuances envolvidas no processo. Esgotar todos os aspectos envolvidos não é possível e nem é a intenção, pois a cada projeto, surgem novos elementos. Uma breve descrição das aplicações GPS também faz parte deste capítulo. Em alguns casos, tal descrição se apresentará em conjunto com os aspectos práticos, haja vista que para abordar aspectos práticos deve-se considerar a aplicação em questão.

Planejamento, Coleta e Processamento de dados GPS

Planejamento e Reconhecimento

No planejamento de levantamentos GPS, tal como em qualquer método convencional, é essencial ter a disposição a documentação cartográfica mais recente da região de trabalho. Ela dará apoio na tarefa de definição dos pontos a serem levantados, definição dos trajetos a serem seguidos, entre outras. A condição e existência do apoio geodésico na região do levantamento deve ser verificada afim de definir os vértices do sistema de referência (SGB: Sistema Geodésico Brasileiro) a serem usados como estações bases. Considerando a dimensão territorial do Brasil e a distribuição do apoio básico, muitas vezes tais vértices poderão estar localizados há uma grande distância da área de trabalho. Trata-se, portanto, de uma questão fundamental no levantamento dos custos do projeto.

O planejamento da coleta de dados visando o transporte de coordenadas para as estações bases, a partir do apoio fundamental, depende de diversos fatores, entre eles precisão exigida no levantamento, equipamentos disponíveis, etc. Se o usuário dispor de dois equipamentos de dupla frequência, e a precisão exigida for decimétrica, o transporte de coordenadas da rede básica para a região de trabalho poderá ser realizada com apenas uma linha base, ligando um vértice da rede básica, e outro na região de trabalho. A duração da coleta de dados, dependendo das distâncias envolvidas, pode variar de 30 minutos a 2 horas, para linhas bases de até 500 km. Usuários com equipamentos de frequência simples (portadora e código), e necessitando de precisão decimétrica, deverão executar a tarefa em questão com linhas bases de no máximo 30 km, cada linha com tempo de coleta de dados maior que uma hora. Para garantir a contabilidade do trabalho, as coordenadas das estações bases deverão ser levantadas tendo como referência mais que um vértice da rede fundamental.

Ainda com relação a fase de obtenção das coordenadas de pontos base na região de trabalho, deve-se ter em mente as possibilidade futuras, haja vista, que em breve, a RBMC deverá estar totalmente operacional. A mesma será bastante útil para usuários dispo de pelo menos um receptor de dupla frequência, cujos dados poderão ser combinados com o da estação da RBMC mais próxima, permitindo conectar o ponto de interesse ao sistema de

referência da RBMC de forma bastante eficiente. Isso é resultante da não exigência de ocupação de pontos da rede fundamental (rede clássica), normalmente situados em locais de difícil acesso. O usuário interessado nesta facilidade deverá acessar os dados das estações da RBMC, o que pode ser *off-line*, usando disquetes, ou via Internet.

No planejamento para levantamento de estações GPS, o responsável por tal tarefa deve ter em mente as facilidades oferecidas por este sistema de posicionamento, em relação aos métodos convencionais, onde havia a necessidade de implantar pontos básicos em região apropriada para visadas angulares. Com o GPS, o ideal é que os pontos estejam situados em locais de fácil acesso, principalmente por carro e motocicleta, evitando deslocamentos desnecessários e cansativos.

Definidos os pontos básicos, ou de apoio, deve se estabelecido um planejamento das observações. Este foi um fator preponderante durante a fase experimental do GPS, pois devido ao limitado número de satélites, era necessário saber a que horas eles estavam visíveis na região. O planejamento das observações dependia essencialmente da disponibilidade de satélites. Nos dias atuais, com o sistema completo, a qualquer hora do dia ou noite, têm-se no mínimo quatro satélites visíveis. Portanto, o plano de observação é praticamente independente da configuração do sistema GPS, deixando o planejador mais livre para seu estabelecimento. Ele poderá definir um planejamento bastante otimizado, levando em consideração eficiência, precisão, custos e confiabilidade. Embora não essencial nos dias atuais, faz parte desta etapa a confecção de gráficos mostrando os diversos DOP e a elevação dos satélites, entre outros.

Nota-se que o modo de posicionamento a ser usado, em se tratando de posicionamento para fins geodésicos, topográficos ou cadastrais, é o relativo, em razão da acuracidade exigida. Na implantação dos pontos básicos, a partir dos quais se basearão os levantamentos locais, utiliza-se essencialmente o posicionamento relativo estático. O levantamento dos pontos dentro da área de interesse, dependendo da precisão exigida, poderá ser efetuado usando um dos métodos apresentados dentro do posicionamento relativo estático rápido. A duração da coleta de dados será definida em função da precisão desejada, comprimento da base e dos equipamentos e *software* disponíveis.

No planejamento envolvendo coleta de dados de longa duração, deve-se sempre considerar, no estabelecimento do plano de trabalho, a capacidade de armazenamento de

dados, o qual é função da taxa de coleta, e o tempo de vida útil das cargas das baterias dos receptores.

O reconhecimento é também uma fase muito importante nos levantamentos de precisão geodésica e topográfica (mm a dm) utilizando o GPS. Para todos os métodos de posicionamento aplicáveis, deve-se verificar as condições locais visando identificar objetos que possam obstruir sinais, produzir muti-caminhamento, etc. Como regra, a linha de visada acima do horizonte deve estar livre em todas as direções. Muitas vezes tais condições não são possíveis, e o ponto é essencial para o levantamento. As obstruções devem ser registradas por meio de um diagrama na folha de reconhecimento, visando auxiliar na definição do planejamento das observações. Como os efeitos da refração troposférica são críticos para ângulos de elevações muito baixos, adota-se, em geral, um ângulo de elevação de 15", o que pode também eliminar alguns problemas relacionados com a obstrução do sinal. Em alguns tipos de levantamentos, cadastrais por exemplo, nem sempre é possível levantar todos os pontos necessários, devido a causas diversas, mas essencialmente em razão dos pontos estarem em locais não suscetíveis de serem levantados por GPS (em baixo de uma árvore, ao lado de um prédio, etc.). Nestes casos, é essencial dispor de equipamentos convencionais para completar o levantamento. Apenas o reconhecimento *in loco* propiciará tais informações. Durante esta fase, todas informações essenciais devem ser registradas na folha de reconhecimento, a saber: nome da estação e código de identificação, descrição da localização, coordenadas aproximadas, acesso (carro, estrada), diagrama de obstruções, etc.

Coleta de Dados

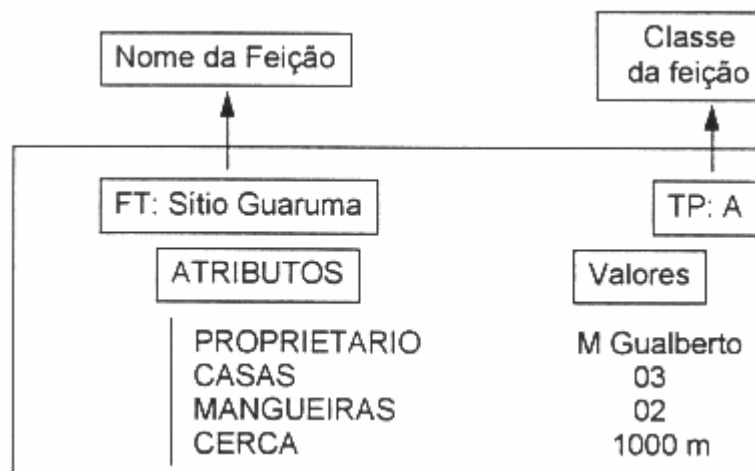
A equipe envolvida na coleta de dados deve ser capaz de efetuar todas as operações necessárias para a execução do trabalho. Elas incluem desde as mais simples, como a montagem e centragem do tripé, medida da altura da antena, até as um pouco mais elaboradas, envolvendo a operação do receptor e coleta de atributos. Um conhecimento adequado do rastreador a ser utilizado é imprescindível. Isto poderá auxiliar na identificação e correção de alguns problemas que venham a ocorrer durante as atividades de campo. Cuidado especial deve ser tomado com a leitura e registro da altura da antena, caso

ela não seja mantida constante durante o levantamento. Este é um tipo de erro bastante comum nos levantamentos GPS, o qual pode não ser detectado, caso a estratégia de coleta de dados não considere todos aspectos de contabilidade.

Alguns receptores modernos dispõem de coletor de dados que permitem o registro dos atributos das feições sendo levantadas. Isto exige que o técnico encarregado desta tarefa tenha um pouco de conhecimento sobre a descrição de dados gráficos. Para auxílio dos interessados, apresenta-se, de forma bastante simples, alguns conceitos essenciais.

Pode-se dizer que uma feição (feature) é um dado geográfico, sobre o qual deseja-se coletar informações. As classes (type) de feições normalmente disponíveis nos coletores de dados incorporados aos receptores GPS são pontos, linhas e áreas. As questões acerca da feição constitui seus atributos. A localização, por exemplo, é um atributo de posicionamento na superfície terrestre, a qual é obtida via GPS.

Considere, por exemplo, que no Sítio Guaruma, de propriedade do Sr. Marcos Gualberto, necessita-se fazer um levantamento da área e da quantidade de benfeitorias (casas, mangueiras, metragem de cerca, etc.) existentes. A figura abaixo ilustra, de uma forma bastante simples, os conceitos relacionando a coleta de atributos usando GPS.



Na realização deste levantamento, o processo inicia-se pela introdução do nome da feição, classe da mesma e os atributos desejados, seguidos pelo comando de armazenagem dos dados. Começa-se então o caminhamento ao longo do perímetro da propriedade, até retornar ao ponto inicial, onde se deve finalizar o processo.

Em campanhas de longa duração, é imprescindível ter a disposição na região de trabalho, um microcomputador para armazenagem e análise inicial dos dados, de preferência um *Notebook* (computador pequeno), o qual poderia fazer parte dos equipamentos de campo. Desta forma, pelo menos um dos técnicos responsáveis pela coleta de dados deve possuir habilidade computacional.

Processamento dos Dados

As atividades envolvendo o processamento dos dados coletados são tão importantes quanto as descritas anteriormente. Elas incluem em especial, a análise da qualidade dos resultados obtidos, o que requer um técnico com conhecimento apropriado para realizar esta tarefa. Os *softwares* que acompanham os equipamentos proporcionam até sugestões sobre os resultados mais adequados, porém isto não é suficiente quando se pretende realizar trabalhos de boa qualidade.

O primeiro passo no processamento dos dados é a transferência dos dados do receptor para o disco rígido do computador, através de *software* que acompanha o equipamento. Dos arquivos contidos numa sessão, o das observáveis é o arquivo principal (DAT). Têm-se além deste, os arquivos de efemérides (EPH), de mensagens, que contém, por exemplo, a identificação da estação e altura da antena (MES) e os de coeficientes para correção da ionosfera (ION). Um bom procedimento para assegurar que as identificações das estações e alturas da antena estão corretas, é o preparo, durante a coleta de dados, de um boletim contendo todas as informações relevantes, as quais são verificadas ainda nesta fase.

O passo seguinte é o processamento individual das linhas base, embora alguns *software* permitam, nesta etapa, a execução do processamento por ponto. Normalmente, nos programas comerciais é possível realizar as tarefas automaticamente, sem interferência do operador. O processamento pode ser realizado base-a-base, ou em rede. Se apenas dois receptores foram utilizados na coleta de dados, a única opção é a primeira. A segunda, refere-se ao caso em que mais de dois receptores foram envolvidos na coleta, muito embora, nem todos *softwares* dispõem desta opção. Desta forma, é comum realizar o processamento individual das bases envolvidas na rede, o que não é matematicamente correto.

Quando a coleta de dados é realizada base-a-base, e as várias bases formam uma rede, os resultados obtidos a partir das bases individuais permitem efetuar algum tipo de análise para avaliar a qualidade dos resultados. Se, por exemplo, as bases formam um polígono fechado, pode-se avaliar o seu erro de fechamento, que deve ser um valor pequeno (1 a 3 ppm). As componentes das bases podem ainda ser combinadas num ajustamento. As quantidades estatísticas advindas do processo de ajustamento da rede e bases individuais (desvio-padrão, fator de variância a posteriori) são as informações mais importantes para analisar a qualidade do levantamento.

Quando a coleta de dados envolve mais que dois receptores, combinados de modo a proporcionar possibilidades de detectar e localizar possíveis erros (rede de boa confiabilidade), trata-se de uma rede de alta precisão. Diversos tipos de análises são possíveis de serem aplicadas, entre elas as citadas anteriormente, além da detecção e localização de erros.

As análises citadas acima envolvem aspectos relacionados a precisão da rede. Quando deseja-se avaliar a exatidão (acurácia), deve-se fazer parte das estações a serem levantadas, uma ou mais estações com coordenadas conhecidas num nível de qualidade igual ou superior ao que se pretende determinar. As discrepâncias entre os valores conhecidos e estimados indicarão o nível de exatidão atingido. Trata-se portanto de um aspecto a ser considerado durante o planejamento das observações.

Um outro aspecto envolvido na análise da qualidade dos resultados pode ser realizado a partir do processamento de base-a-base. Esta análise envolve as soluções de tripla diferença (TRP), dupla diferença com ambigüidade (float) real (FLT) e dupla diferença com ambigüidade inteiras injuncionadas como inteiras (FIX). Em condições normais é de se esperar que a solução TRP proporcione resultados de pior qualidade em termos de desvios-padrão das coordenadas, os quais melhoram na solução FLT. Se a solução FIX for corretamente obtida, a precisão das coordenadas será ainda melhor que a da solução FLT. Para obter a solução FIX deve-se definir e testar um conjunto de vetores de ambigüidades definidos como prováveis candidatos. A solução mais provável é aquela que proporciona fator de variância a posteriori.

Uma vez que o processamento é aceito, deve-se efetuar a transformação de coordenadas, de WGS-84 (o datum do GPS), para SAD-69 (o datum adotado no Brasil).

Como normalmente os dados coletados visam servir projetos de engenharia, mapeamento, etc., as coordenadas estimadas devem ser transformadas para coordenadas planas, em geral UTM (Universal Transversal Mercator). O responsável pelo processamento deve dispor de um programa para executar esta transformação.

Como etapa final de uma campanha deve-se produzir um relatório contendo todas as informações pertinentes à mesma.

Aplicação do GPS

O GPS está revolucionando todas as atividades de posicionamento. Em conjunto com os sistemas de comunicação tem-se criado novos conceitos de posicionamento, os chamados sistemas ativos. É difícil enumerar atividades que necessitam de posicionamento que não estejam envolvidas, ou em fase de envolvimento, com o GPS. Portanto, as aplicações do GPS são inúmeras, o que torna impossível lista-las. Convém lembrar ainda que o GPS é extensivamente usado na transferência de tempo e existem equipamentos exclusivos para este fim.

A seguir estão listadas algumas atividades onde o GPS têm sido usado extensivamente, seguidas de algumas descrições pormenorizadas de algumas aplicações:

- navegação global e regional,
- estabelecimento de redes geodésicas locais, regionais, continentais e globais (ativas e passivas),
- levantamentos topográficos para fins de mapeamento, apoio fotogramétrico, detecção de deformações,
- nivelamento expedito e de precisão, etc.

A Rede Global IGS

O IGS (International GPS Geodynamics Service) é um serviço internacional permanente estabelecido em 1990 pelo IAG. Os objetivos principais do IGS são (Mueller, 1993)- (i) prover a comunidade científica com órbitas dos satélites GFIS altamente

precisas, (ii) prover parâmetros de rotação da Terra de alta resolução, (iii) expandir geograficamente o ITRF mantido pelo IERS e (iv) monitorar globalmente as deformações da crosta terrestre. Faz parte do IGS uma rede global, com mais de 75 estações GPS, rastreando continuamente os satélites GPS. Todos os receptores são de dupla frequência, com capacidade de obter as quatro observáveis.

Os centros que compõem o IGS estão divididos em três categorias: operacional, regional e global. Os centros operacionais estão em contato direto com as estações rastreadoras, efetuam o controle de qualidade das observações coletadas e transmitem os dados coletados para o centro regional mais próximo. Os centros regionais coletam os dados de vários centros operacionais, mantêm um arquivo dos mesmos, além de transmitidos para um dos três centros de dados global, os quais intercambiam dados entre eles afim de manter os mesmos arquivos de dados. Estes dados ficam disponíveis para usuários e pesquisadores, entre eles os dos centros de análise do IGS, os quais processam os dados regularmente visando determinar parâmetros de rotação da Terra e órbitas GPS altamente precisas. O escritório central do IGS funciona no Laboratório de Propulsão a Jato, o qual é um centro de análise do IGS, estando localizado na Califórnia, Estados Unidos da América.

Qualquer usuário dispondo de recursos para acessar a Internet pode acessar os dados do IGS.

A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC)

A RBMC, no Brasil, é o resultado de mais uma aplicação do GPS. Ela contará com nove estações contínuas e possuirá algumas características de um sistema de controle ativo. Trata-se de uma concepção moderna, a qual integra os mais recentes desenvolvimentos na área de posicionamento. Ela não só permitirá o acesso aos usuários do SGB, como poderá fazer parte de uma rede mundial, reduzindo os custos das participações em campanhas internacionais. Usuários dispondo de um receptor de -dupla frequência poderão posicionar um vértice com razoável precisão em qualquer parte do território nacional, sem a necessidade de ocupar qualquer estação do SGB. Esta tarefa, em razão das grandes distâncias que podem estar envolvidas, poderá demandar tempo considerável se atentarmos para os métodos de posicionamento disponíveis atualmente (métodos rápidos). No entanto,

despender de 1 a 5 horas para medir uma base de 500 km pode ser considerado econômico, ainda mais se um outro receptor (de uma frequência por exemplo) puder ser usado simultaneamente para levantar os demais pontos de interesse na área, usando, neste caso, as técnicas de posicionamento rápido.

É importante também salientar a possibilidade de se usar a RBMC para o desenvolvimento de WADGPS (Wide Area Differential GPS), com possibilidades de produzir órbitas em tempo real com melhor qualidade que as das efemérides transmitidas. Estudos neste sentido foram realizados com êxito, usando dados da América do Norte (Santos, 1995). Há também a possibilidade de desenvolver modelos regionais para a ionosfera, auxiliando sobremaneira os usuários que dispõem apenas receptores de Sequência simples. Trabalho neste sentido está atualmente sendo desenvolvido (Camargo, 1995). Além disto, convém ressaltar a importância de redes deste porte para projetos de geofísica a nível nacional e internacional, permitindo não somente a estimação das coordenadas das estações do SCA, mas também sua velocidade. As estações do SCA poderão ser usadas como sistema de referência para programas de monitoramento do nível médio dos mares.



Estabelecimento de Controle Vertical

Conforme já citado, o GPS está sendo usado para as mais variadas atividades de posicionamento. No entanto, as atividades relacionadas ao nivelamento de precisão ainda necessitam de soluções. O GPS proporciona altitudes puramente geométrica, ao passo que a maioria das atividades práticas, o que é de interesse são as altitudes relacionadas ao campo gravitacional, ou seja, as altitudes ortométricas, as quais possuem ligação com a realidade física. Para determinar altitudes ortométricas (H), a partir das geométricas (h), determinadas com o GPS, é indispensável o conhecimento da ondulação geoidal (N). De uma forma simplificada, mas com muito boa aproximação ,pode se escrever (Gemael, 1981)

$$H = h - N$$

Diversos modelos geoidais estão disponíveis atualmente. Pode-se citar, entre outros, o GEM-T3 (Goddard Earth Model - T3), OSU-91 (Ohio State University 1991) e os mapas geoidais MGB-92 (IBGE/IEPUSP) e GEOB-93 (IAGIUSP). O MGB-92, oficialmente adotado no Brasil, tem precisão absoluta e relativa da ordem de 2 m e 1 cm / km respectivamente. No Canadá e Estados Unidos da América, o nível de precisão absoluta do geóide é da ordem de 10 cm e a relativa varia de 4 a 0.1 ppm (partes por milhão) para distâncias de até 1000 km (Sideris and She, 1994).

Os valores citados acima são adequados para uma série de aplicações. No entanto, a determinação de altitudes ortométricas via GPS, para substituir o nivelamento geométrico, é um objetivo de longa duração. Até que isto ocorra, soluções locais e técnicas aproximadas devem ser aplicadas, como por exemplo, a interpelação a partir de estações levantadas usando GPS e com altitudes ortométricas conhecidas.